

JEFFESON DE MESQUITA DOS SANTOS

**ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A
DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS NO CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S237i
2018 Santos, Jeffeson de Mesquita dos, 1989-
Índice de área foliar de cana-de-açúcar submetida a
diferentes regimes hídricos no Cerrado / Jeffeson de Mesquita
dos Santos. – Viçosa, MG, 2018.
xii, 105 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Everardo Chartuni Mantovani.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 89-100.

1. Cana-de-açúcar - Crescimento. 2. Índice de área foliar.
3. Cerrados. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 633.61899

JEFFESON DE MESQUITA DOS SANTOS

**ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DE CANA-DE-AÇÚCAR SUBMETIDA A
DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS NO CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 06 de março de 2018.



Robson Bonomo



Vinicius Bof Bufon
(Coorientador)



Everardo Chartuni Mantovani
(Orientador)

DEDICO

A Deus

Aos meus pais Maria Teresa e Antonio Francisco

Ao meu irmão Wanderson e toda minha família

A minha esposa Elayane

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha vida, por sempre iluminar meu caminho com muita saúde e felicidade. Sem Ele não teria conquistado meus objetivos.

Ao meus pais por nunca me deixarem desistir dos meus sonhos e por sempre me apoiarem em todas as decisões.

Ao meu irmão pelo companheirismo e força na minha jornada profissional.

A minha família e, em especial, ao meu tio Roberto (em memória) por sempre ter me apoiado e estimulado meus sonhos.

A minha esposa, pelo companheirismo em todos os momentos, inclusive os mais difíceis, e pelo suporte incondicional aos meus sonhos.

Ao meu orientador Dr. Vinicius Bof Bufon, pesquisador da Embrapa Cerrados, pela amizade, por acreditar no meu potencial, pela paciência nos ensinamentos ao longo da vida acadêmica, e pela confiança na condução dos experimentos de campo.

Aos funcionários da Usina Jalles Machado pelo apoio na realização dos trabalhos de coleta de dados.

Ao meu orientador Everardo, por sempre acreditar no meu potencial, pelos ensinamentos ao longo do período acadêmico e pela amizade.

Aos colegas do GESAI (Grupo de Estudo e Soluções para Agricultura Irrigada) pelo acolhimento, ensinamento e amizade.

Aos meus amigos da Universidade Federal de Viçosa e república, pelo companheirismo e amizade.

A Universidade Federal de Viçosa, principalmente ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade e grande contribuição com minha formação acadêmica.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio financeiro.

BIOGRAFIA

Jeffeson de Mesquita dos Santos, filho de Maria Teresa Alves de Mesquita dos Santos e Antonio Francisco Pereira dos Santos, nasceu em 26 de novembro de 1989, na cidade de Santa Luzia, Maranhão.

Em fevereiro de 2008 iniciou o curso de técnico em Agropecuária, pelo Instituto Federal de Brasília- (campus Planaltina-DF) localizada na cidade de Planaltina-DF. Durante um ano e meio, participou de atividades de extensão rural.

Em março de 2011 iniciou o curso de Agronomia, pela União Pioneira de Integração Social (UPIS), localizada na cidade de Planaltina-DF. Durante quatro anos, participou de atividades de iniciação científica e projetos de pesquisa na qualidade de bolsista na área do uso eficiente da Água na Agricultura. Graduiu-se em 2014.

Em março de 2016, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em nível de mestrado, submetendo-se à defesa da dissertação em (06 de março de 2018).

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1- INTRODUÇÃO	1
2- OBJETIVOS.....	3
3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1- Importâncias da cana-de-açúcar para o país	4
3.2- Distribuição geográfica da cana-de-açúcar no país	6
3.3- O Cerrado	7
3.4- Expansão do sistema de produção irrigado no Cerrado	8
3.5- Estádios fenológicos.....	9
3.6- Índice de área foliar	11
3.7- Influência do regime hídrico no IAF	12
3.8- Influência da variedade no IAF.....	17
3.9- Aplicação do IAF na modelagem.....	22
3.10 - Determinação e estimativa de IAF	24
4- MATERIAL E MÉTODOS	34
4.1- Localização e caracterização da área experimental.....	34
4.2- Delineamento experimental	35
4.3- Coleta de dados.....	36
4.4 – Manejo da irrigação.....	36
4.6 - Avaliação do método SunScan para estimativa de IAF	39
5- RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 – Avaliação do método SunScan para estimativa de IAF	45
5.2 - IAF de cana-de-açúcar em sistema de produção de sequeiro e irrigado.....	49
5.3- Efeitos do regime hídrico e variedade no IAF de cana-de-açúcar no Cerrado	62
6- CONCLUSÕES.....	88
7- REFERÊNCIAS.....	89
8 - ANEXOS	101

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Mapeamento da cultura de cana-de-açúcar nos estados brasileiros e seus limites estaduais. Fonte: Adaptado da CONAB (2017). 6
- Figura 2- Fases do desenvolvimento da cana. Fonte: GASCHO E SHIH (1983). 10
- Figura 3- Variação do IAF máximo de acordo com a tabela 2 para o ciclo de cana-planta e cana-soca em função dos dias após o plantio (DAP) e dia após o corte (DAC). Letras correspondem a citação na tabela 2. 17
- Figura 4-Representação dos equipamentos de leitura do SunScan e dinâmica de leitura da Radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Fonte: (Delta-T SunScan, Cambridge, UK)... 33
- Figura 5- O modelo de dispersão de luz no dossel usado no SunScan. Fonte: (Delta-T Devices, Cambridge, UK)..... 33
- Figura 6-Croqui geral da área experimental, composta de três experimentos para cana-de-açúcar de outono, inverno e primavera, submetida a diferentes regimes hídricos, na usina Jalles Machado, Goianésia-GO. 35
- Figura 7- Barra irrigadora com emissores tipo LEPA. Fonte: Arquivo pessoal. 39
- Figura 8- Coleta de folhas verdes para determinação da área foliar no integrador de área foliar (LI-COR 3100C). Fonte: arquivo pessoal. 41
- Figura 9– Medição da área foliar no integrador de área foliar (LI-COR 3100). Fonte: Arquivo pessoal..... 41
- Figura 10- Estimativa do índice de área foliar pelo método SunScan. Fonte: Arquivo pessoal..... 42
- Figura 11- Relação dos valores de IAF medidos (LI-COR 3100C) e estimado (SunScan) para três épocas de colheita (outono, inverno, primavera), gráficos a,c,e sem ajuste (com outlier-●) e gráficos b,d, f com ajuste (sem outlier), assim como, os gráficos com dados já ajustados entre regimes hídricos (g), variedades (h) e total geral das três épocas de colheita (i). 46
- Figura 12- Efeito do acamamento em cana-de-açúcar na área experimental. 48
- Figura 13- Balanço hídrico para cana-de-açúcar em três épocas de colheita (outono **(a)**, inverno **(b)** e primavera **(c)**), ao longo de 3 ciclos de produção (1^a, 2^a, e 3^a socas). **DAC=** Dia após o corte, **ET_{pc}=** Evapotranspiração potencial da cultura, **ETC_SEQUEIRO=** Evapotranspiração da cultura de sequeiro e **ETC_IRRIGADO=** Evapotranspiração da cultura irrigada. 51
- Figura 14- Índice de área foliar (IAF) de cana-de-açúcar, em três épocas de colheita, sendo a) outono, b) inverno e c) primavera, ao longo de três anos safras (2013/2014 - 1^a soca), (2014/2015 - 2^a soca) e (2015/2016 - 3^a soca), expressos em dias após o corte (DAC). Estação chuvosa e estação seca caracterizadas pelas cores azul e amarelo, respectivamente. Valores de IAF de cana irrigada e sequeiro representados por pontos e linhas nas cores verde e vermelha, respectivamente. 58
- Figura 15- Índice de área foliar estimado para cana de outono, avaliados em três regimes hídricos (RH), correspondentes a 0, 50,100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 2^a soca– dias após o corte (DAC). Média de suas variedades. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ... 66

- Figura 16- Índice de área foliar estimado para cana de outono, avaliados em três regimes hídricos (RH), correspondentes a 0, 50,100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 3ª soca– dias após o corte (DAC). Média de suas variedades. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ... 66
- Figura 17- Índice de área foliar estimado para cana de inverno, avaliados em três regimes hídricos (RH), correspondentes a 0, 50,100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 2ª soca– dias após o corte (DAC). Média de suas variedades. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ... 67
- Figura 18- Índice de área foliar estimado para cana de inverno, avaliados em três regimes hídricos (RH), correspondentes a 0, 50,100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 3ª soca– dias após o corte (DAC). Média de suas variedades. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ... 68
- Figura 19- Índice de área foliar estimado para cana de primavera, avaliados em três regimes hídricos (RH), correspondentes a 0, 50,100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 2ª soca– dias após o corte (DAC). Média de suas variedades. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade..... 69
- Figura 20- Índice de área foliar estimado para cana de primavera, avaliados em três regimes hídricos (RH), correspondentes a 0, 50,100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 3ª soca– dias após o corte (DAC). Média de suas variedades. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade..... 70
- Figura 21- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades de outono (CTC 9 e RB96 6928) avaliadas ao longo da 2ª soca- dias após o corte (DAC). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. 73
- Figura 22- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades de outono (CTC 9 e RB96 6928) avaliadas ao longo da 3ª soca- dias após o corte (DAC). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. 74
- Figura 23- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades de inverno (IACSP91 1099 e RB86 7515) avaliadas ao longo da 2ª soca- dias após o corte (DAC). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade..... 75
- Figura 24- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades de inverno (IACSP91 1099 e RB86 7515) avaliadas ao longo da 3ª soca- dias após o corte (DAC). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade..... 77
- Figura 25- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades de primavera (CTC 15 e RB92 579) avaliadas ao longo da 2ª soca- dias após o corte (DAC). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade... 78
- Figura 26- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades de primavera (CTC 15 e RB92 579) avaliadas ao longo da 3ª soca- dias após o corte (DAC). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade... 79
- Figura 27- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades outono (CTC 9 e RB96 6928) avaliadas em três regimes hídricos (RH) correspondentes a 0, 50,100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 2ª soca- dias após o corte (DAC). Letras maiúsculas comparam as variedades, para o mesmo regime hídrico. Letras

minúsculas comparam os regimes hídricos dentro da mesma variedade. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DAC marcados em vermelhos indicam ocorrência de interação. 81

Figura 28- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades outono (CTC 9 e RB96 6928) avaliadas em três regimes hídricos (RH) correspondentes a 0, 50,100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 3ª soca- dias após o corte (DAC). Letras maiúsculas comparam as variedades, para o mesmo regime hídrico. Letras minúsculas comparam os regimes hídricos dentro da mesma variedade. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DAC marcados em vermelhos indicam ocorrência de interação. 82

Figura 29- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades outono (IACSP 91 1099 e RB86 7515) avaliadas em três regimes hídricos (RH) correspondentes a 0, 50,100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 2ª soca- dias após o corte (DAC). Letras maiúsculas comparam as variedades, para o mesmo regime hídrico. Letras minúsculas comparam os regimes hídricos dentro da mesma variedade. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DAC marcados em vermelhos indicam ocorrência de interação. 83

Figura 30- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades outono (CTC 15 e RB 92 579) avaliadas em três regimes hídricos (RH) correspondentes a 0, 50,100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 2ª soca- dias após o corte (DAC). Letras maiúsculas comparam as variedades, para o mesmo regime hídrico. Letras minúsculas comparam os regimes hídricos dentro da mesma variedade. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DAC marcados em vermelhos indicam ocorrência de interação. 84

Figura 31- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades outono (CTC 15 e RB9 2579) avaliadas em três regimes hídricos (RH) correspondentes a 0, 50,100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 3ª soca- dias após o corte (DAC). Letras maiúsculas comparam as variedades, para o mesmo regime hídrico. Letras minúsculas comparam os regimes hídricos dentro da mesma variedade. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DAC marcados em vermelhos indicam ocorrência de interação. 85

Figura 32- Comparaç o de valores de  ndice de  rea foliar registrados por este trabalho e pela literatura para variedades de cana-de-a ugar submetidas a diferentes regimes h dricos ao longo de ciclo de cana soca, medido em dias ap s o corte (DAC). Letras referem-se   associa o do valor no gr fico   cita o na Tabela 3. Ponto preto: regime irrigado (literatura); Ponto cinza: regime de sequeiro (literatura); Ponto vermelho: regime de sequeiro (deste trabalho); Ponto azul: regime de 50% ITN (deste trabalho) e, Ponto verde: regime de 100% ITN deste trabalho..... 86

Figura 33- Compara o de valores de  ndice de  rea foliar registrados por este trabalho (pontos verdes) e na literatura (pontos pretos) para diferentes variedades de cana-de-a ugar ao longo de ciclo de cana soca, medido em dias ap s o corte (DAC). Letras referem-se   associa o do valor no gr fico   cita o na Tabela 3..... 87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Área plantada de cana de açúcar para os maiores estados produtores.	5
Tabela 2- Resumo dos valores máximos de IAF de cana-de-açúcar encontrados na literatura para diferentes localidades, regimes hidricos e ciclos, em função dos dias após o plantio (DAP) e, ou dias após o corte (DAC).	16
Tabela 3- Resumo dos valores máximos de IAF de cana-açúcar encontrados na literatura para diferentes localidades, variedades e ciclos, em função dos dias após o plantio (DAP) e, ou dias após o corte (DAC).	21
Tabela 4- Variáveis para manejo da irrigação	39
Tabela 5- Análise de variância (ANOVA) dos regimes hídricos (RH) e variedade (V) sobre o índice de área foliar (IAF), em diferentes dias após o corte (DAC) para 2ª e 3ª socas de cana de outono.	63
Tabela 6- Análise de variância (ANOVA) dos regimes hídricos (RH) e variedade (V) sobre o índice de área foliar (IAF), em diferentes dias após o corte (DAC) para 2ª e 3ª socas de cana de inverno.	64
Tabela 7- Análise de variância (ANOVA) dos regimes hídricos (RH) e variedade (V) sobre o índice de área foliar (IAF), em diferentes dias após o corte (DAC) para 2ª e 3ª socas de cana de primavera.	65
Tabela 8 - Valores médios do índice de área foliar para a cana de outono, em duas socas (2ª e 3ª) avaliados em diferentes dias após o corte (DAC) sob três tratamentos, 0, 50 e 100% da ITN.	101
Tabela 9- Valores médios do índice de área foliar para a cana de inverno, em duas socas (2ª e 3ª) avaliados em diferentes dias após o corte (DAC) sob três tratamentos, 0, 50 e 100% da ITN.	101
Tabela 10- Valores médios do índice de área foliar para a cana de primavera, em duas socas (2ª e 3ª) avaliados em diferentes dias após o corte (DAC) sob três tratamentos, 0, 50 e 100% da ITN.	101
Tabela 11- Valores médios do índice de área foliar para cana de outono, em duas socas (2ª e 3ª), avaliados em diferentes dias após o corte (DAC) em função das variedades CTC 9, RB96 6928 e CTC 18.	102
Tabela 12- Valores médios do índice de área foliar para cana de inverno, em duas socas (2ª e 3ª), avaliados em diferentes dias após o corte (DAC) em função das variedades IACSP91 1099 e RB 86 7515.	102
Tabela 13- Valores médios do índice de área foliar para cana de primavera, em duas socas (2ª e 3ª), avaliados em diferentes dias após o corte (DAC) em função das variedades IAC 91 1099 e RB 86 7515.	102
Tabela 14- Valores médios de IAF para interação das variedades de outono, CTC-9 x RB 96 6928 e CTC-18 x RB 96 6928, dispostas em diferentes dias após o corte (DAC) para duas socas (2ª e 3ª) sendo avaliadas em três regimes hídricos correspondentes a 0, 50, 100% da ITN.	103

Tabela 15- Valores médios de IAF para interação das variedades de inverno, IACSP91 1099 x RB86 7515, dispostas em diferentes dias após o corte (DAC) para duas socas (2ª e 3ª) sendo avaliadas em três regimes hídricos correspondentes a 0, 50,100% da ITN..... 104

Tabela 16- Valores médios de IAF para interação das variedades de primavera, CTC15 x RB92 579, dispostas em diferentes dias após o corte (DAC) para duas socas (2ª e 3ª) sendo avaliadas em três regimes hídricos correspondentes a 0, 50,100% da ITN. 105

RESUMO

SANTOS, Jeffeson de Mesquita, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2018. **Índice de área foliar de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos no Cerrado**. Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Coorientador: Vinicius Bof Bufon.

Dentre as biomassas utilizadas no mundo para produção de energia renovável, a cana-de-açúcar apresenta o maior potencial. O Brasil é o maior produtor e sua produção tem expandido majoritariamente sobre o Cerrado. O clima e a distribuição de chuva no Cerrado é distinta das regiões onde tradicionalmente se produzia cana no Sudeste. No Cerrado, a chuva concentra-se em 6-7 meses, restando 5-6 meses de estiagem. Compreender o desenvolvimento da cana em diferentes regimes hídricos no Cerrado é fundamental para intervenções e ganho de eficiência produtiva. O desenvolvimento da cana no Cerrado, em sequeiro ou irrigado, pode apresentar padrão distinto de outras regiões do Brasil e do mundo. Um dos principais parâmetros de crescimento da cana é o índice de área foliar (IAF). Este trabalho objetivou caracterizar o IAF de variedades de cana submetidas a diferentes regimes hídricos no Cerrado. Foram conduzidos três experimentos na Usina Jalles Machado, em Goianésia-GO, avaliando-se variedades de colheita de outono, inverno e primavera. Como tratamento, os 3 experimentos receberam regimes hídricos correspondentes a suplementação de 0, 50 e 100% da ITN. Mensurou-se valores de IAF ao longo de 3 safras. Evidenciou-se maiores valores de IAF em regime irrigado, sobretudo na fase de brotação e perfilhamento das variedades de outono e inverno, e na fase de pleno desenvolvimento nas variedades de ciclo de primavera. Notadamente, o IAF foi afetado pelo acamamento, mais acelerado em regime irrigado e em variedades mais suscetíveis ao tombamento. Os valores de IAF no Cerrado não se diferenciaram dos valores encontrados na literatura para o restante do país e do mundo. O ganho acelerado de IAF no início do ciclo acabou sendo limitado no Cerrado pelo acamamento precoce da cana. O não atingimento de valores máximos de IAF, contudo, não implicou em limitação dos valores incomuns de produtividade, que superaram as 200 ton/ha em diversos tratamentos. O desenvolvimento de variedades com menor suscetibilidade ao acamamento será fundamental para atingir-se maiores valores de IAF e produtividade no Cerrado.

ABSTRACT

SANTOS, Jeffeson de Mesquita, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2018. **Leaf area index of sugarcane submitted to different water regimes in the Cerrados**. Advisor: Everardo Chartuni Mantovani. Co-Advisor: Vinicius Bof Bufon.

Among different biomass crops, sugarcane presents the highest potential do renewable energy production. Brazil is the largest sugarcane producer and its production area is largely expanding towards the Cerrados byome. The Cerrado's weather and rainfall distribution is particularly different from traditional production areas of Brazil, with rainfall concentrated in 6-7 months with a long 5-6 months dry season following. To understand sugarcane development under diferente water regimes in the Cerrados is crucial crop management interventions and growth in production efficiency. Sugarcane development in the Cerrados, under irrigation or dryland, may present a distinct pattern compared to traditional production areas of Brazil. The leaf area index (LAI) is one of the most important crop development parameters. Therefore, this thesis aimed to characterize the LAI for several sugarcane varieties subjected to different water regimes in the Cerrados. Three field trials were conducted at Jalles Machado Mill, Goanesia-GO, evaluating fall, winter and spring harvest sugarane varieties. Water regimes in all three trials represented the supply of 0, 50 and 100% of total irrigation demand. LAI measurements were carried out along 3 cropping seasons. Higher LAI values were observed on irrigated treatmetns, specially during sprouting and tillering phase for fall and winter varieties, and for grand growth phase for spring varieties. Notably, LAI was strongly affected by lodging, specially for irrigated treatments and more lodging susceptible varieties. The Cerrados LAI values were not different from those cited by literature. Fast LAI gain early season in the Cerrados ended up limited by antecipated lodging. However, antecipated lodging did not limited maximum yields, above 200 ton.ha⁻¹ in several treatments. Breeding of lodging resistant varieties is key to the achievement of higher sugarcane LAI and even higher yield in the Cerrados, taking advantage of abundant radiation to increase water use efficiency.

1- INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a cana-de-açúcar tem sido vista como umas das fontes de energia renováveis mais sustentáveis, com capacidade de ocupar uma fração ainda mais importante da matriz energética no Brasil e no mundo. O Brasil é um dos maiores produtores mundiais da cultura que, além de matéria prima para produção de açúcar e do combustível renovável etanol, permite cogeração de energia elétrica através da queima do bagaço e da palha e, ainda, de plásticos e outros biocompostos. A área plantada no Brasil é estimada em 9,1 Mha, com produtividade média de 80 ton.ha⁻¹. O setor sucroenergético representa ainda grande importância social, pois gera milhares de empregos e desenvolvimento em grande porção do Brasil (EPE, 2016).

Modelos de previsão e monitoramento da produção da cana-de-açúcar são fundamentais para o entendimento do desenvolvimento da cultura em diferentes condições edafoclimáticas, mas também para o planejamento e análises estratégicas de produção e de mercado. Estas previsões são importantes para o governo, que as utiliza para posicionar suas políticas. É também importante para as usinas sucroenergéticas para que alinhem suas operações e suas estratégias de produção perante o mercado. Importa ainda aos bancos para análise e liberação de créditos. Ainda, é importante para as analistas de mercado e corretoras para estipular suas operações no mercado de açúcar e etanol (CONAB, 2016).

A estimativa de produtividade também é ferramenta importante para avaliar o potencial e o risco da produção de cana-de-açúcar em uma região, além de ser informação fundamental no zoneamento agrícola e agroecológico, e ainda ser ferramenta fundamental para decisão de investimentos em expansão da cultura em regiões tradicionalmente não ocupadas pela cultura (PICOLE et al., 2009).

Ferramentas de modelagem do crescimento, desenvolvimento e produtividade são utilizadas para estes objetivos. Para diversas culturas e também para a cana-de-açúcar, a produção de cana é diretamente proporcional a sua produção total de biomassa (SCARPARE, 2011). Como a produção de biomassa total é proporcional a área foliar da cultura (OLIVEIRA et al., 2007), comumente expressa em função do índice de área foliar (IAF), esta torna-se uma das principais variáveis para modelagem.

Valores precisos de IAF são importantes não só para parametrizar os modelos, mas também para calibrá-los. Estes valores de IAF variam em função da oferta edafoclimática da região onde a cana-de-açúcar é plantada, sobretudo no que tange a demanda e oferta hídricas. Valores de IAF também variam em função da variedade utilizada e em função da qualidade das práticas agrícolas adotadas, que resultam em diferentes eficiências de conversão do potencial edafoclimático e genético em produtividade de fato (BARROS, 2011).

A região do Cerrado tem se caracterizado como a nova fronteira de expansão da cana-de-açúcar, sobretudo nas últimas décadas. Dentre algumas características da região há o predomínio de solos ácidos (SOUSA E LOBATO, 2004) e, principalmente, uma distribuição anual da precipitação marcada por dois períodos muito distintos - período de chuvas intensas entre novembro e março, e período de seca intensa entre abril e outubro (SILVA et al., 2008). Conseqüentemente, a região apresenta déficit hídrico mais acentuado do que as regiões tradicionais de produção de cana de São Paulo (BUFON et al., 2016).

Espera-se que um ambiente de produção mais restritivo do ponto de vista da oferta hídrica possa resultar em menores valores IAF, biomassa e produtividade. Por outro lado, considerando-se que as condições climáticas (temperatura e radiação) pode ser mais favorável que nas regiões tradicionais, uma vez suprida a demanda hídrica através da irrigação, parcial ou plenamente, espera-se que valores superiores de IAF possam ser obtidos.

O entendimento da magnitude de valores possíveis de IAF para diferentes variedades de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos no Cerrado é fundamental para calibração e validação de modelos de estimativa do crescimento, desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar no Cerrado.

Por esta razão, este trabalho visa caracterizar o IAF de variedades de cana-de-açúcar quando submetida a diferentes regimes hídricos no Cerrado.

2- OBJETIVOS

2.1- Geral

Caracterizar experimentalmente valores de índice de área foliar para variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes regimes hídricos no bioma Cerrado.

2.2- Específicos

2.2.1) Avaliação do método SunScan de estimativa do IAF.

2.2.2) Avaliação de IAF em cana-de-açúcar em sistema de produção de sequeiro e irrigado.

2.2.3) Avaliação dos efeitos regime hídrico e variedade na evolução do IAF da cana-de-açúcar ao longo do ciclo.

3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1- Importâncias da cana-de-açúcar para o país

Nas últimas décadas do século XXI a produção de cana-de-açúcar tem sido vista como uma das fontes de energia renováveis de grande importância mundial, devido à crescente preocupação com os impactos negativos ambientais da produção de combustíveis fósseis, e com a redução das reservas mundiais. Diante disso, o crescimento na produção de biocombustíveis no Brasil é notável (OLIVEIRA, 2010).

A cana-de-açúcar é fundamental para o desenvolvimento sustentável do país e do mundo pois, além de matéria prima para produção de açúcar (alimento) de biocombustíveis (álcool hidratado e anidro), seu bagaço, resíduo da moagem da cana-de-açúcar e sua palha, folhas secas, são utilizados para produção de energia elétrica renovável. Além destes usos de ser a cana-de-açúcar ainda é matéria prima para produção de bioplásticos e biocompostos produzidos a partir da sacarose.

Usinas que optam por investir em cogeração de energia elétrica a partir do bagaço da cana tornam-se autossuficientes em eletricidade e ainda exportam o excedente da produção para o sistema elétrico nacional (CAMPANHÃO, 2013).

A cultura de cana-de-açúcar é uma das mais importantes atividades econômicas na história do Brasil. No início do século XX ganhou ainda mais força quando então foi criado o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), em 1933, com perspectiva de crescimento da produção de açúcar e etanol. Mas foi a partir da criação do Programa Nacional do Alcool (Proálcool), realizado pelo Governo Federal em 1975, que o Brasil se tornou pioneiro na produção de biocombustíveis, com produção em larga escala de etanol a partir da cana-de-açúcar (RODRIGUES, 2010).

Com o passar dos anos, após a criação do Proálcool, ocorreram várias oscilações no mercado do álcool combustível. A partir de 2003, o setor sucroalcooleiro brasileiro apresentou crescimento vigoroso com o lançamento da frota de veículos *flex-fuel*, que impulsionou o etanol combustível dentro de um cenário com preço elevado do petróleo e países tendo que diminuir a poluição atmosférica com uso de fontes renováveis de combustíveis, menos agressivas ao meio ambiente. A produção intensa e uma rede de distribuição bem estabelecida ao redor do Brasil impulsionou a adoção dos veículos flex-fuel, por oferecer ao

proprietário do veículo a flexibilidade de utilizar etanol, gasolina ou a mistura de ambos (ALVES, 2009).

A cana-de-açúcar atualmente pode ser considerada uma das melhores fontes de energia renováveis no Brasil e no mundo, o que atribui à cultura grande importância no mercado de biocombustíveis e de açúcar, além do diferencial da geração de energia elétrica (UNICA, 2010).

No panorama internacional do setor sucroenergético, o Brasil é o maior produtor da cultura, seguido pela Índia e China (FAO, 2016). Já no panorama nacional, para a safra 2017/2018, a área plantada brasileira é estimada em 8.738,6/Mha. Os maiores estados produtores estão listados na Tabela 1 (CONAB, 2017).

Tabela 1- Área plantada de cana de açúcar para os maiores estados produtores.

Estado	Área Plantada(mil/ha)	Área em %
São Paulo	4.553,6	52,1%
Goiás	919,3	10,5%
Minas Gerais	818,1	9,4%
Mato Grosso do Sul	665,4	7,6%
Paraná	597,3	6,8%
Alagoas	307,4	3,5%
Pernambuco	222,5	2,5%
Mato Grosso	224,8	2,6%
Outros	430,2	4,9

O setor sucroalcooleiro é também um dos que mais geram empregos no Brasil, com mais de 3,56 milhões de empregos diretos e indiretos, movimentando a economia nacional e regional, evidenciando assim sua importância socioeconômica (MARKESTRAT, 2014).

Outros impactos positivos relacionados à instalação de usinas, além da geração de novos empregos, resultam a maior demanda de serviços para o setor com marcante desenvolvimento do comércio local, investimentos em saúde, educação e habitação (BACCARIN, 2008).

3.2- Distribuição geográfica da cana-de-açúcar no país

Além da região dos tabuleiros costeiros e da zona da mata do Nordeste, a cana-de-açúcar ocupou predominantemente o estado de São Paulo, devido a políticas agrícolas de fomento, pesquisa agrícola local, condições edafoclimáticas e infraestrutura de transporte favoráveis (BAENINGER et al., 2013).

Porém, nas últimas décadas, com o crescimento do consumo e demanda de biocombustíveis e açúcar, houve forte pressão para expansão da área de produção. A busca por terras mais baratas, por estrutura fundiária menos complexa e com menor competição pelas terras e por topografia mais favorável à mecanização, impulsionou a expansão da cana-de-açúcar para o Cerrado. A maior parte da expansão está ocorrendo em áreas de Cerrado do oeste de São Paulo, triângulo e oeste de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (LANDELL et al., 2010).

Contudo, a expansão para o Cerrado também trouxe mais desafios, haja visto os ambientes de produção (fertilidade de solo e clima) menos favoráveis. Nessas regiões, o estresse hídrico afeta o crescimento da planta, mesmo a cana sendo uma cultura com resistência moderada ao déficit hídrico (MASS E HOFFMAN, 1977). Demonstra-se na Figura 1 a distribuição geográfica de cana-de-açúcar nos principais estados brasileiros com predominância de expansão no Cerrado.

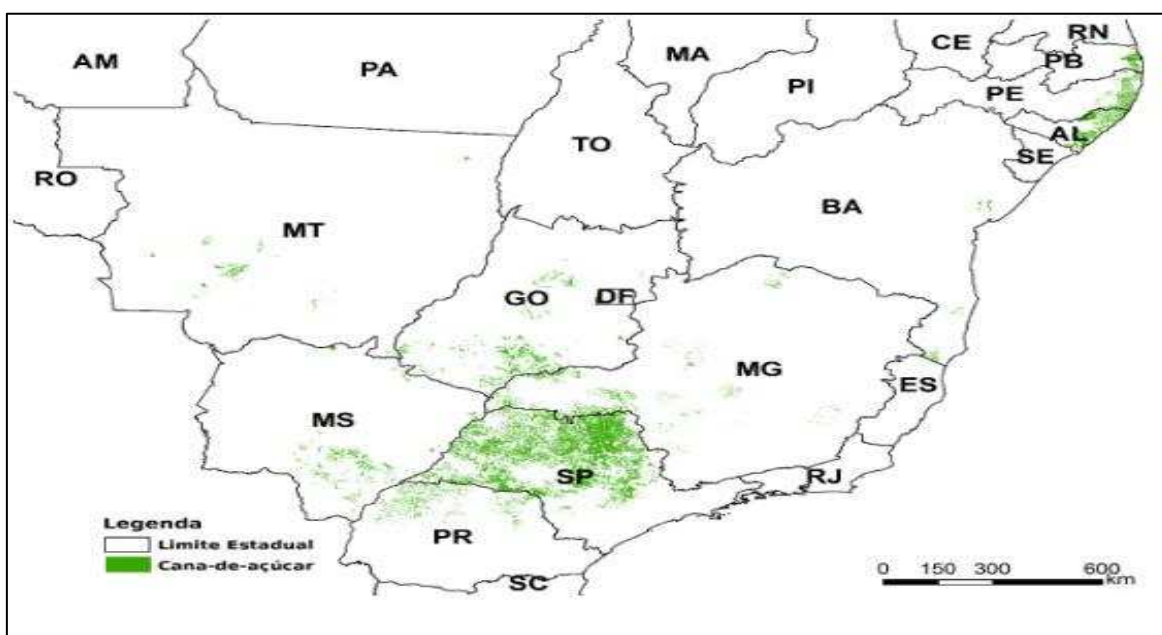


Figura 1- Mapeamento da cultura de cana-de-açúcar nos estados brasileiros e seus limites estaduais. Fonte: Adaptado da CONAB (2017).

3.3- O Cerrado

O Cerrado é o segundo maior bioma do país em área, aproximadamente de 2.036.448 km², abrangendo aproximadamente 25% do território brasileiro. É parte das savanas da América tropical e apresenta características semelhantes às savanas da África e Austrália. Ocupa principalmente a parte central do país, situado entre 5° e 20° de latitude sul e entre 45° e 60° de longitude Oeste (SANO et al., 2008).

Neste bioma predominam solos antigos, bem intemperizados, profundos, homogêneos, e com boa estrutura física, mas, no entanto, pobres quimicamente (GOEDERT, 1980; KLUTHCOUSKI et al., 2003). As ordens mais predominantes são os Latossolos e Neosolos Quartzarênicos (GOMES, 2004)

O clima do Cerrado está ligado a grandes sistemas atmosféricos que afetam toda América do Sul. Predominam duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca. A estação chuvosa, inicia-se normalmente em outubro e se estende até março. Os maiores volumes de precipitação ocorrem, normalmente, entre dezembro a janeiro. A estação seca ocorre normalmente de abril até setembro e é marcada por pouca ou nenhuma chuva, principalmente nos meses de julho e agosto, conferindo intensa deficiência hídrica (SANO et al., 2008).

Apesar dos grandes desafios de se fazer agricultura em ambiente de baixa fertilidade e elevada deficiência hídrica, o domínio de técnicas e estratégias de produção nesta região foi fundamental para posicionar o Brasil entre os principais produtores de alimento do planeta. O Cerrado tem grande importância para o agronegócio brasileiro e é considerado uma grande fronteira agrícola para cultivos das principais culturas. No entanto, pelo histórico de apenas algumas décadas de agricultura sobre suas terras e por ser um bioma com grande diversidade, ainda há muito por se conhecer sobre suas características e peculiaridades. Desta forma, a ampliação do conhecimento sobre os recursos naturais e sobre a agricultura no Cerrado é fundamental para continuar garantindo produção segura e sustentável de alimentos, maximizando a sustentabilidade ambiental, social e o desenvolvimento econômico (SANO et al., 2008).

3.4- Expansão do sistema de produção irrigado no Cerrado

Em razão do déficit hídrico mais acentuado do Cerrado, a prática da produção irrigada de cana-de-açúcar começou a se expandir no Cerrado (BUFON et al., 2016).

De acordo com dados da Agência Nacional de Águas o Brasil expande sua área irrigada em torno de uma taxa média de 4% ao ano desde 1960. A estimativa de área equipada para a irrigação em 2015 foi de 6,95 Mha, sendo um dos fatores que mais contribuíram para o aumento da área irrigada, foi a expansão da agricultura para áreas com períodos prolongados de déficit hídrico como é o caso do Cerrado (ANA, 2017).

Sistemas de produção irrigados, normalmente, apresentam grande potencial de aumento da eficiência de uso da água, verticalizando a produção e reduzindo a pressão por expansão da produção em novas áreas (PEREIRA et al., 2015). Contudo, para ser sustentável, o uso de sistema de produção irrigado deve estar atrelado à oferta hídrica compatível com sua demanda (BUFON et al., 2016). Além disso, deve-se conhecer profundamente o padrão de respostas da cultura quando submetidas a regimes hídricos mais intensos para que se defina estratégias racionais e mais eficientes do ponto de vista da produtividade da água. (SILVA et al., 2014).

A magnitude da resposta de produtividade da cultura à adição suplementar de água, também conhecida como responsividade, depende substancialmente do potencial climático (SILVA, 2002; SCARDURA e ROSENFELD, 1987). Também depende intensamente de características genéticas da variedade expressa nos diversos mecanismos fisiológicos relacionados à interação água-planta. O domínio destes aspectos é fundamental para que o fornecimento de água seja compatível com a demanda de cada fase de desenvolvimento da cultura (STONE, 1999),

O incremento de oferta hídrica à cana-de-açúcar afeta sua morfologia e a produção e partição da biomassa. Entender estes processos é fundamental para o entendimento da sua capacidade produtiva em relação às condições ambientais (TEJERA et al., 2007).

O emprego do sistema de produção irrigada em qualquer cultura, incluindo a cana-de-açúcar, visa também reduzir os riscos relativos a variações climáticas, cada mais intensas e frequentes. Estas adversidades climáticas afetam,

invariavelmente, a produtividade da cana-de-açúcar (MASCHIO, 2011), principalmente em regiões como o Cerrado, onde o volume e distribuição da precipitação raramente atendem à demanda hídrica potencial da cultura, o que se traduz em restrição de seu potencial produtivo. É neste contexto que surge a importância da irrigação, que quando realizada racionalmente, pode resultar em respostas significativas ao aumento sustentável da produtividade (ARANTES, 2012).

De acordo com Inman-bamber e Smith (2005), o uso eficiente da água no manejo da irrigação de cana-de-açúcar deve considerar o conhecimento das relações físico-hídricas no sistema solo-água-planta-atmosfera. Adicionalmente, Dantas et al. (2006) afirma que a adoção da prática de irrigação na produção de cana-de-açúcar e a decisão da quantidade e do momento adequado de se irrigar devem levar em consideração alguns fatores como a evapotranspiração, o tipo de solo, além de outras questões operacionais e econômicas.

Bufon et al. (2016) aponta que, para dar uso eficiente e sustentável para o abundante recurso hídrico disponível no Cerrado, deve-se investir no desenvolvimento de um sistema de produção irrigado robusto para cana-de-açúcar, com conhecimento pleno do padrão de resposta da cultura à diferentes níveis de suplementação hídrica, suas interações com diferentes variedades, solos e estratégias de irrigação, nutrição, tratos e práticas culturais. Para isso, um dos principais parâmetros, tanto para compreensão como para modelagem do crescimento, desenvolvimento e produção da cana é o índice de área foliar. (SANTOS et al., 2017).

3.5- Estádios fenológicos

Tanto para fins de manejo da demanda hídrica e irrigação quanto para a modelagem do crescimento e desenvolvimento das culturas, a divisão do ciclo de produção da cultura em estádios fenológicos. Os estádios fenológicos são definidos por mudanças importantes nas características de crescimento e desenvolvimento da cultura. Na cana-de-açúcar estes estádios são definidos, com alguma variação, da forma descrita abaixo e representada na Figura 2.

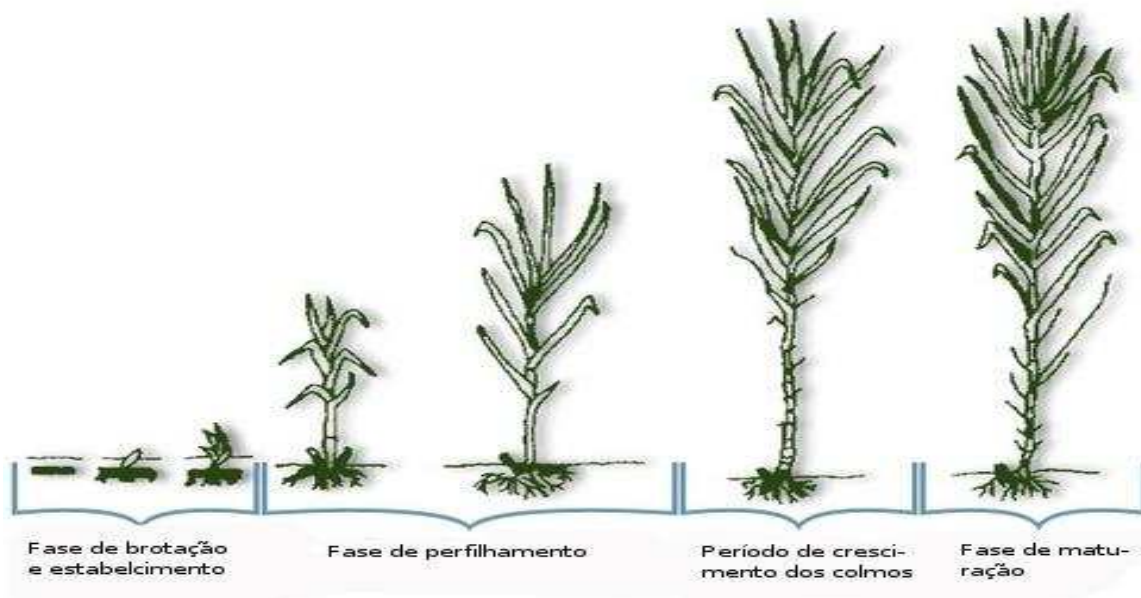


Figura 2- Fases do desenvolvimento da cana. Fonte: GASCHO E SHIH (1983).

3.5.1- Brotação e emergência

O processo de germinação (cana-planta) e brotação (cana-soca) é advindo do consumo de energia para emergência de novas plantas. No caso de cana-planta, esta energia vem dos toletes de plantio. No caso de cana-soca, esta reserva de energia vem da região rizomatosa e das raízes remanescentes do ciclo anterior. No caso de cana-planta, a germinação ocorre entre 20 e 30 dias após o plantio, simultaneamente, as raízes vão sendo lançadas a partir do tolete (GASCHO E SHIH, 1983).

3.5.2- Perfilhamento

O perfilhamento é um processo de emissão de colmos de uma mesma planta, estes denominados perfilhos. Esse processo ocorre cerca de 30 dias depois da emergência do colmo primário durando em média até 120 dias. Por meio do processo de perfilhamento ocorre a definição das touceiras e consequentemente, dos colmos que serão colhidos (GASCHO E SHIH, 1983).

3.5.3- Crescimento de colmos

Após o perfilhamento se inicia a fase de crescimento do colmo em altura e diâmetro. Inicia-se também nesta fase o acúmulo de açúcar na parte basal do colmo, e o aumento da massa de raízes. Também comum a este estágio fenológico, a depender no nível de estresse hídrico, o amarelecimento das folhas mais velhas até sua senescência. Esse processo é favorecido pela luminosidade, umidade e calor. Esta etapa pode durar em torno de 180 a 210 dias (GASCHO E SHIH, 1983).

3.5.4- Maturação

Essa fase tem início entorno de 270 dias após o plantio (ou último corte) e dura em média 3 meses. Vale lembrar que esse processo depende de cada variedade e também de aspectos ambientais, como temperatura e oferta hídrica. Nesta fase, os colmos reduzem ou paralisam seu crescimento e intensificam o acúmulo de açúcar a partir da base para o ápice do colmo. As folhas senescem no mesmo sentido. O clima é o fator principal para esse acúmulo de açúcar, pois o maior acúmulo ocorre quando há restrição de oferta hídrica (GASCHO E SHIH, 1983).

3.6- Índice de área foliar

De acordo com Watson (1947) o IAF é definido como a área foliar integrada do dossel da cultura por unidade de superfície projetado no solo ($m^2.m^{-2}$). Portanto, quanto maior a área de folhas da cultura por unidade de área ocupada por esta mesma planta, maior o valor do IAF.

Temperatura, radiação, umidade relativa e disponibilidade hídrica são os principais fatores climáticos que controlam o crescimento da biomassa e, logo, da área foliar e do IAF da cana-de-açúcar, que por ser uma planta de clima tropical, se desenvolve melhor em áreas quentes e ensolaradas (GOUVÊA, 2008).

Por representar a área foliar e o potencial de interceptação da radiação por unidade de área, o IAF é um dos principais parâmetros utilizados na modelagem agrônômica para definir a momento do ciclo e a intensidade do desenvolvimento vegetativo da cultura (O' LEARY, 2000). Como resultado do crescimento e

desenvolvimento distintos em cada fase fenológica, o IAF também apresentará valores distintos ao longo do ciclo da cultura (LEME et al., 1984). O IAF no estágio inicial da cultura é pequeno e apresenta crescimento lento. Após esta fase inicia-se momento de máximo desenvolvimento, atingindo rapidamente de pico, permanecendo constante por um tempo até diminuir, seja pelo final do ciclo da cultura, ou por condições climáticas adversas, (MACHADO et al. 1982, IRVINE, 1983; SILVEIRA, 1985).

Na modelagem, a principal associação do valor de IAF é com a eficiência, ou capacidade, do uso da radiação disponível na área que ela ocupa. Por isso, representa relação direta com a produção de biomassa e produtividade (GONZÁLEZ-SANPEDRO et al., 2008). No entanto, Leme et al. (1984) argumenta que maiores valores de IAF não necessariamente se relacionam a maiores produtividades. Segundo Machado et al. (1982) o IAF ideal da cana-de-açúcar estaria em torno de $4,0 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, o que seria suficiente para interceptar 95% da radiação fotossinteticamente ativa.

3.7- Influência do regime hídrico no IAF

De forma geral, quanto maior a satisfação da demanda hídrica da cultura maior a probabilidade de determinada cultura expressar seu potencial genético em crescimento vegetativo. Por isso, espera-se que o incremento do regime hídrico tenha como consequência também o aumento do IAF. Contudo, importa saber quantitativamente, ou seja, a magnitude destes incrementos de IAF como efeito do incremento do regime hídrico para cana-de-açúcar no ambiente de produção do Cerrado. Conhecer estas magnitudes de resposta viabilizará o uso destas informações na calibração de modelos de crescimento e desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar no Cerrado.

Robertson et al. (1996) trabalhando no cultivo de cana-de-açúcar em ciclos de cana-planta e soca na Austrália, observaram valores máximos de $8,5 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ aos 200 DAP para cana planta, em contrapartida para cana-soca o máximo valor observado foi de $7,0 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ aos 150 DAC.

Suguitani (2006), ao analisar a evolução do IAF para os regimes de sequeiro e irrigado na região de Piracicaba-SP, verificou que os valores em ambos os

tratamentos aos 200 dias após o plantio (DAP) foram semelhantes, sendo aproximadamente $5,0 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ para o irrigado e $4,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ para o sequeiro.

Ao relacionar o IAF com diferentes regimes hídricos no município Capim-PB Farias et al. (2007) submeteu a cana-de-açúcar para o ciclo de cana-soca a diferentes regimes hídricos, correspondentes a reposições de 0, 25, 50, 75 e 100 % da irrigação total necessária (ITN). Como resultado, encontrou valores máximos de IAF da ordem de $4,0 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 180 dias após o corte (DAC) no tratamento com reposição de 100 % da ITN. Neste mesmo tratamento o IAF reduziu para $2,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 360 DAC, ou seja, no final do ciclo de cultivo. Não houve diferença estatística para valores de IAF entre os tratamentos 25, 50 e 75% da ITN, que obtiveram valores máximos médios de $2,8 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 150 DAC. Para o regime de sequeiro foi obtido o valor máximo de $1,7 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 150 DAC. Os menores valores obtidos tanto para o sequeiro quanto para os tratamentos abaixo do 100% da ITN podem estarem associados a questões de manejo como adubação, já que as condições climáticas foram normais nesse ano de cultivo.

Nas condições climáticas de Rio Largo-AL, Almeida et al. (2008) verificaram que o IAF máximo da cana-de-açúcar cultivada no ciclo de cana-soca sob irrigação foi de $6,0 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 210 DAC.

Farias et al. (2008), em Capim-PB, avaliou a evolução do IAF na cana-de-açúcar para o ciclo de cana-planta submetida a regimes de sequeiro e irrigado. O valor máximo de IAF $6,82 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ no tratamento irrigado foi observado aos 151 DAP e o valor máximo no sequeiro ($6,00 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$) foi determinado aos 146 DAP.

Também sobre condições climáticas de Rio Largo- AL, Silva et al. (2009) avaliando a variação do IAF ao longo do ciclo de cana-soca irrigada verificaram o IAF máximo de $4,7 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 270 DAC.

Scarpate (2011), trabalhou com simulação do crescimento da cana-de-açúcar em Jaboticabal-SP, considerando regime de sequeiro para cana-planta e cana-soca. Verificou-se neste trabalho que o valor máximo de IAF de $5,0 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 250 DAP na cana-planta e $4,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 200 DAC na cana-soca. De acordo com o autor, os valores simulados foram próximos aos valores medidos a campo.

Abreu (2012) ao trabalhar na região de Rio Largo-AL analisando a evolução do IAF no ciclo de cana-soca sob sistema de sequeiro, verificaram que o pico do IAF ocorreu aos 180 DAC com valor na ordem de $5,0 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$.

Ao analisar a variação do IAF de cana-de-açúcar sob cultivo de cana-soca e submetida aos regimes de sequeiro e irrigado na região de Jaú-SP, Arantes (2012) verificou valores de IAF máximo para os tratamentos de sequeiro ($4,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$) e irrigado ($5,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$) foram atingidos aos 240 DAC.

Em trabalho conduzido em Penápolis-SP, Costa (2012) também submeteu a cana a diferentes regimes hídricos, correspondentes reposição de 0, 25, 50, 75, 100, 125, 150% da ITN. Foi observado próximo de 240 DAP um IAF máximo de $9,6 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ para os tratamentos 50, 75 e 100% da ITN. No mesmo período, o tratamento sem reposição de irrigação alcançou valor máximo de $7,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$.

Ao estudar a variação do IAF em cana-de-açúcar sob cultivo de cana-soca no regime hídrico irrigado no município de Juazeiro-BA, Silva et al. (2012) verificou valores máximo de $5,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 332 DAC, após esse período ocorre uma redução até $4,33 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$.

Iaia (2014) estudou respostas do IAF em cana-de-açúcar em ciclos de cana-planta e cana-soca, sob sistema de sequeiro e irrigado em São José do Rio Largo-MT - região de Cerrado. O trabalho apontou valores de IAF máximo para cana-planta, no tratamento irrigado ($5,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$) aos 290 DAP. Para o sequeiro, encontrou valor máximo de $4,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 240 DAP. Para a cana-soca, o valor máximo observado foi de $5,0 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 240 DAC, enquanto o sequeiro apresentou valor máximo de $3,7 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ para o mesmo período.

Muchow et al. (1994), ao analisar o IAF em cana-de-açúcar irrigada na Austrália, observou um valor de $2,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 167 DAP e valor máximo de $6,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 297 DAP. Próximo ao fim do ciclo, observou redução do IAF para $5,0 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 450 DAP e indicou que esta redução estava associada a processo natural de senescência das folhas na fase de maturação, após os fotossíntidos das folhas serem deslocados para produção de açúcar no colmo.

Gilbert et al. (2007) simulando um ambiente inundado e drenado na Flórida, obteve um IAF de $4,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 175 DAP (2300 GDA) para o ambiente inundado. No mesmo período, observou valor semelhante de IAF no tratamento drenado. Já aos 200 DAP (2750 GDA) o valor de IAF observado no tratamento drenado ($5,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$) foi superior e estatisticamente diferente ao observado no tratamento inundado ($4,3 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$).

De Silva e De Costa (2012), avaliaram valores de IAF de diferentes variedades de cana-de-açúcar sob regime de sequeiro e irrigado no Sri Lanka.

Observaram para o regime irrigado valores de $3,0 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 150 DPA (1830 GDA), e ainda valor máximo de $8,0 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 250 DAP (4477 GDA), e, no fim do ciclo, uma redução do IAF para $4,0 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 7112 GDA. Para o regime sequeiro, observaram o maior IAF de $7,0 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 300 DAP (5312 GDA), e uma redução de até $2,0 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 500 DPA (8957 GDA).

Como pode-se notar nas citações acima e na síntese de valores de IAF apresentada na Tabela 2 e Figura 3, de fato, os valores de IAF são afetados substancialmente pelo regime hídrico e, a magnitude de resposta também depende do ambiente onde a cana-de-açúcar está sendo cultivada. Desta sorte, reforça-se a importância de compreender a magnitude destas respostas no Cerrado, de forma que os modelos de crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura apresentem acurácia e precisão satisfatórias para simulações no ambiente de Cerrado.

Tabela 2- Resumo dos valores máximos de IAF de cana-de-açúcar encontrados na literatura para diferentes localidades, regimes hidricos e ciclos, em função dos dias após o plantio (DAP) e, ou dias após o corte (DAC).

Autor	Localidade	Regime hídrico	IAF Máximo (m ² .m ⁻²)	Ciclo
SUGUITANI (2006) ^a	Piracicaba-SP	Irrigado	5,0 (200 DAP)	Cana-planta
		Sequeiro	4,5 (200 DAP)	
FARIAS et al. (2007) ^b	Capim-PB	Irrigado	4,0 (180 DAC)	Cana-soca
		Sequeiro	1,7 (150 DAC)	
ALMEIDA et al. (2008) ^c	Rio Largo-AL	Irrigado	6,0 (210 DAC)	Cana-soca
FARIAS et al. (2008) ^d	Capim-PB	Irrigado	6,8 (151 DAP)	Cana-planta
		Sequeiro	6,0 (146 DAP)	
SILVA et al. (2009) ^e	Rio Largo-AL	Irrigado	4,7 (270 DAC)	Cana-soca
SCARPARE (2011) ^f	Jaboticabal-SP	Sequeiro	5,0 (250 DAP)	Cana-planta
			4,5 (200 DAC)	Cana-soca
ABREU (2012) ^g	Rio Largo-AL	Sequeiro	5,0 (180 DAC)	Cana-soca
ARANTES (2012) ^h	Jaú-SP	Irrigado	5,5 (240 DAP)	Cana-planta
		Sequeiro	4,5 (240 DAP)	
COSTA (2012) ⁱ	Penapólis-SP	Irrigado	9,6 (240 DAP)	Cana-planta
		Sequeiro	7,5 (240 DAP)	
SILVA et al. (2012) ^j	Juazeiro- BA	Irrigado	5,5 (332 DAC)	Cana-soca
IAIA (2014) ^k	São José do Rio Largo-MT	Irrigado	5,5 (290 DAP)	Cana-planta
		Sequeiro	4,5 (240 DAP)	
		Irrigado	5,0 (240 DAC)	Cana-soca
		Sequeiro	3,7 (240 DAC)	
MUCHOW et al. (1994) ^l	Austrália	Irrigado	6,5 (297 DAP)	Cana-planta
ROBERTSON et al. (1996) ^m	Austrália	Irrigado	8,5 (200 DAP)	Cana-planta
			7,0 (150 DAC)	Cana-soca
GILBERT et al. (2007) ⁿ	Flórida-EUA	Inundado	4,5 (155 DPA)	Cana-planta
		Drenado	5,5 (200 DPA)	
DE SILVA E DE COSTA (2012) ^o	Sri Lanka	Irrigado	8,0 (250 DAP)	Cana-planta
		Sequeiro	7,0 (300 DAP)	

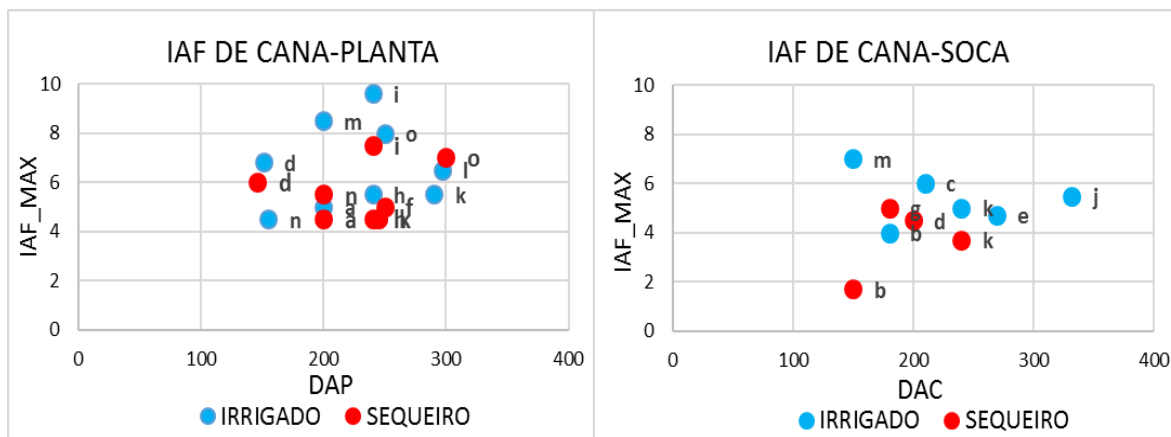


Figura 3- Variação do IAF máximo de acordo com a tabela 2 para o ciclo de cana-planta e cana-soca em função dos dias após o plantio (DAP) e dia após o corte (DAC). Letras correspondem a citação na tabela 2.

3.8- Influência da variedade no IAF

Além da influência do regime hídrico, diferentes variedades também podem, potencialmente, interferir nos valores de IAF da cana-de-açúcar. Estas diferenças podem acontecer em função do diferente vigor genético e potencial de crescimento entre variedades, mas também em função de diferente arquitetura da planta e, conseqüentemente, diferente capacidade de interceptação e aproveitamento da radiação (FILHO, 2014).

Compreender as possíveis diferenças de magnitude de valores de IAF em função da variedade de cana-de-açúcar também é muito importante para modelagem. Por um lado, pode-se utilizar padrões de configuração para modelagem do desempenho de uma variedade específica. De outra forma, pode-se também utilizar o entendimento da amplitude de valores possíveis de IAF entre diferentes variedades para realizar uma modelagem que represente o desempenho de um conjunto de variedades, ou da cana-de-açúcar de uma forma geral no Cerrado.

Machado et al. (1982) ao avaliarem a evolução do IAF para as variedades NA5679 e CB4114 na região de Piracicaba-SP, verificaram valores máximos aos 300 DAP na ordem de 4,0 e 3,7 $m^2 \cdot m^{-2}$ para as respectivas variedades.

Suguitani (2006), ao analisar a evolução do IAF para as variedades R 570, NCo376, RB72 454 e SP83 2847, também na região de Piracicaba- SP, verificou que o pico do IAF ocorreu em torno dos 250 DAP para as variedades R 570,

NCo376, SP83 2847 e 180 para RB72 454. Em ambas as variedades o máximo valor foi de 5,5 m².m⁻².

Oliveira et al. (2007), relataram valores de IAF observados para diferentes variedades (RB72 454, RB85 5113 e RB85 5536) em Paranavaí-PR. O IAF máximo ocorreu entre os meses de dezembro a abril, aos 323 a 377 DAP, com valores próximos a 4,5 m².m⁻² para as variedades RB85 5113 e RB72 454, e 4,0 m².m⁻² para a variedade RB85 5536. Após esta fase ocorreu redução do IAF em razão da fase de maturação e senescência das folhas, atingindo valores próximos a 3,5 m².m⁻² para todas as variedades estudadas.

Scarpate (2007), ao trabalhar com as variedades SP80 3280 e RB85 5156 na região de Piracicaba- SP, verificou que o valor máximo foi de 6,41 m².m⁻² aos 200 DAP aproximadamente para a variedade SP80 3280. Em contrapartida a variedade RB8 55156 obteve o máximo valor de 4,17 m².m⁻² com 250 DAP, após esse período ambas variedades tiveram um pequeno declínio do IAF em função do final do ciclo da cultura.

Nas condições climáticas de Rio Largo-AL, Almeida et al. (2008) verificaram que o IAF da cana-de-açúcar para as variedades (SP79 1011, RB92 579, RB93 509 e RB93 1530) variou no ciclo da cana-planta e soca em função dos DAP e DAC. Os máximos valores observados para cana-planta foram de 4,5, 3,5, 3,2 m².m⁻² aos 280 DAP para as respectivas variedades RB92579, SP79 1011, RB93 1530 sendo que para RB93 509 o máximo foi de 3,4 m².m⁻² aos 350 DAP. Para cana-soca o maior IAF foi de 6,0 m².m⁻² para a RB92 579 aos 210 DAC seguidos pelas variedades RB93 509, SP79 1011 e RB93 1530.

Também sobre condições climáticas de Rio Largo- AL, Silva et al. (2009) avaliando a variação do IAF nas variedades RB92 579, RB86 3129, RB93 1003, RB93 509, RB72 454, RB86 7515, RB95 1541 e RB97 1755 e RB98 710, verificou o IAF máximo de 4,71 m².m⁻² aos 270 DAC para variedade RB98 710 seguido da RB92 579 com 4,28 m².m⁻² aos 318 DAC. As demais variedades variaram os valores de 3,5 a 4,5 m².m⁻² aos 300 DAC.

Arantes (2012) ao avaliar o IAF para diferentes variedades na região de Jaú-SP, verificou que as variedades RB86 7515, RB85 5536 e SP89 1115 tiveram valores semelhantes entorno de 5,5 m².m⁻². aos 240 DAC, e com uma pequena diferença para o mesmo período a variedade SP83 2847 chegou ao pico com 5,0 m².m⁻².

Abreu (2012) ao trabalhar na região de Rio Largo-AL analisando a evolução do IAF para as variedades RB92 579, RB86 7515, RB86 3229 e RB93 1003 no ciclo de cana-planta verificou que o máximo IAF foi atingido aos 300 DAP com valores de 5,5, 3,7 e 3,4 $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ para as três primeiras variedades acima respectivamente e de 3,5 $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ para RB93 1003 aos 360 DAP. Para as variedades de cana-soca RB 93 509, RB86 3229 e RB86 7515 o pico do IAF foi atingido aos 180 DAC com os valores de 5,0, 4,5 e 2,8 $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$. respectivamente.

Avaliando a evolução do IAF nas condições de Rio Largo-AL para a variedade RB98 710, Junior (2013) obteve valores próximo de 5,5 $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 180 DAP sendo que o pico máximo da cultura foi atingido aos 220 DAP aproximadamente com cerca de 6,5 $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$.

Segundo Nassif (2010) ao avaliar o IAF na região de Piracicaba e Pradópolis-SP, verificou resultados semelhantes para as variedades CTC 4, CTC 7 e CTC 20. Com destaque para a CTC 20 que obteve o máximo valor atingido de 3,5 $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 250 DAP, enquanto, o menor valor ocorrido nesse mesmo período foi de 2,5 para a CTC 4. Esse período de máximo IAF coincide com o máximo perfilhamento da cultura.

Robertson et al. (1996) trabalhando com duas variedades (Q117, Q138) em ciclos de cana-planta e soca na Austrália, observaram que não houve diferença significativa no IAF para ambas variedades no ciclo da cana-soca, com valores máximo aos 210 e 150 DAC de 6,5 e 7,0 $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ para Q117 e Q138 respectivamente. Em contrapartida, a diferença nos valores de IAF para cana-planta foi significativa, chegando ao valor de 7,0 $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ para Q117 e em torno de 8,5 $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ na Q138 aos 250 e 200 DAP respectivamente.

De acordo com os dados relatados por Zhou et al. (2003), em trabalho no Zimbábwe- AFR, com quatro variedades de cana-de-açúcar (ZN6, N14, ZN7 e NCo376), foi verificado que as variedades ZN6 e ZN7 atingiram o valor máximo de IAF próximo de 150 DAP com cerca de 4,3 e 3,3 $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ respectivamente. No entanto, os maiores valores foram atingidos pelas variedades N14 com 5,4 $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ e NCo376 com 4,8 $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 150 DAP aproximadamente.

Nava et al. (2016), em cultivos de cana-de-açúcar no nordeste do México, observou valores máximos de IAF em dois períodos distintos nas variedades estudadas. Para a variedade MEX 79431 e CP72 2086, observaram um IAF máximo entre 3,0 a 3,6 $\text{m}^2.\text{m}^{-2}$ respectivamente, ambas em torno de 340 DAP, em

contrapartida, a variedade MEX 68P23, alcançou seu IAF máximo de $3,2 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ para aos 300 DAP, ou seja, um pouco antes das citadas anteriormente. O menor valor foi obtido pela MEX 68P23 próximos de $1,7 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ aos 380 DAP, devido a senescência das folhas no fim do período.

Como visto acima e na síntese apresentado na tabela 3, diferentes variedades apresentam diferentes valores de IAF e, determinar a possível amplitude de valores para variedades de cana-de-açúcar no Cerrado será fundamental para uma modelagem que represente, de fato, o comportamento da cultura na região.

Tabela 3- Resumo dos valores máximos de IAF de cana-açúcar encontrados na literatura para diferentes localidades, variedades e ciclos, em função dos dias após o plantio (DAP) e, ou dias após o corte (DAC).

Autor(ano)	Localidade	Variedades	IAF Máximo (m².m⁻²)	Cana- planta ou soca
MACHADO et al. (1982)^a	Piracicaba-SP	CB4114 NA5679	4,0 (300 DPA) 3,7 (300 DPA)	Cana-planta
SCARPARE (2007)^b	Piracicaba-SP	SP803280 RB855156	6,4 (200 DAP) 4,1 (250 DAP)	Cana-planta
OLIVEIRA et al. (2007)^c	Paranavaí-PR	RB855113 RB72454 RB855536	4,5 (377 DAP) 4,5 (377 DAP) 4,0 (350 DAP)	Cana-planta
SUGUITANI (2006)^d	Piracicaba-SP	R570 NCo376 SP832847 RB72454	5,0 (250 DAP) 5,0 (250 DAP) 5,0 (250 DAP) 5,0 (180 DAP)	Cana-planta
ALMEIDA et al. (2008)^e	Rio Largo- AL	RB92579 SP791011 RB931530 RB93509 RB92579	4,5 (280 DAP) 3,5 (280 DAP) 3,2 (280 DAP) 3,4 (350 DAP) 6,0 (210 DAC)	Cana-planta Cana-soca
SILVA et al. (2009)^f	Rio largo Alagoas	RB98710 RB92579	4,7 (270 DAC) 4,2 (318 DAC)	Cana-soca
ARANTES (2012)^g	Jaú-SP	RB867515 RB855536 SP891115 SP832847	5,5 (240 DAC) 5,5 (240 DAC) 5,5 (240 DAC) 5,0 (240 DAC)	Cana-soca
ABREU (2012)^h	Rio Largo- AL	RB92579 RB867515 RB863229 RB931003 RB93509 RB863229 RB867515	5,5 (300 DAP) 3,7 (300 DAP) 3,4 (300 DAP) 3,5 (360 DAP) 5,0 (180 DAC) 4,5 (180 DAC) 2,8 (180 DAC)	Cana-planta Cana-soca
JUNIOR (2013)ⁱ	Rio Largo- AL	RB98710	6,5 (220 DAP)	Cana-planta
NASSIF (2010)^j	Piracicaba e Pradópolis	CTC20	3,5 (250 DAP)	Cana-planta
ROBERTSON et al. (1996)^k	Austrália	Q117 Q138 Q117 Q138	7,0 (250 DAP) 8,5 (200 DAP) 6,5 (210 DAC) 7,0 (150 DAC)	Cana-planta Cana-soca
ZHOU et al. (2003)^l	África do Sul	N14 NCo376 ZN6 ZN7	5,4 (150 DAP) 4,8 (150 DAP) 4,3 (150 DAP) 3,3 (150 DAP)	Cana-planta
NAVA et al. (2016)^m	México	MEX79431 CP722086 MEX68P23	3,0 (340 DAP) 3,6 (340 DAP) 3,2 (300 DAP)	Cana-planta

3.9- Aplicação do IAF na modelagem

Modelos de estimativa do crescimento, desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar são fundamentais para o entendimento do desenvolvimento da cultura em diferentes condições edafoclimáticas, para o planejamento de análises estratégicas de produção e de mercado pelas usinas, para posicionamento de políticas públicas pelo governo, para análise e liberação de crédito pelos bancos e para subsidiar análise de estratégias de mercado por analistas de corretoras. Além disso, estes modelos são fundamentais para avaliação do potencial e do risco da produção em determinada região, através do zoneamento agrícola e agroecológico, que ainda podem servir de ferramenta para balizar decisão de investimentos em expansão da cultura em regiões tradicionalmente não ocupadas pela cultura.

Estes modelos são parametrizados e calibrados através de uma série de parâmetros de crescimento, desenvolvimento e partição da biomassa produzida pela planta (ALMEIDA et al., 2008), além de dados edafoclimáticos (MARIN et al. 2011).

Para a cana-de-açúcar, a estimativa de produtividade é diretamente proporcional a produção de biomassa, que, por sua vez, é proporcional a produção de massa e área foliar. Por isso, um dos principais parâmetros a serem avaliados é o IAF (SCARPARE, 2011).

São descritos abaixo os principais modelos de estimativa de crescimento, desenvolvimento e produtividade de cana-de-açúcar. Também é descrito brevemente como o IAF é utilizado em cada um destes modelos.

3.9.1- CANEGRO

Para simulação de desenvolvimento e crescimento da cultura o modelo CANEGRO (SINGELS et al., 2008), de base fisiológica, utiliza entre outras variáveis o IAF ao longo do ciclo, mensurado através da soma térmica, em graus-dia. Este modelo simula o desenvolvimento das folhas individuais e perfilhos, extrapolando a área foliar de cada perfilho para área foliar do dossel através da multiplicação da área foliar individual pelo número de perfilhos por unidade de área. Para o cálculo da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) interceptada pelo dossel da cultura utiliza a área foliar estimada, a Lei de Beer, e dois coeficientes de extinção (k)

durante o desenvolvimento do dossel da cultura. Estes coeficientes de extinção também são definidos em função do número de folhas formados a partir do primeiro colmo (INMAM-BAMBER, 1991).

O coeficiente de extinção (k), descrito por Monsi e Saeki (1953) é um parâmetro adimensional que representa a fração absorvida da radiação incidente por unidade de área foliar.

3.9.2- APSIM

O modelo APSIM (KEATING et al., 1999), também de base fisiológica, funciona com passo de cálculo diário, estimando o desenvolvimento dos processos fisiológicos da cultura em função, principalmente, da radiação interceptada, mas também das variáveis temperatura do ar, suprimento de água e nitrogênio. O IAF no modelo APSIM é relacionado com a soma térmica e acúmulo de biomassa (KEATING, et al., 1999), sendo utilizado para calcular a radiação solar interceptada através dos princípios da Lei de Beer, que utiliza o IAF e um coeficiente de extinção (k) fixo.

3.9.3- AQUACROP

Diferentemente dos modelos CANEGRO e APSIM, o modelo AquaCrop (STEDUTO et al., 2012) tem como característica estimar o crescimento e desenvolvimento das culturas em função, principalmente, do consumo de água, e não da radiação fotossinteticamente ativa interceptada. Mas uma série de outras variáveis também são consideradas na modelagem para estimativa deste consumo hídrico, tais como o clima, a cultura, o solo e o manejo.

Diferente dos outros modelos, o AquaCrop expressa o IAF como resultado do consumo hídrico, sendo representado pela cobertura do dossel (Canopy Cover - CC) e não simulando a evolução biométrica do diâmetro e altura do colmo e perfilhamento. Diante disso o processo de simulação pelas equações é simplificado em relação aos modelos fisiológicos, permitindo, inclusive, o usuário inserir valores reais de CC (ALENCAR, 2014).

Ainda assim, valores de IAF são fundamentais tanto para parametrização de CC quanto para calibração desde modelo.

Como visto acima, o IAF é parâmetro fundamental para parametrização e calibração destes modelos, seja nos casos em que IAF é parâmetro de entrada da modelagem, seja nos casos onde a área foliar é parâmetro de saída.

3.10 - Determinação e estimativa de IAF

Diversos métodos de determinação e estimativa de IAF já foram desenvolvidos. Eles podem ser classificados como destrutivos e indestrutivos (KOPEC et al., 1987, WARREN-WILSON AND REEVE, 1959). Os métodos destrutivos envolvem algum distúrbio não reversível do dossel, afetando a continuidade do desenvolvimento da área medida e, assim, inviabilizando medidas futuras de acompanhamento do desenvolvimento da cultura neste mesmo local. Por isso, métodos não destrutivos são melhores para monitoramento frequente do desenvolvimento vegetativo das culturas ao longo do ciclo. Por isso, são mais recomendados para comparações de diferentes de arquitetura semelhante, como, por exemplo, de diferentes variedades da mesma cultura, ou da mesma cultura submetida a diferentes tratamentos de irrigação (CHIRORO, et al., 2006). Além disso, métodos não destrutivos, comumente, são mais expeditos e menos laboriosos.

3.10.1- Método de determinação

Os métodos de determinação são medidas diretas da área foliar das plantas. Ele pode ser destrutivo, retirando-se as folhas das plantas para integração de sua área em um escaner de bancada, como por exemplo o LI-3100c (Licor, NE, EUA), ou não-destrutivo, utilizando um escaner portátil que mede a área individual de cada folha, como o CID-203 (CID Bioscience, Camas, WA, EUA).

A conversão da área de uma planta individual no IAF de determinada cultura é realizada através da normalização da medida individual pela densidade de plantas na área (HICKS E LASCANO, 1995). O tamanho da amostra que deve ser mensurada varia em função do tipo e tamanho da cultura e, quando maior a

amostra, ou quanto maior a planta, mais laborioso e lento fica o processo (FAVARIN et al., 2002; LIMA et al., 2008).

Um dos equipamentos comumente utilizados para determinar a área foliar é o LI-3100c (Li-Cor, Inc., Lincoln, NE, EUA) que faz o uso de uma fonte de luz fluorescente juntamente com uma câmera de varredura, medindo a área foliar das folhas a medida que se movem através do aparelho. Estes valores de área foliar são, então, utilizados para o cálculo do índice de área foliar, segundo a metodologia de Hicks e Lascano (1995).

3.10.2- Métodos de estimativa

Por se tratar de uma medida lenta e laboriosa, a medição do IAF pode ser substituída por diversos métodos de estimativa, também chamados de métodos indiretos. Nas últimas décadas, diversas empresas desenvolveram equipamentos para estimativa do IAF, utilizando, majoritariamente, algum princípio relacionado a transmitância da radiação através do dossel das plantas.

Lang et al. (1991) utilizou a transmitância da radiação direta para o IAF de *Pinus Radiata L.* Lang e Mcmurtrie (1992) aplicaram método semelhante para estimar o IAF de *Eucalyptus grandis L.*

Um método alternativo, que usa sensores tipo olho de peixe para medição da radiação difusa em 5 bandas angulares simultaneamente tem sido utilizado em diferentes culturas (WELLES E NORMAN, 1991). Este método tem sido empregado em equipamentos comerciais, conforme descrito adiante no texto.

Técnicas que utilizam fotografias hemisféricas também já foram utilizadas para estimativa de IAF (BONHOMME E CHARTIR, 1972).

Métodos utilizando ceptômetros lineares também têm sido intensamente utilizados para estimativa de IAF em culturas agrícolas (CHIRORO et al., 2006, CANTINHO, 2012, NETO, et al., 2015, SBRISSIA E SILVA, 2008, JONCKHEERE, 2004, OGUNTUNDE, 2012, WILHELM, 2014, SOUSA et al., 2015). Estes métodos medem simultaneamente a radiação incidente e a radiação transmitida através do dossel da cultura para estimar o IAF (LAMBERT et al., 1999). Estes métodos têm sido empregados em diversos equipamentos comerciais e também mais explorado adiante no texto.

De forma geral, estes métodos de estimativa têm apresentado boa performance em culturas com dossel homogêneo. Contudo, erros significativos têm sido reportados em culturas com dossel menos homogêneo - como culturas em renque e arbóreas, ou em culturas em que a distribuição das folhas não é aleatória (LANG et al., 1991).

A qualidade das estimativas de IAF, portanto, tem a ver com a aderência entre a arquitetura característica da cultura às premissas de arquitetura de dossel adotadas em cada método (POTTER et al., 1996).

Estes métodos de estimativa permitiram que valores de IAF pudessem ser obtidos com maior facilidade, velocidade e, portanto, em maior número amostral, ampliando a capacidade da experimentação sobre IAF.

A correlação da interceptação da radiação (ou da sombra) com a área foliar de um dossel não é direta. O efeito do sombreamento de uma folha sobre outra imediatamente abaixo, a forma das folhas de cada espécie vegetal, o ângulo que as folhas se inserem, etc, são características que interferem nesta correlação. Por isso, apesar de usarem princípio semelhante cada método possui uma estratégia diferente para considerar estas diferentes variáveis na estimativa do IAF. A seguir, são descritos os métodos (equipamentos) mais utilizados para estimativa do IAF.

3.10.3- LI- 2000

O medidor LI-2000 (Li-Cor, Inc., Licoln, NE, EUA) é constituído de uma unidade de controle e um sensor em formato de barra articulada. Este sensor é composto por lentes tipo “olho de peixe” subdivididas em cinco bandas angulares de visada em relação ao zênite. O equipamento mede a radiação difusa simultaneamente em todas as lentes, ou seja, mede toda energia que transpõe o dossel da cultura nos diferentes ângulos. Esta informação é armazenada e utilizada para cálculo do IAF e do ângulo médio de inclinação das folhas.

Para restringir as medidas acima de 490 nm o equipamento utiliza um sistema de filtros óticos, que assim minimizam possíveis erros de reflexão pelas folhas pois acima dessa faixa as folhas transmitem e refletem pouca radiação (LI-COR, 1992). Ocasionalmente, valores altos de IAF podem ser subestimados em comparação aos valores estimados por este método, pela saturação para valores de IAF entre 5,0 e 6,0 $m^2.m^{-2}$ (GOWER et al., 1999). Para Jonckheere et al. (2004)

uma só leitura realizada na floresta causa valores grosseiros, o que dificulta posteriormente uma análise espacial detalhada.

Este método utiliza a Equação 1 para estimar o valor de IAF através dos valores medidos de radiação incidente e interceptada, calculando a fração da luz incidente (τ) para cada um dos cinco ângulos θ (LI-COR, 1992).

$$LAI = -2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln(\tau(\theta)) \cos \theta \sin \theta d\theta \quad (1)$$

3.10.4 - ACCUPAR- LP-80

O ACCUPAR (Decagon Devices Inc, Pullman, WA, USA) é um aparelho composto por um datalogger e uma barra com sensor quântico linear. Este sensor quântico é composto por 80 fotossensores sensíveis na faixa da PAR e contabiliza a reflectância e transmitância das folhas. Para obter dados mais precisos da PAR e IAF em condições de céu claro, nublado ou parcialmente nublado, usa-se um sensor externo adicional para medições simultâneas da PAR incidente acima do dossel, como referência para normalização do cálculo da radiação interceptada (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA).

Leituras tomadas nos horários de maior incidência solar, 10 as 14h, trazem resultados mais confiáveis (Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA).

Para estimar o IAF, o método utiliza a Equação 2 abaixo e os dados da PAR acima e abaixo do dossel

$$LAI = \frac{\left[\left(1 - \frac{1}{2k}\right) f_b - 1 \right] \ln \tau}{A(1 - 0.47 f_b)} \quad (2)$$

Onde:

τ é a proporção da PAR incidente que é transmitida;

k é o coeficiente de extinção, que assume valor da distribuição do ângulo elipsoidal (CAMPBELL, 1986);

f_b é a fração do feixe, referente a relação da radiação direta do sol e a radiação de outras fontes, e, A é uma constante (0.9), que representa a distribuição e qualidade da absorção de radiação das folhas no dossel.

3.10.5 – SunScan

O método SunScan para estimativa do índice de área foliar baseia-se fundamentalmente na solução numérica da equação de Wood (1996), que por sua vez é uma evolução da equação de Campbell (1986).

Há três eixos de análise principais neste método. O primeiro diz respeito a análise geométrica do dossel da cultura e do que ocorre quando a radiação passa através dela. Para isso, algumas premissas são assumidas, como a uniformidade e aleatoriedade da distribuição das folhas, e absorção total da radiação pelos componentes do dossel. Estas premissas foram postas por Campbell (1986) para um feixe de radiação vindo de uma única direção, ou seja, a radiação solar direta, passando através do dossel com distribuição elipsoidal do ângulo de inserção de suas folhas. Essa função elipsoidal permite, através de um único parâmetro (ELADP - *ellipsoidal leaf angle distribution parameter*) a descrição do dossel de uma vasta variedade de plantas.

Wood (1996), então, integrou a equação de Campbell para todo espectro de radiação, incluindo a radiação difusa que passa através do dossel. Este aspecto é muito importante pois a transmissão da radiação difusa é diferente e, na realidade, o que ocorre é uma combinação de radiação direta e difusa passando através do dossel. A radiação difusa, em particular, é extremamente dependente do ângulo de distribuição das folhas, um ponto que anteriormente não era considerado.

Essas equações são integrais e, portanto, não existe solução analítica. Por isso, precisam ser resolvidas numericamente com funções computacionais sendo ajustadas aos resultados. Esta metodologia já tem sido empregada com grande acurácia pelo método SunScan, aprimorando sobremaneira a aproximação original de Campbell.

Um segundo eixo do método SunScan está associado a absorção incompleta da radiação pelo dossel. A análise que considera as folhas como corpos negros e com absorção integral da radiação permite uma solução mais direta, porém simplista. Na realidade, as folhas também refletem parte da radiação que incide sobre elas. Tipicamente, somente 85% da radiação incidente é absorvida. Isso significa que toda folha no dossel está reemitindo ou espalhando radiação, bem como absorvendo radiação reemitida, o que torna a análise extremamente mais complicada (WEBB et al. 2016).

A distribuição espacial da radiação pode mudar ao passar pelo dossel, pois a direção original de qualquer feixe de radiação pode ser alterado por reflexão ou espalhamento em cada uma de suas folhas. Por isso, não é adequado considerar somente o componente vertical da radiação (mensurado através de um sensor que, por relação de cosseno do ângulo da radiação, isola o componente horizontal. Esta é a razão pela qual Wood considera em sua análise um sensor com resposta hemisférica, que mede tanto o componente vertical como horizontal. Obviamente, foi o avanço computacional que permitiu a consideração do componente horizontal ao modelo (WEBB et al. 2016).

Se a configuração do SunScan for forçada para utilizar ELADP igual a 1024 (folhas totalmente horizontais) e coeficiente de absorção das folhas igual a 1 (corpo negro) transformaremos o modelo de Wood na versão simplificada de inversão da Lei de Beer.

O terceiro e último eixo da metodologia utilizada pelo SunScan é o ajuste e inversão da equação. Os resultados atingíveis com modelagem computacional, apesar de acuraz, não são compatíveis para aplicações em instrumentos portáteis que possam ser levados a campo. Este processo, que leva minutos em um computador de alta performance, calcula a transmissão da radiação em qualquer condição dado um valor de índice de área foliar (IAF), enquanto o SunScan mede a transmissão da radiação. Por isso, a função precisa ser invertida para cálculo do IAF, o que é numericamente ainda mais difícil. Para viabilizar resultados imediatos na medição a campo, funções computacionais foram inseridas ao modelo, e estas é que são resolvidas, a partir dos dados medidos pelo SunScan, para gerar um resultado de IAF com acurácia razoável. Desta forma, é esta solução numérica da equação de Woods que o método SunScan patenteou e utiliza na estimativa do IAF (WEBB et al. 2016).

Importa dizer que as maiores incertezas do método devem-se a má interpretação da arquitetura do dossel analisado e da simplificação das premissas embendadas na análise fundamental das equações de Campbell e Woods. Também importante, mas em menor grau, estão as incertezas dos valores numéricos de ELADP estimados para o dossel.

Apesar da possível inacurácia devido aos fatores supracitados, o método SunScan de estimativa de IAF é, provavelmente, o melhor método atualmente disponível, permitindo comparações entre o dossel de culturas ou tratamentos com

arquitetura foliar semelhantes, como por exemplo diferentes variedades. Se, adicionalmente, for possível comparar as estimativas do SunScan com medições reais da área foliar, então o modelo pode ser calibrado para reduzir o efeito de erros sistemáticos oriundos das premissas de arquitetura de dossel assumidas no método SunScan.

DERIVAÇÃO DA EQUAÇÃO DE WOODS NO MÉTODO SUNSCAN DE ANÁLISE DE DOSSEL

Principais considerações:

- 1) O dossel é infinito, uniforme e horizontal, com elementos de folhas distribuídos aleatoriamente em proporção da superfície de um elipsoide, conforme descrito por Campbell (WEBB et al. 2016).
- 2) A radiação incidente consiste em um componente de radiação direta, de uma fonte pontual, em um dado ângulo zenital, e um outro componente de radiação difusa com intensidade igual vinda de todas as direções do céu (WEBB et al. 2016).
- 3) O dossel tem área foliar suficientemente elevada para se considerar negligenciável a radiação refletida pelo solo ou, a fração de radiação do solo é semelhante a radiação do dossel (WEBB et al. 2016).
- 4) Uma fração "a" da radiação incidente é totalmente absorvida pelas folhas. O restante da radiação é reemitida de forma uniforme em todas as direções (WEBB et al. 2016).

A Lei de Beer para absorção de radiação pelo dossel

A relação entre a radiação transmitida I , a radiação incidente I_0 e o IAF é dada por:

$$I = I_0 \cdot \exp(-k \cdot \text{IAF}) \quad (4)$$

onde k é o coeficiente de extinção, que depende do ângulo de distribuição das folhas e da direção da radiação incidente (ângulo zenital). Quando k é igual a 1, as folhas são completamente horizontais.

Equação da Distribuição Angular das Folhas de Campbell

A relação entre os parâmetros vertical (a) e horizontal (b) do elipsoide, dada por b/a, é igual ao ELADP. O coeficiente de extinção também depende do ângulo zenital e sua equação é representada abaixo:

$$K(ELADP, \theta) = \frac{\sqrt{ELADP^2 + \tan^2 \theta}}{ELADP + 1.702(ELADP + 1.12)^{0.708}} \quad (5)$$

onde θ é o ângulo zenital.

A fração transmitida da radiação direta incidente é dada por:

$$\tau_{dir} = e^{(K \cdot IAF)} \quad (6)$$

Transmissão da radiação difusa

O modelo de Campbell considera somente a radiação direta. Mesmo sob forte incidência solar, a fração direta da radiação raramente excede 80% da radiação incidente total, de forma que é muito importante considerar a fração da radiação difusa incidente. O coeficiente de extinção da radiação difusa também é fortemente dependente do ELADP, e não obedece a Lei de Beer e, por isso, não pode ser representada por um único coeficiente de extinção, a não ser que o dossel fosse inteiramente horizontal.

Este processo de cálculo, resolve numericamente o efeito da transmissão da radiação, camada por camada ao longo do dossel, considerando as mudanças no ELADP e coeficiente de extinção dos nos componentes de radiação direta e difusa.

Princípios e características de medições com o SunScan

O método utilizado pelo equipamento SunScan (Delta-T Devices, Cambridge, Reino Unido) (Figura 3) também utiliza a medição das frações de radiação incidente e interceptada para, então, a estimar a cobertura vegetal da planta sobre o solo e, assim estimar o IAF. Para tal, utiliza uma relação teórica entre a área foliar e a transmitância de radiação do dossel. Por isso, a preferência é por medidas tomadas em horários com maior incidência de radiação solar que tornam

os valores mais precisos devido ao ângulo zenital solar que é influenciada pela posição do sol (WEBB et al., 2016).

O SunScan é equipado com dois sensores. O primeiro, composto de uma barra de um metro de comprimento, com 64 fotodiodos distribuídos de forma equidistante. Este sensor é conectado a um datalogger e ao segundo sensor, sensor de fração de feixe (BFS). O BFS, que mede a radiação incidente sobre o dossel, é composto por fotodiodos, sendo um sempre sombreado para permitir a medição da radiação difusa, enquanto que os demais fotodiodos do BFS medem a radiação direta incidente sobre o dossel. O BFS mede a radiação incidente sobre o dossel, ao mesmo tempo a barra com os fotodiodos radiação abaixo do dossel. Ao dar-se o comando para início da leitura na barra de radiação transmitida, um comando via rádio, ou cabo, é enviado para o BFS, permitindo que, tanto a radiação incidente quanto a transmitida sejam medidas na mesma condição atmosférica. Este aspecto confere uma precisão diferenciada do SunScan em relação aos demais métodos citados (WEBB et al., 2016). As leituras das radiações no BFS são enviadas através de transmissor de rádio para o medidor SunScan.

A base teórica utilizada para estimativa do IAF pelo SunScan tem como uma de suas premissas que o dossel da cultura é uniforme e infinito, com inserção de folhas distribuídos aleatoriamente e em ângulo proporcionais à área superficial de um elipsoide. Assim, neste método, a distribuição angular da inserção das folhas é caracterizada por um único parâmetro, o parâmetro de distribuição de ângulo elipsoidal das folhas (ELADP) (CAMPBELL, 1986).

Para estimativa do IAF, o método ainda determina o coeficiente de extinção (k), valor adimensional que representa a fração da radiação incidente que é absorvida no dossel por unidade de área. O valor de (k) está relacionada ao ângulo de inclinação das folhas, disposição delas e o ângulo zenital do sol (MONTEITH, 1973; CAMPBELL, 1986).

No que tange ao cálculo da fração da radiação direta absorvida, este método utiliza a equação de Campbell (CAMPBELL, 1986), com os coeficientes ELADP e k , e considera a divisão do dossel em camadas (Figura 4), com isso a quantidade de radiação interceptada pela camada é a diferença entre a intensidade absoluta acima e abaixo de cada camada.

Para o cálculo da radiação difusa leva-se em consideração a radiação incidente difusa mais a soma da radiação que é reemetida em todas as direções

advindas das camadas. Uma parte dessa energia difusa absorvida também é reemita.

A fim de convergência dos valores de radiação o modelo calcula a energia absoluta e a correção do cosseno para cada camada, levando em considerações os diversos valores de ângulos zênites, além, da distribuição dos ângulos foliares (WEBB et al., 2016).

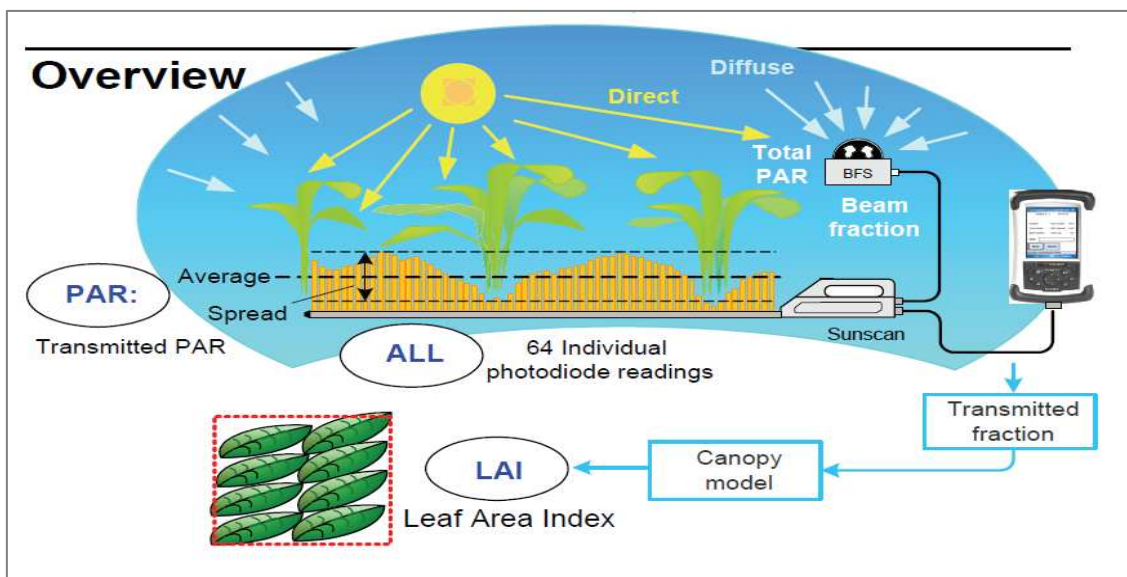


Figura 4-Representação dos equipamentos de leitura do SunScan e dinâmica de leitura da Radiação fotossinteticamente ativa (RFA). Fonte: (Delta-T SunScan, Cambridge, UK).

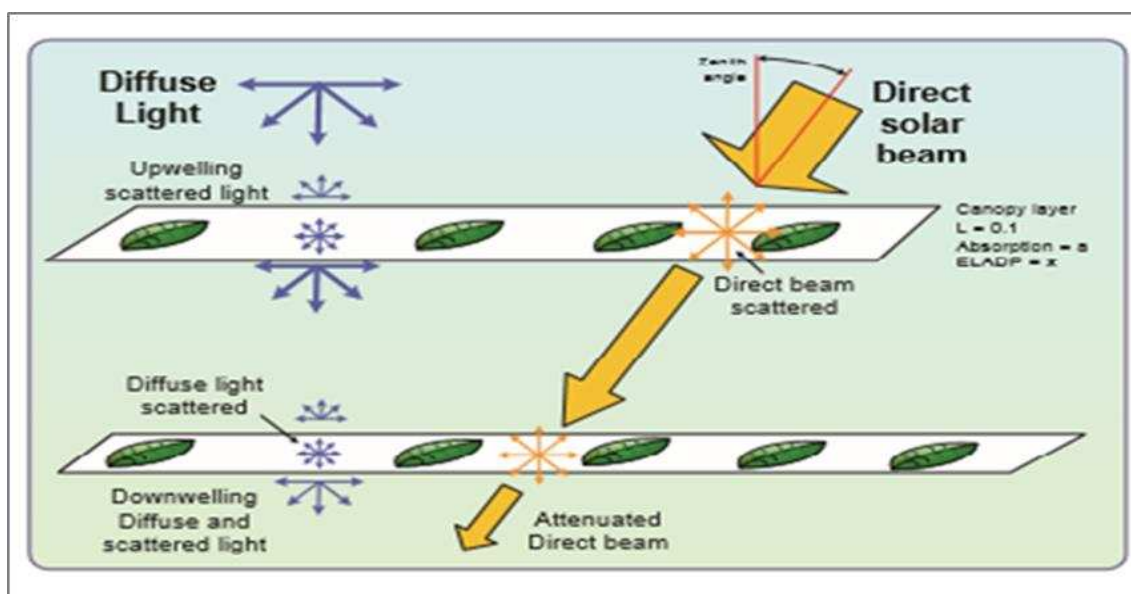


Figura 5- O modelo de dispersão de luz no dossel usado no SunScan. Fonte: (Delta-T Devices, Cambridge, UK).

O método do SunScan é reportado como mais preciso para estimativa de IAF em culturas cujo dossel é uniforme e de baixo porte, como cereais (POTTER et al. 1996). Em princípio, culturas com dossel elevado, mas uniforme também podem ter o IAF estimado com qualidade, desde que seja possível localizar o sensor de radiação incidente acima do dossel, seja através de cabos longos, ou com através de link de rádio, disponível nas versões mais modernas do equipamento. Estimativas com menor precisão tem sido reportadas quando utiliza-se o SunScan em culturas de porte baixo, mas com dossel não uniforme, como aquelas cultivadas em renque (WEBB et al. 2016).

4- MATERIAL E MÉTODOS

Para condução deste trabalho foram utilizadas informações derivadas de três experimentos onde diferentes variedades de cana-de-açúcar foram submetidas a diferentes regimes hídricos. O primeiro experimento utilizou variedades de cana-de-açúcar de colheita de outono, o segundo utilizou variedades de colheita de inverno e o terceiro utilizou variedades de colheita de primavera.

4.1- Localização e caracterização da área experimental

Os experimentos foram instalados em maio de 2012, na Usina Jalles Machado, localizada no município de Goianésia-GO, nas coordenadas 15°19'37" S; 49°07'11"O, com 568 m de altitude. Um croqui destas áreas experimentais é apresentado na Figura 5.

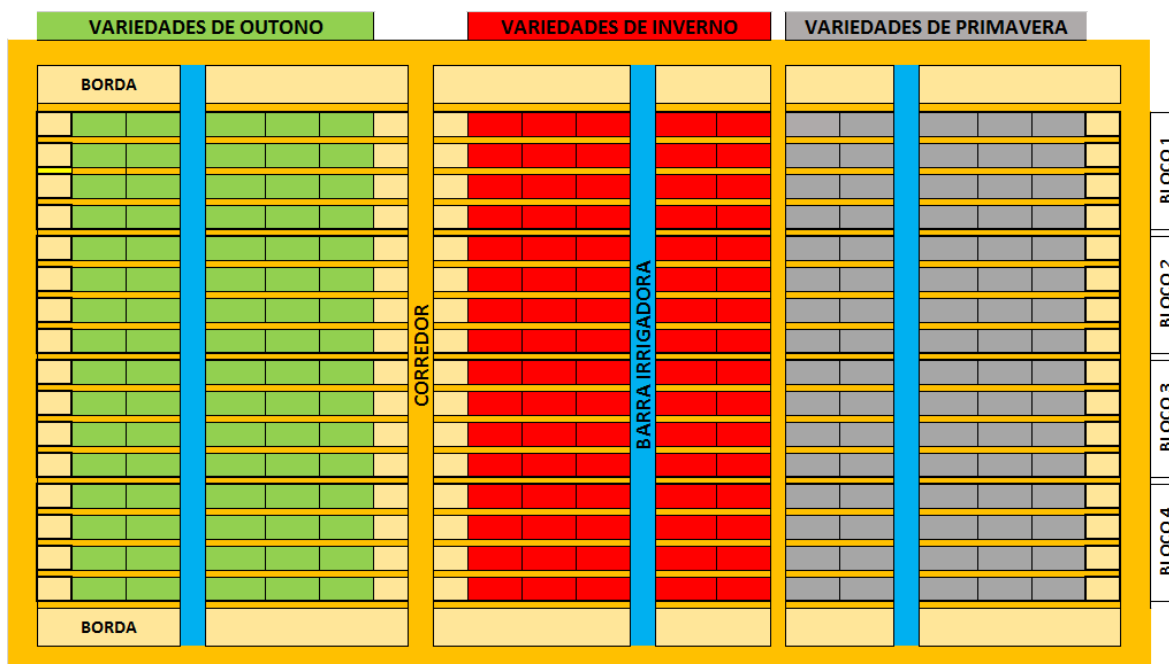


Figura 6-Croqui geral da área experimental, composta de três experimentos para cana-de-açúcar de outono, inverno e primavera, submetida a diferentes regimes hídricos, na usina Jalles Machado, Goianésia-GO.

O clima desta localidade foi classificado como Aw Savana Tropical segundo Köppen-Geiger, com predomínio de duas estações bem definidas, sendo, um verão chuvoso, normalmente, entre outubro e março, e um inverno seco, normalmente, entre abril e setembro. As precipitações médias podem variar de 1200 a 1500 mm, com temperaturas médias do ar em entre 20 e 27 °C (SILVA et al., 2008). O solo da região foi classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2013), bem característico do bioma Cerrado.

4.2- Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado em cada um dos três experimentos foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Na parcela foram dispostos os tratamentos – regimes hídricos, correspondentes a 0, 25, 50, 75 e 100% de reposição da irrigação total necessária (ITN). No entanto, para os objetivos deste trabalho, somente foram avaliados os tratamentos correspondentes a 0, 50 e 100% de reposição da ITN.

Nas sub-parcelas de cada um dos três experimentos foram dispostas quatro variedades. No entanto, para os objetivos deste trabalho, foram avaliadas somente duas variedades de cada experimento para cana ano de avaliação.

Para o experimento de cana de outono, foram utilizadas as variedades RB96 6928 e CTC 9 no ciclo de 1ª e 2ª soca, e RB96 6928 e CTC 18 nos ciclos de 3ª socas. Para o experimento de cana de inverno foram utilizadas as variedades IACSP91 1099 e RB86 7515, para os três anos. E, para o experimento de cana de primavera foram utilizadas as variedades CTC 15 e RB92 579 para os três anos.

As parcelas experimentais continham 288 m² cada, compostas de 8 linhas de plantio, com 24 metros de comprimento espaçadas a cada 1,5 m.

Os experimentos foram plantados em maio de 2012. A cana-planta, 1ª, 2ª e 3ª socas dos experimentos de cana de outono, inverno e primavera foram colhidas em maio, agosto e outubro de 2013, 2014, 2015 e 2016, respectivamente. Contudo, para este estudo, não foram utilizados dados da cana-planta.

4.3- Coleta de dados

A frequência da coleta de dados de IAF variou de 3 a 5 vezes ao longo da 1ª, 2ª e 3ª soca de cada ano-safra (2013/1014, 2014/2015 e 2015/2016). Essa variação da frequência de coleta deveu-se a disponibilidade de mão-de-obra cedida pela usina e o grau de acamamento da cana que, a partir de certo nível, inviabilizava as medições confiáveis de IAF. O acamamento ocorria, principalmente, quando a cana estava em estágio fenológico avançado, porte elevado, grande biomassa e, sobretudo, mediante eventos concomitantes de precipitação e velocidade do vento intensas.

4.4 – Manejo da irrigação

A parametrização e estratégias utilizadas no manejo de irrigação objetivaram replicar as características de um manejo em área com pivô central, seja na intensidade das lâminas, seja na frequência das irrigações, seja no padrão de molhamento do solo dos emissores utilizados.

O manejo da irrigação dos experimentos foi realizado através do balanço hídrico meteorológico, com aferição mensal da umidade do solo, realizada através de sonda de nêutrons (modelo Hydroprobe 503DR, Instrotek CPN, Raleigh, NC, EUA).

Para suporte à decisão da irrigação utilizou-se o software Irriger (IRRIGER, Cientec, Versão 5.0, Uberaba, BRA). A evapotranspiração de referência (ET_0) foi calculada pelo método de Penman-Monteith – FAO, conforme descrito por Allen et al. (1998), utilizando a equação a seguir:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_2 + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34u_2)} \quad (7)$$

em que:

ET_0 = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

R_n = saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹);

G = fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹);

γ = coeficiente psicométrico (kPa °C⁻¹);

T = temperatura do ar em °C;

U_2 = velocidade do vento a 2m de altura (m s⁻¹);

e_s = pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa);

e_a = pressão do vapor d'água do ar (kPa);

$(e_s - e_a)$ = déficit de pressão de vapor de saturação, kPa;

Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação versus temperatura (kPa °C⁻¹).

Para cálculo de Evapotranspiração da cultura utilizou-se a equação a seguir (boletins FAO 24, 56 e Metodologia GESAI).

$$E_{tc} = ET_0 \cdot k_c \cdot k_s \cdot k_l \quad (8)$$

E_{tc} = evapotranspiração da cultura (mm d⁻¹);

ET_0 = evapotranspiração de referência (mm d⁻¹);

k_c = coeficiente da cultura, adimensional;

k_s = coeficiente de umidade do solo, adimensional; e

k_l = coeficiente de localização da irrigação, adimensional.

Como estratégia de manejo da irrigação e aplicação dos tratamentos de regime hídrico, adotou-se como referência o tratamento com reposição de 100% da ITN, e aplicando-se para os demais tratamentos uma fração correspondente a 0 e 50 da ITN do tratamento 100%.

Para decisão do momento da irrigação utilizou-se turno de rega variável, definido em função do fator de disponibilidade hídrica f crítico para cada fase fenológica, conforme descrito na Tabela 4. Quando a umidade do solo no tratamento 100% atingia o valor f , a irrigação era executada simultaneamente neste e nos demais tratamentos. Períodos de menor demanda hídrica implicaram em menor frequência de irrigação, ao passo que períodos de maior demanda hídrica resultaram em maior frequência de irrigação. De forma geral, períodos de máxima demanda implicaram em eventos de irrigação a cada 4 dias.

Para as fases fenológicas de germinação (ciclo de cana planta) e brotação (ciclos de cana soca) considerou-se fator f menor - mais conservador, de forma a reduzir riscos de redução da população de plantas e falhas nas linhas de plantio (Tabela 2). Nas fases fenológicas de crescimento e desenvolvimento considerou-se valores de f sugeridos por Allen et al. (1998), ajustados à experiência da equipe executora do trabalho, buscando replicar condições semelhantes aquelas aplicáveis para irrigação com sistema tipo pivô central (Tabela 2).

As irrigações foram realizadas através de um sistema de aspersão autopropelido, mas substituindo o tradicional canhão por uma barra irrigadora (Figura 6), para simular exatamente o tipo de irrigação que se faria com pivô central - método mais empregado no Brasil para sistema de produção irrigado de cana-de-açúcar. Para garantir controle preciso da lâmina aplicada nos tratamentos, a barra irrigadora era puxada de forma que emissores corriam paralelamente às linhas de cana, de forma que, para cada entre-linha de cana, havia um emissor de irrigação. Utilizou-se emissores tipo LEPA (Low Energy Precision Application) (Senninger Quadspray Inc., Clermont, Flórida, EUA) (Lyle & Bordovsky, 1981) com reguladores de pressão. A altura dos emissores era regulada de forma que a faixa de molhamento do emissor fosse igual ao espaçamento entre linhas de cana - 1.5m, para, desta forma, possibilitar molhamento da área total do solo, não demandando ajustes de coeficiente de molhamento localizado (kl) para o cálculo da evapotranspiração.

Tabela 4- Variáveis para manejo da irrigação

Fases fenológicas	Duração (dias)	Profundidade Radicular Efetiva (m)	kc	ks	Fator de disponibilidade hídrica
Cana-soca Brotação	30	0,40	0,55	FAO 56	0,3
Cana-soca desenvolvimento 1	90	0,60	0,9	Linear	0,5
Cana-soca desenvolvimento pleno	205	0,80	1,25	Linear	0,5
Cana-soca maturação	40	0,80	0,8	Linear	0,8



Figura 7- Barra irrigadora com emissores tipo LEPA. Fonte: Arquivo pessoal.

4.6 - Avaliação do método SunScan para estimativa de IAF

Como a determinação de IAF é lenta e morosa, o método SunScan de estimativa de IAF foi adotado nas avaliações deste trabalho.

Por isso, o primeiro objetivo específico do trabalho foi realizar uma avaliação da performance da estimativa de IAF pelo método SunScan comparando suas estimativas a valores medidos de IAF pelo método LI-3100c.

Com intuito de abranger grande amplitude de valores no processo de processo de avaliação deste método, valores de IAF medidos e estimados foram

coletados de três regimes hídricos (0, 50 e 100% da ITN), de duas variedades por ano-safra, de cada um dos três experimentos (outono, inverno e primavera).

Foram utilizados dados das variedades, RB 96 6928, CTC 9, CTC 18, RB 86 7515, IAC 91 1099, CTC15 e RB 92 579. Essa amplitude de valores de IAF é importante para garantir que o método SunScan seja, de fato, robusto o suficiente para estimativas de IAF de cana-de-açúcar nas mais distintas condições encontradas no Cerrado.

4.6.1- Determinação do IAF

Os dados eram coletados de 3 a 5 vezes por ano-safra, coletando todas as folhas verdes de 1,5 m² de cada subparcela, assim como realizando a cotagem e por seguinte separava-se uma subamostra de 20 folhas. (Figura 7). Após a coleta das folhas, media-se sua área foliar através do integrador de área foliar LI-3100c (LICOR Inc., NE, EUA) (Figura 8). Em seguida, calculava-se o IAF de acordo com método adaptado de Watson (1947), conforme equação a seguir.

$$IAF = \frac{AF}{AS} \quad (9)$$

Sendo AF a área foliar das plantas (m²) ocupando em 1,5 m² e AS a área de solo, neste caso 1,5 m².



Figura 8- Coleta de folhas verdes para determinação da área foliar no integrador de área foliar (LI-COR 3100C). Fonte: arquivo pessoal.



Figura 9– Medição da área foliar no integrador de área foliar (LI-COR 3100). Fonte: Arquivo pessoal.

4.6.2- Estimativa do IAF

Para cada subparcela onde foi medido o valor de IAF pelo equipamento LI-3100c, também foi estimado o IAF antes da retirada das amostras destrutiva pelo equipamento SunScan (Delta-T Devices, Cambridge, Reino Unido).

Adotou-se como critério de medição com o SunScan o posicionamento da barra de fotodiodos em uma linha virtual acima das folhas secas, de modo a evitar que as a área de folhas senescidas, localizadas na parte inferior da planta, fossem computadas como área fotossinteticamente ativa.

Em parcelas e momento com canavial parcialmente acamado, buscava-se leituras onde a cana estava em posição mais ereta. A duração e o grau desse acamamento variavam entre as variedades e regimes hídricos.

O valor de IAF estimado para cada subparcela derivou da média de 10 leituras, realizadas ao longo das quatro linhas centrais de cada subparcela analisada. Para evitar efeito de bordadura, não se realizava leituras no primeiro metro de cada lado da subparcela (Figura 9).

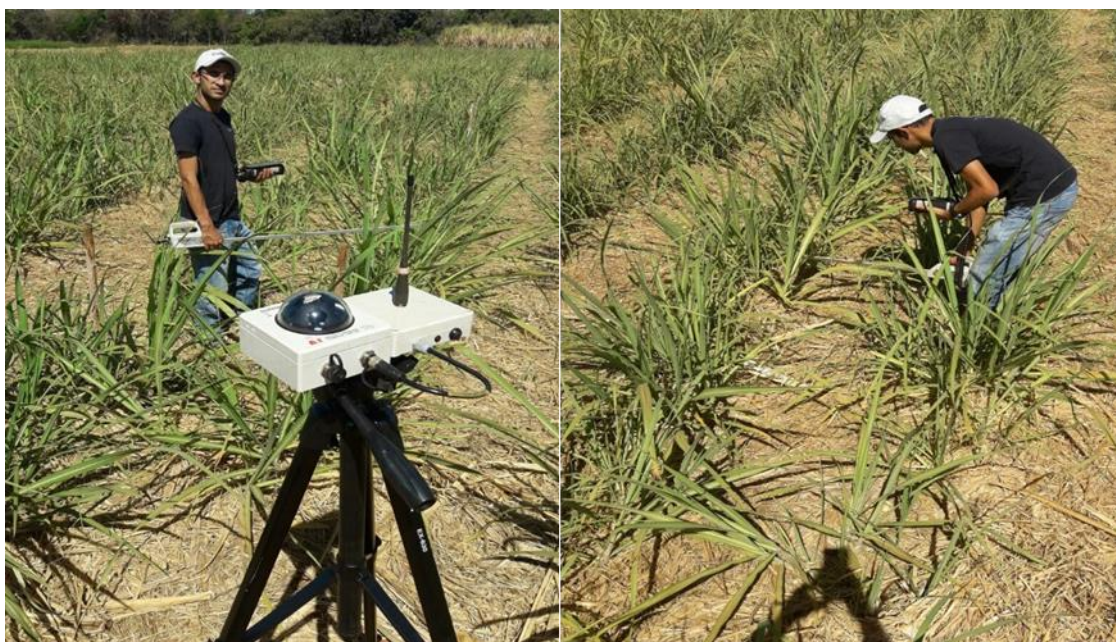


Figura 10- Estimativa do índice de área foliar pelo método SunScan. Fonte: Arquivo pessoal.

4.6.3- Correlação entre valores determinados e estimados de IAF

Para análise de correlação entre valores determinados e estimados de IAF utilizou-se regressão linear (Equação 10) e, posteriormente, fez-se ajuste do modelo linear inicial da equação 10 a reta 1:1, através da inversão da equação linear (Equação 11) para obtenção de modelo ajustado.

$$y_i = ax_i + b \quad (10)$$

$$x_i = \frac{(y_i - b)}{a} \quad (11)$$

Em que:

y_i é a variável dependente ou explicada, x_i é a variável independente ou explicativa e os coeficientes a e b são os coeficientes angular e linear da reta respectivamente.

Adicionalmente, calculou-se o índice de concordância de Willmott (d) (Equação 12) (WILLMOTT et al., 1995), que mede o desvio do modelo linear ajustado a reta 1:1, que representa seu grau de exatidão.

Para medir o valor real do erro obtido entre a correlação dos valores estimados e medidos, utilizou-se ainda a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE) e o erro absoluto médio (MBE). O RMSE (Equação 13) é sempre positivo e, quanto mais próximo de zero, melhor é a estimativa. O MBE representa o desvio acumulado das médias ao longo do período de modelagem, indicando a magnitude da subestimativa (valor negativo) ou superestimativa (valor positivo) do modelo. Quanto mais próximo de zero o MBE, melhor é a estimativa. Uma desvantagem da análise do MBE é que, na análise dos erros acumulados, uma subestimativa anula uma superestimativa (Equação. 14) (STONE, 1993), podendo dar uma falsa impressão de exatidão acumulada. Por isso, a análise conjunta dos dois parâmetros, RMSE e MBE, é importante.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Est - Obs)^2}{\sum_{i=1}^n (|Est - \overline{Obs}| + |Est - \overline{Obs}|)^2} \right] \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Est - Obs)^2}{n}} \quad (13)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Est - Obs) \quad (14)$$

Em que:

N : número de observações

Est: valores estimados pelo aparelho

Obs: valores determinados pelo método padrão

\overline{Obs} : valores médios

4.7- IAF em cana-de-açúcar em sistema de produção de sequeiro e irrigado

O segundo objetivo específico pretendeu compreender as diferenças dos valores determinados de IAF da cana submetida aos sistemas de produção de sequeiro e irrigado no Cerrado. Também se avaliou o efeito da variação da oferta climática de cana ano-safra nos valores de IAF obtidos em cada sistema de produção, bem como as peculiaridades das diferenças do IAF na estação chuvosa e de seca.

Foram utilizados valores de IAF de 7 variedades de cana-de-açúcar (RB96 6928, CTC 9, CTC 18, RB86 7515, IACSP91 1099, CTC 15 e RB92 579), ao longo de 3 socas correspondentes aos anos-safra: 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016, de época de colheita de outono, inverno e primavera, submetidas aos regimes hídricos de sequeiro e irrigado (100% da ITN).

Todos os valores de IAF utilizados para este objetivo foram determinados através do método LI-3100c, seguindo o mesmo padrão e frequência de amostragem indicados anteriormente no tópico 4.6.

4.8 - Avaliação dos efeitos regime hídrico e variedade na evolução do IAF da cana-de-açúcar ao longo do ciclo

O terceiro e último objetivo específico desse trabalho foi avaliar a evolução dos valores de IAF de diferentes variedades de cana submetidas a diferentes regimes hídricos.

Os valores de IAF para esse objetivo foram coletados em duas socas (2014/2015 e 2016/2017), para as mesmas 7 variedades descritas no tópico 4.7, submetidas a três regimes hídricos, correspondentes a 0, 50 e 100% de reposição da ITN. Todos os valores de IAF utilizados para este objetivo foram estimados através do método SunScan, seguindo o mesmo padrão e frequência de amostragem indicados anteriormente no tópico 4.6.

Os valores de IAF estimados pelo método SunScan foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias para o efeito variedade e regime hídrico comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o software SAS (Statistical Analysis System, versão, 9.2).

5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para caracterização do IAF de cana-de-açúcar no Cerrado verificou-se, inicialmente, a qualidade do método de estimativa de IAF SunScan em comparação com valores reais de IAF determinados pelo método LI 3100C.

Posteriormente, utilizando valores de IAF determinados pelo método LI 3100C, analisou-se as diferenças na magnitude dos valores de IAF em função do regime hídrico (irrigada ou sequeiro), em função da oferta climática de cada ano-safra, e em função da época do ano (estação chuvosa ou seca).

Finalmente, utilizando valores estimados pelo método SunScan, analisou-se o padrão de flutuação dos valores de IAF da cana como efeito de diferentes regimes hídricos e variedades no Cerrado.

5.1 – Avaliação do método SunScan para estimativa de IAF

Os valores de IAF nas canas de outono e primavera foram superestimados pelo SunScan, ao passo que foram subestimados nas canas de inverno (Figura 10).

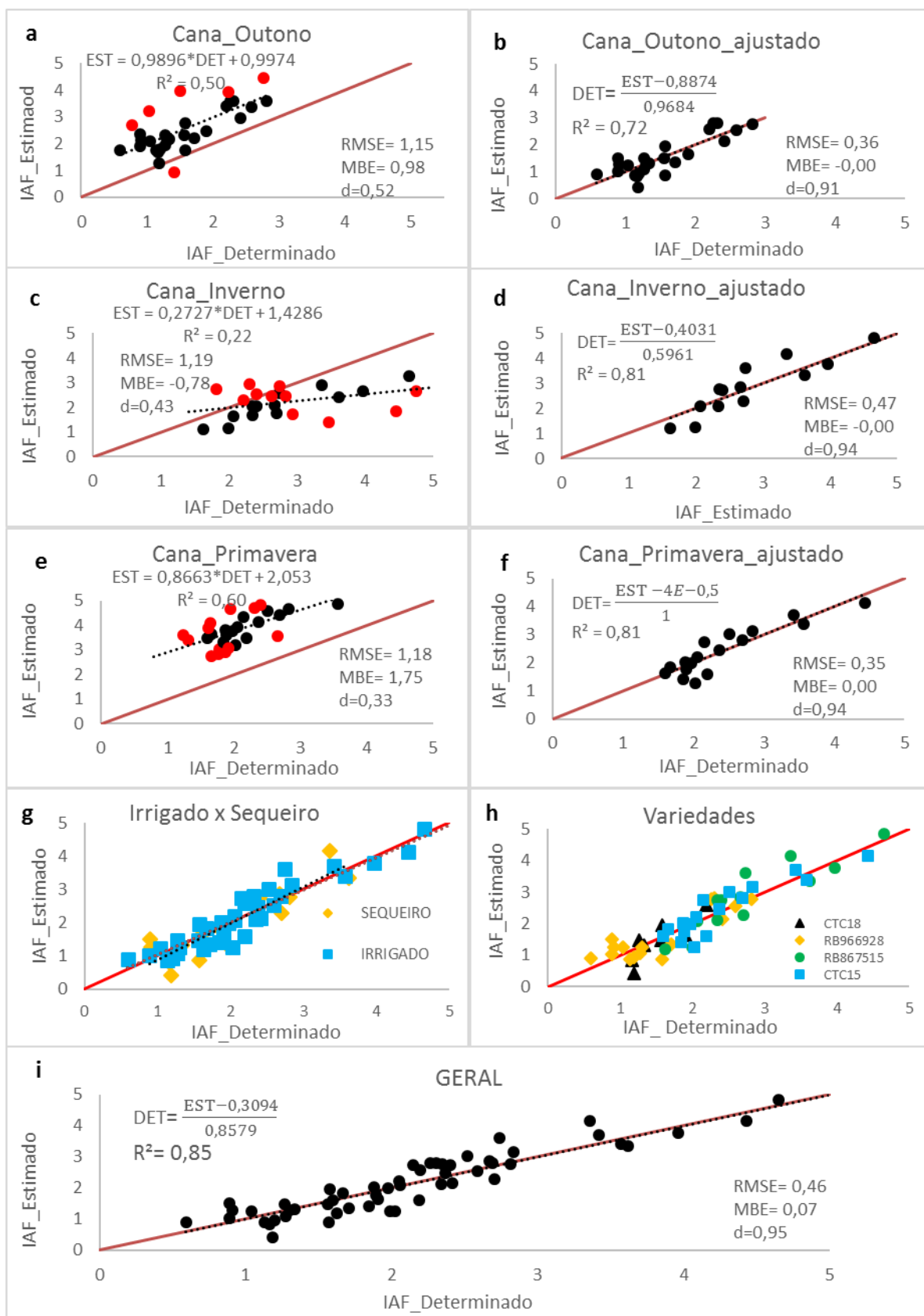


Figura 11- Relação dos valores de IAF medidos (LI-COR 3100C) e estimado (SunScan) para três épocas de colheita (outono, inverno, primavera), gráficos a,c,e sem ajuste (com outlier-●) e gráficos b,d, f com ajuste (sem outlier), assim como, os gráficos com dados já ajustados entre regimes hídricos (g), variedades (h) e total geral das três épocas de colheita (i).

Um aspecto que difere as canas de outono e primavera em detrimento das canas de inverno, principalmente durante os meses mais secos (julho e setembro) é a maior quantidade de folhas secas nesta última, pois atravessa este período seco com maior biomassa e, portanto, sofre maior efeito do déficit hídrico do que as canas de outono e primavera. Durante os eventos de estimativa de IAF com o SunScan, uma dúvida frequente era a que altura posicionar o ceptômetro em relação ao solo. Posicionar o ceptômetro rente ao solo implicaria em considerar equivocadamente que a radiação interceptada pelas folhas secas contribuía para área foliar ativa. Como, normalmente, as folhas secas estão na parte mais baixa do colmo - folhas mais velhas, adotava-se um critério subjetivo, de posicionar o ceptômetro sempre numa linha virtual que separava a parte superior com folhas verdes da parte inferior com folhas secas no dossel. Essa observação era simples de ser realizada na cana com poucas folhas senescidas. Porém, tornava-se mais desafiadora em canavial com grande parte do dossel formado majoritariamente por folhas secas.

Por isso, hipotetiza-se que, a dificuldade de evitar a medição de radiação interceptada pela fração senescida pelo ceptômetro nas canas com maior fração seca – de ciclo de inverno, favoreceram a subestimativa de IAF neste cenário. Por outro lado, medições de dossel majoritariamente verde, como das canas de outono e primavera, conduziram para um padrão de superestimativa comumente apontado na literatura (O'LEARY e DONALSON, 2000; CHIRORO et al. 2006)

Observa-se ainda que para os dados sem ajustes (Figura 10 a,c, e) ocorre uma baixa relação entre os valores estimados e medidos, com baixos valores de coeficientes de determinação (R^2) e exatidão (d). Esses baixos valores também se refletem em maiores coeficientes de erro RMSE e MBE.

Notou-se durante a análise de dados que, os valores estimados mais discrepantes eram justamente aqueles oriundos de medidas realizadas em momentos que o canavial já estava acamado (Figura 11). O acamamento, ou tombamento da cana, ocorre geralmente quando a cana já possui determinada altura e peso, concomitante com ocorrência de chuvas, que deixam a estrutura do solo mais frágil, e ventos, que fazem força de alavanca para tombar a cana (SING et al., 2000). Diferentes variedades, com diferentes teores de fibra, também podem ser mais ou menos susceptíveis ao acamamento (JACKSON et al., 2000). Quando ocorre o acamamento, grande parte da área foliar da cana fica encoberta. Há,

assim, uma senescência acelerada de parte da área foliar. E leva-se um tempo até que a cana, através de sua dominância apical, volte para posição vertical e emita novas folhas (MARCHIORI, 2010).



Figura 12- Efeito do acamamento em cana-de-açúcar na área experimental.

A dificuldade de posicionamento adequado do ceptômetro, comentado acima, certamente influenciou para redução da qualidade da estimativa do IAF pelo SunScan. Deste modo, calibrações deste método devem evitar mensurações com a cana nestas condições.

Por esta razão, neste trabalho, optou-se por considerar *outlier* e então, excluir do processo de calibração, valores de IAF estimados pelo SunScan no período que a cana estava acamada (pontos vermelhos nos gráficos não ajustados).

Após retirada dos outliers, ajustaram-se os modelos de acordo com a Equação. 2. Observa-se então (Figura 10 b, d e f) que, excluindo-se valores estimados em cana acamada, o método SunScan apresentou uma ótima correlação com valores medidos de IAF. Essa boa relação é expressa no ótimo ajuste dos valores à reta 1:1, nos elevados valores dos coeficientes R^2 e d , e reduzidos coeficientes de erro RMSE e MBE.

Observa-se ainda (Figura 10) que a calibração do SunScan não foi afetada pelo regime hídrico (g) ou pelas variedades (h), indicando que os valores de coeficiente de extinção (k) e do parâmetro de distribuição de ângulo elipsooidal das folhas ($ELADP = 1$) utilizados atendem a quaisquer das condições de canavial supracitadas.

De forma geral, verifica-se que, uma vez calibrado, o método SunScan é capaz de estimar os valores de IAF de forma eficiente e confiável, independente da variedade, regime hídrico (sequeiro ou irrigado), ou da época de colheita do canavial (outono, inverno ou primavera) nos canaviais brasileiros, desde que se

evite mensurações em canavial acamado, confirmando a eficiência encontrada por CHIRORO et al. (2006) em avaliações do método em canaviais da África do Sul.

Dadas as pequenas diferenças encontradas entre as correlações de IAF estimado e determinado para os regimes hídricos de sequeiro e irrigado, para diferentes épocas de colheita, e para diferentes variedades, propôs-se então um modelo geral de ajuste das estimativas do SunScan para os canaviais brasileiros, apresentada no gráfico *i* da Figura 10.

5.2 - IAF de cana-de-açúcar em sistema de produção de sequeiro e irrigado

Para analisar a resposta do IAF de cana-de-açúcar em sistema de produção de sequeiro e irrigado, dois aspectos são fundamentais. O primeiro é considerar que anos distintos implicam em clima distinto e, conseqüentemente, em balanço hídrico e desenvolvimento vegetativo distintos. Espera-se que um ano com melhor volume e distribuição de precipitação implicará em menores diferenças nos valores de IAF entre cana irrigada e de sequeiro. Por outro lado, um ano com menor volume e pior distribuição da precipitação implicará em diferenças mais intensas no IAF da cana de sequeiro e irrigada.

Outro aspecto fundamental para ser considerado é a época de colheita da cana. Uma cana colhida no outono, final do período chuvoso no Cerrado, implica em desenvolvimento da brotação e perfilhamento da soqueira sucessiva ocorrendo no início do período seco, quando ainda há alguma umidade do solo. Portanto, espera-se que as diferenças de IAF entre cana de sequeiro e irrigada sejam menores nos primeiros dias, mas crescentes até o final do período de perfilhamento, que coincide com o final do período seco. Espera-se ainda que, neste caso, as diferenças reduzam à medida que se avança para fase de desenvolvimento pleno, que coincide com o período chuvoso para cana de outono.

Já a cana de inverno, colhida próxima a julho, precisa brotar em condições de solo extremamente ressecado. Espera-se então que as diferenças de IAF entre cana de sequeiro e irrigada de inverno também sejam abruptas durante este período de brotação e perfilhamento, reduzindo-se durante a estação chuvosa. A diferença da cana de inverno para cana de outono é que, ao passo que a cana de outono é colhida no final das chuvas, a cana de inverno é colhida já na estação seca e, dependendo do momento da interrupção das chuvas, canas irrigadas

podem apresentar valores de IAF substancialmente superiores a cana de sequeiro devido ao déficit acentuado na fase final de desenvolvimento.

Por fim, a cana de primavera é colhida no início do período chuvoso e, salvo em condições de atraso de início das chuvas, espera-se diferenças mínimas entre IAF de cana de sequeiro e irrigada. Por outro lado, esta cana entra na estação seca com grande biomassa formada, grande demanda hídrica e, por isso, espera-se diferenças abruptas nesta época entre o IAF da cana de sequeiro e irrigada de primavera.

Por isso, como pode-se observar, o ano-safra e a época de colheita são dois fatores fundamentais para análise das diferenças de IAF entre cana de sequeiro e irrigada e, por isso, foram consideradas nesta análise.

5.2.1 - Balanço Hídrico

Apresenta-se na Figura 13 o balanço hídrico para a cana de outono, inverno e primavera, nos três anos-safra utilizados para coleta de dados de IAF de cana de sequeiro e irrigada, mostrando os valores de evapotranspiração da cultura (ET_c) para cana irrigada e de sequeiro, além da precipitação ocorrida em cada ano.

Analisando-se a estação chuvosa (setembro a abril) para os três anos-safra da cana de outono (Figura 13a), inverno (Figura 13b) e primavera (Figura 13c), verifica-se maior concentração pluviométrica entre os meses de novembro a março, com destaque para o mês de janeiro do ano-safra 2015/2016, com um acumulado atípico para anos normais. No entanto, esse ano apresentou o menor volume acumulado (1.139 mm) quando comparado aos anos-safra de 2013/2014 (1.332 mm) e 2014/2015 (1.385 mm), respectivamente.

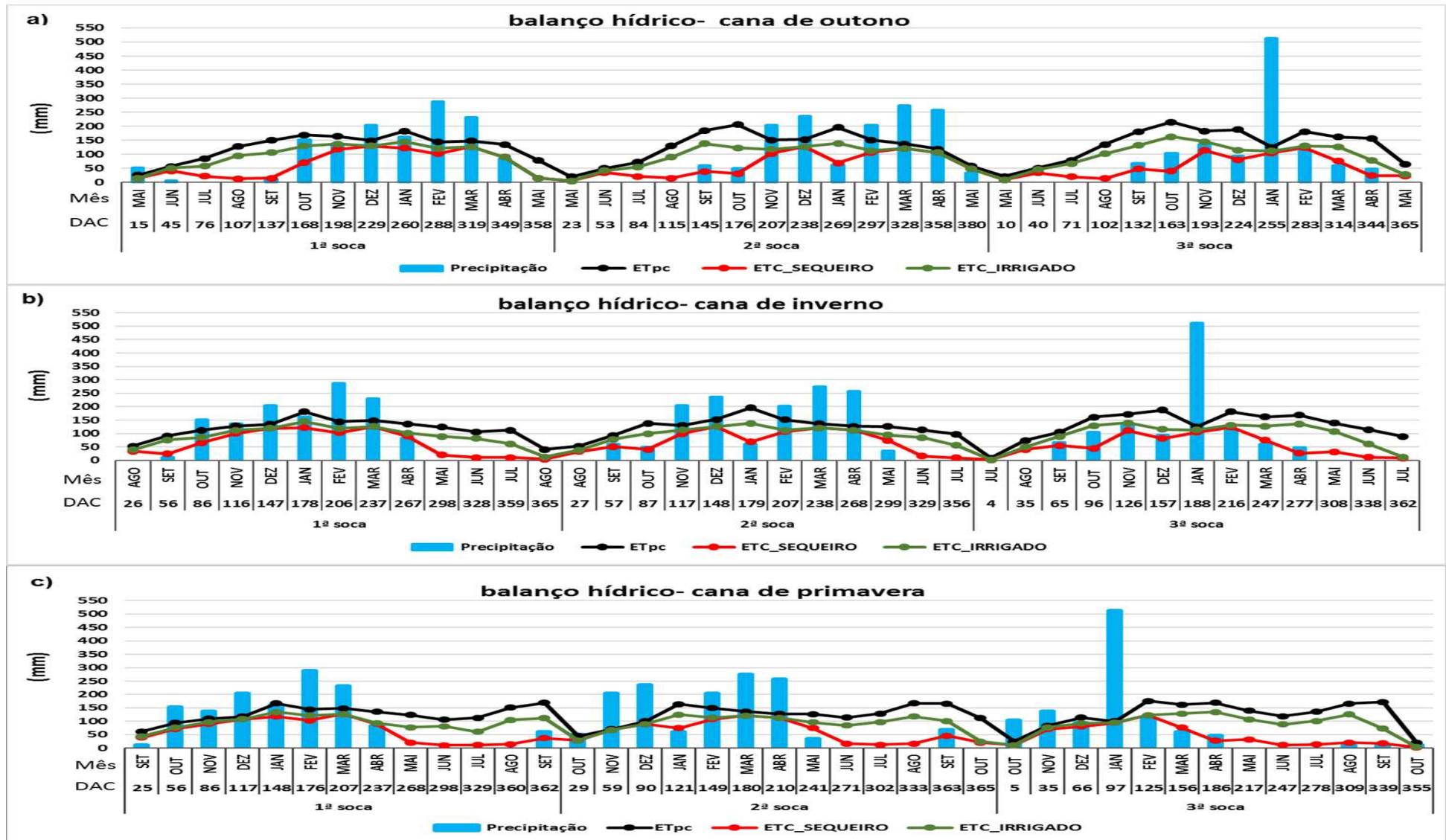


Figura 13- Balanço hídrico para cana-de-açúcar em três épocas de colheita (outono (a), inverno (b) e primavera (c)), ao longo de 3 ciclos de produção (1^a, 2^a, e 3^a socas). **DAC**= Dia após o corte, **ETpc**= Evapotranspiração potencial da cultura, **ETC_SEQUEIRO**= Evapotranspiração da cultura de sequeiro e **ETC_IRRIGADO**= Evapotranspiração da cultura irrigada.

Observa-se (Figura 13) que, conforme esperado, os valores de ETc da cana irrigada e de sequeiro são semelhantes durante a estação chuvosa, em razão da inexistência de déficit hídrico acentuado. Por outro lado, as diferenças nos valores de ETc ampliam-se entre cana irrigada e de sequeiro durante a estação seca, quando a deficiência hídrica no regime de sequeiro limita a evapotranspiração potencial da cultura.

O balanço hídrico da cana de outono (Figura 13a) evidencia a ausência de chuvas entre maio e agosto nos 3 anos-safra do estudo, o que é normal para o Cerrado. Esta ausência de chuva implicou em ETc mensal na cana irrigada até 100mm superior a cana de sequeiro durante a estação seca. Enquanto a cana irrigada evapotranspirou até 150mm em um mês seco, a cana de sequeiro não ultrapassou 50mm no mesmo período. Observa-se ainda que para cana de outono, as diferenças de ETc da cana irrigada e de sequeiro só desapareceram depois de 7, 8 e 9 meses depois do corte para a 1ª, 2ª e 3ª socas (anos-safra 2013-2014, 2014-2015 e 2015-2016), respectivamente.

Nota-se ainda no balanço hídrico da cana de outono que, apesar da grande disponibilidade hídrica nos meses mais chuvosos, comumente a maior nebulosidade também resulta em redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc) e, conseqüentemente, da ETc da cana. Ainda assim, os valores de ETpc da cana de outono durante a estação chuvosa pode chegar a 200mm por mês durante vários meses.

Para cana de outono, as maiores diferenças entre a ETc de cana irrigada e de sequeiro, normalmente, ocorreram até o mês de setembro e outubro. Essas diferenças se atenuam durante os meses mais chuvosos e, frequentemente, permanecem mínimas até o momento da colheita, exceto durante a ocorrência de veranicos, mais comuns no mês de janeiro. Nota-se ainda que, em anos mais secos ou com interrupção prematura das chuvas – caso da 3ª soca, as diferenças entre ETc de cana irrigada e de sequeiro voltam a ser substanciais também no final do ciclo.

A maturação da cana-de-açúcar ocorre nos últimos 60 dias do ciclo. Nesta fase, um déficit hídrico moderado favorece a concentração de açúcares no colmo e a qualidade da cana (INMAN-BAMBER E SMITH 2005) Por isso, no manejo da cana irrigada, pratica-se o chamado *dry-off*, uma estratégia de interrupção da irrigação para forçar a ocorrência deste déficit hídrico moderado e maturação da

cana. Contudo, na cana de outono, por ter seu período de colheita nos meses de abril e maio, transição entre o final da estação chuvosa e seca, frequentemente a ocorrência de chuvas prejudicam o sucesso da estratégia de *dry-off*. Desta sorte, valores elevados de ETc neste período não devem ser interpretados como fator positivo, pois implicam em maior desenvolvimento vegetativo em detrimento da concentração de sacarose e aumento da qualidade da cana que será colhida. Ao analisar o balanço da cana de inverno (Figura 13b) verifica-se que, semelhante a cana de outono, a cana já inicia o novo ciclo com déficit hídrico, evidenciado pelas diferenças nos valores de ETc entre a cana irrigada e de sequeiro. Contudo, por ser colhida já no meio da estação seca, a duração deste déficit hídrico é inferior ao da cana de outono. Na cana de inverno, a diferença de ETc entre cana irrigada e de sequeiro já existia desde os primeiros dias do ciclo, e durou 3, 4 e 7 meses para a 1ª, 2ª e 3ª socas, respectivamente.

Semelhantemente ao que ocorre com a cana de outono, durante o período chuvoso, as diferenças de ETc entre a cana de inverno irrigada e de sequeiro são reduzidas. Contudo, a cana de inverno só passa a primeira metade da fase de desenvolvimento pleno na estação chuvosa. Observa-se ainda na Figura 13b que, mesmo durante a estação chuvosa, a cana de inverno pode apresentar diferenças substanciais de ETc entre cana irrigada e de sequeiro devido aos frequentes eventos de veranico. Este fato é evidenciado pelas diferenças entre o ETc de cana irrigada e de sequeiro entre os meses janeiro e fevereiro da 1ª soca, e de dezembro a fevereiro da 2ª soca, chegando a aproximadamente 100 mm no mês de fevereiro. Essa redução severa da ETc da cana de inverno de sequeiro durante o veranico resulta em diminuição severa de seu desenvolvimento durante um período fundamental para acúmulo de produtividade.

Para cana de inverno, a última metade da fase fenológica de desenvolvimento pleno ocorre no final da estação chuvosa e início da estação seca. E, por isso, as maiores diferenças de ETc entre a cana irrigada e sequeiro de inverno ocorrem justamente neste período.

Nota-se que a cana de inverno de sequeiro apresentou valores de ETc inferiores ao da cana irrigada durante os 4, 3 e 5 meses finais de desenvolvimento da 1ª, 2ª e 3ª, respectivamente. Estas diferenças de ETc entre cana de inverno de sequeiro e irrigada chegaram a 100mm por mês. Neste período, a ETpc da cana

de inverno fica em torno de 150mm por mês, podendo chegar a quase 200mm em um ou dois meses.

No período de maturação da cana de inverno - últimos 60 dias, um déficit hídrico moderado pode ser favorável. Diferentemente da cana de outono, raramente chove no período de maturação da cana de inverno, como pode-se observar na Figura 13b. Por isso, a probabilidade de sucesso na aplicação da estratégia de *dry-off* nesta cana é maior. Mas, ocasionalmente, por fatores operacionais ou mesmo chuvas atípicas, a cana irrigada pode apresentar um valor de ETc maior do que a cana de sequeiro neste período. Isto ocorreu na fase de maturação da cana de inverno da 2ª soca. Por isso, a maior ETc da cana irrigada neste período não deve ser interpretado como fator positivo.

Para cana de primavera (Figura 13c), o início do ciclo ocorre já no início das primeiras chuvas, geralmente entre os meses de setembro a outubro. Neste período, a diferença de ETc entre cana de primavera de sequeiro e irrigada só ocorre durante os veranicos. Para esta cana de inverno, praticamente toda a primeira metade do ciclo de crescimento ocorre durante a estação chuvosa. Na 1ª, 2ª e 3ª socas da cana de primavera, as diferenças entre ETc de cana de irrigada e de sequeiro foram nulas durante, praticamente, os primeiros 4, 3 e 5 meses, respectivamente.

Como pode ser visto na Figura 13c, após o período chuvoso, as diferenças entre ETc de cana de primavera de sequeiro e inverno se acentuam. Nota-se na figura que esta diferença foi superior a 100mm por mês durante aproximadamente 5, 4 e 6 meses da a 1ª, 2ª e 3ª socas, respectivamente, e chegaram a 150mm por mês em algumas ocasiões. Essas grandes diferenças devem-se a intensa demanda hídrica da cana em fase de pleno desenvolvimento, concomitante a baixa oferta hídrica durante a estação seca. Por isso, espera-se grande impacto da irrigação na produtividade da cana de primavera durante a estação seca.

5.2.2- IAF em cana de outono

Observando-se os valores de IAF de cana de outono irrigada e de sequeiro (Figura 14 a), nota-se grande diferença de magnitude ocorrendo, principalmente, durante a estação seca.

As pequenas diferenças nos primeiros 15 dias de brotação logo se intensificam chegando a valores máximos no final da estação seca. Isto pode ser observado nos dados da 1ª e 2ª socas. Infelizmente, por questões operacionais, dados de IAF no final da estação seca da 3ª soca não puderam ser coletados. Contudo, observações de campo evidenciaram o mesmo padrão de comportamento também neste ciclo.

No Cerrado, o déficit hídrico intenso reduz significativamente a densidade e vigor da brotação da cana-de-açúcar de sequeiro. Importa dizer que, mesmo a cana de sequeiro, neste caso, recebeu irrigação de salvamento – uma única lâmina de 60mm para viabilizar a brotação e manutenção de estande de plantas. Esta prática é comum na canavicultura do Cerrado e é reconhecida como essencial para garantir maior longevidade nos canaviais da região. Contudo, percebe-se que, mesmo adotando-se a prática do salvamento, logo a cana regularmente irrigada atinge valores substancialmente superiores de IAF. No final da estação seca, a cana de outono de sequeiro apresentava IAF igual a $2 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$, enquanto a cana irrigada apresentava IAF de $4 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$, ou seja, a cana irrigada apresentava o dobro de área foliar da cana de sequeiro. Notadamente, este maior desenvolvimento da área foliar também repercutiu no desenvolvimento fisiológico da cana irrigada (dados não apresentados). Este mesmo padrão foi observado nas duas primeiras socas.

Esta diferença severa entre o IAF da cana de outono irrigada e de sequeiro começa a reduzir com a chegada da estação chuvosa e reduz ainda mais com a ocorrência eventual do acamamento (Figura 14a).

O acamamento, ou tombamento da cana, ocorre geralmente quando a cana já possui determinada altura e peso, concomitante com ocorrência de chuvas, que deixam a estrutura do solo mais frágil, e ventos, que fazem força de alavanca para tombar a cana (SING et al.,2000). Diferentes variedades, com diferentes teores de fibra, também podem ser mais ou menos susceptíveis ao acamamento (JACKSON et al., 2000). Quando ocorre o acamamento, grande parte da área foliar da cana

fica encoberta. Há, assim, uma senescência acelerada da área foliar. E leva-se um tempo até que a cana, através de sua dominância apical, volte para posição vertical e emita novas folhas (MARCHIORI., 2010).

Para cana de outono, este acamamento (Figura 12) pode se iniciar nos meses de novembro e dezembro, ocorrendo ainda até o final do período chuvoso, em março ou abril do ano seguinte.

Por possuir mais biomassa e porte mais elevado, a cana irrigada pode acamar antes da cana de sequeiro, como pode-se notar aos 240 dias após o corte DAC na 1ª soca e de 240 a 300 DAC na 2ª soca.

Em função da ausência de déficit hídrico acentuado durante a estação chuvosa, as diferenças de IAF entre cana de outono irrigada e de sequeiro não são muito distintas entre o momento do acamamento e a colheita. Contudo, em anos com veranico mais intenso pode-se observar uma diferenciação entre os regimes de sequeiro e irrigado. Essa diferenciação entre os tratamentos irrigados e sequeiro pode ser vista entre 180 e 210 DAC na 1ª soca e entre 180 e 240 DAC na 2ª soca, com diferenças de 53 e 70%, respectivamente.

Importa dizer que, durante o período chuvoso, a redução de IAF na cana irrigada deve-se, principalmente, ao acamamento. Por outro lado, para cana de sequeiro, esta redução de IAF durante o período chuvoso ocorre em detrimento dos veranicos. Esta redução de IAF da cana de sequeiro no período de veranico também foi reportada por Inman- Bamber (2004) em Ayr Queensland, na Austrália. Esta região da Austrália apresenta clima de savana, semelhante ao do Cerrado. Neste trabalho o autor identificou que estresse hídrico durante veranicos na estação chuvosa causou redução no IAF de 3 para 2,5 $m^2.m^{-2}$, ou seja, uma redução de aproximadamente 20%. No caso das canas de outono aqui apresentados, esta redução foi de 4 para 3 $m^2.m^{-2}$, de 3 para 2 $m^2.m^{-2}$ e de 2 para 1,5 $m^2.m^{-2}$, nos ciclos de 1ª, 2ª e 3ª socas, respectivamente. Ou seja, os veranicos resultarem em redução de 25 a 33% do IAF as canas de outono.

Para canas de outono irrigada o valor máximo de IAF foi de 4 e 5,5 $m^2.m^{-2}$, na 1ª e 2ª socas, respectivamente, e de 4 e 3 $m^2.m^{-2}$ para canas de sequeiro.

Diferenças entre IAF da cana de outono irrigada e de sequeiro ocorreram, inclusive, durante a estação chuvosa. Isso deve-se ao fato da cana de sequeiro já entrar na estação chuvosa com menor área foliar. Neste caso, a ocorrência de

veranicos dentro da estação chuvosa também intensifica estas diferenças, como pode ser verificado na Figura 13a.

Frequentemente, devido ao curto espaço de tempo entre o momento do acamamento e início da senescência e maturação da cana de outono, não se distingue diferenças substanciais entre o IAF irrigado e de sequeiro neste período. Isso ocorre por causa da disponibilidade de água proveniente do final da estação chuvosa – ainda que limitada e também do início do processo de senescência da fase de maturação, que também ocorre com a cana irrigada.

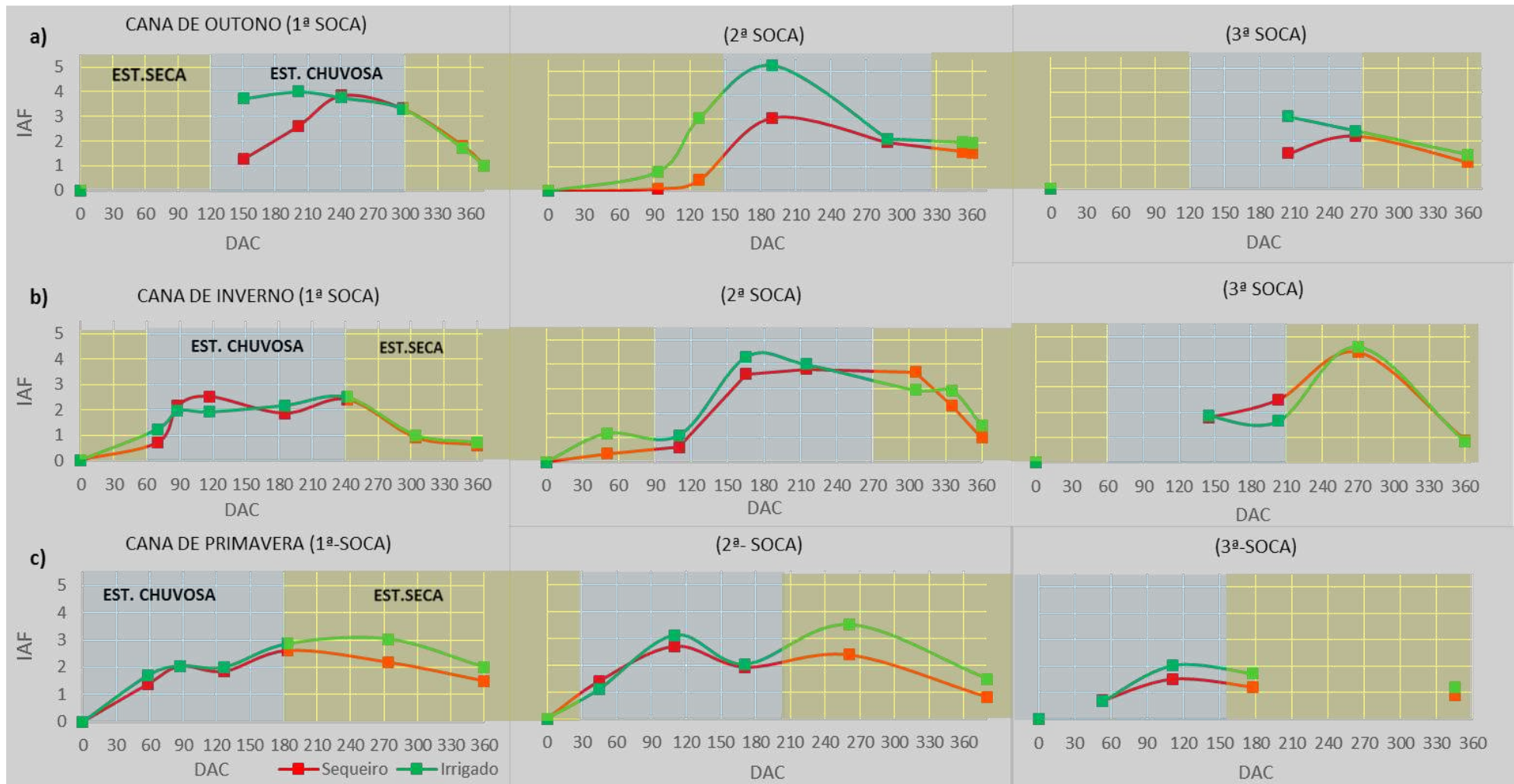


Figura 14- Índice de área foliar (IAF) de cana-de-açúcar, em três épocas de colheita, sendo a) outono, b) inverno e c) primavera, ao longo de três anos safras (2013/2014 - 1ª soca), (2014/2015 - 2ª soca) e (2015/2016 - 3ª soca), expressos em dias após o corte (DAC). Estação chuvosa e estação seca caracterizadas pelas cores azul e amarelo, respectivamente. Valores de IAF de cana irrigada e sequeiro representados por pontos e linhas nas cores verde e vermelha, respectivamente.

5.2.3- IAF em cana de inverno

O tempo em que a cana de inverno (Figura 14b) fica submetida a déficit hídrico entre a execução da irrigação de salvamento a chegada da estação chuvosa é menor – praticamente a metade do tempo, do que o tempo de estresse hídrico sofrido pela cana de outono. Por isso, ao final da estação seca, as diferenças entre o IAF de cana de inverno irrigada e de sequeiro não são tão intensas como as observadas para cana de outono. Ainda assim, o IAF da cana de inverno irrigada ($1,0 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$) chega a ser o dobro da cana de sequeiro ($0,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$) já nos primeiros 30 dias de desenvolvimento.

Com o início da estação chuvosa a cana de sequeiro apresenta crescimento compensatório e aumenta o IAF, mas raramente iguala, em relação a cana irrigada. Este comportamento continua durante a estação chuvosa até que, eventualmente, a cana irrigada sofra acamamento. Esta é a razão do menor IAF da cana irrigada em relação ao sequeiro aos 120, 300 e 200 DAC na 1ª, 2ª e 3ª socas, respectivamente. Nota-se, contudo, que, após o acamamento, o crescimento mais vigoroso da cana irrigada logo resulta em IAF novamente superior a cana de sequeiro.

Nota-se ainda na Figura 14b um fenômeno comum para cana irrigada com alta produtividade - um duplo acamamento, observado aos 300 e 220 DAC na 1ª e 2ª socas, respectivamente.

Semelhantemente ao observado na cana de outono, devido ao curto espaço de tempo entre o momento do acamamento e o início da senescência e maturação da cana de inverno, não distingue-se diferenças substanciais entre o IAF irrigado e de sequeiro neste período.

O valor máximo de IAF da cana de inverno irrigada foi de $4,6 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$, aos 270 DAC da 3ª soca. Para o mesmo período, o sequeiro apresentou IAF $4,4 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$. Esse valor próximo ao irrigado deve-se ao maior volume de chuva atípico ocorrido no mês janeiro 2016 (Figura 13b). Observa-se ainda que os valores de ET_c para este período também foram semelhantes para este mês.

Verifica-se ainda para cana irrigada e de sequeiro nos três anos-safras da cana de inverno, uma variação nos valores máximos de IAF frente as estações chuvosas e seca. Nota-se que para a estação chuvosa os valores de IAF do tratamento irrigado e sequeiro são menores ao comparar a 1ª e 3ª soca com a 2ª no período de 200 DAC.

Pode-se hipotetizar que na 1ª e 3ª soca houve um acamamento precoce, reduzindo substancialmente seu IAF na ordem de $2 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ em ambos os tratamentos, esse efeito pode ser verificado se analisarmos o maior volume de precipitações acumulado nos meses de janeiro e fevereiro referentes a 1ª e 3ª soca no balanço hídrico (Figura 13 b), em contra partida, o menor volume para a 2ª soca no mesmos meses ocasionou um valor maior de IAF em torno de 4 e $3,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ para cana irrigada e de sequeiro respectivamente.

Já para a estação seca a 2ª e 3ª soca tiveram comportamento e valores de IAF semelhantes em ambos os tratamentos, divergindo da 1ª soca com valores inferiores, ocasionado pelo maior grau de acamamento.

5.2.4- IAF em cana de primavera

Apresenta-se na Figura 14c, o comportamento do IAF para a cana de primavera irrigada e de sequeiro.

Como o ciclo da cana de primavera inicia-se já no incio da estação chuvosa as diferenças de IAF entre a cana irrigada e de sequeiro são tênues, e somente intensificam-se neste período mediante a ocorrência de veranicos.

No final da estação chuvosa, depois de 150 a 180 dias de crescimento, o IAF da cana de inverno irrigada alcançou valores máximos de 2, 3 e $2 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$, na 1ª, 2ª e 3ª socas, respectivamente. E a cana irrigada apresentou IAF de até $0,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ superior a cana de sequeiro.

Ao entrar na estação seca, as diferenças entre o IAF da cana de primavera irrigada e de sequeiro intensificam-se, como pode-se observar na Figura 14c. O IAF da cana de sequeiro, durante a estação seca, chega a ser de 40 a 55% inferior ao da cana irrigada. Enquanto a cana irrigada alcança valores máximos de até $3.5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$, a cana de sequeiro alcança valores de no máximo $2.4 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$.

Notadamente, os valores de IAF da cana de primavera irrigada só não atingem valores maiores devido ao acamamento precoce, que ocorre inicialmente entre 120 e 150 DAC e, ocasionalmente, devido a um segundo acamamento, que ocorre próximo aos 270 DAC.

5.2.5- Síntese

De forma geral, analisando-se os valores de IAF para cana no Cerrado, nos três ciclos (outono, inverno e primavera) e durante os 3 anos-safra (1^a, 2^a e 3^a socas), a cana irrigada apresentou valores médios de IAF até 50% superiores aos alcançados pela cana de sequeiro. Enquanto a cana de sequeiro atingiu IAF máximo entre 3,5 e 4 m².m⁻², a cana irrigada atingiu valor máximo de até 5,2 m².m⁻². Acredita-se que valores superiores de IAF em cana irrigada possam se registrados no Cerrado mediante o uso de variedades menos suscetíveis ao acamamento e condições climáticas com menor intensidade de vento e precipitação no período de desenvolvimento pleno da cana.

Iaia (2014), trabalhando com cana de sequeiro e irrigada no Cerrado de São José do Rio Largo-MT, verificou valores máximos semelhantes, na ordem de 5,0 m².m⁻² para cana irrigada e de 3,7 m².m⁻² para sequeiro. Apesar do autor ter trabalhado com número menor de variedades e somente um ano de dados, seus dados corroboram com o resultado deste trabalho, indicando que, de fato, no Cerrado, a cana-soca de sequeiro tem potencial de desenvolver IAF máximo próximo a 4 m².m⁻², ao passo que a cana-soca irrigada pode atingir valores superiores a 5 m².m⁻².

Em Capim-PB, Farias et al. (2007) verificaram valor máximo de IAF em torno de 4,0 m².m⁻² para cana irrigada e 1,7 m².m⁻² para o sequeiro. Nesta região, o clima apresenta potencial de evapotranspiração semelhante ao Cerrado. Em contrapartida o clima é tropical chuvoso com verão seco. Contudo, os valores menores de IAF indicam desenvolvimento vegetativo menos vigoroso. Isto também pode estar relacionado a outras questões de manejo, como a fertilidade do solo – evidenciado por valores de produtividade que chegam a metade dos valores obtidos neste trabalho no Cerrado (dados não apresentados).

Silva et al. (2012), em Juazeiro-BA, encontrou valor máximo de IAF de 5,5 m².m⁻² para cana-soca irrigada aos 211DAC. Este valor muito semelhante ao encontrado neste trabalho. Considerando que Silva et al. (2012) utilizaram variedades semelhantes as deste trabalho, e que Juazeiro está localizada em região semi-árido - com potencial climático superior ao do Cerrado, pode-se hipotetizar que, garantindo-se condições ótimas de manejo, como tratos

fitossanitários e fertilidade, o fator que restringirá maiores valores de IAF é o acamamento, e não necessariamente o potencial climático.

Em Ingham, Austrália, uma região com clima semelhante ao do Cerrado, Robertson et al. (1996) registrou valor máximo de IAF para cana-soca irrigada em torno de 7,0 m².m⁻². Uma vez que o potencial climático é semelhante ao deste trabalho no Cerrado e que se garantiu condições de fertilidade não limitantes em ambos, hipotetiza-se que o maior valor de IAF registrado na Austrália deve-se às características da variedade, com provável menor susceptibilidade ao acamamento precoce. Vale ressaltar que o método empregado por Robertson et al. (1996) na determinação do IAF foi o método destrutivo de campo, semelhante ao utilizado para o segundo objetivo deste trabalho, o que descarta possível efeito de superestimativa do IAF em virtude do método utilizado, possibilidade esta apontada no tópico anterior deste trabalho.

5.3- Efeitos do regime hídrico e variedade no IAF de cana-de-açúcar no Cerrado

Para avaliar o efeito do fator regime hídrico na evolução do IAF ao longo do ciclo de produção no Cerrado, medido em dias após o corte (DAC), utilizou-se dados estimados pelo método SunScan para 3 regimes hídricos (% de reposição da ITN), de 3 experimentos (cana de outono, inverno e primavera), em 2 safras (2^a. soca - safra 2014/15 e 3^a soca - safra 2015/16).

De forma similar para avaliar o efeito do fator variedade de cana na evolução do IAF ao longo do ciclo de produção (DAC), utilizou-se dados estimados pelo método SunScan para 6 variedades, sendo 2 para cada época de colheita (outono, inverno e primavera), submetidas a 3 regimes hídricos distintos, em 2 safras, (2^a soca - safra 2014/15 e 3^a soca - safra 2015/16).

As ANOVAS para o efeito de regime hídrico (RH), variedade (V) e suas interações estão apresentadas nas Tabelas 5, 6 e 7, para cana de outono, inverno e primavera, respectivamente.

Na Tabela 5, observa-se que efeito do regime hídrico (RH) no IAF da cana de outono foi significativo ($p \leq 0,05$) para todas as datas da 2^a soca e aos 31 DAC para a 3^a soca. Essa significância em quase todo ciclo demonstra o efeito claro da irrigação no aumento do IAF. O efeito variedade (V) foi substancialmente mais

tênue do que o efeito RH, apresentando diferença somente para aos 93 DAC. Para interação dos efeitos V x RH houve significância somente aos 211DAC da 2ª soca e 333 DAC da 3ª soca.

Tabela 5- Análise de variância (ANOVA) dos regimes hídricos (RH) e variedade (V) sobre o índice de área foliar (IAF), em diferentes dias após o corte (DAC) para 2ª e 3ª socas de cana de outono.

Quadrado Médio							
Índice de área foliar (outono)							
		2ª SOCA				3ª SOCA	
Efeito	GL	93 DAC	115 DAC	150 DAC	211 DAC	31 DAC	333 DAC
Bloco	3	0,0250	0,0826	0,1161	0,2805	0,0013	0,2120
RH	2	0,3634*	0,7629*	13,1716*	9,8201*	0,0163*	1,5712 ^{ns}
Erro (A)	6	0,0397	0,1184	0,1544	0,1685	0,0019	0,6439
Variedade	1	0,2329 ^{ns}	0,0937 ^{ns}	0,0600 ^{ns}	0,4506*	0,0032 ^{ns}	2,1901 ^{ns}
V x RH	2	0,0272*	0,0837*	0,0650*	1,8874*	0,0016 ^{ns}	3,1120*
Erro (B)	9	0,0431	0,0248	0,0500	0,1241	0,0010	0,5015
C.V.%		22,70	11,03	7,96	6,96	8,32	29,30

* $p \leq 0,05$; ns $p > 0,05$.

Para cana de inverno (Tabela 6), observa-se que houve diferença significativa para o efeito RH sobre o IAF em todos os momentos avaliados na 2ª soca, mas não para 3ª soca. Para o fator V, também se observou efeito positivo ($p \leq 0,05$) sobre o IAF em todos os momentos avaliados, com excessão dos 193 DAC da 3ª soca. Registra-se ainda ocorrência de interação V X RH aos 62, 123 e 236 DAC da 2ª soca.

Tabela 6- Análise de variância (ANOVA) dos regimes hídricos (RH) e variedade (V) sobre o índice de área foliar (IAF), em diferentes dias após o corte (DAC) para 2ª e 3ª socas de cana de inverno.

Quadrado Médio								
Índice de área foliar (inverno)								
Efeito	GL	2ª SOCA					3ª SOCA	
		62 DAC	123 DAC	188 DAC	236 DAC	326 DAC	193 DAC	267 DAC
Bloco	3	0,0198	0,0221	0,3954	0,2987	0,2934	0,1147	0,3158
RH	2	0,6587*	1,6216*	4,5119*	1,6284*	1,0455*	0,0010 ^{ns}	0,2304 ^{ns}
Erro (A)	3	0,2910	0,0288	0,2023	0,1472	0,1896	0,4903	0,1222
Variedade	1	2,2509*	25,916*	22,601*	1,3728 ^{ns}	8,7172*	3,0115 ^{ns}	7,9695*
V X RH	2	0,2148*	1,5022*	0,8297*	1,5556*	0,4658 ^{ns}	0,433 ^{ns}	0,0266 ^{ns}
Erro (B)	12	0,0363	0,0544	0,3295	0,0836	0,1014	0,1474	0,7550
C.V.%		20,31	5,62	13,13	9,70	13,18	10,71	27,61

* $p \leq 0,05$; ns $p > 0,05$.

Para cana de primavera (Tabela 7), notou-se diferença significativa ($p \leq 0,05$) do efeito RH sobre o IAF até os 175 DAC na 2ª soca e também para os momentos avaliados na 3ª soca. O efeito V sobre o IAF da cana de primavera ocorreu somente aos 61 e 175 DAC da 2ª soca. Houve interação para os efeitos V X RH no IAF da cana de primavera aos 294 DAC da 2ª soca e aos 179 DAC da 3ª.

Tabela 7- Análise de variância (ANOVA) dos regimes hídricos (RH) e variedade (V) sobre o índice de área foliar (IAF), em diferentes dias após o corte (DAC) para 2ª e 3ª socas de cana de primavera.

Quadrado Médio							
Índice de área foliar (primavera)							
Efeito	GL	2ª SOCA				3ª SOCA	
		61 DAC	127 DAC	175 DAC	294 DAC	105 DAC	179 DAC
Bloco	3	0,0195	1,9604	0,1658	1,4898	0,0913	0,0470
RH	2	0,1745*	3,6828*	0,2369 ^{ns}	0,9248 ^{ns}	0,8621*	0,7469*
Erro (A)	3	0,0076	0,7443	0,0220	0,3281	0,0654	0,0723
Variedade	1	0,3480*	1,9323 ^{ns}	0,4732*	0,6666 ^{ns}	0,0228 ^{ns}	0,0495 ^{ns}
V X RH	2	0,0052 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,0865 ^{ns}	2,3161*	0,0773 ^{ns}	1,0756*
Erro (B)	12	0,0240	0,7651	0,0671	0,4094	0,0913	0,1241
C.V.%		12,97	35,44	8,02	13,22	7,61	7,77

* $p \leq 0,05$; ns $p > 0,05$.

5.3.1- Efeito do regime hídrico no IAF

Apresenta-se na Figura 15 o efeito do RH nos valores de IAF de cana de outono na 2ª soca. Observa que, à medida que se avança ao longo do ciclo, o IAF da cana sobre regime hídrico mais intenso aumenta em relação a cana em regime de sequeiro (0% de ITN). Mesmo no início do ciclo, aos 93 DAC, o IAF do regime 100% de ITN já se diferenciava dos demais. As diferenças nos valores de IAF entre os regimes de maior e menor satisfação hídrica aumentaram mais expressivamente até final do período de seca, pouco depois dos 150 DAC. Depois do retorno das chuvas, após os 150 DAC, o IAF do regime hídrico de 50% se igualou ao regime de 100% de ITN.

Nota-se ainda que o valor máximo de IAF observado nesse período no regime de sequeiro foi de 3,7 m².m⁻², ao passo que o regime de 100% de reposição de ITN permitiu desenvolvimeto de valores de IAF de 5,8 m².m⁻², 57% superior ao IAF do regime de sequeiro.

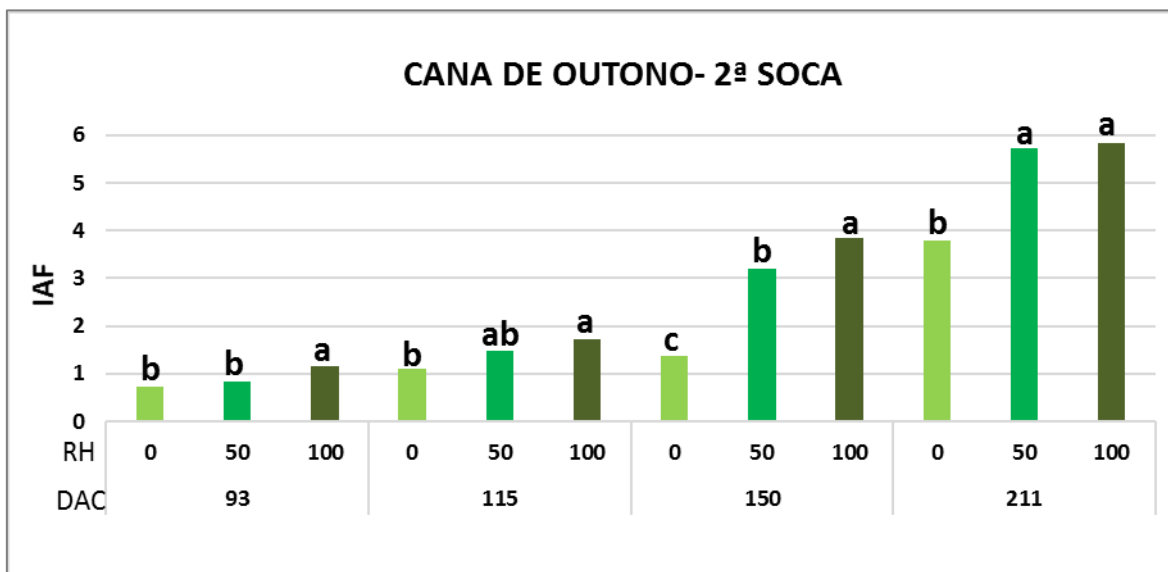


Figura 15- Índice de área foliar estimado para cana de outono, avaliados em três regimes hídricos (RH), correspondentes a 0, 50,100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 2ª soca– dias após o corte (DAC). Média de suas variedades. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na 3ª soca (Figura 16) demonstras-se o efeito do RH entre o tratamento 0 e 100 % já aos 31 DAC. Aos 333 DAC, bem próximo ao final do ciclo e, portanto, na fase de maturação, a média de IAF para os tratamentos foi de aproximadamente de 2,4 m².m⁻² e não diferiram estatisticamente. Nesta fase, o acamamento intenso e o processo de senescência intensificado pela maturação explica a ausência de diferenças na área foliar em detrimento do regime hídrico.

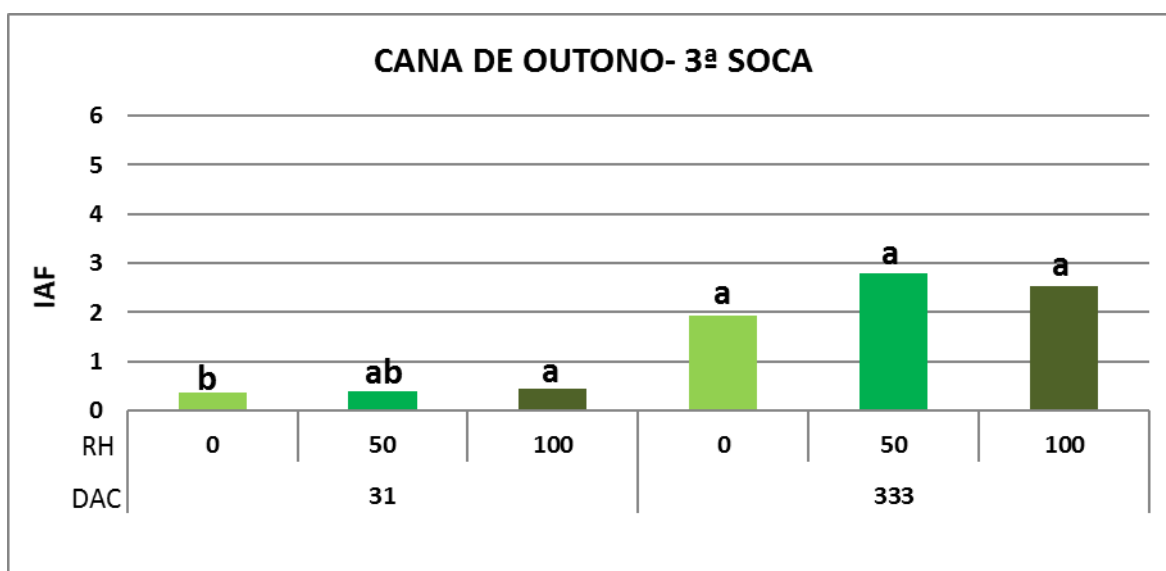


Figura 16- Índice de área foliar estimado para cana de outono, avaliados em três regimes hídricos (RH), correspondentes a 0, 50,100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 3ª soca– dias após o corte (DAC). Média de suas variedades. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Apresenta-se na Figura 17 o efeito do RH no IAF da cana de inverno durante a 2ª soca. Semelhantemente ao observado na cana de outono, nota-se efeito positivo do regime hídrico já no início do ciclo (62 DAC), com maiores valores de IAF para os tratamentos irrigados (50 e 125% da ITN) em comparação com o sequeiro (0% da ITN). Contudo, não se nota diferença entre os dois regimes irrigados. Este padrão permanece até os 123 DAC, com IAF dos tratamentos irrigados aproximadamente 22% superiores ao sequeiro. Aos 188 DAC, um pouco mais da metade do ciclo, e já dentro do período chuvoso, nota-se um crescimento compensatório do tratamento de sequeiro, suficiente para igualá-lo ao valor de IAF do tratamento com 50% da ITN. Neste momento, o tratamento com 100% de ITN ainda apresentava valor de IAF 25% superior ($5,2 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$) aos tratamentos com reposição de 0 e 50% da ITN. Este fato evidencia que, mesmo que haja crescimento compensatório da cana de sequeiro com a chegada das chuvas, por vezes esse crescimento não é suficiente para compensar o atraso no crescimento e no desenvolvimento ocasionado pelo estresse hídrico.

A partir dos 236 DAC, e seguindo-se até o final do ciclo, nota-se redução acentuada dos valores de IAF da cana irrigada em virtude do acamamento mais prematuro, resultando em valores de IAF inferiores aos da cana de sequeiro. Esse acamamento foi mais intenso no tratamento 100% da ITN aos 326 DAC inviabilizando valores confiáveis e não apresentação dos dados.

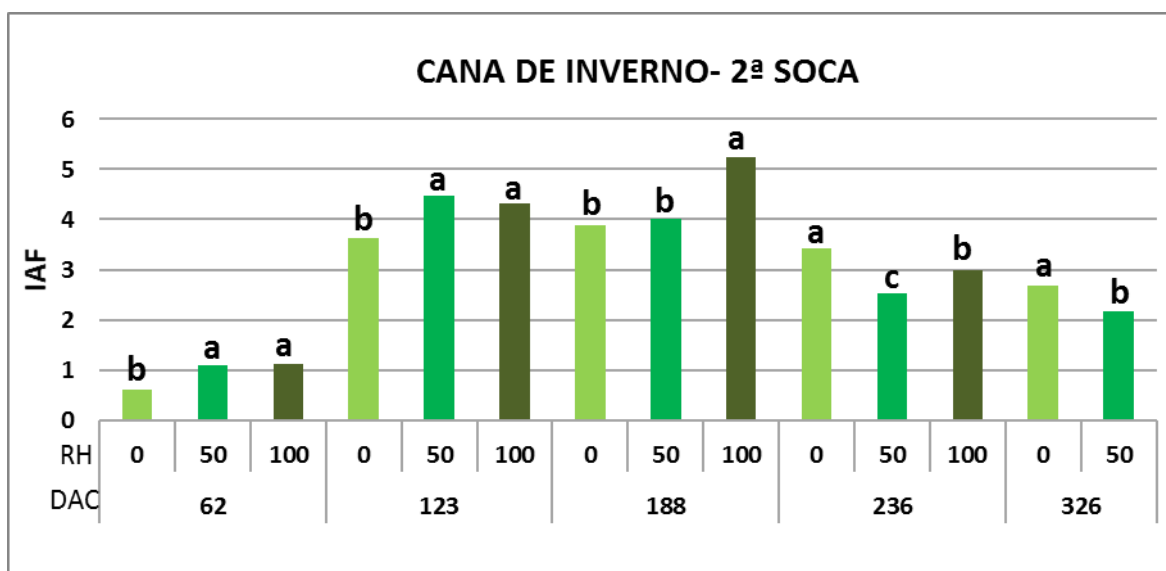


Figura 17- Índice de área foliar estimado para cana de inverno, avaliados em três regimes hídricos (RH), correspondentes a 0, 50, 100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 2ª soca— dias após o corte (DAC). Média de suas variedades. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 18 são apresentados os valores de IAF de cana de inverno submetidas a diferentes regimes hídricos na segunda metade do ciclo de 3ª soca. Semelhantemente ao notado para o ciclo de 2ª soca, a partir da metade do ciclo, depois da ocorrência do acamamento da cana irrigada, não se observa valores de IAF de cana de inverno irrigada superior ao da cana de sequeiro.

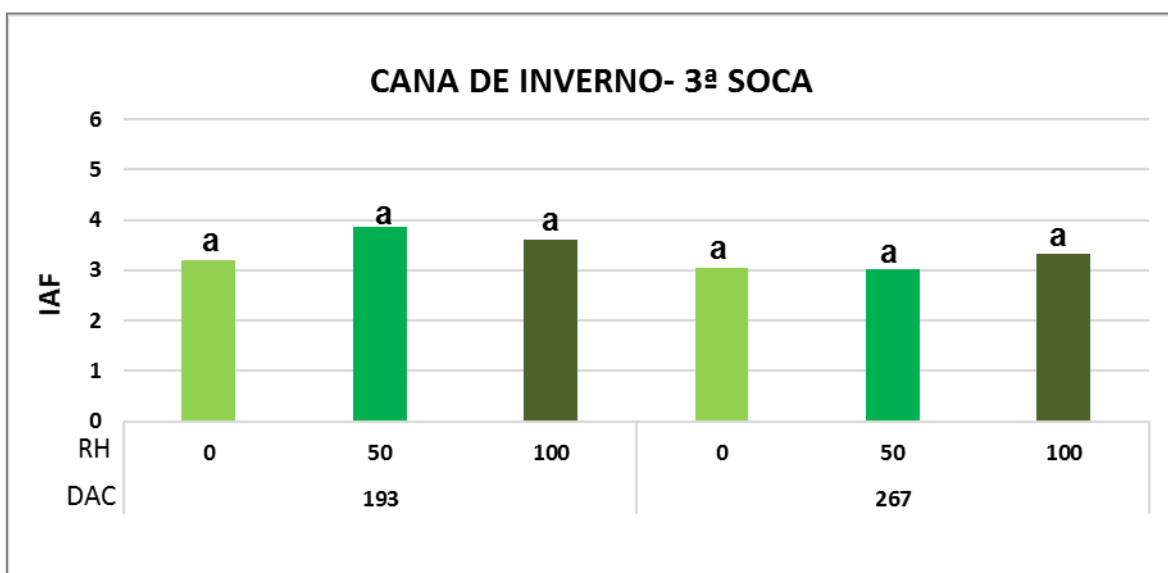


Figura 18- Índice de área foliar estimado para cana de inverno, avaliados em três regimes hídricos (RH), correspondentes a 0, 50, 100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 3ª soca- dias após o corte (DAC). Média de suas variedades. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Apresentam-se na Figura 19 os valores de IAF submetidos a diferentes regimes hídricos durante a 2ª soca da cana de primavera. No início do ciclo, que coincide com o início da estação chuvosa, a diferenciação do regime hídrico não demonstra efeitos claros nos valores de IAF da cana de primavera. Já aos 127 DAC, notam-se valores superiores de IAF para o tratamento com reposição de 100% da ITN. Após os 127 DAC, ou seja, aos 175 e 294 DAC, a cana de primavera, já acamada, não apresenta diferenças estatisticamente significativas entre para os valores de IAF nos diferentes RH. Apesar disso, nota-se uma tendência numérica de aumento do IAF em função do aumento do regime hídrico, com valores oscilando entre 4,5 m².m⁻² (0% ITN) e 5,1 m².m⁻² (100% ITN).

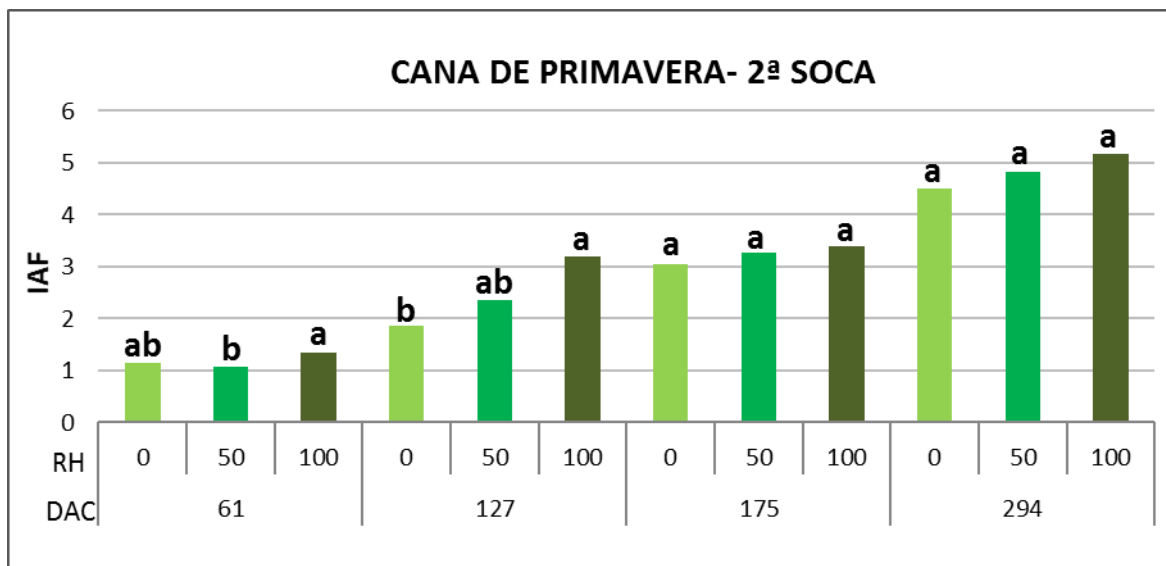


Figura 19- Índice de área foliar estimado para cana de primavera, avaliados em três regimes hídricos (RH), correspondentes a 0, 50, 100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 2ª soca— dias após o corte (DAC). Média de suas variedades. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 20, que apresenta valores de IAF submetidos a diferentes regimes hídricos durante a 3ª soca da cana de primavera, nota-se que houve diferenças significativas entre os valores de IAF dos tratamentos irrigados e sequeiro. Contudo, não houve diferença entre os tratamentos com 50 e 100% de ITN. No mesmo período da 2ª soca, também se observou valores superiores de IAF para os tratamentos irrigados, apesar de ocorrerem no meio da estação chuvosa. Este fato provavelmente ocorre devido aos frequentes veranicos nos meses de janeiro e fevereiro no Cerrado, possibilitando crescimento superior nos tratamentos irrigados em relação ao sequeiro.

Aos 193 DAC do ciclo de 3ª soca de primavera, nota-se maior valor de IAF da cana de primavera irrigada (50 e 100% da ITN) em comparação com a cana de sequeiro (0% ITN). Ressalta-se que este ano apresentou deficiência hídrica superior ao ciclo de 2ª soca e, provavelmente, esta é a causa de visualizarmos nesta fase da 3ª soca diferenças estatisticamente significativas entre IAF de cana irrigada e de sequeiro que não ficaram tão claras na 2ª soca. Cabe ainda ressaltar que, no terço final do ciclo, os tratamentos submetidos a regimes irrigados já sofreram até dois eventos de acamamento, e que, devido ao intenso déficit hídrico que ocorre durante a fase de desenvolvimento pleno, a cana ainda consegue se reerguer e construir área foliar superior à da cana de sequeiro. Observa-se ainda, que os

valores de IAF da 3ª soca da cana sob regime hídrico irrigado foram superiores aos da 2ª soca comparados aos períodos semelhantes.

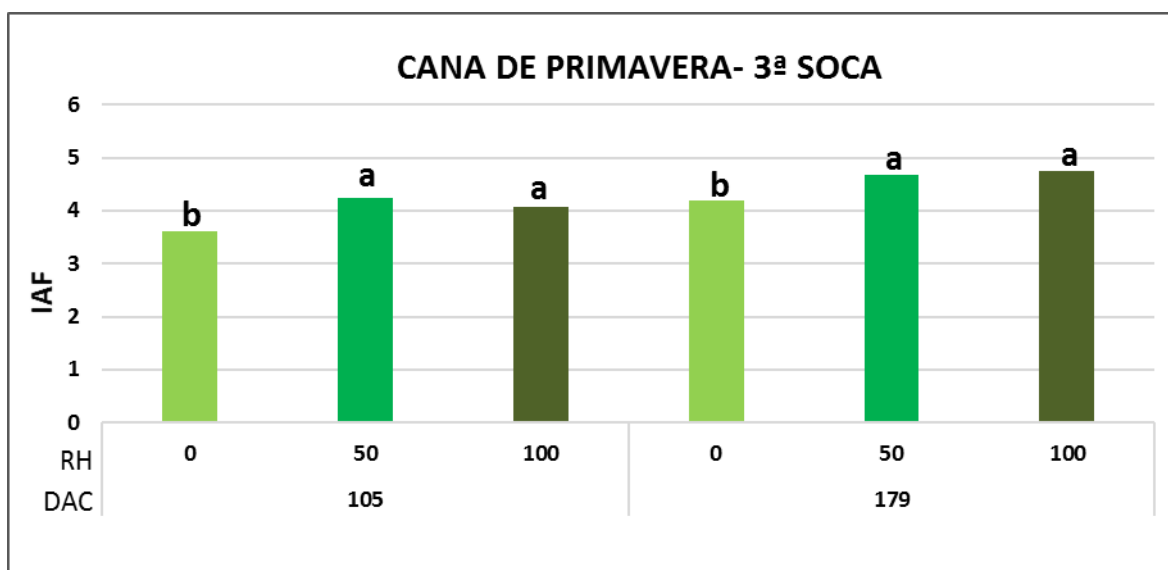


Figura 20- Índice de área foliar estimado para cana de primavera, avaliados em três regimes hídricos (RH), correspondentes a 0, 50, 100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 3ª soca— dias após o corte (DAC). Média de suas variedades. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

De forma geral, no Cerrado, para cana de outono, inverno e primavera, nota-se claro efeito do regime hídrico no valor de IAF, sobretudo durante a estação seca mas, ocasionalmente, também durante os momentos de veranico na estação chuvosa. Isto ocorre porque, quando submetida a déficit hídrico, a planta reduz o crescimento das folhas (INMAM-BAMBER, 2004) e, dependendo da intensidade do estresse hídrico, reduz inclusive a taxa de emissão de folhas (MACHADO et al., 2009). Outros autores também notaram redução de IAF com o efeito do estresse hídrico, a saber, Barros (2011), Costa (2012), Endres et al. (2010), Farias et al. (2008) Ferreira et al. (2008), Muchow et al. (1994), Ramesh e Mahadevaswamy (2000) e Zhao et al. (2010), dentre outros.

Na fase fenológica de brotação e perfilhamento, a cana irrigada no Cerrado apresentou IAF de até 1,5 m².m⁻², enquanto a cana em regime de sequeiro apresentou valor máximo próximo a 1 m².m⁻². Nesta fase, o maior efeito do regime hídrico sobre o IAF foi encontrado na cana de inverno, com valor máximo ao redor de 1,12 m².m⁻² para cana com 100% de ITN, 87% superior ao IAF máximo da cana com 0% de ITN (0,6 m².m⁻²).

A cana de inverno é colhida próximo ao mês de julho, quando a umidade do solo já está muito baixa no Cerrado. Na mesma fase fenológica, a cana de outono

ainda encontra umidade no solo, oriunda do final da estação chuvosa. Ainda assim, nesta fase, encontrou-se valores de IAF nos tratamentos irrigados (50 e 100% ITN) 26 e 43% superiores, respectivamente, a cana de sequeiro (0% ITN). A cana de primavera, colhida já no início da estação chuvosa, também encontra condições de umidade do solo mais favoráveis a brotação e perfilhamento comparado a cana de inverno. Ainda assim, foram registrados valores de IAF de cana irrigada 27% superiores a cana de sequeiro.

Na fase fenológica de pleno desenvolvimento (entre 120 e 300 DAC), as maiores diferenças de IAF de cana submetida a diferentes RH no Cerrado foram observadas para cana de outono, com valores de IAF de cana irrigada frequentemente 50% e, ocasionalmente, 80% superiores ao regime de sequeiro. Enquanto valores máximos de IAF da cana de sequeiro raramente ultrapassavam $4 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, nos regimes com 50 e 100% de reposição da ITN, estes valores eram frequentemente superiores a 5 e, em alguns casos, próximos a $6 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$.

Os valores máximos de IAF de cana em regime hídrico irrigado e de sequeiro no Cerrado, bem como a diferença entre os regimes hídricos, são superiores aos encontrados por Farias et al. (2007) em Capim-PB, por Suguitani (2006) em Piracicaba-SP, mas semelhantes aos encontrados por Silva et al. (2012) em Juazeiro-BA e mesmo por Iaia (2014) no Cerrado do Mato Grosso.

Os valores máximos de IAF para os tratamentos irrigado e sequeiro encontrados neste trabalho foram, contudo, inferiores ao de Costa et al. (2012) trabalhando em Penápolis-SP, que obteve valor máximo de $9,6 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ na cana irrigada e $7,5 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, para a de sequeiro. O clima de Penápolis-SP (radiação e temperatura) apresenta potencial ligeiramente inferior ao do Cerrado de Goiás. Por isso, os maiores valores de IAF encontrados por Costa et al. (2012) podem estar associados a ausência de acamamento, ou ao método utilizado para computo do IAF. Aparentemente, as variedades utilizadas naquele trabalho têm suscetibilidade ao acamamento semelhante ao deste, sobrando a hipótese associada ao método de medição, como por exemplo, computo das folhas senescidas como área foliar fotossinteticamente ativa.

Os valores máximos de IAF obtidos para cana em regime hídrico irrigado no Cerrado também foram inferiores aos valores apontados por Muchow et al. (1994), $6,5 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, e por Robertson et al. (1996), ambos na Austrália. O potencial climático da região destes estudos na Austrália é semelhante ao Cerrado brasileiro. Os

valores deste trabalho também foram determinados a partir de integradores de área foliar. Nestes casos, as variedades da Austrália são conhecidas pelo maior teor de fibra e menor propensão ao acamamento, o que pode ter contribuído para o canavial ter atingido valor de IAF superior ao encontrado neste trabalho no Cerrado. Para Jackson et al. (2000) acamamento ou tombamento pode estar relacionado com a genética de cada variedade variando dentro ou entre elas. Em complemento, Caputo (2003) confirma que os ventos fortes têm grande efeito no tombamento da cana.

Importa ressaltar, contudo, que o desenvolvimento vegetativo e, assim, o IAF de uma cultura, não depende somente do regime hídrico, mas também pode sofrer influência de fatores como variedade, fertilidade do solo, além de outras questões de manejo e clima (KRAMER, 1983, INMAM-BAMBER, 2004 E WIEDENFELD E ENCISO, 2008). Como os dados apresentados por Ferreira et al. (2008) apresentam potencial climático (radiação e temperatura) igual ou superior aos encontrados no Cerrado, provavelmente os valores de IAF máximo encontrados naquele trabalho podem ter sido limitados por aspectos nutricionais ou de manejo.

De acordo com Arantes (2012) as diferenças entre valores máximos de IAF da cana irrigada e de sequeiro é influenciada também pela quantidade e momento correto da aplicação da irrigação, uma vez que o manejo da irrigação e logo, a intensidade do estresse hídrico interfere diretamente no processo de divisão e diferenciação das células foliares. O autor afirma ainda, que as diferenças entre as canas irrigadas e de sequeiro são mais visíveis no pleno desenvolvimento e reduz no final do ciclo devido a baixa dependência da água, além do processo de senescência e maturação da cana, fato este claramente corroborado por este trabalho no Cerrado.

5.3.2- Efeito das variedades no IAF

Na figura 21, apresenta-se a comparação dos valores de IAF ao longo do ciclo para duas variedades de outono em 2ª soca. Nota-se que houve um crescimento acentuado no valor do IAF de ambas variedades ao longo do ciclo, contudo, o maior desenvolvimento ocorre entre 150 a 211 DAC, que coincide com o início do período chuvoso. Não houve diferença significativa para os valores de IAF entre estas variedades até 150 DAC, ou seja, durante o período seco.

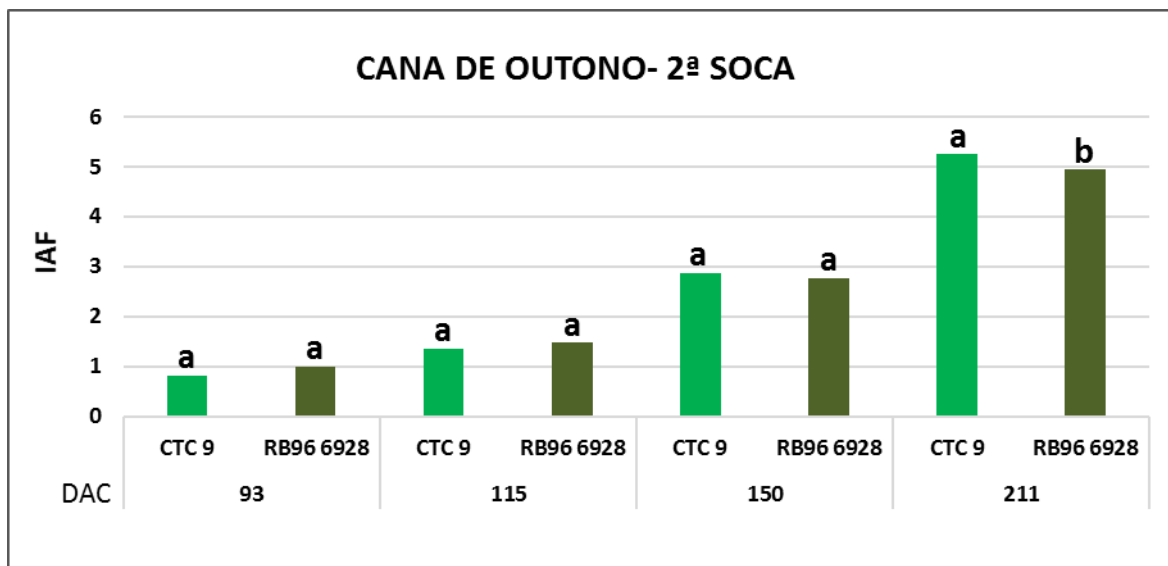


Figura 21- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades de outono (CTC 9 e RB96 6928) avaliadas ao longo da 2ª soca- dias após o corte (DAC). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Porém, ao chegar no período chuvoso, a variedade CTC 9 se mostrou mais eficiente no aumento do IAF diferenciando-se da variedade RB96 6928.

Segundo Bull e Glasziou (1975) algumas variedades de cana-de-açúcar, como método de sobrevivência a condições de estresse, paralisa parcialmente seu desenvolvimento. Apontam ainda que, comumente, essas variedades são capazes de acelerar seu metabolismo para uma rápida regeneração com a interrupção do estresse hídrico. Esse fenômeno é comumente chamado de crescimento compensatório.

O valor máximo de IAF ocorreu aos 211 DAC para a variedade CTC 9 (5,2 $m^2.m^{-2}$) e foi conseqüentemente significativamente diferente do IAF da variedade RB96 6928 para o mesmo período.

Na Figura 22, apresenta-se os valores de IAF para as variedades de outono (CTC 18 e RB96 6928), durante a 3ª soca. Observa-se que não houve diferença entre os valores de IAF observados entre as duas variedades. Contudo, como não houveram avaliações durante o período de desenvolvimento pleno, pode ser que houveram diferenças não registradas, como pôde ser observado aos 211 DAC entre a RB96 6928 e CTC 9 no ciclo de 2ª soca.

O valor máximo de IAF observado neste período foi de para variedade CTC 18.

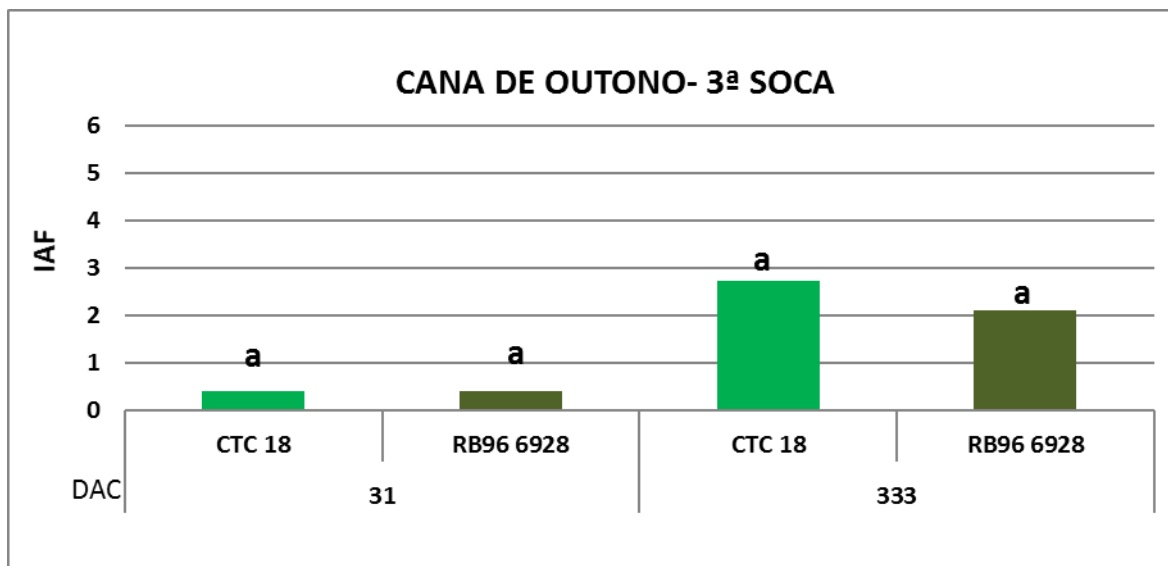


Figura 22- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades de outono (CTC 9 e RB96 6928) avaliadas ao longo da 3ª soca- dias após o corte (DAC). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Apresenta-se na Figura 23 os valores de IAF para as variedades de inverno IACSP91 1099 e RB86 7515 em ciclo de 2ª soca. Observa-se crescimento expressivo do valor de IAF para ambas variedades até 188 DAC. Após este período, nota-se redução dos valores de IAF causada tanto pelo acamamento quanto pelo processo natural de maturação da cana. Diferentemente do observado para aquelas variedades de outono, nota-se aqui diferenças significativamente mais expressivas entre estas variedades. Estas diferenças ocorreram desde o início do ciclo, se igualando somente aos 236 DAC, devido ao acamamento ocorrido durante este período.

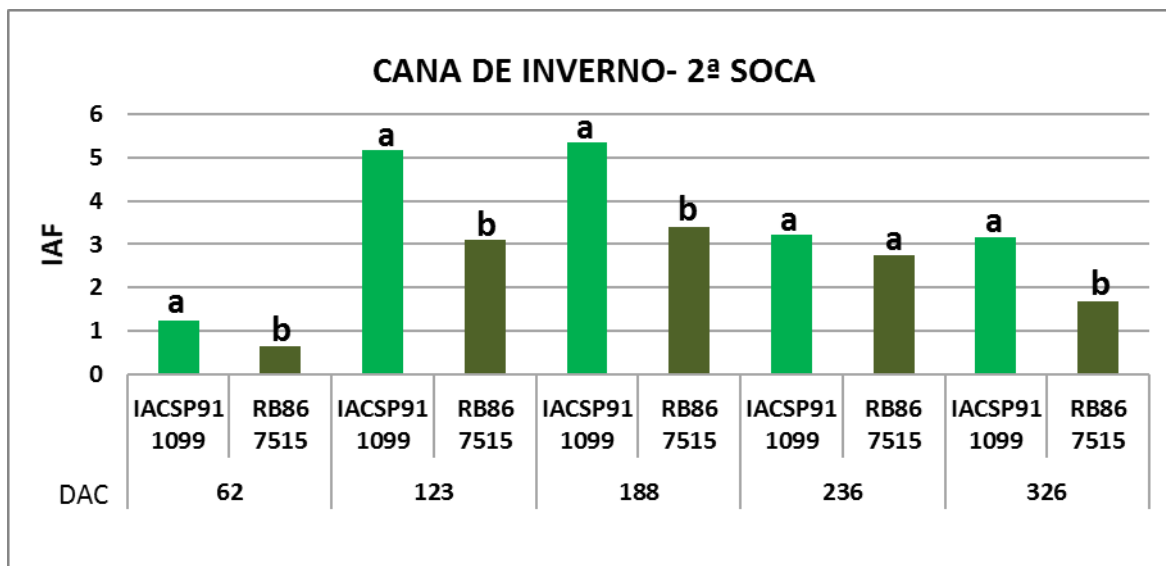


Figura 23- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades de inverno (IACSP91 1099 e RB86 7515) avaliadas ao longo da 2ª soca- dias após o corte (DAC). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Neste caso, os valores de IAF da variedade IAC 91 1099 foram superiores aos da variedade RB86 7515. O valor máximo de IAF registrado foi de 5,3 m².m⁻² para variedade IACSP91 1099 aos 188 DAC, enquanto a variedade RB86 7515 atingiu valor máximo de 3,3 m².m⁻². Valores semelhantes foram observados para variedade RB86 7515 por Arantes (2012), em Jaú-SP, e Silva et al. (2009) e Abreu (2012) em Rio Largo-AL. A localidade de Rio Largo-AL, apresenta potencial climático geralmente superior ao encontrado no Cerrado. Desta forma, esperava-se que os valores encontrados no Cerrado fossem inferiores aos atingidos em Rio Largo. Contudo, essas diferenças também podem estar relacionadas as práticas de manejo, seja da irrigação, do manejo da fertilidade, tratamentos fitossanitários, etc.

Oliveira et al. (2007) afirmam que, além do número de perfilhos, diversas outras variáveis influenciam o IAF, tais como o número de folhas verdes, o tamanho e largura das folhas, e a sua eficiência fotossintética. No caso deste trabalho, pode-se afirmar que o maior valor de IAF da variedade IACSP91 1099 está, dentre outros fatores, fortemente associado, associado a maior densidade de perfilhos (dados não apresentados) em relação a RB86 7515.

Na fase de maturação, observou-se valores de IAF superiores a 3,0 m².m⁻² para IACSP91 1099 e inferiores a 2,0 m².m⁻² para RB86 7515, evidenciando diferença superior a 50% mesmo na fase de maturação.

Nota-se ainda que entre os 188 e 326 DAC ocorreu redução de 70% e 106% no valor de IAF das variedades IACSP91 1099 e RB86 7515, respectivamente. Esta redução no terço final do ciclo é natural e está associada ao processo de senescência e maturação da cana-de-açúcar. Esta redução também foi reportada por Leme et al. (1984), Gomide E Gomide (1999) e Almeida et al. (2007)

Contudo, é importante notar que a variedade IACSP91 1099, além de atingir maior valor máximo de IAF, também apresentou menor redução de área foliar na metade final da fase de desenvolvimento pleno e fase de maturação. Essa maior redução na variedade RB86 7515 em relação a IACSP91 1099 pode estar relacionado a sua menor resistência ao déficit hídrico, característico no terço final de ciclo da cana de inverno no Cerrado, causando morte acentuada de perfilhos, além de uma maior senescência das folhas.

Na Figura 24, verifica-se que para a 3ª soca destas variedades de cana de inverno ocorreu diferença significativa entre os valores de IAF aos 267 DAC, mas não aos 193 DAC. Contudo, semelhantemente ao observado durante a 2ª soca, a variedade IACSP91 1099 sempre apresentou valores superiores de IAF.

O valor máximo de IAF ($4,0 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$) foi observado neste ciclo para a IACSP91 1099, registrado aos 193 DAC, valor este inferior aos $5,3 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ observados aos 188 DAC na 2ª soca, representando uma redução de 32%. Como não houve diferença tão expressiva nas condições climáticas nesta nos primeiros 200 dias dos dois ciclos, esta redução no IAF deve estar associada a perda de população de plantas, ocasionada por arranquio de soqueira durante a colheita ou qualquer outro aspecto de manejo. Por esta razão, variedades que apresentam maior população de plantas conseguem manter valores de IAF maiores ao longo dos ciclos e, conseqüentemente, apresentam maior capacidade de interceptar a radiação e convertê-la em produtividade de colmos.

Nota-se também na Figura 22, semelhante ao já notado anteriormente, a redução do valor de IAF em período em que a cultura ainda deveria estar apresentando crescimento vigoroso. Contudo, o acamamento nas canas irrigadas e a senescência causada pelo estresse hídrico acentuado nas canas de sequeiro implicaram em redução prematura de IAF na cana de inverno, tanto na 2ª quanto na 3ª soca. Novamente, na 3ª soca, a RB86 7515 apresentou a redução mais acentuada no valor IAF (28%).

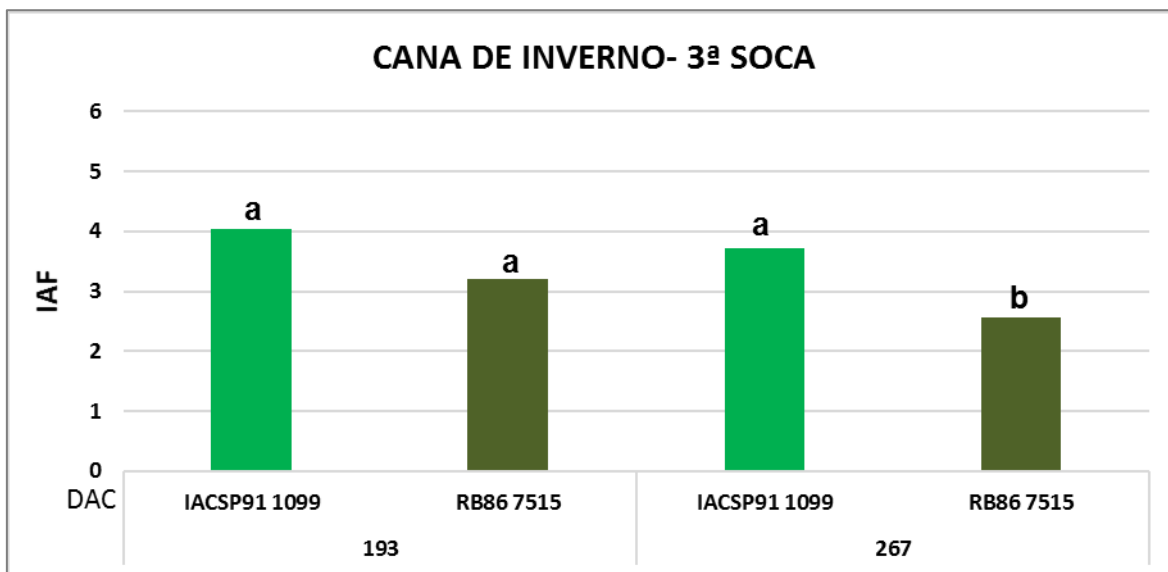


Figura 24- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades de inverno (IACSP91 1099 e RB86 7515) avaliadas ao longo da 3ª soca- dias após o corte (DAC). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Apresenta-se na Figura 25, a comparação dos valores de IAF para variedades de primavera na 2ª soca. Verifica-se o crescimento contínuo do valor de IAF para ambas variedades (CTC 15 e RB92 579 até o final da fase de desenvolvimento pleno, próximo aos 300 DAC. Observe-se uma ligeira superioridade numérica para a variedade RB92 579 ao longo de todo período, mas que só se diferenciou estatisticamente aos 61 e 175 DAC.

Os maiores valores de IAF para as variedades RB92 579 e CTC 15 foram de 5,0 e 4,6 $m^2.m^{-2}$, respectivamente, observados aos 294 DAC. Em contrapartida Almeida et al. (2008) em estudo conduzido na região de Rio Largo-AL, identificou valores superiores de IAF para a variedade RB92 579, que neste, caso pode estar associado a condição climática mais favorável nesta localidade. Diferentemente das variedades de outono e inverno, quando os valores máximos de IAF foram observados próximo aos 200 DAC, as variedades de primavera continuaram apresentando crescimento de IAF por mais tempo. Notadamente, o ciclo de primavera é caracterizado pela ausência de chuvas na metade final de seu ciclo, reduzindo a probabilidade de ocorrência de novos eventos de acamamento.

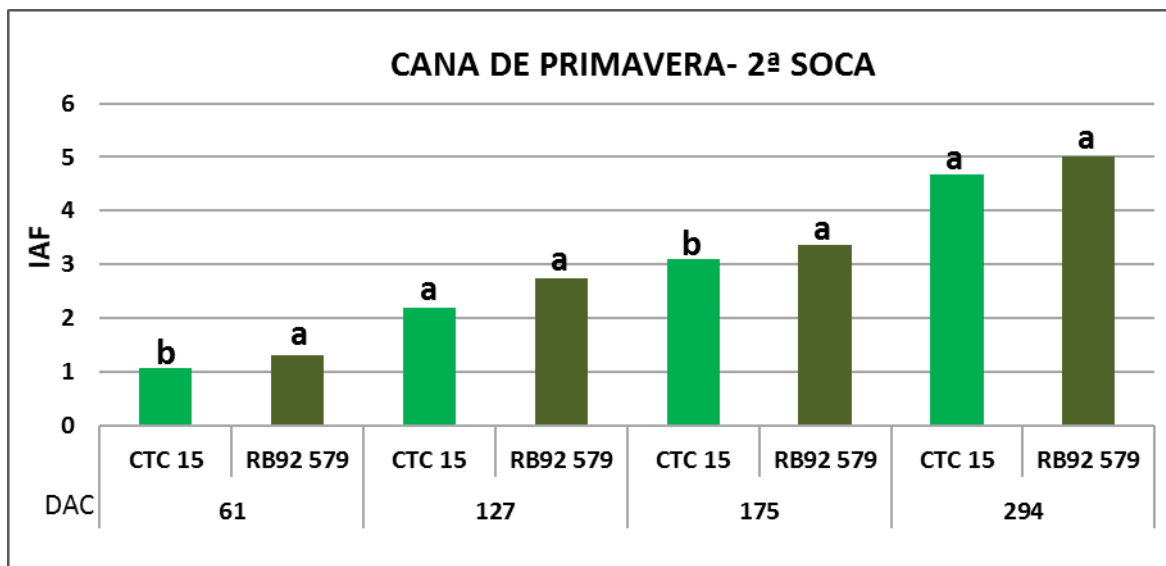


Figura 25- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades de primavera (CTC 15 e RB92 579) avaliadas ao longo da 2ª soca- dias após o corte (DAC). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Nota-se ainda que aos 61 e 127 DAC os valores de IAF da variedade RB92 579 foram 30% superiores em relação a CTC 15. Ao passo que próximo do meio do ciclo de 175 até 294 DAC essa diferença reduz para 10% aproximadamente, o que evidencia um crescimento compensatório mais acentuado da variedade CTC 15. Ainda assim, importa dizer que o maior valor de IAF da variedade RB92 579 não se traduziu em maiores valores de produtividade (dados não apresentados).

Na Figura 26, apresenta-se os valores de IAF das variedades RB 92 579 e CTC 15 em dois momentos do ciclo de 3ª soca. Não houveram diferenças estatisticamente significativas entre os valores de IAF destas variedades neste período.

Ao comparar os valores de IAF entre os dois ciclos da cana de primavera nota-se que houve um aumento de 85 e 48% para as variedades CTC 15 e RB92 579, respectivamente, aos 105 DAC da 3ª soca comparada aos 127 DAC da 2ª soca. Parte deste aumento pode ser justificado pelo aumento da evapotranspiração da 3ª soca em relação a 2ª soca, conforme evidenciado na Figura 13. Apesar na maior precipitação durante os primeiros meses da 2ª soca da cana de primavera, a maior cobertura de núvens reduziu a radiação e, conseqüentemente, o potencial de desenvolvimento vegetativo do canavial, quando comparado ao ciclo de 3ª soca. O mesmo efeito pôde ser observado ao redor de 180 DAC, com valores de IAF na 3ª soca maiores 50 e 33% em relação a 2ª soca

para as variedades CTC 15 e RB92 579, respectivamente. O maior IAF registrado foi de 4,5 m².m⁻² aos 179 DAC para a variedade RB92 579, infelizmente, não se obteve dados para data posterior a esta, não permitindo dizer se os valores de IAF atingiram patamares superiores mais adiante no ciclo. Pode-se ainda concluir que não foi observada diferença estatística entre as duas variedades até os 179 DAC.

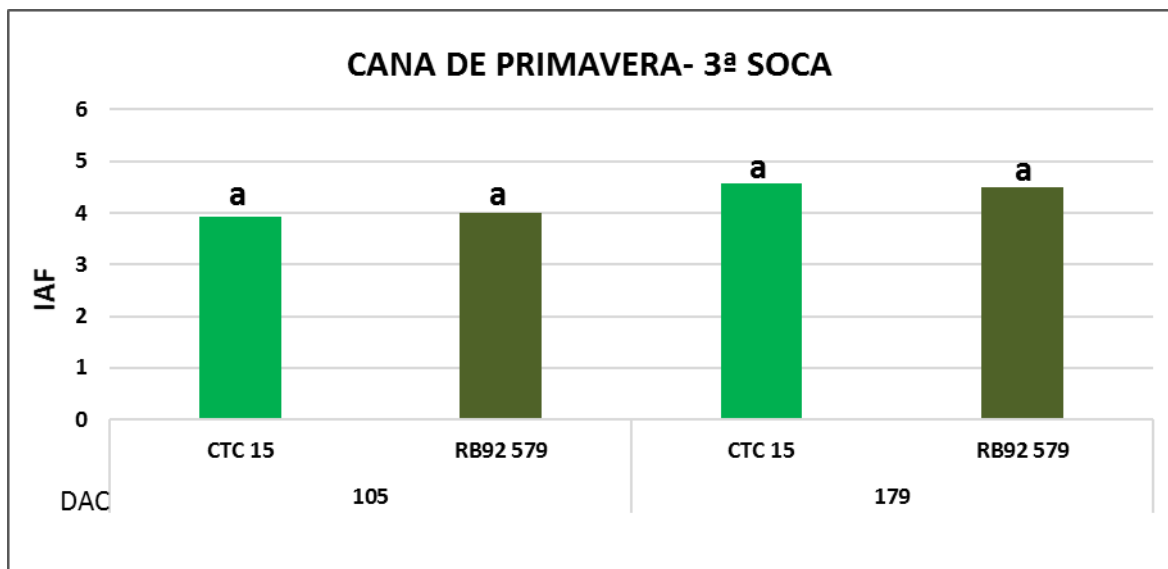


Figura 26- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades de primavera (CTC 15 e RB92 579) avaliadas ao longo da 3ª soca- dias após o corte (DAC). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

De forma geral, no Cerrado, para as variedades de outono, inverno e primavera estudadas, nota-se momentos com maiores diferenças de valor de IAF entre as variedades, e momentos em que a diferença é menos pronunciada.

Pode-se observar que, inicialmente, na fase de brotação e perfilhamento, observa-se valores de IAF para variedades de outono, inverno e primavera em torno de 1,0 m².m⁻², atingindo valores máximos entre 180 e 280 DAC, com valores em torno 5,0 m².m⁻².

Em aproximadamente metade dos momentos observados, tanto na fase de brotação e perfilhamento quanto na fase de desenvolvimento pleno, notou-se diferenças de IAF entre variedades. Ao observar valores de IAF entre as variedades de outono, inverno e primavera, Barbieri e Villa nova (1981) relataram que as diferenças entre as variedades no início do ciclo estão relacionadas com as características morfofisiológica das variedades, com maior taxa de emissão de folhas, aumentando assim sua absorção de água. Entende-se que, eventualmente, esse crescimento mais acelerado de determinada variedade na fase de brotação e

perfilhamento pode também estar associado a maior população de perfilhos e a maior eficiência transpiratória e de uso da radiação. Por conseguirem ocupar mais rapidamente a área disponível, estas variedades fazem melhor uso da água e radiação e, conseqüentemente produzem maior área foliar e biomassa total. Essa vantagem na fase inicial de desenvolvimento parece perdurar e trazer efeitos acumulativos na fase de desenvolvimento pleno, evidenciado por diferenças ainda existentes, mas em menor magnitude do que na fase inicial.

Estas diferenças reduzem drasticamente próximo a fase de maturação quando, seja pelo acamamento intenso ou seja pelo processo natural de senescência das folhas, as diferenças varietais para a variável IAF se reduzem. Ainda assim, quando comparadas variedades com perfil arquitetônico, mas discrepantes, como é o caso da comparação entre IACSP91 1099 e RB86 7515, estas diferenças persistem até mesmo no final do ciclo.

Resumidamente, pode-se concluir que existem diferenças significativas dos valores alcançados de IAF entre variedades e que estas diferenças são maiores durante a fase de brotação e perfilhamento, persistem, mas reduzem a medida que a cana se desenvolve, e se tornam mais sutis ou inexistentes próximo a colheita.

5.3.3- Interação dos efeitos regime hídrico e variedade no IAF

Apresenta-se na Figura 27 a interação dos efeitos do regime hídrico e variedade sobre os valores de IAF da cana de outono na 2ª soca.

Observa-se interação entre os efeitos variedade e regime hídrico entre 93 e 211 DAC. Em ambas as variedades ocorre um ganho positivo em função do aumento do regime hídrico. No período de 93 e 115 DAC o efeito do regime hídrico ocorre somente entre o 100 e 0% da ITN para CTC 9, enquanto, para a variedade RB96 6928 o efeito do regime hídrico ocorre somente aos 115 DAC. A partir desse período os tratamentos irrigados apresentam maiores diferenças para o sequeiro em ambas as variedades, conferindo uma responsividade a irrigação.

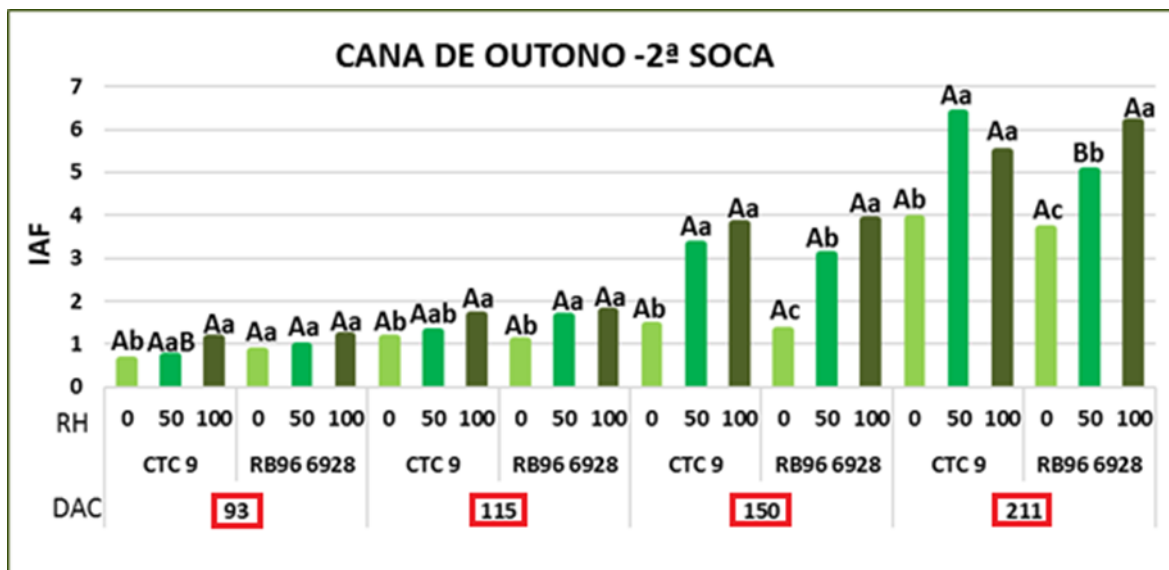


Figura 27- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades outono (CTC 9 e RB96 6928) avaliadas em três regimes hídricos (RH) correspondentes a 0, 50, 100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 2ª soca- dias após o corte (DAC). Letras maiúsculas comparam as variedades, para o mesmo regime hídrico. Letras minúsculas comparam os regimes hídricos dentro da mesma variedade. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DAC marcados em vermelhos indicam ocorrência de interação.

Na Figura 28, verifica-se a variação do IAF para as variedades CTC 18 e RB96 6928, ambas de ciclo de outono, para 3ª soca, em função do regime hídrico. Para este caso, só foi possível registrar valores de IAF para o início do ciclo (31 DAC) e para fase final de maturação (333 DAC).

Neste caso, houve interação para os efeitos variedade e regime hídrico aos 333 DAC. O efeito regime hídrico só implicou diferenças nos valores de IAF para variedade CTC 18. Notadamente, esta é a única variedade que permanece com pouco acamamento neste período, permitindo que a maior disponibilidade hídrica resulte em maior interceptação de radiação e valor de IAF, quando comparado a variedades com acamamento intenso nesta fase.

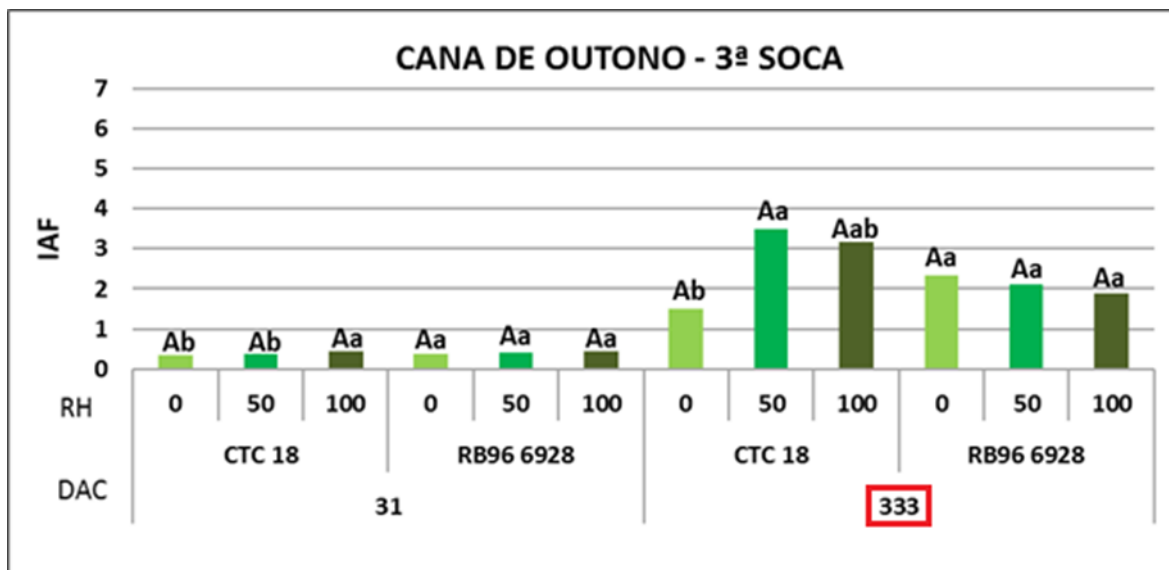


Figura 28- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades outono (CTC 9 e RB96 6928) avaliadas em três regimes hídricos (RH) correspondentes a 0, 50, 100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 3ª soca- dias após o corte (DAC). Letras maiúsculas comparam as variedades, para o mesmo regime hídrico. Letras minúsculas comparam os regimes hídricos dentro da mesma variedade. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DAC marcados em vermelhos indicam ocorrência de interação.

Apresenta-se na Figura 29 a interação dos efeitos regime hídrico e variedade sobre os valores de IAF da cana de inverno na 2ª soca.

Observa-se interação entre os efeitos variedade e regime hídrico entre 62 e 236 DAC, como ganhos de IAF em função do aumento da satisfação hídrica para a variedade IACSP91 1099 até os 188 DAC, mas não para variedade RB86 7515. Neste período, as respostas ao regime hídrico registrados para a variedade IACSP91 1099, contudo, só ocorreram entre os tratamentos sequeiro e irrigado, não se diferenciando entre os dois regimes irrigados. O maior desenvolvimento da variedade IACSP91 1099 em relação a RB86 7515 culminou em acamamento mais precoce da primeira, ocorrendo ao redor dos 200 DAC. Como consequência, aos 236 DAC, os efeitos positivos do regime hídrico sobre a IACSP91 1099 desapareceram, e foram observados na variedade RB86 7515.

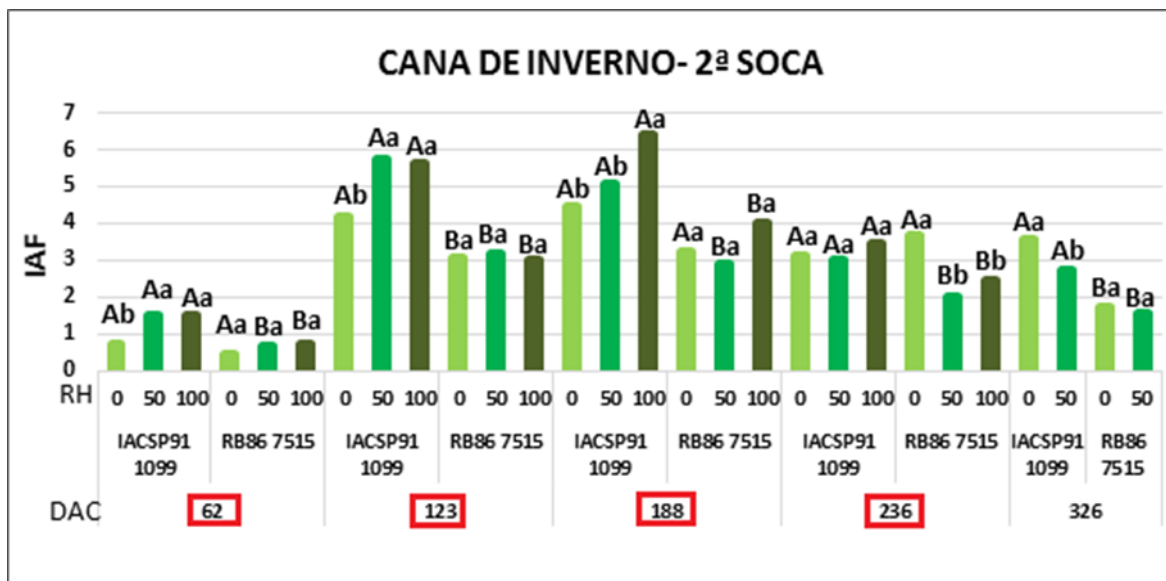


Figura 29- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades outono (IACSP 91 1099 e RB86 7515) avaliadas em três regimes hídricos (RH) correspondentes a 0, 50, 100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 2ª soca- dias após o corte (DAC). Letras maiúsculas comparam as variedades, para o mesmo regime hídrico. Letras minúsculas comparam os regimes hídricos dentro da mesma variedade. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DAC marcados em vermelhos indicam ocorrência de interação.

Na Figura 30, apresenta-se a interação dos efeitos regime hídrico e variedade sobre os valores de IAF da cana de primavera na 2ª soca.

Para este caso, houve interação somente aos 294 DAC, quase no final do ciclo, quando os efeitos regime hídrico só implicaram em ganho de IAF para variedade CTC 15, em detrimento da variedade RB92 579. Neste período, o canalial está submetido a elevada demanda hídrica, tanto pelo porte da cana, quanto pela elevada evapotranspiração de referência. Observa-se na Figura 30 que, somente o valor de IAF da CTC15 em regime de sequeiro apresentou valor inferior aos demais tratamentos desta variedade e da RB92 579. Este fato evidencia que, neste cenário, o que diferenciou os tratamentos foi a maior suscetibilidade da variedade CTC15 no tratamento de sequeiro, enquanto que, para este período, a variedade RB92 579 conseguiu manter o valor de IAF para todos os regimes hídricos.

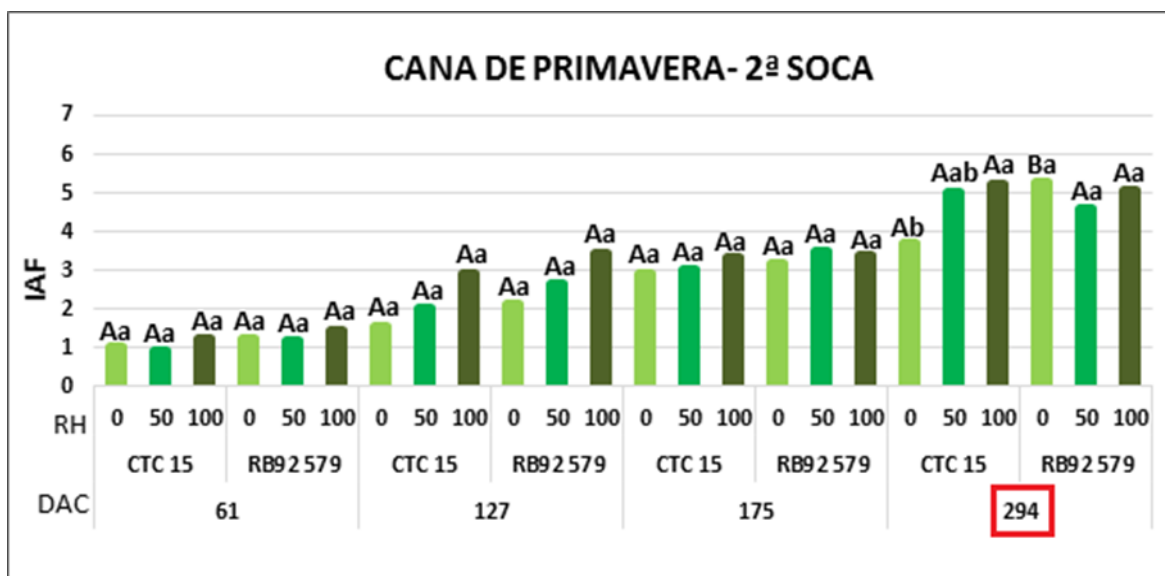


Figura 30- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades outono (CTC 15 e RB 92 579) avaliadas em três regimes hídricos (RH) correspondentes a 0, 50,100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 2ª soca- dias após o corte (DAC). Letras maiúsculas comparam as variedades, para o mesmo regime hídrico. Letras minúsculas comparam os regimes hídricos dentro da mesma variedade. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DAC marcados em vermelhos indicam ocorrência de interação.

Na Figura 31, observa-se a interação dos efeitos do regime hídrico e variedade sobre os valores de IAF da cana de primavera na 3ª soca.

Nota-se a ocorrência de interação entre os efeitos regime hídrico e variedade somente aos 179 DAC. Semelhantemente ao ocorrido no final do ciclo de 2ª soca, mas agora já no meio do ciclo, notou-se efeito do regime hídrico para variedade CTC 15, o que não foi observado para variedade RB92 579. Nos dois casos, 2ª e 3ª socas, fica evidente como o acamamento mais precoce da RB92 579 limita, em alguns momentos, os ganhos de IAF em função do incremento de regime hídrico.

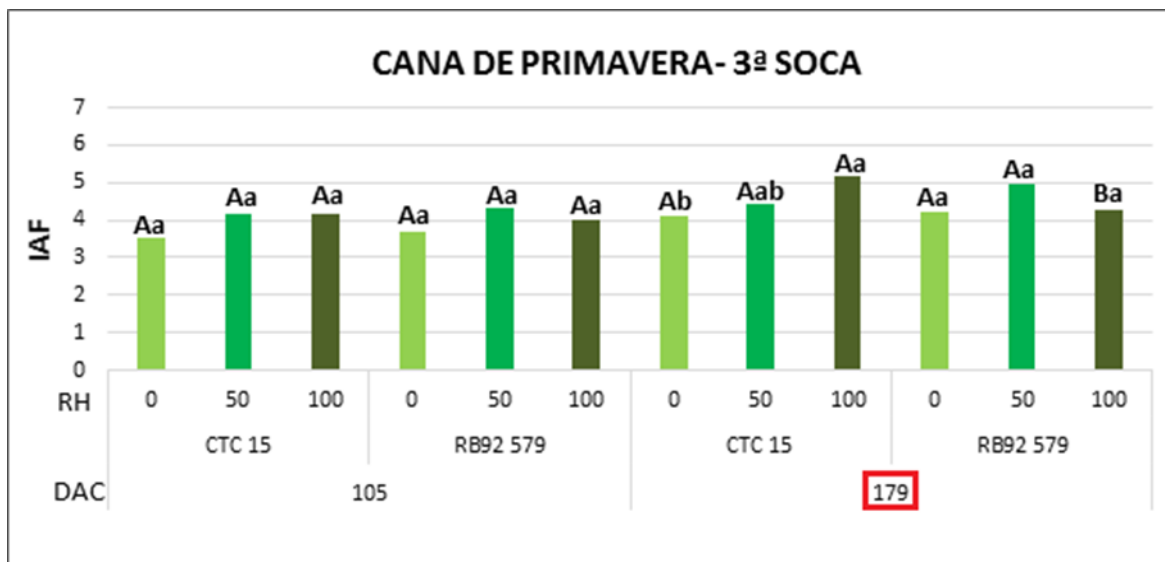


Figura 31- Índice de área foliar médio estimado para duas variedades outono (CTC 15 e RB9 2579) avaliadas em três regimes hídricos (RH) correspondentes a 0, 50,100% de reposição da irrigação total necessária, ao longo da 3ª soca- dias após o corte (DAC). Letras maiúsculas comparam as variedades, para o mesmo regime hídrico. Letras minúsculas comparam os regimes hídricos dentro da mesma variedade. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DAC marcados em vermelhos indicam ocorrência de interação.

5.3.4- Síntese

De forma geral, o incremento do regime hídrico implicou em aumento do IAF para cana-de-açúcar colhida nas três épocas de colheita, no outono, inverno e primavera do Cerrado. As maiores diferenças, para cana de outono e primavera, ocorreram no início do ciclo, que coincide com o período de estiagem e maior déficit hídrico no Cerrado. Já para variedades de colheita de primavera, os maiores efeitos do regime hídrico no IAF ocorreram foram inferiores no início do ciclo, e superiores na fase de desenvolvimento pleno, que também coincide com o período de estiagem para esta cana de primavera.

Para os tratamentos irrigados, os valores máximos de IAF para variedades de outono, inverno e primareva foram da ordem de 5,5 a 6,0 $m^2.m^{-2}$, ao passo que para os tratamentos de sequeiro ficaram entre 4,0 e 4,5 $m^2.m^{-2}$, e reduzindo para valores máximos de aproximadamente 3,5 $m^2.m^{-2}$ na 3ª soca.

Ficou evidente a forte dependência dos valores de IAF às características genéticas das diferentes variedades, principalmente quanto a responsividade a irrigação e suscetibilidade ao acamamento. Quando submetidas a regime hídrico de

sequeiro, também apresenta forte influência a tolerância ao estresse hídrico, seja no impacto da senescência de perfilhos ou de folhas.

Apresenta-se na Figura 32 uma comparação entre os valores de IAF registrados para diferentes regimes hídricos por este trabalho e valores registrados na literatura. De forma geral, nota-se que os valores registrados por este trabalho, seja no regime hídrico de sequeiro ou irrigado não diferiram da faixa de valores registrados pela literatura. Notadamente, e sobretudo para cana irrigada, observa-se registro de valores de IAF ligeiramente superiores na literatura comparados aos registrados neste trabalho, sobretudo entre 150 e 300 DAC. Como ficou evidente neste trabalho, o acamamento destas variedades de cana irrigada no Cerrado ocorre a partir dos 150 DAC.

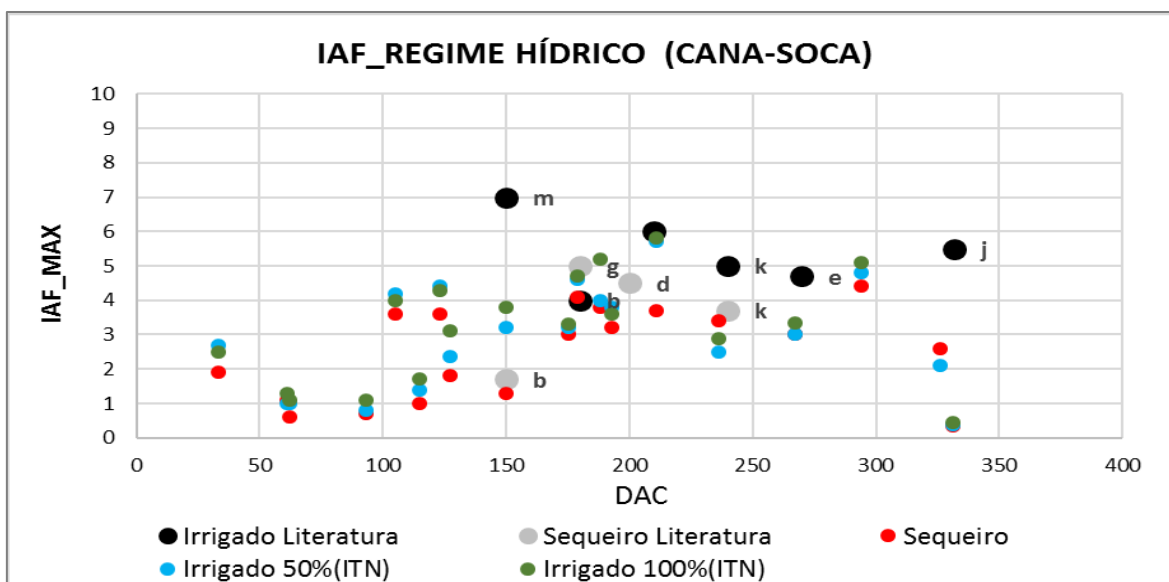


Figura 32- Comparação de valores de índice de área foliar registrados por este trabalho e pela literatura para variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes regimes hídricos ao longo de ciclo de cana soca, medido em dias após o corte (DAC). Letras referem-se à associação do valor no gráfico à citação na Tabela 3. Ponto preto: regime irrigado (literatura); Ponto cinza: regime de sequeiro (literatura); Ponto vermelho: regime de sequeiro (deste trabalho); Ponto azul: regime de 50% ITN (deste trabalho) e, Ponto verde: regime de 100% ITN deste trabalho.

O acamamento, ou tombamento da cana, ocorre geralmente quando a cana já possui determinada altura e peso, concomitante com ocorrência de chuvas, que deixam a estrutura do solo mais frágil, e ventos, que fazem força de alavanca para tombar a cana (SING et al., 2000). Diferentes variedades, com diferentes teores de fibra, também podem ser mais ou menos susceptíveis ao acamamento (JACKSON et al., 2000). Quando ocorre o acamamento, grande parte da área foliar da cana

fica encoberta. Há, assim, uma senescência acelerada de parte da área foliar. E leva-se um tempo até que a cana, através de sua dominância apical, volte para posição vertical e emita novas folhas (MARCHIORI, 2010).

A literatura também evidencia a maior suscetibilidade da cana ao acamamento após atingir valores de IAF superiores a $4,0 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ (MACHADO et al. 1982), ocasionando redução da interceptação da radiação solar, aceleração da senescência de folhas e redução do número de perfilhos (LEME et al. 1984)

Na Figura 33 é apresentada comparação de valores de IAF deste trabalho e da literatura, para diferentes variedades, independente do regime hídrico. Nota-se que, a semelhança do observado na Figura 33, os valores registrados neste trabalho no Cerrado apontam valores semelhantes ou inferiores aos registrados na literatura. Hipotetiza-se que, dentre os fatores mais determinantes para registro de IAF ligeiramente inferiores neste trabalho, estão i) a possível equívoco, nos trabalhos da literatura, no computo de área foliar senescida no cálculo do IAF e, ii) o uso, neste trabalho, de variedades com maior suscetibilidade ao acamamento.

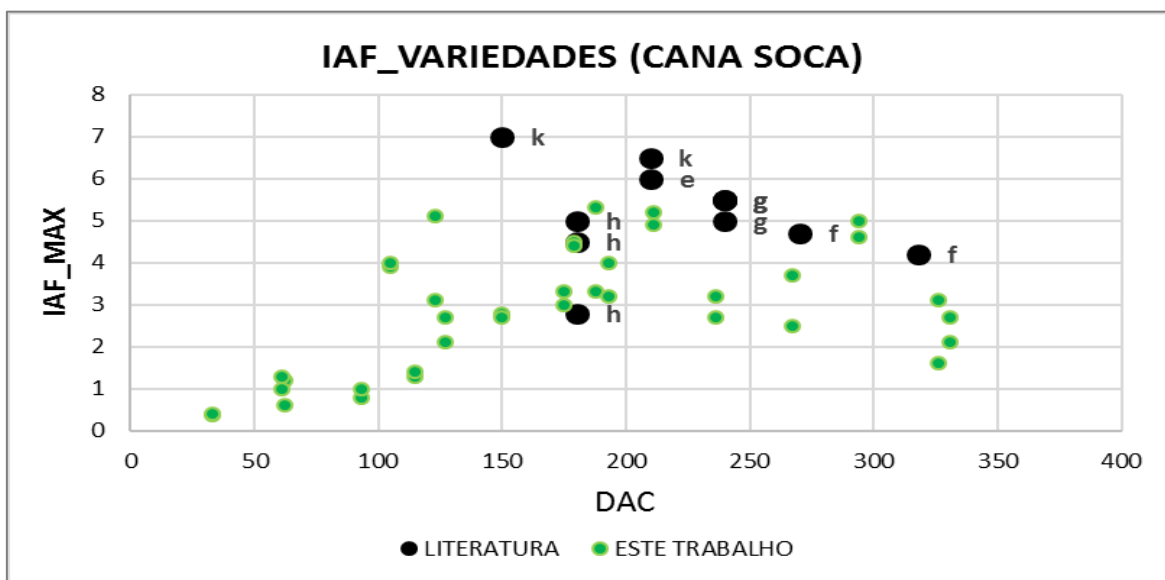


Figura 33- Comparação de valores de índice de área foliar registrados por este trabalho (pontos verdes) e na literatura (pontos pretos) para diferentes variedades de cana-de-açúcar ao longo de ciclo de cana soca, medido em dias após o corte (DAC). Letras referem-se à associação do valor no gráfico à citação na Tabela 3.

Entretanto, apesar dessas observações de valores ligeiramente inferiores de IAF deste trabalho, os valores de produtividade atingidos (dados não mostrados) foram frequentemente superiores aos dados da literatura, atingindo valores médios acima de 200 e até 265 ton/ha em ciclo de cana planta, e entre 160 e 190 ton/ha em ciclo de cana soca.

6- CONCLUSÕES

- O método SunScan de estimativa do índice de área foliar (IAF) apresenta-se versátil e de fácil aplicação para cultura da cana-de-açúcar;
- Há tendência de superestimativa dos valores de IAF inferiores a $2 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ empregados pelo método Sunscan;
- Medições de IAF em canavial acamado é desafiadora, sobretudo no que tange a definição da linha de separação entre o dossel verde e fotossinteticamente ativo e o dossel senescido;
- Propõe-se uma equação geral de calibração que confere excelente estimativa de IAF com o SunScan em cana-de-açúcar colhida em qualquer época da safra e para quaisquer variedades;
- Independente da época de colheita, no Cerrado, a cana-de-açúcar irrigada produz IAF até 50% superior do que a de sequeiro;
- Para os tratamentos irrigados, os valores máximos de IAF para variedades de outono, inverno e primareva foram da ordem de 5,5 a $6,0 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$, ao passo que para os tratamentos de sequeiro ficaram entre 4,0 e $4,5 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$, registrados entre 180 e 240 DAC.
- O fator que restringirá maiores valores de IAF na cana irrigada do Cerrado é o acamamento, e não necessariamente o potencial climático. Isto evidencia a importância da busca por esta característica no melhoramento da cana para produção irrigada.
- Há evidente crescimento compensatório do IAF no regime de sequeiro quando as chuvas retornam, contudo, frequentemente, este crescimento compensatório não é suficiente para igualar o valor de IAF da cana irrigada;
- O maior efeito do regime hídrico no IAF para cana de outono e primavera, ocorre no início do ciclo, que coincide com o período de estiagem e maior déficit hídrico destas canas no Cerrado.
- O maior efeito do regime hídrico no IAF da cana de primavera ocorre no final do ciclo, durante a fase de desenvolvimento pleno, que coincide com o período de estiagem para esta cana de primavera no Cerrado.
- Diferentes variedades resultam em diferentes valores de IAF, mas variedades mais responsivas a irrigação e menos susceptíveis ao acamamento registramos maiores valores.

7- REFERÊNCIAS

ABREU, M. L. **Crescimento e produtividade de variedades de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica nos tabuleiros costeiros de alagoas**. 2012. 87p. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade DE Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas de irrigação- uso da água na agricultura irrigada**. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente, p.86, 2017.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).

ARANTES, M. T. **Potencial de cultivares de cana-de-açúcar sob os manejos irrigado e sequeiro**. 2012. 65p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade DE Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, 2012.

ALVES, N. C. G. F. **Competitividade da produção de cana-de-açúcar no cerrado goiano**. 2009. 140 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) - Faculdade Alves Faria (ALFA) Goiânia.

ALENCAR, L. P. **Parametrização e validação do modelo AquaCrop para a cultura da cana-de-açúcar**. 2014. p 133. Tese (Doutor em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2014.

ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J.L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; FILHO, G. M.; JÚNIOR, R. A. F. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação a disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, 2008.

BAENINGER, R.; JUNIOR, J. Z.; AIDAR, T.; PERES, R. G. Regiões canavieiras. **Núcleo de estudos de população (NEPO) – UNICAMP**, Campinas; v. 6, 2013. Disponível em: <http://www.nepo.unicamp.br/textos/publicacoes/livros/colecaosp/VOLUME_06.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2016.

BACCARIN, J.G.; AVES, F.J.C.; GOMES, L. F. C. **Emprego e condições de trabalho dos canavieiros no centro-sul do Brasil, entre 1995 e 2007**. In: XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Evolução e estrutura da agropecuária no Brasil. Rio branco. 2008. Disponível: <http://www.sober.org.br/palestra/9/569.pdf>. Acesso em: 23 Jun. 2017.

BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. Evapotranspiração da cana-de-açúcar. In: **CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 2.**, 1981, Rio de Janeiro. Anuais ... Rio de Janeiro: STAB, p. 512-522, 1981.

BARROS, A. C. **Utilização do modelo CANEGRO para estimativa da produtividade de cana-de-açúcar irrigada em diferentes regiões do Brasil**. 2011. 133p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BENINCASA, M.M.P. 1988. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. **Funep**, Jaboticabal. 42 p.

BRÉDA, N.J.J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments, and current controversies. **Journal of Experimental Botany**, v.54, n.392, p.2403- 2417, 2003.

BONHOMME, R.; CHARTIER, P. The interpretation and automatic measurement of hemispherical photographs to obtain sunlit foliage area and gap frequency. **Isr J Agric Res** 22, p. 53-61, 1972.

BUFON, V. B.; MARCANTE, N. C.; SANTOS, J. M.; SOUSA, R. Z.; SANTOS, R. S. ROSA, I. C. Acúmulo e partição de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos na região do Cerrado. **SOCIEDADE DOS TÉCNICO AÇUCAREIRO E ACOOLEIROS DO BRASIL (STAB)**. v. 35, n. 1, p. 25, 2016.

BULL, T. A.; GLASZIOU, K. T. Sugar cane. In: Evans, L. T. (ed.). **Crop physiology: Some case histories**. Cambridge: University Press, 1975, cap. 3, p.51-72.

CAMPANHÃO, C. Muito Além do Etanol e do Açúcar. **Revista CanaMix**, Ribeirão Preto- SP, v 1, p. 3- 80, fevereiro. 2013.

CAMPBELL, G. S.; Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.36, p. 317-321, 1986.

CANTINHO, R. Z.; PONZONI, F. J.; SANTOS, S. B. Estimativas de índice de área foliar de plantios de *Eucalyptus spp.* segundo três alternativas metodológicas. **Cerne**, v. 20 n. 3, p. 485-492, 2014.

CASTRO-NAVA, S., HUERTA, A. J., CRUZ, J.M.P., RODRÍGUEZ, E. M. Leaf growth and canopy development of three sugarcane genotypes under high temperature rainfed conditions in northeastern Mexico. **International Journal of Agronomy**. ID 2561026, p 7, 2016.

CAPUTO, M.M. **Efeito do tombamento nas características tecnológicas e biométricas de variedades de cana-de-açúcar**. 2003. 63p. Monografia (Trabalho de graduação em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA (CTC). Variedades CTC. p. 33, 2012.
CHANG, J. **Climaté and agricrop: an ecological survey**. Chicago: Aldine, 1968, 304p.

CENTRO DE PESQUISA E PROJETOS EM MARKETING E ESTRATÉGIA (**MARKESTRAT**). A dimensão do setor sucroenergético mapeamento e qualificação da safra 2013/2014. v. 1, p. 45, 2014.

CHIRORO, D., MILFORD, J., MAKUVARO, V. An investigation on the utility of the SunScan ceptometer in estimating the leaf area index of a sugarcane canopy. **Proc S Afr Sug Technol Ass.** v. 80, p 143, 2006.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: cana- de- açúcar: Quarto levantamento, abril de 2016.** Brasília-DF: Ministério da agricultura, Pecuária e Abastecimento, p.76, 2016.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: cana- de- açúcar: Terceiro levantamento, dezembro de 2017.** Brasília-DF: Ministério da agricultura, Pecuária e Abastecimento, p.81, 2017.

COSTA, C. T. S. **Crescimento, produtividade e viabilidade econômica de cana-de-açúcar, sob diferentes laminas de irrigação, na região de Penápolis-SP.** 2012. p.11. Tese (Doutor em Agronomia) Universidade Estadual Paulista. Botucatu.

CUTINI, A.; MATTAEUCCI, G.; MUGNOZZA, G. S. Estimation of leaf area index with the Li-cor LAI 2000 in deciduous forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 105, n. 1-3, p. 55-65, 1998.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO J.L. da C.; FARIAS, C.H.de A.; AZEVEDO, H.M.; AZEVEDO, C.A.V. de. Resposta dacana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubaçãode cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.283-288, 2006.

DECACON DEVICES. AccuPAR linear PAR/LAI Ceptometer. Operator's manual. v.3.4. **Decagon Devices**, Pullman, WA. 2001.

DELTA-T DEVICES. SunScan canopy analysis system; **User Manual Version.** Cambridge, UK. v. 2.0. 83p. 2008.

DE SILVA, A.L.C.; DE COSTA, W. A. J. M. Growth, and Radiation use efficiency of sugarcane under irrigatéd and rain-fed conditions in Sri Lanka. **Sugar Tech.** v. 14(3). P. 247-254, 2012.

ENDRES, L.; SILVA, J. V.; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. S. Photosynthesis, and wáter relations in Brazilian sugarcane. **The Open Agriculture Journal**, v.4, p.31-37, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos, 3rd ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos.** 2013, 353p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Cenários de oferta de etanol e demanda do ciclo otto. Setembro de 2016. Rio de Janeiro. **Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento.**

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

FARIAS, C.H.A.; NETO, J. D.; FERNANDES, P. D.; GHEIY, H. R. Índice de área foliar de cana-de-açúcar sob diferentes níveis de irrigação e zinco na Paraíba. **Revista Caatinga**. v. 20, n. 4. p. 45-55, 2007.

FAVARIN, J. L.; DOURADO NETO, D.; GARCIA Y GARCIA, A.; VILA NOVA, N. A.; FAVARIN, M. G. G. V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.6, p.769-73. 2002.

FERREIRA, E. A.; ASPIAZÚ, I.; GALON, L.; CONÇENÇO, G.; SILVA, A. F.; SANTOS, F. C. M. T.; SILVA, A. A. Características fisiológicas de cinco cultivares de cana-de-açúcar. *In*: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL (STAB), 9., 2008, Maceió. **Anais Maceió: STAB**, 2008. p. 598-601.

FILHO, J. R. M. **Eficiências associadas à produtividade de cana-de-açúcar e à arquitetura do dossel**. 2014.79p. Tese (Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo, Campinas-SP, 2014.

FILHO, M. R. T. **Estudo micrometeorológico de um cultivo de cana-de-açúcar em Alagoas**. 2001. 168p. Tese (Doutorado em Fitotecnia- área de concentração Agrometeorologia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul- Faculdade de agronomia, Porto Alegre, 2001.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). FAOSTAT. Countries by commodity 2016. Disponível em:< http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity >. Acesso em: 10 out. 2017.

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. *In*: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (Ed.). **Crop-water relations**. New York: Wiley-Interscience, 1983. p. 445-479.

GILBERT, R.A.; RAINBOLT, C.R.; MORRIS, D.R.; MCCRAY, J.M. Sugarcane growth an yield response to a 3- month summer flood. **Agricultural Water Management**. v. 95, p. 283- 291, 2007.

GOEDERT, W.J. Uso e manejo dos recursos naturais do Cerrado: solo e clima. *In*: **ANUAIS SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO**, 5., 1979, Brasília. Cerrado: uso e manejo. Brasília: Editera, p. 475-498, 1980.

GOMES, J. B. V.; CURI, N.; SCHULZE, D. G.; MARQUES, J. J. G. S. M.; KER, J. C.; MOTTA P. E. F. MINERALOGIA, MORFOLOGIA E ANÁLISE MICROSCÓPICA DE SOLOS DO BIOMA CERRADO. **R. Bras. Ci. Solo**, 28: p. 679-694, 2004.

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

GONZÁLEZ-SANPEDRO, M. C.; Le TOAN, T.; MORENO, J.; KERGOAT, L.; RUBIO, E. Seasonal variations of leaf area index of agricultural fields retrieved from Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 3, p. 810- 824, 2008.

GOUVÊA, J. R. F. **Mudanças climáticas e a expectativa dos seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba-SP**. 2008. p. 100. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiros”, Piracicaba, 2008.

GOWER, S.T.; KUCHARIK, C.J.; NORMAN, J.M. Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. **Remote Sens. Environ.** 70, p29–51, 1999.

HICKS, S. K., AND R. J. LASCANO. **Estimation of Leaf Area Index for Cotton Canopies Using the LI-COR LAI-2000 Plant Canopy Analyzer**, 1995.

IAIA, A. M. **Irrigação por gotejamento em cana-de-açúcar no cerrado de Mato Grosso**. 2014. 128p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

INMAN-BAMBER, N. G. A growth model for sugarcane based on a simple carbon balance and the CERES- Maize water balance. **South African Journal of Plant and soil**, Mount Edgecombe, v.8, n. 2, p. 93-99, 1991.

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

INMAN-BAMBER, N.G.; THOMPSON, G.D. Models of dry matter accumulation by sugarcane. Proc. S. Afr. **Sugarcane Technol. Assoc.** 63, p. 212–216, 1989.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v.92, n. 02, p. 185-202, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Indicadores IBGE: **Estatística da produção agrícola**, p.77, abril de 2017.

IRVINE, J.E. Sugarcane. In: Symposium on potential productivity of field crops under different environments. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, 1983. **Proceedings**. Los Baños: IRRI, p.361-381, 1983.

JACKSON, P.; BONNETT, G.D.; CHUDLEIGH, P.; HOGARTH, M.; WOOD, A. The relative importance of cane yield and traits affecting CCS in sugarcane varieties. In: **AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGIST CONFERENCE**, 22, 2000, Bundaberg. Proceeding Bundaberg: D. M. Hogarth, p. 23-29, 2000.

JONCKHEERE, I., FLECK, S., NACKAERTS, K., MUYSA, B., COPPIN, P., WEISS, M., BARET, F. Review of methods for in situ leaf area index determination. Part I. Theories, sensors, and hemispherical photography. **Agric. For. Meteorol.** 121, 19–35, 2004.

JUNIOR, R. A. F. **Crescimento, eficiência no uso da radiação e energia de biomassa em cana-de-açúcar irrigada**. 2013. p 88. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade estadual paulista. Botucatu.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. Integração lavoura-pecuária. Santo Antonio de Goiás, **Embrapa Arroz e Feijão**, 2003, p. 570.

KEATING, B. A., ROBERTSON, M. J., MUCHOW, R. C., HUTH, N. I. Modelling sugarcane production systems.1. Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, Amsterdam, V. 61, n. 3, p. 253-271, 1999.

KRAMER, P. J. Problems in water relations of plants and cells. **International review of cytology**, v. 85, p. 253-286, 1983.

KOPEC D.M; NORMAN, J. M.; SHERMAN, R. C.; PETERSON, M. P. An indirect method for estimating turfgrass leaf area index. **Crop Sci** **27**: p.1298- 1301, 1987.

LANDELL, M. G. A. *et al.* A interação entre a cana-de-açúcar e ambientes de produção estressantes. In: CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: FEPAF, v. 1, p. 34-42, 2010.

LAMBERT, R.; PEETERS, A.; TOUSSAINT, B. LAI evolution of a perennial ryegrass crop estimated from the sun of temperature in spring time. **Agric Forest Meteorol** **58**, p. 1-8, 1999.

LANG, A. R. G.; MCMURTRIE, R. E.; BEANSON, M. L. Validity of surface area indices of *Pinus radiata* estimated from transmittance of the sun' s beam. **Agric Forest Meteorol** **57**: p. 157-170, 1991.

LANG, A. R. G.; MCMURTRIE, R. E. Total leaf areas of single trees of *Eucalyptus grandis* estimated from transmittances of the sun' s beam. **Agric Forest Meteorol** **58**: p. 79-92, 1992.

LEME, E. J. A.; MANEIRO, M. A.; GUIDOLIN, J.C. Estimativa da área foliar da cana-de-açúcar e sua relação com a produtividade. **Caderno PLANALSUCAR**, Piracicaba, v. 2, p. 3-22, 1984.

LI-COR. Plant canopy analyzer: LAI-2000; **operating manual**. Lincoln: 1992. 179p.

LI-COR. **LI 3100C area meter instruction manual**. Lincoln, 2004, 60 p.

LIMA, C. J.G.S; OLIVEIRA, F.A.; MEDEIROS, J.F.; OLIVEIRA, M. K. T; OLIVEIRA FILHO, A. F. Modelos matemáticos para estimativa de área foliar de feijão caupi. **Caatinga**, v.21, n.1, p.120-127. 2008.

LYLE, W.M. AND BORDOVSKY, J.P. Low Energy Precision Application (LEPA) Irrigation System. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, 24, p.1241-1245. 1981.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I.; ARRUDA, H. V.; CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.17, n.9, p.1323-1329, 1982.

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.12, p. 1575-1582, 2009.

MARCHIORI, P. E. R. **Variação da fotossíntese no dossel de variedades de cana-de-açúcar**: 2010. 71 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical, Área de Concentração em Tecnologia da Produção Agrícola) - Instituto Agrônomo, Campinas-SP, 2010.

MARIN, F.R.; JONES, J.W.; ROYCE, F.; SUGUITANI, C.; DONZELI, J.L.; PALLONE FILHO, W.J.; NASSIF, D.S.P. Parameterization, and evaluation of predictions of DSSAT/ CANEGRO for sugarcane Brazilian production systems. **Agronomy Journal**, v.103, p.100-110, 2011.

MASCHIO, R. **Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana- de- açúcar**. 2011. 88 p. Tese (M. Sc Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura Luiz de Quiroz (ESALQ). Piracicaba.

MEDINA, E., J.J. SAN JOSÉ & P.E. SEQUEIRA. Análisis de la productividad en caña de azúcar: III. Respiración en la oscuridade de hojas y tallos de cinco variedades de caña de azúcar y pérdidas nocturnas de matéria seca. **Turrialba**, 20: 302-306, 1970.

MASS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance- current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, v. 103, p.115- 134, 1977.

MUCHOW, R.C., SPILLRNAN, M.F., WOOD, B.A., TOMAS, M.R. Radiation Interception, and biomass accumulation in a Sugarcane Crop Grown under Irrigated tropical conditions. **Australian Journal of Agricultural Research**. v. 45, p 37-49, 1994.

MONSI, M.; SAEKI, T. Uber den Lichfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Beeutung fur die Stoffproduktion. Japon. **Jardim Botanique**, London, v.14, p. 22-52, 1953.

MONTEITH, J. L. Principles of Environmental Physics. **Edward Arnold**, London, 1973, 291 p.

NASSIF, D. S. P. **Parametrização e avaliação do modelo DSSAT/CANEGRO para variedades brasileiras de cana-de-açúcar**. 2010. 92p. Dissertação (Mestrado em Física do ambiente agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 2010.

NETO, C. J.G.; Hakamada, R. E.; Otto, M. S. G.; Silva, S. R.; e Stape, J. L. Calibração de dois métodos indiretos para estimativa do índice de área foliar em plantações de Eucalyptus. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 919-930, 2015.

NORMAN, J. M.; CAMPBELL, G. S. CANOPY STRUCTURE. IN: PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J.; MOONEY, H. A.; RUNDEL, P. W. (eds). **Plant physiological ecology: Field methods and instrumentation**. London: Chapman and Hall, 1989. p.301-326.

OLIVEIRA, R. A. **Modelagem da produtividade da cana-de-açúcar para as principais regiões produtora em MinasGerais**. 2010. 90 p. Dissertação. (Pós- 58 Graduação em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, UFV. Minas Gerais. 2010.

OLIVEIRA, R.; ADAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; BESPALHOK-FILHO, J. C., ZUFFELLATO- RIBAS, K. C.; SILVA, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua relação com sua produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, Goiás, v. 37, n. 2, p. 71-76, abr./jun. 2007.

OGUNTUNDE, P. G.; OLUKUNLE, O. J.; FASINMIRIN, J. T.; ABIOLU, O. A. Performance of the SunScan canopy analysis system in estimating leaf area index of maize. **Agric Eng Int: CIGR Journal**, 14(3): p.1—7, 2012.

O'LEARY, G.J.; DONALDSON, R.A. Validation of a Rapid Non-Destructive Leaf Area Index Measuring Device in Sugarcane. Proc. S. **Afr. Sug. Technol. Ass.** 74: p.167-168. 2000.

O'LEARY, G.J. 2000. A review of three sugarcane simulation models with respect to their prediction of sucrose yield. **Field Crops Res.** 68:97-111.

PEREIRA, R. M.; JÚNIOR, J. A.; CASAROLI, D.; SALES, D. L.; RODRIGUEZ, W. D. M.; SOUZA, J. M. F. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no Cerrado brasileiro. Edição especial, **Irriga e Inovagri**. v.1, n. 2, p. 149- 157, 2015.

PICOLE, M. C. A.; RUDORFF, B. F. T.; RIZZI, R.; GIAROLA, A. Índice de vegetação do sensor modis na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p.789-795, 2009.

POTTER, E., J. WOOD, AND C. NICHOLL. 1996. SunScan canopy analysis system user manual SS1-UM-1.05, **Delta-T devices**, Cambridge, UK.

PRADO, A. P. A. **Perfilhamento e produção da cana-de-açúcar (Saccharum spp.) em função da densidade de plantio**. 1988. 69p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

RAJAN, N. **Estimation of Crop Water Use for Different Cropping Systems in the Texas High Plains Using Remote Sensing**. 2007.175p. these (doctor Philsophy) Texas Tech University. Lubbock-TX, 2007.

RAMESH, P.; MAHADEVASWAMY, M. Effect of formative phase drought on different classes of shoots shoot mortality cane attributes yield an quality of four

sugarcane cultivars. **Journal Agronomy e Crop Science**, Berlin, v.185, p.249-258, 2000.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO (RIDESA). **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba. p. 136, 2010.

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

RODRIGUES, L. D. **A Cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis: Impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta para mitigação**. 2010. 59 p. tcc (especialização em análise ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora- SP.

SÁ, L. A.; LIMA, R. A. S.; GOMES, R. A.; SILVA, M. B. P.; BRITO, K. S. HOLANDA, L. A.; TEODORO, I.; LIRA, G. B. Crescimento da cana-de-açúcar em função da temperatura do ar nos tabuleiros costeiros de Alagoas. XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. **SESC Centro de Turismo de Guarapari**, Guarapari – ES. 2011.

SANO. S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. Cerrado: ecologia e flora. Embrapa Cerrados. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2008. 2v. 1279 p.

SANTOS, J. M.; M, D' AVILA.; MAIA, F.; LEÃO, T.; BUFON, V. B. Sugarcane leaf área index influenced by the moment of salvage irrigation. **Sugar Jornal**. v. 80, n. 1, p. 4 – 38, 2017.

SBRISSIA, A.F. E SILVA, S.C. Comparação de três métodos para estimativa do índice de área foliar em pastos de capim-marandu sob lotação contínua. **R Bras Zootecn**, 37: 212-220, 2008.

SCARDUA, R; ROSENFELD, U. Irrigação de cana-de-açúcar. In: CANA-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: **Fundação Cargil**, 1987. v.1, p. 373-431.

SCARPARE, M.S. **PREDPOL: Um modelo de previsão da maturação da cana-de-açúcar visando planejamento otimizado**. 2007. 120p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SCARPARE, F. V. **Simulação do crescimento da cana-de-açúcar pelo modelo agrohidrológico SWAP/WOFOST**. 2011. 164p. Tese (Doutorado em ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SINGH, G.; CHAPMAN, S.C.; JACKSON, P.A.; LAWN, R.J. Lodging – A major constraint to high yield and CCS in the wet and dry tropics. In: **Australian society of Sugar Cane Technologists Conference, 22**. Proceedings. Bundaberg: D.M. Hogarth, p.315-321. 2000.

SINGELS, A.; JONES, M.; VAM DEN BERG, M. DSSAT v.4.5 DSSAT/CANEGRO: Sugarcane plant module; scientific documentation. Mount Edgecombe: International Consortium for Sugarcane Modeling; **South African Sugarcane Research Institute**, 2008. 34 p.

SILVA, A. B. **Resposta da cana-de-açúcar irrigada sob diferentes níveis de adubação**. 2002. 61p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande/Paraíba.

SILVA, F. A. M.; ASSAD, E. D.; STEINKE, E. T.; MÜLLER, A. G. Clima do Bioma Cerrado. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. (Ed.). Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2008. v. 2, p. 93-148.

SILVA, M. A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. L.; GAVA, G. J.; KOLLN, O. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função das variedades e cilcos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.3, p.241–249, 2014.

SILVA, T.G.F.; MOURA, M.S.B.; ZOLNIER, S. CARMO, J. F. A.; SOUZA, L. S. B. Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 3, p. 500- 509, 2012.

SILVA, T.G.F. **Análise de crescimento, interação biosfera-atmosfera e eficiência do uso da água da cana-de-açúcar irrigada no submédio do vale do São Francisco**. 2009. 194p. Tese (Doutorado em meteorologia agrícola) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG.

SINHA, N. Leaf development in angiosperms. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mal. Bio.** 50: 419- 146 (1999).

SILVEIRA, J.A.G. **Integração entre assimilação de nitrogênio e o crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) cultivada em condições de campo**. Piracicaba, 1985. 152p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz deQueiroz”, Universidade de São Paulo.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, 2004. 416p.

SOUSA, L.F.; SANTOS, J.G.D.; ALEXANDRINO, E.; MAURÍCIO, R.M.; MARTINS, A.D.; SOUSA, J.T.L. Método prático e eficiente para estimar a área foliar de gramíneas forrageiras tropicais. **Arch. Zootec.** 64 (245): p.83-85. 2015.

STEDUTO, P.; RAES, D. H. T. C.; FERERES, E. AquaCrop: concepts, rationales, and operation. Crop Yield Response to water. **Irrigation e Drainage paper**. v. 66-FAO, Rome, 2012.

STONE, P. J.; SORENSEN, I. B.; JAMIESON, P. D. Effect of soil temperature on phenology, canopy development, biomass and yield of maize in a cool-temperature climate. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, p. 169-178, 1999.

STONE, R. J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. **Solar Energy**, v. 51, n. 4, p. 289-291, 1993.

SUGUITANI, S. **Entendendo o crescimento e produção da cana-de-açúcar: avaliação do modelo Mosicas**. 2006. p.62 Tese (Doutor em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

TAVARES, A.C.S. **Sensibilidade da cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*) ao excesso de água no solo**. 2009. 221p. Tese (Doutorado em agronomia/Irrigação e Drenagem) Escola superior "Luis de Queirois", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

TEJERA, N. A.; RODÉS, R.; ORTEGA, E.; CAMPOS, R.; LLUCH, C. Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.102, p.64 - 72, 2007.

TERUEL, D. A. **Modelagem do índice de área foliar da cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos**.1995 93p. Dissertação (Mestrado em programa de pós-graduação em agronomia) Escola superior "Luis de Queirois", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Histórico do setor**. 2010. Disponível em <<http://www.unica.com.br/linhadotempo/index.html#>>. Acesso em: 22 Ago. 2017.

ZHAO, D.; GLAZ, B.; COMSTOCK, J. C. Sugarcane response to water-deficit stress during early growth on organic and sand soils. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**. v.5, p 403-414, 2010.

ZHOU, M.M.; SINGELS, A.; SAVAGE, M.J. Physiological parameters for modelling differences in canopy development between sugarcane cultivars. Proceedings of the Annual Congress- **South African sugar technologists Association**. No.77 p. 610-621. 2003.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, v. 11, p. 41-76, 1947.

WARREN-WILSON, J.; REEVE, J. E. Analysis of the spatial distribution of foliage by two- dimensional point quadrats. **New Phytol** 58: p. 92-101, 1998.

WEBB, N.; NICHOLL, C.; WOOD, J.; POTTER, E. 2016. SunScan canopy analysis system user manual SS1-UM-3.3, **Delta-T devices**, Cambridge, UK.

WELLES, J. M.; NORMAN, J. M. Instrument for measurement of canopy architecture. **Agron J** 83, p. 818-825, 1991.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid South Texas. **Agronomy Journal**, Madison, v.100, p.665-671, 2008.

WILHELM, W. W.; RUWE, K.; SCHLEMMER, M. R. Comparison of three leaf area index meters in a corn canopy. **Crop Sci**. 40: p. 1179–1183, 2000.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

WOOD, J.; POTTER, E; NICHOLL, C. 1996. SunScan canopy analysis system user manual SS1-UM-1.05, **Delta-T devices**, Cambridge, UK.

8 - ANEXOS

Tabela 8 - Valores médios do índice de área foliar para a cana de outono, em duas socas (2ª e 3ª) avaliados em diferentes dias após o corte (DAC) sob três tratamentos, 0, 50 e 100% da ITN.

Tratamentos	2ª SOCA				3ª SOCA	
	DAC				DAC	
	93	115	150	211	31	333
0%	0,72 b	1,09 b	1,38 c	3,78 b	0,35 b	1,92 a
50%	0,83 b	1,47 ab	3,20 b	5,71 a	0,38 ab	2,79 a
100%	1,17 a	1,71 a	3,84 a	5,82 a	0,44 a	2,51 a

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 9- Valores médios do índice de área foliar para a cana de inverno, em duas socas (2ª e 3ª) avaliados em diferentes dias após o corte (DAC) sob três tratamentos, 0, 50 e 100% da ITN.

Tratamentos	2ª SOCA					3ª SOCA	
	DAC					DAC	
	62	123	188	236	326	193	267
0%	0,60 b	3,63 b	3,87 b	3,42 b	2,67 b	3,20 a	3,04 a
50%	1,09 a	4,47 a	4,00 b	2,52 c	2,15 a	3,85 a	3,03 a
100%	1,11 a	4,33 a	5,23 a	2,98 a	*	3,60 a	3,33 a

Média seguidas das mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5%. * avaliação não realizada.

Tabela 10- Valores médios do índice de área foliar para a cana de primavera, em duas socas (2ª e 3ª) avaliados em diferentes dias após o corte (DAC) sob três tratamentos, 0, 50 e 100% da ITN.

Tratamentos	2ª SOCA				3ª SOCA	
	DAC				DAC	
	61	127	175	294	105	179
0%	1,15 ab	1,85 b	3,04 a	4,49 a	3,60 b	4,17 b
50%	1,07 b	2,35 ab	3,26 a	4,83 a	4,23 a	4,67 a
100%	1,35 a	3,19 a	3,38 a	5,17 a	4,07 a	4,73 a

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 11- Valores médios do índice de área foliar para cana de outono, em duas socas (2ª e 3ª), avaliados em diferentes dias após o corte (DAC) em função das variedades CTC 9, RB96 6928 e CTC 18.

2ª SOCA				
DAC				
Tratamentos	93	115	150	211
CTC- 9	0,82 a	1,36 a	2,85 a	5,25 a
RB 96 6928	1,00 a	1,49 a	2,76 a	4,95 b
3ª SOCA				
DAC				
	31	333		
CTC- 18	0,38 a	2,71 a		
RB 96 6928	0,40 a	2,11 a		

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 12- Valores médios do índice de área foliar para cana de inverno, em duas socas(2ª e 3ª), avaliados em diferentes dias após o corte (DAC) em função das variedades IACSP91 1099 e RB 86 7515.

2ª SOCA						3ª SOCA	
DAC						DAC	
Tratamentos	62	123	188	236	326	193	267
IACSP911099	1,24 a	5,18 a	5,33 a	3,21 a	3,15 a	4,03 a	3,71 a
RB86 7515	0,63 b	3,10 b	3,39 b	2,74 a	1,67 b	3,20 a	2,55 b

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 13- Valores médios do índice de área foliar para cana de primavera, em duas socas (2ª e 3ª), avaliados em diferentes dias após o corte (DAC) em função das variedades IAC 91 1099 e RB 86 7515.

2ª SOCA					3ª SOCA	
DAC					DAC	
Tratamentos	61	127	175	294	105	179
CTC 15	1,07 b	2,18 a	3,08 b	4,67 a	3,93 a	4,57 a
RB92 579	1,31 a	2,75 a	3,36 a	5,00 a	4,00 a	4,48 a

Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 14- Valores médios de IAF para interação das variedades de outono, CTC-9 x RB 96 6928 e CTC-18 x RB 96 6928, dispostas em diferentes dias após o corte (DAC) para duas socas (2ª e 3ª) sendo avaliadas em três regimes hídricos correspondentes a 0, 50,100% da ITN.

2ª SOCA			
Variedades			
DAC	Tratamentos	CTC 9	RB96 6928
93	0%	0,61 Ab	0,83 Aa
	50%	0,71 Aab	0,96 Aa
	100%	1,13 Aa	1,20 Aa
115	0%	1,12 Aa	1,06 Ab
	50%	1,29 Aab	1,65 Aa
	100%	1,65 Aa	1,76 Aa
150	0%	1,44 Ab	1,31 Ac
	50%	3,33 Aa	3,08 Ab
	100%	3,80 Aa	3,89 Aa
211	0%	3,91 Ab	3,66 Ac
	50%	6,38 Aa	5,03 Bb
	100%	5,47 Aa	6,16 Aa
3ª SOCA			
		CTC 18	RB96 6928
31	0%	0,33 Ab	0,37 Aa
	50%	0,36 Ab	0,40 Aa
	100%	0,44 Aa	0,43 Aa
333	0%	1,51 Ab	2,34 Aa
	50%	3,48 Aa	2,10 Aa
	100%	3,15 Aab	1,88 Aa

Médias na coluna seguidas de letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao comparar o regime hídrico dentro da mesma variedade e médias na linha seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente ao comparar as variedades para mesmo regime hídrico pelo teste Tukey a 5%.

Tabela 15- Valores médios de IAF para interação das variedades de inverno, IACSP91 1099 x RB86 7515, dispostas em diferentes dias após o corte (DAC) para duas socas (2ª e 3ª) sendo avaliadas em três regimes hídricos correspondentes a 0, 50, 100% da ITN.

2ª SOCA			
Variedades			
DAC	Tratamentos	IACSP91 1099	RB86 7515
62	0%	0,72 Ab	0,48 Aa
	50%	1,51 Aa	0,68 Ba
	100%	1,50 Aa	0,72 Ba
123	0%	4,17 Ab	3,09 Ba
	50%	5,73 Aa	3,21 Ba
	100%	5,64 Aa	3,01 Ba
188	0%	4,47 Ab	3,27 Aa
	50%	5,10 Ab	2,89 Ba
	100%	6,43 Aa	4,03 Ba
236	0%	3,15 Aa	3,69 Aa
	50%	3,01 Aa	2,03 Bb
	100%	3,48 Aa	2,49 Bb
326	0%	3,58 Aa	1,76 Ba
	50%	2,72 Ab	1,59 Ba
	100%	*	*
3ª SOCA			
CTC 18			
RB96 6928			
193	0%	3,49 Aa	3,05 Aa
	50%	4,17 Aa	3,52 Aa
	100%	4,16 Aa	3,04 Ba
267	0%	3,61 Aa	2,47 Aa
	50%	3,67 Aa	2,39 Aa
	100%	3,85 Aa	2,80 Aa

Médias na coluna seguidas de letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao comparar o regime hídrico dentro da mesma variedade e médias na linha seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente ao comparar as variedades para mesmo regime hídrico pelo teste Tukey a 5%. * Avaliação não realizadas.

Tabela 16- Valores médios de IAF para interação das variedades de primavera, CTC15 x RB92 579, dispostas em diferentes dias após o corte (DAC) para duas socas (2ª e 3ª) sendo avaliadas em três regimes hídricos correspondentes a 0, 50,100% da ITN.

2ª SOCA			
Variedades			
DAC	Tratamentos	CTC 9	RB 96 6928
61	0%	1,04 Aa	1,26 Aa
	50%	0,92 Aa	1,22 Aa
	100%	1,25 Aa	1,45 Aa
127	0%	1,56 Aa	2,14 Aa
	50%	2,04 Aa	2,66 Aa
	100%	2,94 Aa	3,44 Aa
175	0%	2,91 Aa	3,16 Aa
	50%	3,01 Aa	3,51 Aa
	100%	3,33 Aa	3,42 Aa
294	0%	3,71 Ab	5,27 Ba
	50%	5,05 Aab	4,62 Aa
	100%	5,24 Aa	5,10 Aa
3ª SOCA			
		CTC 18	RB96 6928
105	0%	3,51 Aa	3,68 Aa
	50%	4,13 Aa	4,32 Aa
	100%	4,15 Aa	3,98 Aa
179	0%	4,12 Ab	4,22 Aa
	50%	4,40 Aab	4,93 Aa
	100%	5,18 Aa	4,29 Ba

Médias na coluna seguidas de letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente ao comparar o regime hídrico dentro da mesma variedade e médias na linha seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem estatisticamente ao comparar as variedades para mesmo regime hídrico pelo teste Tukey a 5%.