



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Índices Morfofisiológicos e Uso de Radiação Solar por um Cultivo de Cana-de-Açúcar Irrigada no Semiárido Brasileiro

Thieres George Freire da Silva¹, Magna Soelma Beserra de Moura², Sérgio Zolnier³, Luciana Sandra Bastos de Moura⁴, José Francisco Alves do Carmo⁵

¹ Engenheiro-Agrônomo, Professor, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Fazenda Saco, s/n, CEP 56900-000, Serra Talhada, Pernambuco. (87) 3929-3208. thieres_freire@yahoo.com.br (autor correspondente). ² Engenheira-Agrônoma, Pesquisadora, Embrapa Semiárido, BR 428, Km 152, Zona Rural - Caixa Postal 23, CEP 56302-970, Petrolina, Pernambuco. (87) 3866-3600. magna_upa@hotmail.com. ³ Engenheiro-Agrícola, Professor, Departamento de Engenharia Agrícola, Unidade Federal de Viçosa, Av. P.H. Hofls, s/n, CEP 36570-000, Viçosa, Minas Gerais. (31) 3899-1880. zolnier@ufv.br. ⁴ Bióloga, Professora, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Fazenda Saco, s/n, CEP 56900-000, Serra Talhada, Pernambuco. (87) 3929-3208. sanddrbastos@yahoo.com.br. ⁵ Biólogo, Bolsista, Embrapa Semiárido, BR 428, Km 152, Zona Rural - Caixa Postal 23, CEP 56302-970, Petrolina, Pernambuco. (87) 3866-3600. j.francarmo@gmail.com.

Artigo recebido em 02/05/2014 e aceito em 25/11/2014

RESUMO

Os índices morfofisiológicos e parâmetros de eficiência do uso de radiação foram determinados para a cana-de-açúcar irrigada, RB92579. O experimento foi conduzido no município de Juazeiro-BA, Semiárido brasileiro. Foram obtidas medições de biomassa seca acumulada pelas folhas, colmos e total da parte aérea, e do índice de área foliar. Adicionalmente, dados de radiação solar global e de radiação fotossinteticamente ativa foram medidos acima e abaixo do dossel da cultura. Por meio desses dados foram calculados os índices morfofisiológicos, a fração da radiação fotossinteticamente ativa (f_{RFA}), o coeficiente de extinção (k_e), o uso eficiente de radiação (UER) e a eficiência fotossintética (EFT). A taxa de crescimento absoluto aumentou substancialmente até atingir o valor máximo de $41,8 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ aos 200 dias após o corte (DAC). O valor máximo de f_{RFA} foi em torno de 99%, permanecendo constante dos 213 DAC até o final do ciclo. A magnitude do parâmetro k_e foi 0,72. Baseado nas medições do BSTPA verificou-se que os valores aproximados de EFT e UER foram $2,67 \text{ g MJ}^{-1}$ e $1,29 \text{ g MJ}^{-1}$, respectivamente. Os resultados mostraram que a cana-de-açúcar irrigada no Semiárido brasileiro possui padrões de crescimento superiores aos de outros ambientes de cultivo registrados na literatura.

Palavras-chave: crescimento, coeficiente de extinção, uso eficiente da radiação.

Morphophysiological Indices and Radiation Use by an Irrigated Sugarcane Crop in the Brazilian Semi-Arid

ABSTRACT

The morphophysiological indices and parameters of radiation use efficiency were determined for irrigated sugarcane, RB92579 cultivar. The experiment was carried out in the district of Juazeiro, State of the Bahia, located in the Brazilian semi-arid. Measurements of dry biomass accumulated by leaves, stalk and total shoot, and leaf area index (LAI) were carried out. Additionally, global solar radiation and photosynthetic active radiation were measured above and below the crop canopy. Using these data, morphophysiological indices, the photosynthetic active radiation fraction (f_{PAR}), the extinction coefficient (k_e), the radiation efficient use (REU) and the photosynthetic efficiency (PTE) were calculated. The absolute growth rate tended to increase substantially until reaching the maximum value of $41.8 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, which was observed 200 days after cutting (DAC). The maximum value of the f_{PAR} was around 99%, remaining constant from 213 DAC until the end of the crop cycle. The magnitude of the k_e parameter was 0.72. Based on measurements of DBTS, it was verified that the approximate values of the PTE and REU were 2.67 g MJ^{-1} and 1.29 g MJ^{-1} , respectively. Results showed that the irrigated sugarcane has excellent growth patterns when cultivated under semi-arid conditions when compared to others environments cited in literature.

Keywords: growth, extinction coefficient, radiation use efficiency.

* E-mail para correspondência:

thieres_freire@yahoo.com.br (Silva, T. G. F. da).

Introdução

As recentes preocupações com a redução da emissão dos gases de efeito estufa, bem como o aumento dos preços dos combustíveis e as incertezas quanto às reservas de petróleo, vêm despertando o interesse pela exploração de culturas que possam se constituir em fontes de energia renovável (Kosgei et al., 2007; Su & Lee, 2009).

Neste sentido, a cana-de-açúcar destaca-se como uma das culturas potenciais, devido à produção de álcool, que contribui para redução da emissão de gases de efeito estufa (Alonso-Pippo et al., 2008; Coelho et al., 2006; Su & Lee, 2009). Por esses motivos, a expansão das fronteiras agrícolas com áreas de cultivo de cana-de-açúcar tem ocorrido em várias regiões do país (IBGE, 2013). Na região do semiárido brasileiro, os avanços das áreas agrícolas vêm promovendo modificações importantes no ecossistema local, por meio da substituição da vegetação nativa (caatinga). Assim, a compreensão dos processos que influenciam a interação biosfera-atmosfera é de extrema importância.

Essa interação ocorre ao longo do ciclo produtivo da cultura, em função da eficiência de crescimento das plantas, e é refletida no rendimento final, em resposta da sua capacidade de conversão de radiação, água e de nutrientes em biomassa. Ao longo do tempo, a eficiência de crescimento da cultura pode ser avaliada por meio da evolução de suas características morfofisiológicas e da eficiência fotossintética. Pouco se conhece sobre essas informações para a cana-de-açúcar no Semiárido brasileiro (Park et al., 2005; Singels et al., 2005; Tejera et al., 2007). Nessa análise, a adaptação ecológica da cultura a um novo ambiente é investigada, de forma que auxilie no entendimento de sua resposta as condições do meio de cultivo (Benincasa, 1988; Gava et al., 2001).

Os índices morfofisiológicos são representados pela taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF) e pela razão da massa foliar (RMF) (Benincasa, 1988; Gava et al., 2001; Silva et al., 2009). Por sua vez, os parâmetros de uso de radiação são caracterizados pelo índice de área foliar (IAF) (Farias et al., 2008), fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (f_{RFA}) (Singels et al., 2005), coeficiente de extinção (k_e) (Farias et al., 2008; Kiniry et al., 2005) e eficiência do uso de radiação (EUR) (Keating et al., 1999) e, ou, eficiência fotossintética (EFT) (Singels et al., 2005; Sinclair and Muchow, 1999). Esses indicadores também possibilitam a avaliação dos efeitos de diferentes práticas de manejo no crescimento das plantas (Silva et al., 2009).

Esse estudo tem como objetivo avaliar o padrão de crescimento da variedade de cana-de-açúcar RB92579, por meio de índices morfofisiológicos e de parâmetros de uso da radiação, durante o ciclo de cana-soca, sob irrigação, no Semiárido brasileiro.

Material e métodos

Local de execução do experimento e tratos culturais

O experimento foi conduzido em área de cultivo comercial, localizada no município de Juazeiro, BA (9°28'0''S; 40°22'43''O; 386,5 m). A cultura foi plantada, numa densidade de 18 gemas por metro linear, em fevereiro de 2006, em um solo pertencente à classe dos Vertissolos. O plantio foi realizado em fileiras simples, dispostas na direção leste-oeste, espaçadas em 1,5 m. Na adubação inicial foram aplicados 112 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 2,8 kg de Cu e de Zn e 1,2 kg de B, com base na recomendação da análise de solo. Durante o ciclo de cana planta, foram aplicados mais 125 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia e 135 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio. Depois do primeiro corte (28/05/2007), quando se iniciou o ciclo de cana-soca, foram adicionados, ao longo do ciclo, 157,5 kg ha⁻¹ e 0,5 L ha⁻¹ de ureia e Ajipower, respectivamente, com base em análises de solo e foliar. Para o controle de ervas daninhas foram aplicados 1 L ha⁻¹ dos herbicidas Aminol e Trop. O sistema de irrigação da área de cultivo era do tipo superficial por sulcos, utilizando-se tubos janelados, sendo os seus eventos realizados com base no conteúdo de água no solo obtido por meio de uma sonda FDR (Frequency Domain Reflectometer) modelo PR2/6 (Delta-T Devices Ltd., Burwell, Cambridge, UK) e a partir dos valores de evapotranspiração de referência (ET₀). A irrigação foi realizada sempre que o conteúdo de água no solo atingisse 50% da capacidade de campo.

Dados monitorados

Durante o período de cana-soca (junho/2007 a junho/2008, período que comumente é conduzido esse ciclo na região), foram determinadas a biomassa seca das folhas (BSF), dos colmos (BSC) e total da parte área (BSTPA), o índice de área foliar (IAF) e as radiações fotossinteticamente ativa (RFA) e solar global (R_g) acumuladas. Os dois primeiros atributos (BSC e BSTPA) foram obtidos a partir de dez campanhas de medição, por meio da adaptação da metodologia proposta por Muchow et al. (1994). As amostragens das plantas foram realizadas em quatro metros lineares em três subáreas representativas, totalizando 18 m² de material fresco analisado por campanha de medição. As amostragens foram feitas em intervalos de duas a quatro semanas, a partir dos 60 dias após o início do ciclo da cana-soca. Do volume total coletado por campanha, quinze colmos por subárea foram selecionados aleatoriamente, segmentados em seis partes (folhas, bainhas, pseudocolmo, parte emergente, colmos e folhas e bainhas mortas), triturados individualmente em uma máquina forrageira e, em seguida, subamostrados e pesados em uma balança de precisão de 0,001 g (Modelo MARK 210A, Bel Engineering, Monza-MI, Itália). As subamostras foram secas em estufa com ventilação forçada, sob temperatura do ar compreendida entre 65-70°C. Após atingirem peso

constante, a BSC e a BSTPA foram obtidas por meio da extrapolação dos dados das subamostras. O IAF foi obtido por meio de um integrador de área foliar (Modelo LAI 2000, LI-COR Inc., Lincoln-NE, USA), realizando-se quinze medições em um formato retangular em cada uma das três subáreas do talhão experimental. Em relação aos valores de RFA, os mesmos foram oriundos de quatro sensores quânticos (Modelo LI-191SA Line Quantum Sensor, LI-COR Inc., Lincoln-NE, USA), sendo um deles instalado, juntamente com um sensor de radiação solar global (Modelo LI-200SA Pyranometer Sensor, LI-COR Inc., Lincoln-NE, USA), no topo de uma torre micrometeorológica de oito metros de altura, situada a 350 m em relação à bordadura. Os outros três sensores quânticos foram dispostos, de maneira perpendicular e na direção diagonal em relação as fileira de cultivo, abaixo do dossel da cultura. Todos os sensores foram conectados a um multiplexador (Modelo AM16/32, Campbell Scientific Inc., Logan-UT, USA) e a um sistema de aquisição de dados (modelo CR10X, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA), o qual foi programado para realizar medições a cada 60 s e armazenar os valores médios em intervalos de 15 min. Os valores de radiação foram monitorados em $W m^{-2}$ e depois integralizados para escala diária em $MJ m^{-2} dia^{-1}$.

Dados analisados

A partir dos valores de BSF, BSTPA e IAF, foram estimados os seguintes índices morfofisiológicos: taxa de crescimento absoluto (TCA, $g m^{-2} d^{-1}$), taxa de crescimento relativo (TCR, $g g^{-1} d^{-1}$), taxa de assimilação líquida (TAL, $g m^{-2} d^{-1}$), razão de área foliar (RAF, $m^2 g^{-1}$), razão da massa foliar (RMF, $g g^{-1}$) e área foliar específica (AFE, $m^2 g^{-1}$). Para isso foram utilizados os softwares Sigmaplot@11 (Systat Software Inc.) e Maple@10 (Maplesoft Inc.), para o ajuste e posterior derivação do modelo sigmoidal com três parâmetros, para a variável dependente BSTPA em relação à variável independente DAC, permitindo descrever a evolução dos índices morfofisiológicos durante o ciclo da cultura. Aplicando-se a solução analítica aos valores de DAC, inicialmente foi demonstrada a variação da TCA ao longo do ciclo da cana-de-açúcar. Similarmente, a equação utilizada para descrever os comportamentos da TCR foi obtida por meio da relação: $TCR = TCA/BSTPA$. As curvas de AFE, TAL, RAF e RMF foram traçadas com base nos seguintes cálculos: $AFE = IAF/BSF$, $TAL = TCA/IAF$, $RAF = IAF/BSTPA$ e $RMF = BSFV/BSTPA$.

Para a estimativa da fração de radiação fotossinteticamente ativa interceptada (f_{FRA}), foram utilizadas medições de radiação fotossinteticamente ativa realizadas abaixo (RFA_{LI}) e acima (RFA_{LS}) do dossel da cultura. Os dados de f_{FRA} e do IAF foram usados para a determinação do valor de k_e , conforme a seguinte equação, resultante da Lei de Beer [$RFA_{LI} = RFA_{LS} \exp(-k_e IAF)$]; e, os valores de f_{FRA} e k_e foram obtidos conforme Singels et al. (2005).

Finalmente, o uso eficiente de radiação (UER, $g MJ^{-1}$) e a eficiência fotossintética (EFT, $g MJ^{-1}$) foram calculados a partir da regressão entre a biomassa seca (do colmo e total da parte aérea) e a radiação interceptada, ambas acumuladas entre os intervalos de amostragens, considerando-se os valores de radiação solar global (R_g) e de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), respectivamente. Desse modo, os valores dos coeficientes angulares das equações lineares, obtidas entre a relação de BSTPA ou BSC e os valores acumulados de R_g ou RFA, forneceram os valores de UER ou EFT (Kiniry et al., 2005; Roupheal and Colla, 2005). Para isso foi usado o SigmaPlot@11 (Systat Software Inc.) para realizar as regressões e estatísticas das significâncias das equações e dos seus respectivos coeficientes, com base no teste F e t de Student, respectivamente, admitindo-se como válidos desde que $p < 0,05$. Esta distinção entre UER e EFT foi considerada, visando uma análise comparativa com os dados da literatura, pois o UER, da maneira proposta, destaca-se como o mais calculado para a cana-de-açúcar (Robertson et al., 1996; Singels et al., 2005).

Resultados e discussão

TCA, TCR, TAL, RAF, RMF e AFE

Pode-se observar que a TCA ainda é baixa antes dos 100 DAC (antes de setembro) (Figura 1A), com valores inferiores a $9,0 g m^{-2} d^{-1}$, caracterizando-se um período de incremento reduzido de biomassa. Nessa fase de crescimento, a temperatura média do ar foi de $24,1^{\circ}C$, enquanto o suprimento médio de radiação solar foi de $16,5 MJ m^{-2} d^{-1}$. A partir desse momento, a TCA tendeu a aumentar substancialmente, até atingir o valor máximo de $41,8 g m^{-2} d^{-1}$, em torno dos 200 DAC (entre os meses de dezembro e janeiro). Nesse período, a temperatura média do ar alcançou valores médios de $28,0^{\circ}C$ e o suprimento médio de radiação solar esteve próximo de $23,1 MJ m^{-2} d^{-1}$.

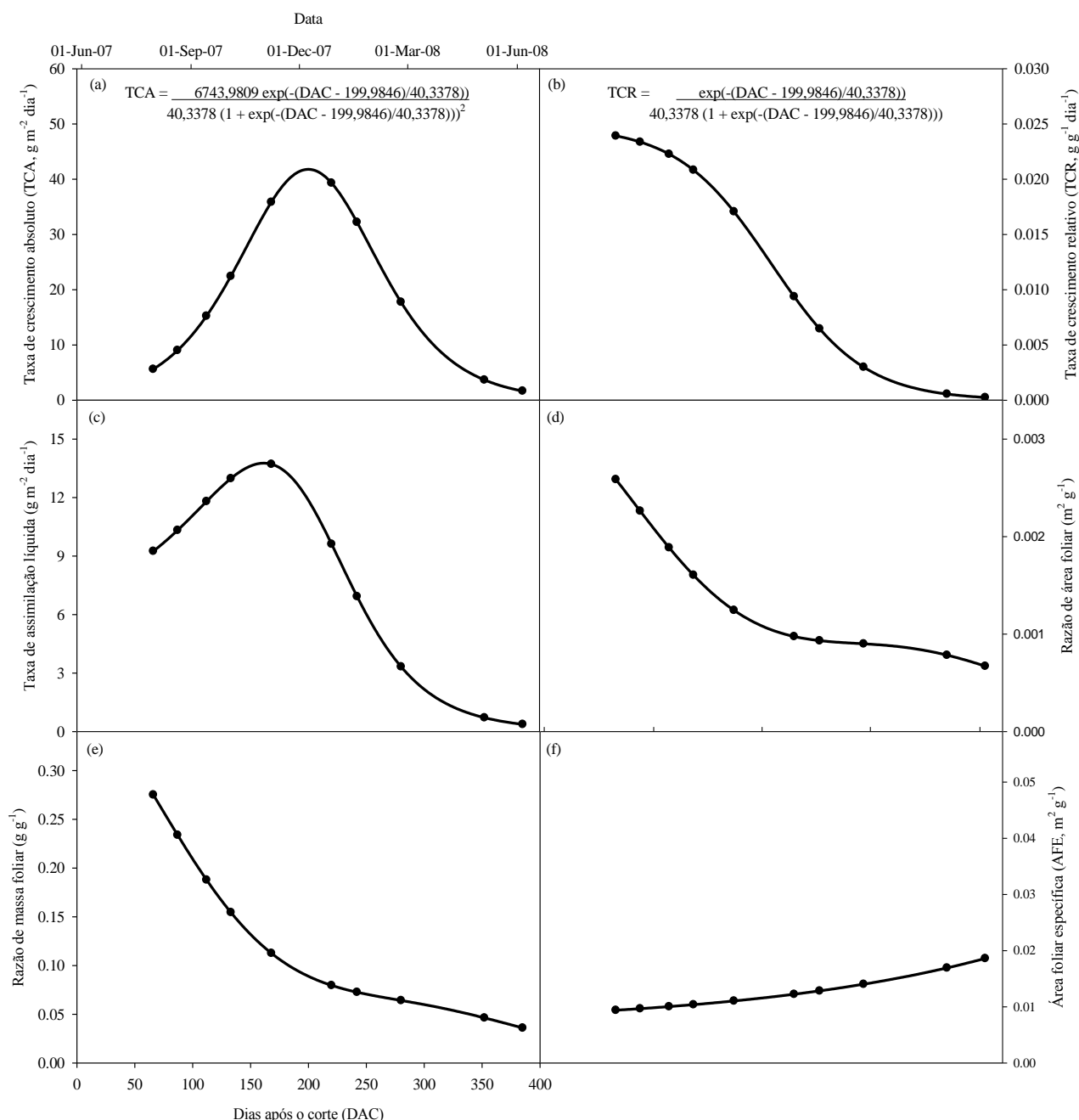


Figura 1. Índices morfofisiológicos (Taxa de crescimento absoluto, A; Taxa de crescimento relativo, B; Taxa de assimilação líquida, C; Razão de área foliar, D; Razão de massa foliar, E; Área foliar específica, F; da cana-soca irrigada, variedade RB92579, na safra 2007/2008, sob as condições climáticas do Semiárido brasileiro.

Na fase subsequente, verificou-se uma redução acentuada da TCA, com valor médio em torno de 4,7 g m⁻² d⁻¹ após os 348 DAC (maio – junho), quando foi realizado o último evento de irrigação. Na fase final do ciclo (348 a 385 DAC), constatou-se uma redução pequena da TCA, cujo valor médio foi de 1,7 g m⁻² d⁻¹. Esse resultado mostra que as plantas continuaram crescendo, mesmo com a suspensão da irrigação, em virtude da alta capacidade de retenção de água dos vertissolos. O crescimento nessa fase pode diminuir o teor de sacarose no colmo, logo que o se acúmulo ocorre da região basal para a apical, em decorrência das diferenças de maturidade dos entrenós. Assim, o contínuo crescimento da cultura inibe a melhor distribuição da sacarose ao longo da extensão dos colmos (Topppa et al., 2010). Oliveira et al. (2010)

também destacam a capacidade de acúmulo de biomassa da RB92579, que está relacionada, possivelmente ao seu potencial genético de perfilhamento, além de seu potencial de crescimento.

Analisando-se a TCR (Figura 1B), nota-se que, na fase inicial de crescimento da cana-de-açúcar durante o ciclo de soca, o seu valor era de 0,024 g g⁻¹ d⁻¹, antes dos 100 DAC (Figura 1B), demonstrando a sua velocidade de acúmulo de biomassa em relação àquela antes acumulada pela cultura. Contudo, com o decorrer do ciclo, verificou-se uma redução nos valores, atingindo 0,001 g g⁻¹ d⁻¹ aos 348 DAC, e sendo, praticamente desprezíveis no final do ciclo (385 DAC).

Aumento pronunciado nos valores de BSTPA e de IAF, observado no início do ciclo, promoveu incremento da taxa de assimilação líquida (TAL) da

cana-soca irrigada até próximo dos 168 DAC (~ 13,8 g m⁻² d⁻¹), provavelmente, como resposta da sua alta conversão de energia, que permitiram o aumento da eficiência fotossintética (Benincasa, 1988; Ramesh and Mahadevaswamy, 2000). Este valor ocorreu em torno do mês de novembro/2007, indicando que é possível aumentar a eficiência fotossintética da cana-de-açúcar, com deslocamento do início do ciclo para meses posteriores. Assim, pode-se selecionar um período em que ocorre maior disponibilidade de radiação solar, em vez de iniciar o cultivo quando o suprimento é ainda ascendente, como foi constatado no presente experimento, que começou em junho/2007.

No período seguinte (aos 168 DAC), observou-se uma redução nos valores de TAL (Figura 1C), o que pode estar relacionado com um aumento do auto sombreamento das folhas, condicionando a redução da interceptação de radiação fotossinteticamente ativa em uma maior camada do dossel. Outros aspectos, que podem estar associados a essa redução da TAL são a progressiva expansão foliar, o aumento da taxa de respiração de manutenção e a elevação da temperatura ambiente (Parsons et al., 1983; Woldge and Leaf, 1976). Adicionalmente, tem-se que a redução da eficiência fotossintética do dossel (Figura 1C) pode ser decorrente da senescência das folhas ao final do ciclo, conforme foram relatados por Oliveira et al. (2010) e Silva et al. (2012), em cultivares de cana-de-açúcar.

Verificou-se que a TAL variou de 13,8 g m⁻² d⁻¹, aos 168 DAC, até 0,8 g m⁻² d⁻¹ aos 348 DAC (Figura 1C). A partir deste momento, semelhante ao comportamento dos outros índices morfofisiológicos citados anteriormente, constatou-se que os valores de TAL apresentaram pouca variação, alcançando valor mínimo de 0,4 g m⁻² d⁻¹ em 385 DAC.

A maior razão de área foliar (RAF) para a cana-de-açúcar irrigada (cana-soca) Figura 1D, no início do ciclo, indica que a maior parte da produção fotossintética da planta foi destinada à expansão foliar. Esses resultados estão em conformidade com a partição da biomassa seca das folhas verdes e das folhas emergentes citadas por Silva et al. (2012). Observou-se, assim, que os valores máximos, da ordem de 0,0026 m² g⁻¹, ocorreram no início do período de crescimento.

Contudo, reduziu-se para 0,007 m² g⁻¹ ao final do ciclo de cultivo. Similarmente, a razão de massa foliar (RMF) (Figura 1E) alcançou valores máximos no início do ciclo, mas que se reduziu com o decorrer do tempo, devido à elevada conversão de fotoassimilados em biomassa de colmos.

Analisando-se a área foliar específica (AFE) da cultura (Figura 1F), constatou-se que houve um ligeiro aumento ao longo do ciclo da cultura, indicando que as folhas tornaram-se menos espessas, decorrente da menor fração de fotoassimilados destinada à formação da estrutura foliar. Aos 66 DAC, o valor da AFE oscilou próximo de 0,010 g g⁻¹ d⁻¹, aumentando para 0,018 g g⁻¹ d⁻¹ ao final do ciclo.

IAF, f_{RFA} e ke

No início do ciclo da cultura, caracterizado por um baixo índice de área foliar (IAF) (Figura 2A), verificou-se que o valor máximo de f_{RFA} foi reduzido, ou seja, a planta apresentou baixa interceptação de radiação (Figura 2B). Entretanto, no período subsequente, os valores de f_{RFA} aumentaram rapidamente até a ocorrência da cobertura total do solo (f_{RFA} > 80%) aos 132 dias de ciclo. Neste período, os valores médios de temperatura do ar estavam em torno de 24,5°C. Dados obtidos por Singels et al. (2005) em Mount Edgecombe, África do Sul, referentes às cultivares NCo376 e CP66/1043 no ciclo de cana-soca, mostraram que foram necessários 100 e 120 DAC, respectivamente, para que a f_{RFA} atingisse 80 %, com início do ciclo no mês de dezembro (temperatura média do período igual a 23,3 °C). Por outro lado, quando o ciclo foi iniciado no mês de junho (temperatura média do período igual a 18,0°C), necessitou-se de 180 e 230 DAC, respectivamente, para que ocorresse a cobertura total do solo. No presente estudo, o valor máximo de f_{RFA} foi de aproximadamente 99%, ocorrendo aos 213 DAC, tornando-se constante até o final do ciclo, mesmo com redução do índice de área foliar (Figura 2A). O valor médio de f_{RFA}, para o ciclo da cana-de-açúcar, foi 73% superior aos observados para as cultivares NCo376 e CP66/1043 no ciclo de cana-soca, para os cultivos iniciados em julho, como informado por Singels et al. (2005).

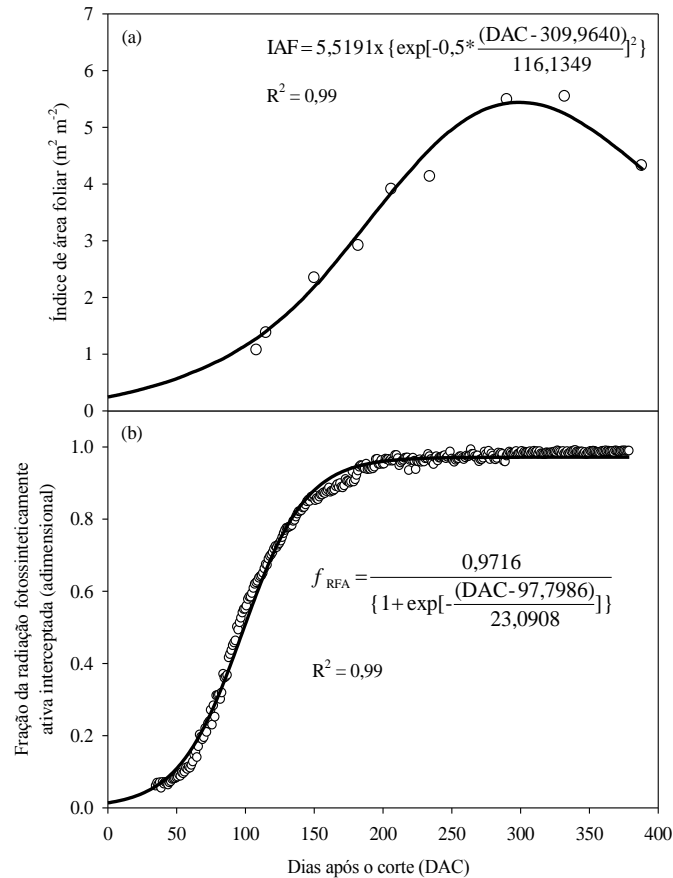


Figura 2. Índice de área foliar (A) e fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (B) pela cana-soca irrigada, variedade RB92579, durante a safra 2007/2008, sob as condições climáticas do Semiárido brasileiro.

Segundo estes autores, a variedade NCo376, com início de cultivo em dezembro, apresentou valores médios de f_{RFA} iguais a 75 e 79 %, no ciclo de cana-soca e de cana-planta, respectivamente. Em contraste, o valor médio da f_{RFA} foi 65 % no ciclo de cana-soca, com início de cultivo em junho. Já para a variedade CP66/1043, no ciclo de cana-planta e de cana-soca, com início do ciclo em dezembro, os valores de f_{RFA} foram iguais a 65 e 74 %, respectivamente. Porém, para o ciclo de cana-soca iniciado em junho, foi igual a 57 %. A magnitude de k_e foi aproximadamente 0,72 (Figura 3). Este valor de k_e está inserido no intervalo informado por Singels et al. (2008), que sugerem valores variando entre 0,58 e 0,86, para diferentes variedades de cana-de-açúcar, durante o ciclo de cana-

planta ou cana-soca, considerando-se a faixa espectral de radiação de 400 a 700 nm.

Na literatura internacional, vários trabalhos foram publicados com o objetivo de determinar os valores de k_e . Entretanto, a maioria utiliza a faixa integral da radiação solar global, que compreende os comprimentos de onda situados entre 300 e 3000 nm (Singels et al., 2005), implicando em resultados inferiores àqueles determinados com base na RFA. Muchow et al. (1994), utilizando a faixa espectral da radiação global, obtiveram um valor de k_e de 0,38. Park et al. (2005) encontraram, para cinco variedades submetidas a diferentes condições de cultivo, valores de k_e compreendidos entre 0,37 e 0,53.

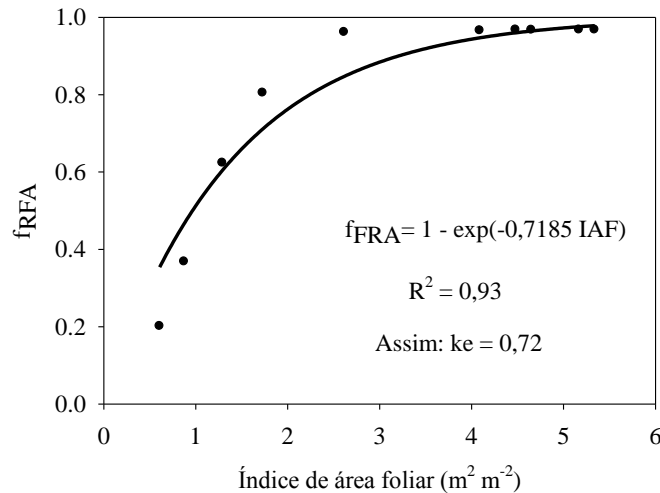


Figura 3. Coeficiente de extinção (k_e) para a cana-de-açúcar irrigada, variedade RB92579, durante o ciclo de soca (2007/2008), sob as condições climáticas do Semiárido brasileiro.

UER e EFT

Observou-se que a biomassa, ao longo do ciclo da cultura, respondeu ao acúmulo de RFA_{ia} praticamente de forma linear, até a oitava amostragem (DAC 280), quando o valor foi de 1949 MJ m^{-2} e o valor da BSTPA foi de 5963 g m^{-2} . A partir daí, constatou-se uma variação pequena da BSTPA (690 g m^{-2}), de modo que a resposta ao incremento de 829 MJ m^{-2} foi relativamente baixa durante os últimos 105 dias do ciclo de cultura. Quando se considerou os dados correspondentes às 10 amostragens, observou-se que o valor do EFT_{BSTPA} foi de $2,67 \text{ g MJ}^{-1}$, aproximadamente (Figura 4A).

Por outro lado, quando se considerou o UER_{BSTPA} , verificou-se que o seu valor foi de $1,29 \text{ g MJ}^{-1}$. Singels and Bezuidenhout (2002) informaram valores de UER_{BSTPA} variando entre $1,2$ e $1,5 \text{ g MJ}^{-1}$, a depender da fase de crescimento e do tipo de ciclo (cana-planta ou cana-soca). Singels et al. (2005)

constatarem valores de UER_{BSTPA} entre $0,8$ e $1,5 \text{ g MJ}^{-1}$ para as variedades N26 e NCo376, no ciclo de cana-soca e cana-planta, respectivamente, cultivadas em Pongola, África do Sul. Para a variedade Q96, no ciclo de cana-planta, Muchow et al. (1994) observaram que o UER_{BSTPA} foi de $1,75 \text{ g MJ}^{-1}$.

Analisando-se, também, a EFT_{BSC} e a UER_{BSC} , com base nos dados de biomassa dos colmos, verificou-se que o comportamento da relação entre a radiação interceptada acumulada (Figura 4B) e a BSC é bastante semelhante ao observado para a EFT_{BSTPA} e a UER_{BSTPA} (Figura 4A). Este resultado demonstra que a maior parte da radiação interceptada pela cultura, a partir dos 280 DAC pode estar sendo utilizada para a conversão de biomassa de colmos em sacarose, ao invés de biomassa para as demais estruturas da planta. Assim, neste período, a cana-de-açúcar tende a aumentar a concentração de sacarose nos colmos de maneira mais efetiva (Inman-Bamber et al., 2002; Robertson et al., 1996).

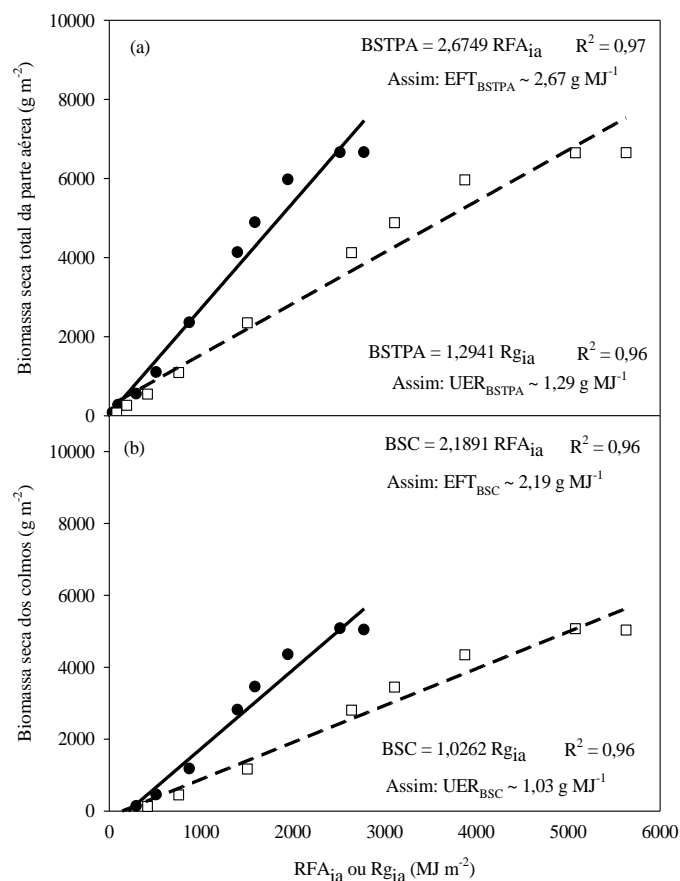


Figura 4. Eficiência fotossintética (EFT - círculos fechados) e uso eficiente da radiação (UER - círculos abertos) da parte aérea (A) e dos colmos (B) da cana-soca irrigada, variedade RB92579, durante a safra 2007/2008, sob as condições climáticas do Semiárido brasileiro.

Nas Figuras 5A e 5B são destacadas a EFT e o UER ao longo do ciclo da cana-soca irrigada, com base na biomassa seca total da parte aérea (BSTPA) e dos colmos (BSC), respectivamente. Em ambos os casos, pode-se observar que a maior eficiência compreendeu o período entre 200 e 300 DAC, caracterizado por um crescente acúmulo de BSTPA, resultando em valores médios da EFT_{BSTPA} de $3,02 \pm 0,07 \text{ g MJ}^{-1}$ e de EFT_{BSC} $2,14 \pm 0,12 \text{ g MJ}^{-1}$. No início do ciclo, constatou-se um rápido crescimento da cultura, evidenciando uma alta eficiência do uso de radiação para a BSTPA, contudo, ainda, reduzida para os colmos. A partir dos 352 DAC, durante o período da suspensão da irrigação, observou-se uma diminuição da eficiência do uso de radiação, em termos tanto de EFT

quanto de UER, cujos valores foram de $2,40 \text{ g MJ}^{-1}$ para a EFT_{BSTPA} e de $1,81 \text{ g MJ}^{-1}$ para a EFT_{BSC} . Quando se assumiu os valores de UER_{BSTPA} e do UER_{BSC} , verificou-se o mesmo comportamento obtido para os valores de EFT_{BSTPA} e da EFT_{BSC} . No entanto, no período de maior eficiência de radiação (entre 200 e 300 DAC), os valores de UER_{BSTPA} e do UER_{BSC} foram de $1,56 \pm 0,02 \text{ g MJ}^{-1}$ e $1,07 \pm 0,06 \text{ g MJ}^{-1}$, respectivamente. No início do ciclo, o UER_{BSTPA} variou de $0,85$ a $1,56 \text{ g MJ}^{-1}$, enquanto a partir dos 352 DAC, reduziu de $1,31 \text{ g MJ}^{-1}$ para $1,18 \text{ g MJ}^{-1}$. Em termos de UER_{BSC} , observou-se um aumento de até $0,78 \text{ g MJ}^{-1}$, aos 168 DAC, sendo que, para o período subsequente, aos 350 DAC, o seu valor decresceu de $1,0$ para $0,89 \text{ g MJ}^{-1}$.

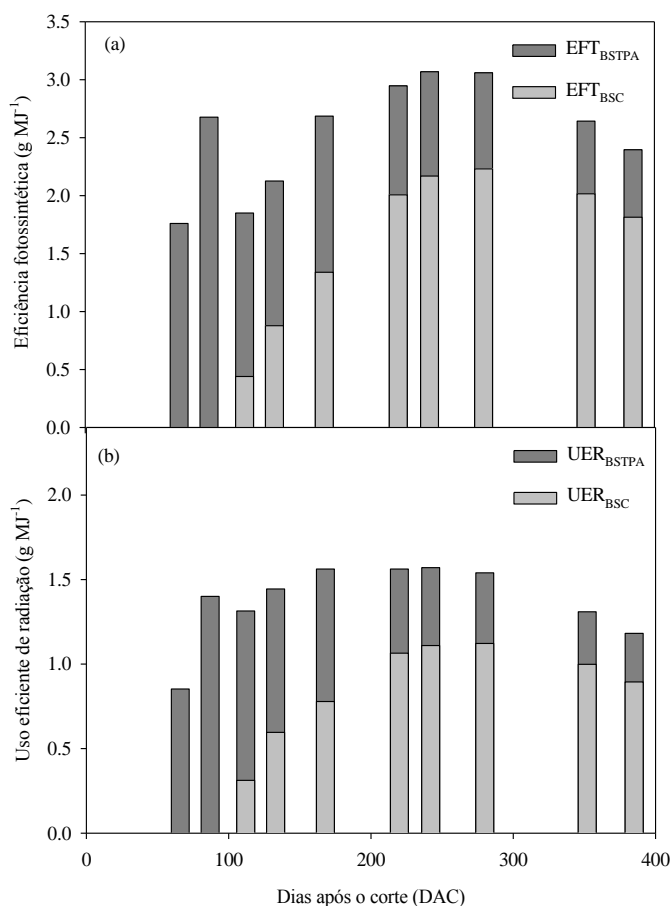


Figura 5. Eficiência fotossintética (EFT) e uso eficiente da radiação (UER) da biomassa seca total da parte aérea (BSTPA) e dos colmos (BSC), ao longo do ciclo da cana-de-açúcar irrigada, variedade RB92579, durante o ciclo de soca (2007/2008), sob as condições climáticas do Semiárido brasileiro.

Em termos de UER_{BSTPA}, Park et al. (2005), trabalhando com seis variedades de cana-de-açúcar cultivadas em diferentes regiões da Austrália, observaram valores variando entre 0,77 e 1,81 g MJ⁻¹ durante a primeira fase da cultura, a qual foi caracterizada por um crescimento rápido. Na fase intermediária, encontraram valores de UER_{BSTPA} de 1,79±0,06 g MJ⁻¹ para a cana-planta e 1,19±0,06 g MJ⁻¹ para a cana-soca. Entretanto, na fase final, quando o crescimento é lento, a UER_{BSTPA} foi igual a 0,06±0,22 g MJ⁻¹ para a cana-planta e -0,52±0,51 g MJ⁻¹ para a cana-soca. Este valor negativo indica que a cultura apresentou redução expressiva de biomassa, mesmo com o aumento da radiação solar interceptada.

Conclusão

Com base nos dados de biomassa das folhas, colmos e da parte aérea, índice de área foliar e as informações contidas na literatura sobre a eficiência fotossintética e uso eficiente de radiação solar pela cana-de-açúcar, conclui-se que a cultivar RB92579, durante o ciclo de cana-soca, quando estabelecida no Semiárido brasileiro, apresentou excelentes padrões de crescimento, sobretudo em resposta aos eventos de irrigação, características intrínsecas a variedade e condições meteorológicas locais. Os resultados mostraram altas taxas de crescimento, capacidade de interceptação e de eficiência de conversão de radiação

em biomassa, que variaram ao longo do seu ciclo de cultivo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Agrovale, pela concessão da área experimental, à Embrapa Semiárido pela infraestrutura e ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido.

Referências

- Alonso-Pippo, W.; Luengo, C. A.; Koehlinger, J.; Garzone, P.; Cornacchia, G. 2008. Sugarcane energy use: the Cuban case. *Energy Policy*, v.36, p.2163-2181.
- Benincasa, M. M. P. 1988. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP. 44p.
- Coelho, S. T.; Goldemberg, J.; Lucon, O.; Guardabassi, P. 2006. Brazilian sugarcane ethanol: lessons learned. *Energy for Sustainable Development*, v.10, p.26-39.
- Farias, C. H. A.; Fernandes, P. D.; Azevedo, H. M.; Dantas Neto, J. 2008. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.356-362.
- Gava, G. J. C.; Trivelin, P. C.; Oliveira, M. W.; Penatti, C. P. 2001. Crescimento e acúmulo de nitrogênio

- em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, p.1347-1354.
- Inman-Bamber, N. G.; Muchow, R. C.; Robertson, M. J. 2002. Dry partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. *Field Crops Research*, v.76, p.71-84.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. *Produção agrícola 2007: culturas perenes*. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 01 de dezembro de 2013.
- Keating, B. A.; Robertson, M. J.; Muchow, R. C.; Huth, N. I. 1999. Modelling sugarcane production systems. I. development and performance of the sugarcane module. *Field Crops Research*, v.61, p.253-271.
- Kiniry, J. R.; Simpson, C. E.; Schubert, A. M.; Reed, J. D. 2005. Peanut leaf area index, light interception, radiation use efficiency, and harvest index at three sites in Texas. *Field Crops Research*, v.91, p.297-306.
- Kosgei, J. R.; Jewitt, G. P. W.; Kongo, V. M.; Lorentz, S. A. 2007. The influence of tillage on field scale water fluxes and maize yields in semi-arid environments: A case study of Potshini catchment, South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, v.32, p.1117-1126.
- Muchow, R. C.; Spillman, M. F.; Wood, A. W.; Thomas, M. R. 1994. Radiation interception and biomass accumulation in a sugarcane crop grown under irrigation tropical conditions. *Australian Journal Agricultural Research*, v.45, p.37-49.
- Oliveira, E. C. A.; Oliveira, R. I. de; Andrade, B. M. T. de; Freire, F. J.; Lira Júnior, M. A.; Machado, P. R. 2010. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.9, p. 951-960.
- Park, S. E.; Robertson, M.; Inman-Bamber, N. G. 2005. Decline in the growth of a sugarcane crop with age under high input conditions. *Field Crops Research*, v.92, p.305-320.
- Parsons, A.; Leafé, E. L.; Collett, B. 1983. The physiology of grass production under grazing. II - Photosynthesis. Crop growth and animal intake of continuous grazed sward. *Journal of Applied Ecology*, v.20, p.127-139.
- Ramesh, P.; Mahadevaswamy, M. 2000. Effect of formative phase drought on different classes on shoots, shoot mortality, cane attributes, yield and quality of four sugarcane cultivars. *Journal Agronomy & Crop Science*, v.185, p.249-258.
- Robertson, M. J.; Wood, A. W.; Muchow, R. C. 1996. Growth of sugarcane under high input tropical conditions. I. Radiation use, biomass accumulation and partitioning. *Field Crops Research*, v.48, p.11-25.
- Rouphael, Y.; Colla, G. 2005. Radiation and water use efficiencies of greenhouse zucchini squash in relation to different climate parameters. *European Journal Agronomy*, v.23, p.183-194.
- Silva, T. G. F. da; Zolnier, S.; Grossi, J. A. S.; Barbosa, J. G.; Moura, C. R. W.; Muniz, M. A. 2009. Crescimento do girassol Ornamental cultivado em ambiente protegido sob diferentes níveis de condutividade elétrica de fertirrigação. *Revista Ceres*, v.56: p.602-610.
- Silva, T. G. F. da; Moura, M. S. B. de; Zolnier, S.; Carmo, J. F. A.; Souza, L. S. B.; Brandão, E. O. 2012. Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. *Revista Ciência Agrônômica*, v.43, p.500-509.
- Sinclair, T. R.; Muchow, R. C. 1999. Radiation use efficiency. *Advances Agronomy*, v.65, p.215-265.
- Singels, A.; Bezuidenhout, C. N. 2002. A new method of simulating dry matter partitioning in the Canegro sugarcane model. *Field Crops Research*, v.78, p.151-164.
- Singels, A.; Smit, M. A.; Redshaw, K. A.; Donaldson, R. A. 2005. The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. *Field Crops Research*, v.92, p.249-260.
- Su, C. L.; Lee, Y. M. 2009. Development status and life cycle inventory analysis of biofuels in Taiwan. *Energy Policy*, v.37, p.754-758.
- Tejera, N. A.; Rodés, R.; Ortega, E.; Campos, R.; Lluch, C. 2007. Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars. *Field Crops Research*, v.102, p.64-72.
- Toppa, E. V. B.; Jadoski, C. J.; Julianetti, A.; Hulshof, T.; Ono, E. O.; Rodrigues, J. D. 2010. Aspectos da fisiologia de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum* L.). *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, v.3, n.3, p.215-221.