

CARLOS ANDRÉ ALVES DE SOUZA

DESEMPENHO AGRONÔMICO E RELAÇÕES HÍDRICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR
IRRIGADA EM SISTEMAS DE CULTIVO COM E SEM MANUTENÇÃO DA PALHADA
NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Serra Talhada-PE

2017

**S
O
U
Z
A

C
A
A

D
E
S
E
M
P
E
N
H
O

A
G
R
O
N
Ô
M
I
C
O

E

R
·
·
·
2
0
1
7**

CARLOS ANDRÉ ALVES DE SOUZA

DESEMPENHO AGRONÔMICO E RELAÇÕES HÍDRICAS DA CANA-DE-AÇÚCAR
IRRIGADA EM SISTEMAS DE CULTIVO COM E SEM MANUTENÇÃO DA PALHADA
NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva

Co-orientadores: Pesq. Dr. Magna Soelma Beserra de Moura; Prof. Dr. Fabio Ricardo Marin

Serra Talhada-PE

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca da UAST, Serra Talhada-PE, Brasil

S719d Souza, Carlos André Alves de

Desempenho agrônômico e relações hídricas da cana-de-açúcar irrigada em sistemas de cultivo com e sem manutenção da palhada no semiárido brasileiro / Carlos André Alves de Souza. - Serra Talhada, 2017.

65 f. : il.

Orientador: Thieres George Freire da Silva

Coorientadores: Magna Soelma Beserra de Moura; Fabio Ricardo Marin.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, PE, 2017.

Inclui referências e apêndices.

1. Cana-de-açúcar irrigada. 2. Palhada. 3. Agroecossistemas - manejo. I. Silva, Thieres George Freire da, orient. II. Moura, Magna Soelma Beserra de, coorient. III. Marin, Fabio Ricardo, coorient. IV. Título.

CDD 631

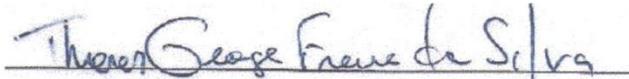
CARLOS ANDRÉ ALVES DE SOUZA

DESEMPENHO AGRONÔMICO E RELAÇÕES HÍDRICAS DA CANA-DE-
AÇÚCAR IRRIGADA EM SISTEMAS DE CULTIVO COM E SEM MANUTENÇÃO
DA PALHADA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

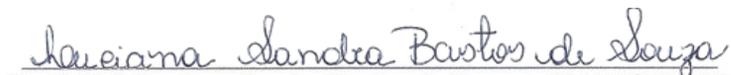
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADO em 28/07/2017.

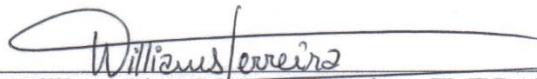
Banca Examinadora



Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva – UAST/UFRPE
Orientador



Prof.^a. Dr.^a. Luciana Sandra Bastos de Souza – UAST/UFRPE
Examinador Externo



Dr. Williams Pinto Marques Ferreira – EMBRAPA
Examinador Externo



Prof. Dr. Heliofábio Barros Gomes – UFAL
Examinador Externo

A minha companheira Maria Gorete e aos meus filhos Luiz Gustavo e Laura Beatriz por todo amor, carinho, paciência e por estarem ao meu lado em todas as minhas decisões, com todo o amor.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por estar comigo em todas as horas iluminando meus passos rumo as minhas conquistas.

Aos meus pais, Francisco Alves de Souza e Julia Alves de Souza, por me apoiarem em minhas decisões, e, principalmente, por todo esforço que fizeram para me oferecer o presente mais sublime: à educação.

Meus irmãos, Luciene, Adelson, Rita e Patrícia por todos os conselhos dados a mim. Aos demais familiares pelo apoio nas dificuldades e por proporcionarem tantos momentos de felicidade.

Ao Professor Thieres George Freire da Silva, pelo apoio, pela orientação, pelas oportunidades, pela amizade construída nesses anos de graduação e pós-graduação, pelos conselhos pessoais e profissionais, por acreditar em mim, na minha competência e responsabilidade, e que com suas palavras me fez enxergar mais longe e, alçar voos cada vez mais altos. Levarei sempre comigo os seus ensinamentos.

À minha companheira Maria Gorete, pelo apoio, carinho, amor e cumplicidade. Por estar compartilhando todos os momentos dessa etapa, pela maturidade em entender que a construção de um sonho exige dedicação constante.

Ao GAS – Grupo de Agrometeorologia no Semiárido, a todos que fazem e fizeram parte. Sem dúvidas vocês foram indispensáveis para conclusão deste trabalho. Agradeço cada momento compartilhado, risos, conversas, conselhos, amizades e respeito. Desejo-lhes um caminho iluminado com muita paz e sucesso.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada pela infraestrutura oferecida e aos técnicos pelo apoio.

Ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal (PGPV) pela oportunidade de crescimento profissional. E todos os professores do PGPV que contribuíram com meu conhecimento ao longo destes dois anos.

Aos meus colegas e amigos (Ailton Carvalho, Alexandre Maniçoba, Carlos Tiago, Danielle Gomes, Denizard Oresca, Elves Obede, Maria Gabriela, George do Nascimento, Hérica Fernanda, Jandis Ferreira, José Edson, José Neto, Marcelo Silva, Matheus Tolêdo, Mery Cristina, Orlando Júnior, Pedro Mouzinho, Poliana Caldas, Silvio Bezerra) pelos momentos de alegria e trabalhos vividos.

A AGROVALE, pela infraestrutura cedida para realização de nossas pesquisas.

À Embrapa Semiárido pela disponibilização da infraestrutura para realização das análises realizadas.

À (CAPES) pelo apoio financeiro.

Enfim, a todos meu muito obrigado!

A sabedoria serve de defesa, como de defesa serve o dinheiro; mas a excelência do conhecimento é que a sabedoria dá vida ao seu possuidor.

(Eclesiastes 7:12)

BIBLIOGRAFIA

CARLOS ANDRÉ ALVES DE SOUZA, filho de Francisco Alves de Souza e Júlia Alves de Souza, nasceu no dia 10 de Maio de 1980, na cidade de Serra Talhada-PE. Concluiu no ano de 1998 o curso técnico em contabilidade na Escola Municipal Cônego Torres. Em Dezembro de 2003, concluiu o ensino médio na Escola Estadual Antônio Timóteo Ensino Fundamental e Médio. Em Agosto de 2010, ingressou no Curso de Engenharia Agrônômica na universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST, onde se graduou Engenheiro Agrônomo em agosto de 2015. Em agosto de 2015 iniciou o mestrado no curso de Pós Graduação em Produção Vegetal, na Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST, em Serra Talhada-PE, submetendo-se á defesa de dissertação em agosto de 2017.

RESUMO GERAL

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes para a economia brasileira, com alta capacidade de produção de biomassa e derivados, que atrelada ao mercado consumidor, sempre se mantém como foco nos avanços tecnológicos. A palhada traz benefícios ao sistema de produção da cana-de-açúcar, mas pode afetar o desempenho agrônômico da cultura. Logo, com o presente estudo, objetivou-se avaliar o desempenho produtivo e a eficiência do uso da água da cana-de-açúcar irrigada no Sertão Central do Brasil. O experimento foi conduzido no período de 21 de agosto de 2015 a 28 de julho de 2016, em uma área comercial de cana-de-açúcar (AGROVALE) com a variedade VAT 90-212, no município de Juazeiro, BA, em dois talhões experimentais, sendo cada talhão com aproximadamente 5,0 hectares, com dois níveis de palhada acima do solo (sem e com 27,2 Mg ha⁻¹ do resíduo cultural). A taxa de decomposição da palhada e medidas biométricas da cultura foram avaliadas ao longo do tempo e na ocasião da colheita, dados de produtividade e qualidade da cana-de-açúcar, e da composição mineral das plantas e da palhada. Constatou-se que, a velocidade de decomposição da palhada foi de 0,0049 Mg ha⁻¹ dia⁻¹, com liberação de 5,6 kg ha⁻¹ de N e 0,98 Mg ha⁻¹ de C, e massa seca remanescente de 27%. A palhada em campo reduziu a estatura dos colmos em 0,38 m e em 248°C dia no desenvolvimento da cana-de-açúcar, porém até os primeiros 100 dias após corte. A maioria dos indicadores de produtividade e industriais não foram afetados pela presença do resíduo em campo. A eficiência do uso da água e de nutrientes foi expressivamente acrescida pela palhada acima do solo (> 26%).

Palavras-chave: estatura dos colmos, medidas biométricas e taxa de decomposição.

GENERAL ABSTRACT

Sugarcane is one of the most important crops for the Brazilian economy, with a high production capacity of biomass and derivatives, which is linked to the consumer market and is always focused on technological advances. The straw brings benefits to the system of production of sugarcane, but can affect the agronomic performance of the crop. Therefore, in the present study, the objective was to evaluate the productive performance and the efficiency of irrigated sugarcane water use in the Central Brazilian Sertão. The experiment was conducted from August 21, 2015 to July 28, 2016, in a commercial area of sugarcane (AGROVALE) with VAT 90-212 variety, in the city of Juazeiro, BA, in two experimental plots, with each plot being approximately 5.0 hectares, with two levels of straw above the ground (without and with 27.2 Mg ha⁻¹ of the cultural residue). The straw decomposition rate and biometric measurements of the crop were evaluated over time and at the time of harvest, yield and quality data of sugarcane, and the mineral composition of plants and straw. It was observed that the straw decomposition rate was 0.0049 Mg ha⁻¹ day⁻¹, with release of 5.6 kg ha⁻¹ of N and 0.98 Mg ha⁻¹ of C, and dry mass Remaining 27%. The straw in the field reduced the stature of the stems by 0.38 m and by 248 °C day in the development of sugarcane, but until the first 100 days after cutting. Most of the productivity and industrial indicators were not affected by the presence of the residue in the field. The efficiency of water and nutrient use was significantly increased by the above-ground straw (> 26%).

Keywords: Stature of the stems, biometric measurements and rate of decomposition.

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO II - CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA EM CULTIVOS COM E SEM PALHADA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

- Figura 1** Localização das duas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, uma sem e outra com manutenção da palha acima do solo, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro..... 46
- Figura 2** Massa seca da palha remanescente ao longo do tempo, taxa de decomposição (k), massa seca remanescente em %, tempo de meia vida (1/2), tempo de decomposição de 95% e tempo de deposição de palha nova (tdp) em uma área de cultivo de cana-de-açúcar em sistema de manutenção de palha, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro..... 51
- Figura 3** Número (A) e estatura (B) de colmos da cana-de-açúcar sob cultivos sem e com manutenção da palha acima do solo, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro. ** indica diferença significativa, dentro da mesma data, ao nível de significância de 5% pelo teste paramétrico F de Fisher (comparação entre duas amostras). ns - diferença não significativa..... 52
- Figura 4** (A) Incremento da estatura do colmo, (B) número de internódios por colmo ao longo do tempo, e (C) volume do internódio em relação a sua posição no colmo da cana-de-açúcar açúcar sob cultivos sem e com manutenção da palhada, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro..... 53
- Figura 5** Índice de cobertura vegetal em duas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, uma sem e outra com manutenção da palha acima do solo, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro. A linha tracejada em vermelho indica o ICV de 80%, quando o solo está completamente..... 54
- Figura 6** Massa total em base seca por parte estrutural da cana-de-açúcar sob cultivos sem e com manutenção da palha acima do solo, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro..... 55

LISTA DE TABELAS

CAPITULO II - CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA EM CULTIVOS COM E SEM PALHADA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Tabela 1	Concentração de [C], [N] e C/N inicial e final da palha, palha decomposta, e N e C liberados à cana-de-açúcar irrigada, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro.....	51
Tabela 2	Indicadores de rendimento e concentração de nutrientes (carbono e nitrogênio) obtidos na ocasião da colheita, aos 341 dias após corte, da cana-de-açúcar sob dois sistemas de cultivo, um sem e o outro com a manutenção da palha acima do solo, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro.....	56
Tabela 3	Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes da cana-de-açúcar sob dois sistemas de cultivo, um sem e o outro com a manutenção da palha acima do solo, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro.....	57

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	16
CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
1. Conjuntura atual do setor sucroalcooleiro.....	18
2. Produtividade da cana-de-açúcar.....	20
3. Usos da cana-de-açúcar.....	22
4. Evapotranspiração da cana-de-açúcar e Eficiência do uso da água.....	24
5. Eficiência do uso da radiação.....	27
6. Eficiência do uso de nitrogênio.....	28
7. Extração e exportação de nutrientes.....	29
8. Uso da palha e relação C/N.....	31
CAPÍTULO 2 – CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA EM CULTIVOS COM E SEM PALHADA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	44
1 INTRODUÇÃO.....	46
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	48
2.1 Descrição do local e tratos culturais.....	48
2.2 Tratamentos.....	48
2.3 Medidas meteorológicas.....	49
2.4 Medidas de radiação fotossinteticamente ativa interceptada.....	49
2.5 Medidas biométricas e de biomassa seca das plantas.....	50
2.6 Decomposição da palhada.....	50
2.7 Composição mineral e liberação de nutrientes.....	51
2.8 Produtividade e índices industriais.....	51
2.10 Eficiência do uso da água (EUA_{ET}) e de nutrientes (EUN_{WET}) com base na ΣET	52
2.11 Análise de dados e procedimentos estatísticos.....	53
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
3.1 Decomposição da palhada.....	53
3.2 Crescimento e desenvolvimento da cultura.....	55
3.3 Produtividade e indicadores de industriais.....	57
3.4 Comparação da EUA_{ET} e EUN_{WET} entre os cultivos sem e com palhada.....	59
4 CONCLUSÃO.....	61
REFERÊNCIAS.....	62
APÊNDICE.....	65

APRESENTAÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar e de seus derivados. Quando irrigada, apresenta elevado potencial produtivo de colmos e de palhada. Os colmos são usados na extração do caldo para produção de açúcar ou etanol, conforme demanda do mercado. A palhada, por sua vez, pode ser convertida em etanol de segunda geração ou queimada, juntamente com o bagaço, para a produção de energia elétrica.

Além disso, a palhada pode ser mantida no campo, como cobertura, o que favorece a estabilidade da umidade do solo, disponibilização de nutrientes por decomposição, e o desenvolvimento da microfauna do solo. Contudo, em quantidades excessivas, a palhada pode comprometer o perfilhamento e a realização de práticas de manejo. A hipótese considerada neste trabalho é que: a manutenção da palhada em campo, embora afete o crescimento e desenvolvimento da cultura, não compromete o rendimento final da cultura devido ao efeito compensatório dos benefícios térmico-hídricos e o maior fornecimento de nutrientes pela alta decomposição do resíduo vegetal em clima semiárido.

Em face os avanços da tecnologia de irrigação, áreas cultivadas com cana-de-açúcar vem crescendo, inclusive no Semiárido brasileiro, onde o plantio pode ser feito durante todo o ano. Esta tecnologia tem possibilitado a obtenção de altas produtividades quando comparadas a outras regiões do país, pois a irrigação proporciona ótimo desenvolvimento às plantas. Entretanto, a potencialidade produtiva desta região está associada, dentre outros fatores, à alta demanda evapotranspirométrica desta cultura, decorrente tanto da alta disponibilidade de radiação solar ao longo de todos os meses do ano, quanto de água para irrigação.

A redução da evaporação da água do solo é essencial para aumentar a eficiência do uso de água (EUA) de culturas agrícolas. O uso de materiais sobre a superfície do solo é um meio eficiente para reduzir a transferência de vapor de água da superfície do solo para a atmosfera. Por conseguinte, a evaporação de água a partir de um solo coberto é reduzida quando comparada a um solo nu, assim sendo mais água é disponibilizada para benefício da transpiração da cultura.

A manutenção da palhada de cana-de-açúcar deixada em campo, principalmente nas regiões áridas e semiáridas, mantém o solo mais úmido e menos aquecido. A mesma traz reconhecidos benefícios aos sistemas de produção, tais como: diminuição da lixiviação e do surgimento de plantas invasoras, regulação da temperatura do solo, aumento da matéria orgânica do solo e modificação das propriedades físicas e químicas do solo.

Em regiões de clima semiárido, como a região do Submédio do Vale São Francisco, no semiárido brasileiro, reconhecida, inclusive internacionalmente, pelas atividades agrícolas irrigadas desenvolvidas, a água apresenta-se como um recurso fundamental para a produção da cana de açúcar, de modo que seu uso eficiente pode diminuir a quantidade total aplicada no sistema de produção e aumentar o rendimento da cultura.

Desse modo, considerando a escassez de informações sobre o uso da palhada em cana-de-açúcar, e a real vulnerabilidade do sistema de produção no tocante às relações hídricas e ambientais, especialmente sob as condições irrigadas locais, estudos sobre a manutenção da palhada em campo podem fornecer informações de parâmetros de crescimento da cultura, desempenho produtivo e a eficiência do uso da água da cana-de-açúcar irrigada no Sertão Central do Brasil.

CAPÍTULO 1 – REFERÊNCIAL TEÓRICO

1. Conjuntura atual do setor sucroalcooleiro

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes para a economia brasileira, com alta capacidade de produção de biomassa e derivados, que atrelada ao mercado consumidor sempre se mantém como foco nos avanços tecnológicos (CONAB, 2016).

Mais de 200 países cultivam a cana-de-açúcar, em uma área de aproximadamente 25 milhões de hectares. Porém, cerca de 75% da produção concentra-se em oito países, sendo o Brasil o maior produtor mundial.

A combinação entre o clima favorável e as terras férteis faz com que o Brasil apresente o menor custo de produção para a cana-de-açúcar, elevada produtividade, possibilidade de cogeração de energia elétrica a partir do bagaço e, flexibilidade de produção de açúcar ou etanol (WILKINSON, 2015).

Apesar das vantagens do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil, existem diversos riscos inerentes à atividade, dentre eles, destacam-se os eventuais riscos climáticos, pragas e doenças (MARAFON, 2012). Outros fatores que merecem destaque são: a alta volatilidade dos preços nos mercados futuros e a flutuação de câmbio; pois boa parte dos insumos de produção, dentre eles fertilizantes, defensivos e óleo diesel, são cotados em dólar (ÚNICA, 2017). No geral, os custos de produção são compostos na seguinte proporção: 20% plantio, 20% corte, 27% transporte e 33% tratamentos culturais (CONAB, 2016).

O uso de tecnologias no setor sucroalcooleiro tem se dado de forma crescente e irreversível, principalmente na colheita da cana-de-açúcar, para atender a legislação vigente de erradicação da queima da palha (ANDRADE et al., 2017). Os avanços tecnológicos na área agrícola das usinas abrangem não apenas a escolha da variedade de cana a ser plantada, mas também a fase da colheita. Nesse sentido, as inovações tecnológicas que vêm ocorrendo na agroindústria não se dão apenas no aspecto biológico, como os novos produtos genéticos, mas também na mecanização de processos, no preparo do solo e plantio, nas técnicas culturais e de colheita, reduzindo, inclusive, a sazonalidade da mão de obra contratada (ANDRADE et al., 2017).

O sistema tradicional de colheita manual por cana queimada, que elimina a matéria seca e aumenta a concentração de gás carbônico na atmosfera, contribuindo com o efeito estufa é muito questionado devido aos impactos ambientais (MARQUES et al., 2009).

Contudo, o processo de mudança do formato da colheita de cana queimada para o sistema mecanizado da cana crua, exige das empresas sucroalcooleiras pré-requisitos que demandam planejamento de médio e longo prazo, como, sistematização de terrenos, adequação aos métodos de irrigação, reconfiguração das áreas através da agricultura de precisão e investimentos que estão sendo realizados gradativamente a cada safra (SPAROVEK, 1997).

Outro avanço no setor canavieiro é o aumento expressivo de áreas irrigadas, já que na maior parte das regiões de cultivo, a cana-de-açúcar é conduzida em condições de sequeiro. Na região Nordeste do Brasil, devido às condições climáticas, principalmente nos tabuleiros costeiros, é comum a utilização da irrigação complementar para a cultura, o que evita o prejuízo com a morte de soqueiras e necessidade de renovação precoce do canavial (MARIN; NASSIF, 2013).

Existem basicamente quatro formas de aplicação da água para a cana-de-açúcar, as quais caracterizam os principais métodos de irrigação: superfície, aspersão, localizada e subsuperficial. A escolha de cada sistema deve-se a aptidão e as condições específicas e, por meio de uma análise técnica e econômica criteriosa, definir qual o sistema mais recomendado (DALRI et al., 2008).

Dentre estas formas, a irrigação localizada por gotejamento subsuperficial vem ganhando destaque, pois consiste na aplicação de água diretamente sobre a região de maior concentração radicular, com pequena intensidade de aplicação e alta frequência, mantendo o solo úmido e próximo da capacidade de campo (DALRI, 2006).

A migração dos sistemas de irrigação por sulco, os quais são de baixa eficiência de aplicação de água, para sistemas por gotejamento subsuperficial, já é um avanço importante nas áreas de cultivo no Semiárido brasileiro (SILVA, et al., 2013). Segundo Dalri et al. (2008) a irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar proporciona incrementos de 58,5% na produtividade de cana e, de 66,1% na produtividade de açúcares totais redutores, em relação a testemunha.

No estado de São Paulo quase toda a cana produzida é cultivada em condições de sequeiro, cuja tradição está atrelada ao paradigma de que a irrigação de cana-de-açúcar é economicamente inviável no estado (SILVA et al., 2008). Contudo, de acordo com a classificação de Köppen, a região de Jaú, em São Paulo, é caracterizada por uma estação seca definida nos meses de inverno. Estudo realizado por Silva et al. (2014), mostra que o município apresenta intensa deficiência hídrica entre Abril e Setembro, com média

pluviométrica anual de 1.344 mm, durante este período é certa a redução da produção agrícola caso não haja irrigação suplementar.

O sistema de produção irrigado da cana-de-açúcar permite atingir a eficiência de uso da água maior que no sistema de sequeiro, ou seja, produzir mais cana com menos água (OLIVEIRA, et al., 2011). Segundo informações da Embrapa Cerrado, enquanto um sistema de sequeiro produz em torno de 7 kg de cana para cada metro cúbico de água que consome, o sistema irrigado produz até 20 kg com a mesma quantidade de água.

Porém, é importante observar que, embora a água exerça significativa influência sobre o rendimento da cana-de-açúcar, a irrigação não deve ser vista como a única tecnologia aplicada à cultura visando à elevação de rendimento. Outros fatores devem ser considerados, como o clima, solo, controle fitossanitário, variedades cultivadas, práticas culturais, etc.

2. Produtividade da cana-de-açúcar

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo grande importância para o agronegócio brasileiro. A área plantada na safra 2015/16 foi em torno de 8,7 milhões de hectares (CONAB, 2016).

Atualmente, o setor sucroalcooleiro brasileiro tem vivenciado uma série de crescimento contínuo, impulsionado pela crescente demanda no mercado interno e externo, fazendo com que, a produção e a produtividade da cana-de-açúcar aumentem a cada ano (MANHÃES et al., 2015).

As previsões indicam que o Brasil terá acréscimo na área plantada de cerca de 320 mil hectares, equivalendo a 3,7% em relação à safra 2015/16. Esse acréscimo é resultado da cana bisada da safra 2015/16, aumento de área própria de algumas unidades de produção e, reativação de uma unidade em São Paulo. Se confirmada, será a segunda maior área colhida no Brasil (CONAB, 2016).

O estado de São Paulo é o maior produtor de cana-de-açúcar, possui 56,2% (4.498,3 mil hectares), seguido por Goiás com 10,4% (885,8 mil hectares), Minas Gerais com 9,0% (866,5 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 7,1% (596,8 mil hectares), Paraná com 6,7% (515,7 mil hectares), Alagoas com 2,7% (323,6 mil hectares), Mato Grosso com 2,3% (232,8 mil hectares), Pernambuco com 2,1% (254,2 mil hectares). Estes oito estados são responsáveis por 96,5% da produção nacional. Os outros 14 estados produtores representam 3,3% da área total do país (CONAB, 2016).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2016), a produtividade estimada para a atual temporada da safra 2016/17 é de 76.313 kg ha⁻¹. A redução de 0,8% é reflexo da queda de produtividade no Centro-Sul, onde as lavouras da safra anterior tiveram, na sua maioria, produtividades recordes. A expectativa é de produtividades próximas do normal.

O mês de fevereiro de 2017 destaca-se como o de melhor desempenho na moagem de cana-de-açúcar em relação ao mês anterior e encerrou com produção 20,9% superior, com 2,14 milhões de toneladas de cana-de-açúcar moída. No entanto, a produção de açúcar foi aquém, pois foram produzidos 28 mil toneladas do adoçante, volume 39,13% inferior ao de janeiro e 54,83% menor do que foi produzido no mesmo período do ano passado. Já a produção de etanol aumentou 18,66% com 132,4 milhões de litros produzidos, sendo que a maior parte foi destinada à produção de etanol hidratado. Diferente do etanol produzido pela moagem da cana-de-açúcar, o etanol de milho apresentou queda na produção pelo segundo mês consecutivo e de acordo com especialistas, a queda no consumo devido aos elevados preços desestimula o setor (CONAB, 2017).

Na Região Nordeste, deve haver aumento da área colhida nesta safra, porém ainda é a segunda menor área da série histórica. O aumento de produtividade nesta safra representa a recuperação em relação ao déficit hídrico ocorrido na safra passada e priorização das áreas próprias das unidades que, por possuírem melhor trato cultural, têm produtividade maior (CONAB, 2016).

Na Bahia, quarto maior produtor do Nordeste a área cultivada na safra atual (2015/2016) foi de 53,3 mil ha, acréscimo de 10% em relação a safra anterior, com produção total de aproximadamente 3,2 milhões de toneladas de cana, e produtividade média de 71.575 kg ha⁻¹. Contudo, no extremo sul da região, a severidade na redução dos índices pluviométricos revela a grave crise que atravessa o setor sucroalcooleiro. Para esta safra, há estimativa de produção de cana-de-açúcar na ordem de 2.759,1 mil toneladas, representando redução de 27,7% em relação á safra passada.

No estado da Bahia, especificamente no Vale do São Francisco, município de Juazeiro, o cultivo de cana-de-açúcar é 100% irrigado, e a produção e a produtividade são pouco influenciadas pelas chuvas, garantindo maior independência da cultura com relação aos índices pluviométricos (CONAB, 2016).

No vale do São Francisco a produção sucroalcooleira destaca-se pela adoção de técnicas de irrigação. A empresa Agroindústrias do Vale do São Francisco (Agrovale) é

grande responsável pela exploração da cana-de-açúcar na região, com mais de 18.000 ha irrigados, que adota como principal método de irrigação, a irrigação superficial. Porém, faltam estudos científicos para a irrigação localizada, como forma de redução dos custos de produção e melhoria na produtividade da região (FERREIRA, 2014).

3. Usos da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma gramínea de regiões tropicais e subtropicais, está entre as culturas mais plantadas no mundo, devido aos seus principais produtos: o açúcar e o etanol. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de etanol, pouco abaixo dos Estados Unidos, que utilizam o milho para sua produção. As condições pedoclimáticas e a larga experiência acumulada na produção de álcool colocam o Brasil em posição privilegiada em relação aos demais países produtores (MARIN; NASSIF, 2013).

O potencial da cana-de-açúcar e os novos usos de seus produtos não param de crescer. O etanol, por exemplo, já é utilizado em motocicletas *flex*, pequenos aviões e ônibus urbanos. Em São Paulo, vários ônibus movidos a etanol já circulam nas ruas da cidade. Bioplásticos feitos a partir de cana já estão disponíveis no mercado e são comercializados por grandes empresas. O etanol, no futuro próximo, deve ser também usado em caminhões, equipamentos agrícolas e geradores. Enfim, um grande potencial a ser explorado, contribuindo para a substituição do petróleo e a redução do aquecimento global (WILKINSON, 2015).

Com grande importância no setor energético nacional, a cana-de-açúcar tem reconhecidas vantagens, devido à canavicultura ser uma atividade tradicional em diversas partes do território brasileiro, e a partir da matéria-prima produz açúcar (alimento) e etanol (combustível) com tecnologia avançada e fácil distribuição para o mercado consumidor (UNICA, 2017).

A cana-de-açúcar é fonte de aproximadamente 75 % do açúcar para consumo humano no Mundo (SOUZA et al., 2008). No Brasil aproximadamente 40 % da cana é usada para produção de etanol (STEDUTO et al., 2012). Durante a safra 2015/2016, as 665,59 mil toneladas de cana-de-açúcar colhidas produziram 39.962,8 mil toneladas de açúcar e cerca de 26,39 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2016).

Além de seu uso comercial para açúcar, etanol e eletricidade nas usinas, a cultura é amplamente utilizada por pequenos agricultores, em todo o País, como alimento para animais ou como matéria-prima para a cachaça artesanal e açúcar mascavo.

Outra grande expectativa no setor canavieiro, além dos produtos citados anteriormente, é a geração de energia elétrica pela indústria canavieira, através da queima do bagaço e das palhas que restam após a colheita da cultura.

A biomassa da cana-de-açúcar também pode ser utilizada para co-geração de energia elétrica. O bagaço como combustível na co-geração, produzindo a bioeletricidade já vem sendo utilizado há décadas nas agroindústrias canavieiras, mas limitava-se às necessidades das próprias usinas; no entanto, atualmente é possível incrementar o desempenho da co-geração para gerar excedentes para a rede pública, contribuindo para a oferta de eletricidade com crescente importância econômica (SILVA et al., 2010).

A produção de álcool de segunda geração (termo usado para o etanol produzido da quebra da celulose), ainda que pouco difundida, pode ser responsável pelo aumento da produção de etanol do país, sem que haja incremento da área plantada, meramente por causa da melhoria das técnicas de hidrólise do material lignocelulósico e surgimento de cultivares de “cana energia”, que possuem mais produção de biomassa do que caldo e sacarose.

A agroindústria da cana-de-açúcar foi milenarmente explorada para a produção de açúcar. Contudo, a partir de 1975, o Brasil abriu caminhos para uma nova exploração, a produção de etanol. Porém, além do etanol e da energia térmica e elétrica que se obtém da cana-de-açúcar, centenas de outros produtos e subprodutos podem ser desenvolvidas a partir dessa matéria-prima (XAVIER, 2007).

O bagaço da cana que é produzido em grande quantidade é utilizado para geração de energia das unidades industriais, permitindo que essas unidades não consumam energia elétrica das redes de distribuição durante o período de safra, tornando as autossuficientes (TORRES et al., 2012). De acordo com Cortez et al. (1992), a valorização do bagaço, seja via cogeração, pode-se tornar fonte de renda tão importante quanto o próprio açúcar ou o álcool.

Na AGROVALE, no município de Juazeiro - BA, a geração de energia elétrica a partir do bagaço (biomassa) se apresenta como importante alternativa ao setor energético do Brasil, como uma solução mais limpa e renovável, garantindo rentabilidade e sustentabilidade em todas as fases do processo.

Outros subprodutos gerados têm sua importância, mas em termos de quantidade, apresenta menor demanda. Entre eles estão a torta de filtro, a levedura, a vinhaça, o melaço, etc., (FERREIRA, 2009).

A torta de filtro, material orgânico sólido obtido da produção de açúcar, tem sido usada na adubação dos canaviais (JENDIROBA, 2006). A vinhaça, que antes era lançada

diretamente nos rios, hoje é em grande parte aproveitada para irrigar e fertilizar lavouras de cana-de-açúcar, já a levedura por sua vez, rica em proteínas, vitaminas e sais minerais, quando gerada em excedente, é vendida como ração para alimentação animal (FERREIRA, 2009). O melaço também é utilizado como matéria-prima para a produção de proteína, rações e levedura prensada para panificação. (ÚNICA, 2017).

4. Evapotranspiração da cana-de-açúcar e Eficiência do uso da água

A obtenção de energia limpa e de fontes renováveis tem-se tornado uma preocupação global, incentivando a busca por bioenergia e impactando em aspectos relacionados ao uso da água no setor agrícola. Diante deste contexto, o Brasil sendo o maior produtor mundial de cana de açúcar, e segundo maior produtor de etanol, apresenta-se como país de grande potencial bioenergético (CARMO, 2013).

Na região Semiárida brasileira, especificamente a região do Submédio do Vale do Rio São Francisco, que se destaca pelo seu potencial em agricultura irrigada, a cana-de-açúcar é cultivada sob irrigação plena, devido às peculiaridades climáticas locais em termos de precipitação pluviométrica (CARMO, 2013). A produtividade satisfatória da cultura nesta região se deve as técnicas utilizadas no manejo da irrigação (SILVA, 2009).

A gestão eficaz no uso da água de irrigação para as terras áridas e semiáridas requer a capacidade de entregar, programar e monitorar de forma adequada, o uso de água nas culturas. Atualmente, os agricultores reconhecem o valor dos três aspectos, reconhecendo os benefícios do planejamento da irrigação, reduzindo custos sem nenhuma penalidade de rendimento (FRENCH et al., 2007).

Entretanto, para se conseguir boa distribuição do sistema de irrigação e conseqüentemente, melhorar o manejo dos mananciais hídricos, se faz necessária à obtenção de determinadas estimativas de consumo de água pela cultura (CARMO, 2013), que normalmente se faz pela obtenção de medidas de evapotranspiração. A evapotranspiração é a combinação de dois processos simultâneos pelo qual a água é transferida para a atmosfera, sob a forma de vapor, a partir da superfície do solo por meio da evaporação, e a partir da cultura, pelo processo de transpiração (ALENCAR et al., 2015).

A evapotranspiração da cultura (ET_c) pode ser obtida pela medida da energia disponível e da determinação dos fluxos de calor sensível (H) e latente (λE), por meio do método do balanço de energia com base na razão de Bowen (BERB), que se baseia na relação

do fluxo-gradiente e na transferência de massa entre a superfície e a atmosfera, bem como pelo método das correlações turbulentas ou “*Eddy Covariance*” (EC) que mede diretamente os fluxos de calor latente e de calor sensível. Esses métodos têm sido amplamente aplicados em culturas como, mamona (RIOS, 2009), cana-de-açúcar (SIVA, 2009; CARMO, 2013), entre outras.

Segundo Silva (2009), a evapotranspiração da cana-de-açúcar pode ser influenciada por fatores inerentes às condições ambientais, às técnicas agrícolas, ao sistema de irrigação, ao período de plantio, bem como à idade do corte e às cultivares. Por estes motivos, é comum encontrar diferentes valores de requerimento hídrico da cultura. Adicionalmente, o sistema de produção da cana de açúcar pode ser afetado por fatores relacionados à planta, como tipos de cultivares e ciclo de produção; às variáveis ambientais locais, como temperatura do ar, radiação solar e precipitação; ao solo, como tipo e fertilidade; e às práticas culturais, como época e densidade de plantio (SILVA et al., 2014).

De acordo com a literatura, o requerimento hídrico da cana-de-açúcar varia de 1.500 mm a 2.500 mm. Silva (2009) observou que os valores de ETC da cana de açúcar irrigada, no ciclo cana-soca, sob condição semiárida do Submédio do Vale São Francisco, foram ligeiramente inferiores aos recomendados no boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998).

Gonçalves (2010) constatou, no município de Piraipaba, CE, a ETC acumulada igual a 1.074,1 mm, com valores máximos da ordem de 6,6 mm dia⁻¹ ocorrendo na fase intermediária de crescimento da cana de açúcar. Segundo Ferreira (2014), a cana-de-açúcar submetida à irrigação subsuperficial no semiárido do Brasil, apresenta valores de evapotranspiração acumulada e média diária na ordem de, 1.671mm e 4,3 mm dia⁻¹, respectivamente.

Silva et al. (2012) verificaram que a cana-de-açúcar irrigada por sulcos sob as condições semiáridas do Submédio do Vale do São Francisco, apresentou valores de ETC mínimos, médios e máximos de 1,2 mm dia⁻¹, 4,7 mm dia⁻¹ e 7,5 mm dia⁻¹, respectivamente, para a variedade RB 92-579. Carmo (2013) observou valores mínimos, médios e máximos de 1,5 mm dia⁻¹, 4,1 mm dia⁻¹ e 7,1 mm dia⁻¹, respectivamente.

O coeficiente de cultura (Kc) está relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos das plantas, podendo variar de acordo com as características intrínsecas de variedade e de práticas de cultivo. Dentre essas características destacam-se o comprimento do ciclo, época de plantio e colheita, nutrição da planta, infestação de doenças e pragas, densidade de plantio, entre outros (LYRA et al., 2012). Assim, o desempenho de experimentos que buscam a determinação de Kc na escala regional é bastante significativo.

Um grande desafio hoje para o setor agrícola é selecionar adequadamente o método da irrigação que será utilizado nas culturas. Assim, é necessário adotar práticas de manejo que viabilizem a maior Eficiência no Uso da Água (EUA), bem como menor consumo de energia (PIRES et al., 2008).

A EUA é a relação entre a produção vegetal alcançada em determinada área e o volume de água utilizado durante o cultivo para obtê-la (CAMPAGNOL et al., 2014). Avaliando a EUA da cana de açúcar, cultivada na região dos Tabuleiros Costeiros do município de Capim, PB, Farias et al. (2008) verificaram que a maximização do uso eficiente de água para a variedade SP 79-1011 pode ser obtida com a lâmina de 1.276 mm; Silva et al. (2011), em estudo realizado para cana-soca irrigada por sulcos sob as condições semiáridas do Submédio do Vale do São Francisco, constataram requerimento hídrico de 1.695,1 mm para a variedade RB 92-579. Oliveira et al. (2011) ao avaliarem a eficiência no uso da água em cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos para a cultivar SP 79-1011, obtiveram EUA de 11,1 kg m⁻³.

Dessa forma, com base nesses e em outros estudos, pode-se perceber que o requerimento hídrico da cana de açúcar pode variar em função de diversos fatores, e que sua determinação em nível local, é necessária para uso mais eficiente da água de irrigação, bem como para redução dos impactos negativos do manejo inadequado da irrigação na planta, no solo e seus impactos sobre os custos operacionais.

Para aumentar a EUA das culturas agrícolas é essencial a redução da evaporação da água do solo. O uso de materiais cobrindo a superfície do solo é uma forma eficiente de reduzir a transferência de vapor de água da superfície do solo para a atmosfera. Por conseguinte, a evaporação de água a partir de um solo coberto diminui em relação a um solo nu, e mais água é disponibilizada para benefício da transpiração da cultura.

A cobertura morta no solo, composta por restos vegetais, principalmente nas regiões áridas e semiáridas, mantém o solo mais úmido e menos aquecido (ZRIBI et al., 2015). Para Viana et al. (2012) as coberturas trazem reconhecidos benefícios aos sistemas de produção, tais como: diminuição da lixiviação e do surgimento de plantas invasoras, regulação da temperatura do solo, aumento da matéria orgânica do solo e modificação das propriedades físicas e químicas do solo.

5. Eficiência do uso da radiação

A relação que existe entre a quantidade de energia solar captada por uma cultura e seu desenvolvimento (produção de biomassa) foi comprovada por Monteith (1977). Esta relação é representada pelo conceito Eficiência do Uso da Radiação (EUR). A razão entre a biomassa produzida por certa comunidade de plantas e a radiação ou absorvida pelo dossel dessas plantas, define a EUR (MONTEITH, 1977).

Desta maneira, é possível avaliar e comparar o crescimento vegetal entre cultivos em ambientes com diferentes níveis de radiação solar. A análise de crescimento em função do tempo gera avaliações confusas devido às diferentes condições meteorológicas (SINCLAIR; MUCHOW, 1999).

Um estudo realizado por Sinclair e Muchow (1999) mostrou que diversas culturas agrícolas demonstraram que a EUR varia conforme as espécies, sendo que em espécies C_4 a mesma tende a ser maior. As culturas de cana-de-açúcar e milho possuem valores entre 1,65 a 2,0 $g MJ^{-1}$, enquanto que, espécies C_3 como trigo e arroz têm menor eficiência do uso da radiação, com valores entre 1,39 a 1,46 $g MJ^{-1}$. Segundo Van Heerden et al. (2010) na cultura da cana-de-açúcar, a EUR pode variar de 1,7 a 2,0 $g MJ^{-1}$.

A eficiência do uso da radiação na cultura da cana-de-açúcar pode ser afetada por vários fatores fitotécnicos, como espaçamento, adubação e densidade de plantas, ou fatores genéticos e ambientais, como o déficit hídrico e temperatura do ar (BARBOSA, 2017). Silva e Costa (2012) relatam que a cana-de-açúcar sem déficit hídrico apresenta EUR de 1,63 a 2,09 MJ^{-1} .

Silva et al. (2014) concluíram que a cultivar RB92-579, 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, sendo apresentado como resultado 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.

6. Eficiência do uso de nitrogênio

Diversas regiões produtoras de cana-de-açúcar testam tecnologias que visam aumentar a eficiência dos insumos, melhorar a qualidade da matéria prima, diminuir os custos de produção e elevar a produtividade, tornando, dessa forma, a atividade lucrativa e sustentável.

Dentre elas se destaca a “Eficiência do Uso dos Nutrientes”, termo utilizado para caracterizar plantas em sua capacidade de absorver e utilizar nutrientes, estando relacionado à eficiência de absorção, translocação e utilização de nutrientes. A eficiência de absorção está relacionada à taxa de absorção de nutrientes por unidade de comprimento ou de massa de raiz, e pode ser avaliada em estudos de cinética de absorção de nutrientes (AMARAL et al., 2011).

Tradicionalmente, a eficiência de utilização de nutriente tem sido definida como a razão entre a biomassa e a quantidade total de nutriente na biomassa (TOMAZ; AMARAL, 2008).

O estudo da eficiência nutricional na cultura da cana-de-açúcar é de extrema importância, pois as maiorias das áreas cultivadas com cana de açúcar na região Centro-Sul do país apresentam baixa fertilidade natural, com isso, o uso de fertilizantes químicos para aumentar a produtividade tornou-se prática comum entre os produtores. No entanto, esta prática também contribuiu para aumentar o custo de produção, e o excesso de aplicações pode causar sérios problemas ambientais (KIST, et al., 2015).

As cultivares de cana-de-açúcar diferem na absorção e uso de nutrientes. Assim, é possível selecionar cultivares eficientes no uso de nutrientes, reduzindo os riscos de contaminação ambiental e, sobretudo, o custo de produção (OLIVEIRA et al., 2010).

Os estudos sobre eficiência nutricional na cana de açúcar são escassos, no entanto, muito importantes devido à área cultivada significativa (KIST et al., 2015). Deve também notar-se que as plantações de cana-de-açúcar geralmente são renovadas somente após cinco ou seis colheitas. Assim, a plantação de uma cultivar menos eficiente no uso de nutrientes pode aumentar o custo de produção e, portanto, refletir em menor rentabilidade.

Segundo Carmo Neto et al. (2011), a capacidade de absorção de nutrientes das cultivares diminui ao longo das colheitas, devido as reduzidas práticas de manejo no solo pós-colheita e à recuperação nutricional abaixo do requisito da cultura, ambos fatores diminuem o acumulado de nutrientes na folha a cada colheita.

Informações podem ser encontradas na literatura sobre respostas e benefícios do nitrogênio em plantas de cana-de-açúcar. Muitos autores relatam que as respostas aos

nutrientes geralmente são mais freqüentes na soqueira da cana-de-açúcar do que na cana planta e que a cultura absorve entre 50% e 60% da quantidade de N aplicada ao solo (BASTOS et al., 2015). No entanto, para uma maior produtividade, a interação dos fatores genéticos da planta, clima, solo e gerenciamento devem ser levados em consideração.

A eficiência de uso de nitrogênio (EUN) em plantas é complexa e influenciada por muitos processos fisiológicos, tais como a absorção de N a partir do solo, assimilação em aminoácidos que armazenam N, transporte desse N da fonte para formação de novos tecidos e sinalização e vias regulatórias que mantêm o status de N da planta e o crescimento (KOLLN, 2016). A EUN tem sido amplamente estudada em culturas de milho, arroz e trigo, e tentativas similares têm surgido para avaliar a EUN na cana-de-açúcar, visando principalmente a identificação e a quantificação de genótipos mais eficientes na utilização de N (HAJARI et al., 2015).

Para alguns países produtores de cana-de-açúcar, o N aplicado na cultura é 100% superior ($150-250 \text{ Kg ha}^{-1}$) às dosagens aplicadas no Brasil, onde são relativamente baixas ($90-120 \text{ Kg ha}^{-1}$) e a obtenção de produtividade são bem similares (VITTI et al., 2007).

Segundo Bastos et al. (2015) a aplicação de N em culturas de cana-de-açúcar eleva a matéria seca do caule e a produtividade final. Cantarella (2012) avaliou a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de N em um período de três anos e verificou que a produção da matéria seca do caule foi significativamente maior nas culturas fertilizadas com ureia ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$).

7. Extração e exportação de nutrientes

Atualmente, as tecnologias voltadas à produção de cana-de-açúcar não se restringe apenas ao potencial produtivo, mas também à capacidade da planta em transformar de forma eficiente o nutriente absorvido em biomassa. Sendo de fundamental importância o conhecimento da exigência nutricional da cana-de-açúcar para o estudo da adubação, indicando a quantidade de nutrientes que deve ser fornecida (OLIVEIRA et al., 2010).

A absorção de nutrientes extraídos do solo pela cana-de-açúcar é influenciada por diversos fatores, destacando-se a variedade, manejo do solo, ciclo de cultivo e disponibilidade de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2010). Portanto, se torna necessário a busca de novas pesquisas que identifique a relação desses fatores, para correta recomendação de métodos de cultivo nas diferentes regiões de produção.

São raros os estudos que identificam o potencial de extração e exportação de nutrientes em novas variedades de cana-de-açúcar, bem como sob condições de irrigação. Ainda assim as informações referem-se às variedades que não são mais cultivadas ou a trabalhos realizados em condições de sequeiro, o qual não demonstra o máximo potencial produtivo e de extração de nutrientes pelas variedades, devido à limitação das condições edafoclimáticas de cada ambiente de produção.

As plantas necessitam tanto de macro quanto de micronutrientes, visto que esses elementos desempenham funções vitais em seu metabolismo. Por isso é de fundamental importância os conhecimentos na adubação, indicando as quantidades de nutrientes a serem fornecidas (BENETT et al., 2013).

Segundo Malavolta et al. (1997) a quantidade de nutrientes extraídos por uma tonelada de cana é de 1,20; 0,36; 1,48; 1,12; 0,68 e 0,36 Kg de N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO e S, respectivamente.

Estudando o acúmulo de nutrientes em sete variedades de cana-de-açúcar Mendes (2006), constatou que a RB 86-7515 extraiu 150 kg ha⁻¹ de N, com produtividade de 155 t ha⁻¹. Barbosa et al. (2002), estudando a cultivar RB 72-454 em cana planta, observaram remoção de 134 kg ha⁻¹ e Coleti et al. (2002) avaliando o acúmulo de N na SP 81-3250 constataram para cana planta extração de 207 kg há⁻¹ de N, resultados esses superiores aos encontrados por Benett et al. (2013) que ao avaliarem o estudo de cinco doses e três fontes de manganês aplicadas no plantio na cultura da cana-de-açúcar.

Para a cana soca, Moura Filho et al. (2006) verificaram que a extração total média por tonelada de colmo em três variedades de cana-de-açúcar foi de 0,83 kg de N; 0,20 kg de P; 1,08 kg de K; 0,24 kg de Ca; 0,24 kg de Mg e 0,26 kg de S.

Já Barbosa et al. (2000), estudando o acúmulo e alocação de nutrientes N, P, K, Ca e Mg na variedade RB72454, durante todo o seu ciclo de produção, constataram que as maiores taxas de acúmulo de nutrientes ocorreu aos 332 e 370 dias após o plantio, com quantidades de 1,42; 0,75; 1,94; 0,84 e 0,51 kg há⁻¹ dia⁻¹ para N, P, K, Ca e Mg, respectivamente.

Prado et al. (2002) trabalhando com cana soca cultivar SP 80-1842, em Latossolo Vermelho Distrófico, verificaram valores de exportação de nutrientes na ordem de 87,5 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 4,1 kg ha⁻¹ de fósforo (P) e 53,6 kg ha⁻¹ de potássio (K), produzindo em torno de 70 Mg ha⁻¹ de colmos. Para a cana planta e cana soca Coleti et al. (2002) observaram exportações de 146 e 84 kg ha⁻¹ de nitrogênio; 14,1 e 9,8 kg ha⁻¹ de fósforo (P) e 160 e 118 kg ha⁻¹ de potássio (K), respectivamente.

Em trabalho realizado por Korndorfer et al. (1989), com a cultivar SP 71-1406 em cana planta, o acúmulo do fósforo (P) variou de 10,3 a 14,4 kg ha⁻¹. Nessa mesma cultivar, contudo, Ferreira et al. (1989) observaram valores superiores variando de 11,0 a 17,9 kg ha⁻¹ em plantas com 16 meses de idade.

A concentração e exportação de nutrientes também pode ser influenciada pelos diferentes tipos de cultivares adotados. Nesse contexto, Coleti et al. (2002) observaram diferenças entre dois cultivares e constataram que o SP 81-3250 apresentava teores de potássio menores que a RB 83-5486, sugerindo que esse aspecto poderia estar influenciando as qualidades agroindustriais.

Guimarães e Silva (1984) observaram valores de fósforo no caldo de diversos cultivares, obtendo valores entre 87 e 263 mg L⁻¹ P₂O₅. Afirmaram que os valores baixos desse elemento afetam negativamente a qualidade do açúcar produzido, por dificultar o processo de clarificação.

8. Uso da palha e relação C/N

O Brasil foi recordista mundial no cultivo da cana-de-açúcar no ano de 2012, chegando a produzir 721 milhões de toneladas de colmos, que superam em mais de 50% a produção da Índia, segunda colocada neste tipo de exploração (RAMOS et al., 2016).

Estes resultados incentivam constantemente a evolução dos sistemas de produção, principalmente na sustentabilidade da atividade, permitido grande aproveitamento da espécie, seja na produção de açúcar e etanol, bem como no aproveitamento de resíduos para a produção de energia, ou na reciclagem dos nutrientes para a própria cultura (RAMOS et al., 2016).

A fim de reduzir a emissão de gases de efeito estufa e o árduo trabalho manual na colheita da cana-de-açúcar, foi proposta a conversão da área com sistema de colheita em queima para colheita com cana-crua (Leite, 2009). Essa conversão tem se intensificado mais após as inovações na área de mecanização da colheita, que têm proporcionado deposição de mais de 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca de palha sobre o solo (VITTI et al., 2008).

Muitos autores discutem a possibilidade de recolher parte da palhada gerada durante a colheita mecanizada a fim de aproveitá-la no setor energético, seja elétrico ou para obtenção de etanol de segunda geração (LEAL et al., 2013). Contudo, segundo Ramos et al. (2016) esta remoção pode alterar o sistema solo-planta-atmosfera envolvido no cultivo da cana-de-açúcar,

por constituir uma situação intermediária entre a cana-queimada, que se desenvolve em solo sem cobertura vegetal, e a cana-crua, cuja palha permanece na superfície do solo.

De acordo com Silva et al. (2017), enquanto a palhada ajuda a reduzir a evaporação da água do solo, ela também retém parte da água precipitada ou aplicada na área via irrigação. Com isso, a manutenção da palha pode trazer boas contribuições para o manejo da irrigação.

Contudo o excesso de palha altera o crescimento e desenvolvimento da cultura (OLIVIER; SINGELS, 2012; 2015), aumenta o risco de incêndio e de infestação de pragas e doenças, e dificulta a brotação por causa da mudança do regime térmico-hídrico do ar e do solo (AWE et al., 2015). Ainda, segundo Silva et al. (2017) essa deposição de palha sobre o solo pode causar problemas ao manejo da cultura, principalmente nas operações com máquinas agrícolas durante o cultivo da cana-soca.

Estudos sobre os efeitos da palha são relatados na literatura, especialmente no que se refere à redução dos riscos de erosão, do surgimento de plantas daninhas (THORBURN et al., 2001; MACEDO et al., 2008) e da emissão de carbono (CORRADI et al., 2013; TEIXEIRA et al., 2013). Ainda, a presença da palha melhora a microbiota e propriedades físicas do solo e modifica o microclima (SANDHU et al., 2013).

Estudos citam que a manutenção da palhada em campo pode maximizar a ciclagem de nutrientes (VAN ANTWERPEN et al., 2001; FORTES et al., 2012) e a conservação da umidade do solo.

Os resíduos vegetais (folhas e ponteiros), ao serem decompostos, transformados e sintetizados, constituem a matéria orgânica do solo, logo que vai influenciar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além de contribuir com vários nutrientes influenciando positivamente nas atividades microbianas do solo.

De acordo com Lombardi et al. (2012), a decomposição da palha sobre o solo, após sua deposição, promove a liberação e fornecimento de nutrientes que podem ser absorvidos pela cultura da cana-de-açúcar no primeiro ciclo, em: 18% de N, 50% de P, 83% de K, 44% de Ca, 39% de Mg e 27% de S.

Quantidades significativas (10 a $20 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) de restos culturais, com relação C:N superior a 100 e conteúdo de N entre 40 e 80 Kg ha^{-1} , são incorporados ao sistema solo planta (FRANCO et al., 2007). Contudo, para a cana queimada, os ponteiros e as palhas que permanecem no campo representam cerca de 30 a 50% da quantidade obtida de resíduos da cana colhida crua (TRIVELIN et al., 1996).

Grande parte do N contido nas folhas secas é perdida por volatilização ou na forma de aerossóis durante a queima da cana. Por isso, o manejo sem despalha a fogo, potencialmente, conserva nitrogênio no sistema. Entretanto, Basanta et al. (2002) e Oliveira et al. (2002) afirmam que os resultados de mineralização do N desses resíduos é lenta, variando entre 3 a 30% durante o ciclo seguinte da cultura.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, L.P. et al. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o padrão FAO), para minas gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p. 39-50, 2015.

ALLEN, R.G. et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56) 1998. 300 p.

AMARAL, J.F.T. et al. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Ciência Rural**, v. 41, n. 4, p. 621-629, 2011.

ANDRADE M.C. et al. Inovações tecnológicas no setor sucroalcooleiro: Determinantes, estágio vigente e perspectivas no contexto brasileiro (2005 - 2014). **Revista Brasileira de gestão e inovação - Brazilian journal of management & innovation**, v. 4, n. 3.p. 89-106, 2017.

AWE, G.O. et al. Temporal variability and covariance structures of soil temperature in a sugarcane field under different management practices in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 150, p. 93-106, 2015.

BARBOSA, A.M. **Ambiente de produção na eficiência da conversão de energia solar em cultivares de cana-de-açúcar**. 180 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo - SP, 2017.

BARBOSA, M.H.P. et al. Acúmulo e alocação de nutrientes pela RB72454 no ciclo da cana-planta. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8., 2002. Pernambuco: STAB. **Anais...** Pernambuco: STAB, p. 234-238, 2002.

BASANTA, M.V. et al. Eficiência no uso de nitrogênio em relação aos manejos dos resíduos da cultura de cana-de-açúcar. Congresso nacional da STAB, 8., 2002, Recife-PE. **Anais...** Recife: STAB, p. 268-275, 2002.

BASTOS, A.V.S. et al. Productivity and dry matter accumulation of sugarcane crop under irrigation and nitrogen application at Rio Verde GO, Brazil. **American Journal of Plant Sciences**, v.6, n.14, p.2374-2384, 2015.

BENETT C.G.S. et al. Acúmulo de nutrientes no colmo de cana-de-açúcar em função de fontes e doses de manganês. **Semina: Ciências Agrárias**, V34, n. 3, p. 1077-1088, 2013.

CAMPAGNOL, R. et al. Impactos do nível de irrigação e da cobertura do solo na cultura do tomateiro. **Irriga**, v. 19, n. 3, p. 345-357, 2014.

CAMPOS, L.H.F. et al. Sistemas de manejo da palhada influenciam acúmulo de biomassa e produtividade da cana-de-açúcar (var. RB855453). **Acta Scientiarum Agronomy**, v.32, n.2, p.345-350, 2010.

CARMO, J.F.A. **Evapotranspiração da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial no Submédio do Vale do São Francisco**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus de Juazeiro - BA, 2013.

CANTARELLA, H. Avaliação de Resposta a N em Cana-de-açúcar Não Adubada Por Três Anos. (Relatório). Instituto Agronômico Centro de Solos e Recursos Ambientais, Agrisus, Pesquisa Agronômica, 719/10, 2012. 51 p.

COLETI, J.T. et. al. Remoção de macronutrientes pela cultura da cana-planta e cana-soca em Argissolos, variedades RB 835486 e SP 813250. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 24, n. 5, p. 32-36, 2006.

CORRADI, M.M. et al. Crop residues on short-term CO₂ emissions in sugarcane production areas. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 4, p. 699-708, 2013.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar**. Safra 2016/17. Conjuntura mensal. Período: fevereiro de 2017. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_03_23_17_00_58_conj.pdf>

Acesso em: 20/05/2017.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar. Safra 2015/16. Quarto Levantamento.** Brasília: CONAB, abril/2016. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_14_09_06_31_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em: 15/08/2016.

CORTEZ, L.; MAGALHÃE, P.; HAPPI, J. Principais sub-produtos da agroindústria canavieira e sua valorização. **Revista Brasileira de Energia**, v. 2, n 2, p. 1-17, 1992.

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

DALRI, A.B. Irrigação em cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar.** Piracicaba: CP 2, p.157-170, 2006.

FARIAS, C.H.A. et al. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no litoral paraibano. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 3, p. 494-506, 2008.

FERREIRA, R.C. **Evapotranspiração e produtividade de água no primeiro ciclo da cana-de-açúcar submetida à irrigação subsuperficial no semiárido do Brasil.** 94 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2014.

FERREIRA, L.F.R. **Biodegradação de vinhaça proveniente do processo industrial de cana-de-açúcar por fungos.** 135 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP, 2009.

FERREIRA, E.S. et al. Uso do multifosfato magnesiano na adubação de plantio da cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Copersucar**, n.46/49, p.6-11. 1989.

FORTES, C.; TRIVELIN, P.C. O.; VITTI, A.C. Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in Sao Paulo state, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 42, p. 189-198, 2012.

FRANCO, H.C.J. et al. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 669- 674, 2007.

FRENCH, A.N. et al. Energy balance estimation of evapotranspiration For wheat grown under variable management Practices in Central Arizona. **Soil & Water Division of ASABE**, v. 50, p. 2059-2071, 2007.

GONÇALVES, F.M. **Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial**. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2010.

HAJARI, E. et al. Nitrogen use e efficiency of sugarcane (*Saccharum ssp.*) varieties under in vitro conditions with varied N supply. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, The Hague, v. 122, p. 21-29, 2015.

GUIMARÃES, E.; SILVA, G.M.A. Estudo de variedades de cana-de-açúcar quanto ao teor de fósforo no caldo - ensaio preliminar. In: seminário copersucar de tecnologia agrônômica. 2., Piracicaba, 1984. **Anais...** Piracicaba: Copersucar, p.41-43, 1984.

JENDIROBA, E. **Aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira**. In: **Gestão de Resíduos da Agricultura e da Agroindústria**. Eds.: SPADOTTO, C.; RIBEIRO, W. FEPAF - Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais Ltda, Botucatu, 2006. 319 p.

KIST, V. et al. Nutrient use efficiency in sugarcane cultivars. **Científica**, v.43, n. 2, p. 117-125, 2015.

KOLLN, O.T. **Eficiência de uso de nitrogênio pela cana-de-açúcar: diferenças genotípicas, preferência por amônio e emissão de N₂O**. 120 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura e Meio Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP, 2016.

KORNDORFER, G.H. et al. Resposta da cana planta a diferentes fontes de fósforo. **Boletim Técnico Copersucar**, n.45, p.31-37, 1989.

LEAL, M.R.L.V. et al. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: a literature review. **Biomass and Bioenergy**, v.53, p.11-19, 2013.

LEITE, R.C.C. (Coord.). **Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009. 536p. Disponível em: <http://www.cogen.com.br/paper/2010/Livro_Bioetanol_Cana_Acucar_2009.pdf>. Acesso em: 05/05/2017.

LYRA, G.B. et al. Coeficiente da cultura da cana-de-açúcar no estágio inicial de desenvolvimento em campos dos Goytacazes, RJ. **Irriga**, v.17, n.1, p.102-113, 2012.

LOMBARDI, G.M.R. et al. Uso da palha de cana-de-açúcar como fonte de bioenergia versus a sua contribuição nutricional quando mantida no solo. Congresso internacional de bioenergia, 7, 2012, São Paulo. **Anais...** São Paulo, p.3-8, 2012.

MACEDO, I.C. et al. Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, p. 582-595, 2008.

MALAVOLTA, E. et al. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1997. 319 p.

MANHÃES, C.M.C. et al. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices**, Campos dos Goytacazes - RJ, v. 17, n.1, p. 163-181, 2015.

MARAFON, A.C. Análise Quantitativa de Crescimento em Cana-de-Açúcar: uma Introdução ao Procedimento Prático. Aracajú, **EMBRAPA** (Documentos) 2012. 29 p.

MARIN, F., NASSIF, D.S.P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 232-239, 2013.

MARQUES, T.A. et al. Queima do canavial: Aspectos sobre a biomassa vegetal, fertilidade do solo e emissão de CO₂ para atmosfera. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 1, p. 83-89, 2009.

MONTEITH, J.L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 281, p. 277-294, 1977.

OLIVIER, F.C.; SINGELS, A. Increasing water use efficiency of irrigated sugarcane production in South Africa through better agronomic practices. **Field Crops Research**, v. 176, p. 87-98, 2015.

OLIVIER, F.C., SINGELS, A. The effect of crop residue layers on evapotranspiration, growth and yield of irrigated sugarcane. **Water SA**, v. 38, p. 77-87, 2012.

OLIVEIRA, E.C.A. et al. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.46, n. 6, p. 617-625, 2011.

OLIVEIRA, M.W. et al. Decomposition and release of nutrients from sugarcane trash in two agricultural environments in Brasil. **Proceedings of the Australian Society of Sugarcane Technologist**, p. 40, 2002.

OLIVEIRA E.C.A. et al. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de ciências do Solo**, v. 34, p. 1343-1352, 2010.

PIRES, R.C.M. et al. Irrigação e drenagem. **In:** DINARDO, M.L.L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico. 2008. 882 p.

PRADO, R.M. et al. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo, e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v.59, n.1, p.129-135, 2002.

RAMOS, N.P. et al. Decomposição da palha de cana-de-açúcar recolhida em diferentes níveis após a colheita mecânica. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.51, n. 9, p. 1492-1500, 2016.

RIOS, G.F.A. **Balço de energia solar na cultura da mamoneira irrigada**. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2009.

SANDHU, H.S. et al. Effects of sugarcane harvest method on microclimate in Florida and Costa Rica. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 177, p. 101-109, 2013.

SILVA, N.F. da et al. Cana-de-açúcar cultivada sob diferentes níveis de palhada. **Global Science Technology**, v. 10, n. 01, p.159-168, 2017.

SILVA, T.G.F. **Análise de crescimento, interação biosfera-atmosfera eficiência do uso de água da cana de açúcar irrigada no Submédio do Vale do São Francisco**. 176 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2009.

SILVA, M.A. et al. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agricola**, v, 65, p. 620-627, 2008.

SILVA, V.S. et al. O destino do bagaço da cana-de-açúcar: Um estudo a partir das agroindústrias sucroalcooleiras do Paraná. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.3, p.59-76, 2010.

SILVA, T.G.F. et al. Variação do Balanço de Radiação e de Energia da Cana de açúcar Irrigada no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 139 -147, 2011.

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

SILVA, T.G.F. et al. Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 500-509, 2012.

SILVA, T.G.F. et al. Sazonalidade do Controle de Evapotranspiração pela Cana-de-Açúcar Irrigada e Características Aerodinâmicas da Cultura no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 621-634, 2013.

SILVA, V.P.R. et al. Necessidades hídricas da cana-de-açúcar cultivada em clima tropical. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 2, p. 625-632, 2014.

SILVA M.A. et al. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 241-249, 2014.

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

SINGH, P.N. et al. Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid complex) in subtropical India. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 90, p. 95-100, 2007.

SOUZA, A.P. et al. Elevated CO₂ increases photosynthesis, biomass and productivity, and modifies gene expression in sugarcane. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.31, n.8, p.1116-1127, 2008.

SPAROVEK, G. Aptidão das terras de Piracicaba para o corte mecanizado da cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 15, n. 5, 1997.

STEDUTO, P. et al. **Crop yield response to water**. Irrigation and Drainage Paper No. 66, FAO; Rome, 2012. 503p.

TEIXEIRA, L.G. et al. Soil and crop residue CO₂-C emission under tillage systems in sugarcane-producing areas of southern Brazil. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 327-335, 2013.

THORBURN, P.J. et al. Modelling decomposition of sugarcane surface residues with APSIMresidue. **Field Crop Research**, v. 70, p. 223-232, 2001.

TOMAZ, M.A.; AMARAL, J.F.T. Eficiência nutricional em plantas. **Estudos avançados em produção vegetal**. Alegre: Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, v.1, p.23-41, 2008.

TORRES, N.H. et al. Indústria sucroalcooleira: gestão de subprodutos. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v.10, n.2, p.225-236, 2012.

TRIVELIN, P.C.O. et al. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia-15N e uréia-15N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 2, p. 89-99, 1996.

ÚNICA - UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DEAÇÚCAR. Dados e estatísticas técnicas e econômicas atualizadas sobre o setor. São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 26/05/2017.

VIANA, T.V.A. et al. Lâminas de irrigação e coberturas do solo na cultura do girassol, sob condições semiáridas. **Irriga**, v. 17, n. 2, p. 126-136, 2012.

VAN ANTWERPEN, R. et al. The effects of cane trash on yield and nutrition from the long-term field trial at Mount Edgecombe. **Proceedings South African Sugar Technologists' Association**, v. 75, p. 235-241, 2001.

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

VITTI, A.C. et al. Mineralização da palhada e desenvolvimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2757-2762, 2008.

VITTI, A.C. et al. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 249-256, 2007.

WILKINSON, J.O. setor sucroalcooleiro brasileiro na atual conjuntura nacional e internacional. **ActionAid**, (Documentos). 2015. 15 p.

XAVIER, M.R. **The Brazilian sugarcane ethanol experience**. Washington: Competitive Enterprise Institute, 2007. 12 p.

ZRIBI, W. et al. Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control. **Soil & Tillage Research**, v. 148, p. 40-45, 2015.

CAPÍTULO 2 – CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA EM CULTIVOS COM E SEM PALHADA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

RESUMO

As secas sucessivas no Nordeste brasileiro e o mau uso dos recursos naturais intensifica a pressão sobre os setores agrícolas. A palhada traz benefícios ao sistema de produção da cana-de-açúcar, mas pode afetar o desempenho agrônômico da cultura. Logo, no presente estudo, objetivou-se avaliar o crescimento, produtividade e a eficiência da cana-de-açúcar irrigada cultivada sem e com a manutenção da palhada. O experimento foi conduzido em uma área comercial com a variedade VAT 90-212, no município de Juazeiro, BA, com dois níveis de palhada acima do solo (sem e com 27,2 Mg ha⁻¹ do resíduo cultural) cada em um talhão de 5,0 ha. A taxa de decomposição da palhada e medidas biométricas da cultura foram avaliadas ao longo do tempo. Na ocasião da colheita foram obtidos a produtividade e índices industriais, partição de matéria seca e a eficiência do uso da água e de nutrientes com base no consumo de água da cultura. A velocidade de decomposição da palhada foi de 0,0049 Mg ha⁻¹ dia⁻¹, com liberação de 5,6 kg ha⁻¹ de N e 0,98 Mg ha⁻¹ de C, e massa seca remanescente de 27%. A palhada em campo reduziu a estatura dos colmos em 0,38 m e em 248°C dia no desenvolvimento da cana-de-açúcar, porém até os primeiros 100 dias após corte. A maioria dos indicadores de produtividade e industriais não foi afetada por causa da presença do resíduo. A eficiência do uso da água e de nutrientes foi expressivamente acrescida pela palhada acima do solo (> 26%).

Palavras-chave: decomposição da palhada, desenvolvimento da cultura e eficiência do uso da água e nutrientes.

CAPÍTULO 2 – GROWTH, PRODUCTIVITY AND EFFICIENCY OF SUGAR CANE IRRIGATED IN CROPS WITH AND WITHOUT NUTS IN BRAZILIAN SEMI-ARID

ABSTRACT

The successive droughts in the Brazilian Northeast and the bad use of natural resources intensifies the pressure on the agricultural sectors. The straw benefits to the sugar cane production system, but it can also affect the agronomic performance of the crop. Therefore, in the present study, it was aimed to evaluate the growth, productivity and efficiency of irrigated sugarcane cultivated without and with the straw maintenance. The experiment was carried out in a commercial area with VAT 90-212, in the municipality of Juazeiro, BA, with two levels of straw above the soil (without and with 27.2 Mg ha⁻¹ of the cultural residue), each in lot of 5.0 ha. The straw decomposition rate and biometric measurements were evaluated over time. At harvest time, productivity and industrial indices, and dry matter partition were obtained, as well as the efficiency of water and nutrient use based on crop water consumption. The straw decomposition rate was 0.0049 Mg ha⁻¹ day⁻¹, with release of 5.6 kg ha⁻¹ of N and 0.98 Mg ha⁻¹ of C, and a residual mass of 27%. The straw in the field reduced the stature of the stems by 0.38 m and by 248°Cday in the crop development, but until the first 100 days after cutting. Most yield and industrial indicators were not affected because of the presence of crop residue. Water and nutrient use efficiency was significantly increased by straw above the soil (> 26%).

Keywords: Straw decomposition, crop development and water and nutrient use efficiency.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar e de seus derivados (CONAB, 2017). Todavia, a sua produtividade depende da quantidade de água recebida, tipo de solo, ciclo, cultivar, clima e sistemas de irrigação utilizados (SILVA et al., 2014a).

Em face aos avanços tecnológicos da irrigação, áreas cultivadas com cana-de-açúcar são conduzidas no Semiárido brasileiro o ano todo, sobretudo no município de Juazeiro, Bahia, por meio da captação de água do Rio São Francisco. Neste município há 15.132 ha de cana-de-açúcar irrigada (IBGE, 2014). Nos últimos anos, a migração dos sistemas de irrigação por sulco, com baixa eficiência de aplicação de água, para sistemas por gotejamento subsuperficial, já é um avanço importante. Todavia, as secas sucessivas no Nordeste brasileiro e o mau uso dos recursos naturais tem reduzido o nível de água do Rio São Francisco, intensificando a pressão nos setores agrícolas que dependem deste rio.

Sob irrigação e alta intensidade de radiação, a cana-de-açúcar exhibe elevado acúmulo de biomassa (SILVA et al., 2014b). Os colmos são usados na extração do caldo para produção de açúcar ou etanol, conforme demanda do mercado. A palhada, por sua vez, pode ser convertida em etanol de segunda geração ou queimada, juntamente com o bagaço, para a produção de energia elétrica, ou simplesmente, mantida em campo como cobertura morta (FORTES et al., 2012).

A palhada em campo minimiza os impactos do setor agrícola aos recursos naturais, uma vez que diminui a necessidade de irrigação devido a maior estabilidade da umidade do solo, reduz os riscos de erosão, surgimento de plantas daninhas (SOUZA et al., 2013) e emissão de carbono (TEIXEIRA et al., 2013), com subsequente aumento da eficiência do uso da água pela cultura (OLIVIER e SINGELS, 2012; 2015). Ainda, a presença da palhada melhora a microbiota e propriedades físicas do solo (SOUZA et al., 2013), e modifica o microclima (SANDHU et al., 2013). Porém, o excesso de palhada altera o crescimento e desenvolvimento da cultura (OLIVIER; SINGELS, 2012; 2015), aumenta o risco de incêndio e de infestação de pragas e doenças, e dificulta a brotação por causa da mudança do regime térmico-hídrico do ar e do solo (AWE et al., 2015).

Pesquisas sobre o crescimento, produtividade e índices industriais da cana-de-açúcar irrigada por sulco no Semiárido brasileiro foram publicadas por Silva et al. (2012) e Silva et al. (2014b). Mas, não tratam do cultivo irrigado por gotejamento subsuperficial e não abordam

o efeito da palhada no desempenho agrônômico da cana-de-açúcar. Esta informação é importante no planejamento do uso dos resíduos vegetais gerados.

A decomposição da palhada da cana-de-açúcar depende da composição do resíduo vegetal, atividade microbiana e das condições climáticas ao longo do ciclo da cultura, sendo uma importante fonte de carbono e de nutrientes no sistema solo-planta (AWE et al., 2012). As reduções da matéria seca, carbono e da razão C:N são as principais alterações constatadas na composição da palhada (FORTES et al., 2012). Olivier e Singels (2012, 2015) citam que, a presença da palhada aumenta expressivamente a eficiência do uso da água em cultivo de cana-de-açúcar, devido às reduções no uso da água e pouco impacto na produção de colmos, embora tenha se verificado efeito sobre o crescimento e atraso no desenvolvimento da cultura.

Considerando que a manutenção da palhada em campo, embora possa afetar o crescimento e desenvolvimento da cultura, não compromete o rendimento final da cultura por causa do efeito compensatório dos benefícios térmico-hídricos e do maior fornecimento de nutrientes, por causa da alta decomposição do resíduo vegetal em clima semiárido. Logo, objetivou-se avaliar o crescimento, a produtividade e a eficiência da cana-de-açúcar irrigada cultivada sem e com a manutenção da palhada em ambiente semiárido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição do local e tratos culturais

O experimento foi conduzido entre 21 de agosto de 2015 e 28 de julho de 2016 em uma área comercial de cana-de-açúcar da Empresa Agroindústrias do Vale do São Francisco S.A., no município de Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro. O solo da área experimental é do tipo Vertissolo (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos). O clima da região é semiárido, com chuva de 513 mm ano⁻¹, distribuídos, sobretudo entre as estações do verão e do outono, e demanda atmosférica de 1.887 mm ano⁻¹, conforme série histórica de 1965 a 2015 (<http://www.cpatia.embrapa.br>).

A cultivar usada foi a VAT 90-212, durante a 3ª folha. A cultura foi implantada em fevereiro de 2013 com colmos inteiros de 12 gemas, em média, por metro linear, em sucos de 0,20 m de profundidade dispostos em fileiras duplas espaçadas em 0,7 x 1,30 m. O sistema de irrigação adotado foi o de gotejamento subsuperficial com emissores auto-compensantes tipo labirinto, espaçados em 0,5 m e vazão de 1,6 L h⁻¹, embutidos nas mangueiras, as quais foram enterradas a 0,20 m. As irrigações foram executadas por meio de um quadro de controle automático que acionava o sistema diariamente.

O primeiro corte da cultura foi realizado aos 18 meses e o segundo aos 12 meses; este último em 21 de agosto de 2015, quando se iniciou o presente estudo. A irrigação totalizou 1.557 mm, que acrescidos de 345 mm da precipitação pluviométrica, resultou na lâmina de água aplicada de 1.937 mm, em 342 dias após o corte (DAC). Neste ciclo, a cultura foi adubada, via fertirrigação, com 420 kg N ha⁻¹, 6,1 kg P₂O₅ ha⁻¹, 3,7 kg K₂O ha⁻¹ e 2,5 kg ha⁻¹ de produto comercial à base de micronutrientes. O tratamento fitossanitário foi realizado quando necessário.

2.2 Tratamentos

A cana-de-açúcar foi imposta a dois níveis de cobertura do solo, um sem manutenção de palhada e o outro com 100% de cobertura. Dois talhões experimentais adjacentes (figura 1), cada com 5,0 hectares aproximadamente, foram colhidos manualmente no dia 21 de agosto de 2015; o primeiro (9°30'36''S; 40°22'15''W; 401 m) logo após a queima e o segundo com “cana crua” (sem queima) (9°30'43''S; 40°22'20''W; 401 m). Neste último, o nível de palha foi estabelecido entre os dias 25 de agosto de 2015 e 01 de setembro de 2015, a partir do enleiramento e uniformização de todo o resíduo da cultura gerado na colheita da própria área,

com o intuito de garantir 100% de cobertura do solo, resultando em camada equivalente a 27,2 Mg ha⁻¹ de massa seca, formada por estruturas foliares (folhas e bainhas) e ponteiro (pseudocolmo e folhas emergentes), e composição média de 48 g kg⁻¹ de C e 0,41 g kg⁻¹ de N.



Figura 1. Localização das duas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, uma sem e outra com manutenção da palha acima do solo, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro.

2.3 Medidas meteorológicas

Uma estação agrometeorológica automática (ET107, Campbell Scientific, Logan, UT, USA) (9°29'51''S; 40°21'43''W; 400 m), situada a 800 m dos talhões experimentais, foi usada para aquisição de medidas meteorológicas (radiação solar global, sensor CS305; temperatura e umidade relativa do ar, sensor HMP60; chuva, sensor TR525; velocidade do vento, sensor 034B; direção do vento, sensor WindSonic-2D) por meio de um datalogger CR1000, em intervalos de 60 s e registro das leituras a cada 30 min.

2.4 Medidas de radiação fotossinteticamente ativa interceptada

Em 14 datas ao longo do ciclo foram feitas medidas de radiação fotossinteticamente ativa acima (RFA_{AC}) e abaixo do dossel (RFA_{AB}) a partir de um ceptômetro calibrado previamente (AccuPAR - 80, Decagon Devices Inc., Pulman, USA): 10-set-15 (21 DAC); 28-out-15 (69 DAC); 12-nov-15 (84 DAC); 25-nov-15 (97 DAC); 9-dez-15 (111 DAC); 23-dez-15 (125

DAC); 12-jan-16 (145 DAC); 24-fev-16 (188 DAC); 10-mar-16 (203 DAC); 23-mai-16 (216 DAC); 20-abr-16 (244 DAC); 4-mai-16 (258 DAC); 18-mai-16 (272 DAC); e, 28-jul-16 (342 DAC). As medidas com o ceptômetro foram feitas entre 11 h e 13 h, com quatro medidas acima e quatro abaixo do dossel da cultura de maneira alternada, de modo que o instrumento cobrisse a metade da fileira e da rua de cultivo. As leituras foram realizadas em dez subparcelas, sempre nas mesmas posições, em condições de céu claro, conforme Silva et al. (2012).

2.5 Medidas biométricas e de biomassa seca das plantas

Quatro subparcelas de 2 m lineares por talhão foram demarcadas para contagem do número de colmos industrializáveis (104 DAC - dias após corte, 3-dez-15; 147 DAC, 15-jan-16; 194 DAC, 2-mar-16; 232 DAC, 9-abr-16; 257 DAC, 4-mai-16; 278 DAC, 25-mai-16; 306 DAC, 22-jun-16; e, 341 DAC, 27-jul-16). Nestes mesmos dias, registrou-se a estatura dos colmos (EC, cm) em doze réplicas por talhão com medidas realizadas desde a superfície do solo até a primeira folha completamente expandida. Além disso, cinco plantas, por talhão, distintas daquelas usadas na avaliação biométrica foram amostradas, pesadas individualmente em campo, e em laboratório fracionadas e pesadas separadamente em seis partes estruturais para determinação da biomassa fresca (folhas completamente expandidas - BFF, bainhas - BFB, folhas e bainhas mortas - BFFBM, folhas emergentes - BFFE, pseudocolmos - BFPC e colmos - BFC). O número (NI, unidades), comprimentos (CI, cm) e larguras (LI, mm) dos internódios foram registrados. Em seguida, todas as partes estruturais da planta foram inseridas em sacos de papel e, posteriormente, colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar com temperatura entre 55 e 65°C, durante 48 h (partes foliares, BSF, BSB, BSFBM, BSFE) e 96 h (partes caulinares: pseudocolmo - BSPC e colmo - BSC), até obter massa constante. As BSF, BSB, BSFBM, BSFE e BSPC foram consideradas como palhada (resíduo cultural sujeito a deposição após a colheita), sendo subdividida em estruturas foliares (BSF, BSB e BSFBM) e ponteiro (BSFE e BSPC). Todos os procedimentos biométricos e de biomassa seguiram a metodologia de Silva et al. (2012; 2014b).

2.6 Decomposição da palhada

Medidas da quantidade inicial de palhada e variação ao longo do tempo foram monitoradas em cinco datas: 4-set-15 (14 DAC); 3-dez-15 (104 DAC); 2-mar-16 (194 DAC); 4-mai-16 (257 DAC); 22-jun-16 (306 DAC); e 27-jul-16 (341 DAC), por meio de amostragem aleatória

de quatro replicas de 1,0 m² do resíduo cultural. As amostras foram fracionadas e secas em estufa de ventilação forçada de ar com temperatura entre 55°C e 65°C, por 48 h até obtenção de peso constante. Os dados das seis datas de coleta de palha foram usados no ajuste do modelo exponencial:

$$Y_p = a \cdot \exp. (-K \cdot DAC) \quad (1)$$

em que Y_p é a massa seca remanescente de palha, em t ha⁻¹, “a” é o coeficiente da equação que representa o valor inicial de massa seca, neste caso 27,2 Mg ha⁻¹ (dado medido no início do experimento), k é o coeficiente da equação, que indica a taxa de decomposição da palha (t dia⁻¹), e DAC são os dias após corte (dias). A partir do resultado do ajuste desse modelo, obteve-se a massa seca remanescente final (MSR), k foi usado no cálculo do tempo médio de meia vida ($t_{1/2}$), tempo com 5% da massa seca remanescente ($t_{5/100}$) e indicou-se o tempo necessário de deposição de palha nova (t_{dp}) pela cana-de-açúcar.

2.7 Composição mineral e liberação de nutrientes

Subamostras da massa seca por parte estrutural das plantas e de palhada foram trituradas em moinho tipo Willey para mensuração do C, macronutrientes e micronutrientes. A extração/exportação foi obtida pelo produto do conteúdo de nutriente e da produção de biomassa seca em cada estrutura da planta, e foi caracterizada como extração ou exportação a depender do sistema de cultivo. A liberação de nutrientes pela palhada foi calculada a partir da diferença de concentração de nutrientes e a quantidade de biomassa decomposta entre o início e final do ciclo.

2.8 Produtividade e índices industriais

A produtividade da cana-de-açúcar foi mensurada em toneladas de colmo por hectare (TCH, t ha⁻¹), a partir da extrapolação do peso médio de 20 parcelas de 35,2 m² amostradas antes da colheita definitiva da cultura. Subamostras dos colmos foram usadas na determinação dos índices industriais como percentagem bruta de açúcar (PC, %), açúcares totais redutores (ATR, %), sólidos solúveis totais (^oBrix), pureza (%), teor de fibras (%) e percentagem de sacarose no caldo (Pol, %), e estimativas do rendimento bruto de açúcar (RBAL, t ha⁻¹) e rendimento bruto de álcool (RBAÇ, m³ ha⁻¹).

2.9 Medidas auxiliares

Por meio dos dados de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) acima (RFA_{AC}) e abaixo (RFA_{AB}) do dossel da cana-de-açúcar nas suas áreas de cultivo, e dados meteorológicos da estação agrometeorológica, foram estimadas as seguintes variáveis: graus dias acumulados (GDA, °C dia), fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada ($fRFA_I$, adimensional); partição de biomassa; incremento de estatura dos colmos (IEC, cm dia⁻¹); e, volume dos internódios da cultura (VI, cm³). GDA foi calculado a partir da integração dos valores de GD diário (graus dia, GD diário = $t_m - t_b$), sendo t_m , a temperatura média do ar coletada na estação agrometeorológica da empresa AGROVALE, e t_b é a temperatura base da cultura igual a 16°C (SINCLAIR et al., 2004; SMITH; SINGELS et al., 2005). A fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada ($fRFA_I$) foi estimada por: $fRFA_I = 1 - RFA_{AB}/RFA_{AC}$ (SINGELS et al., 2005). A partição de biomassa foi estimada pela razão entre a biomassa individual de cada estrutura da planta (em Mg ha⁻¹) e a biomassa seca total da parte aérea (BSTPA, em Mg ha⁻¹). IEC foi calculado pela diferença da estatura dos colmos (EC) entre duas biometrias sucessivas (t_1 e t_2): $IEC = (EC_{t_2} - EC_{t_1}) / (DAC_{t_2} - DAC_{t_1})$, em que DAC_{t_2} e DAC_{t_1} são os dias após corte nos tempos 1 e 2. O VI (cm³) foi estimado a partir do comprimento (CI, cm) e largura do internódio (LI, mm), assumindo cada internódio como um cilindro perfeito:

$$VI = \left(\pi \left(\frac{LI}{10}\right)^2 / 4\right) \cdot CI \quad (2)$$

Sendo 10, o fator de conversão de mm para cm (SINCLAIR et al., 2005).

2.10 Eficiência do uso da água (EUA_{ET}) e de nutrientes (EUN_{wET}) com base na ΣET

A EUA_{ET} foi calculado pela razão $1.000 \cdot Y / \Sigma ET$, sendo 1.000 fator de ajuste de unidade de Mg para kg ou m³ para L; Y igual a BSTPA, TCH, RBAÇ ou RBAL; e, ΣET é a evapotranspiração acumulada ao longo do ciclo, expressa em mm, resultando nessa ordem, as seguintes unidades de EUA_{ET} : kg MS ha⁻¹ mm⁻¹, kg colmos ha⁻¹ mm⁻¹, kg de açúcar ha⁻¹ mm⁻¹ e L de álcool ha⁻¹ mm⁻¹ (SILVA et al., 2011a). Por sua vez, a EUN_{wET} foi calculada com base no Y, conteúdo de nutrientes (w, g kg⁻¹) e ΣET , assumindo a expressão: $EUN_{wET} = 1.000 \cdot Y \cdot [w] / \Sigma ET$, sendo 1.000 o fator de conversão de kg para g, com resultados expressos em g ha⁻¹ mm⁻¹ (SILVA et al., 2014b). A ΣET foi computada a partir da aplicação do método do balanço de energia com base na razão de Bowen, com medições micrometeorológicas e, cálculo do fluxo de calor latente (LE_{10}) e da evapotranspiração da cultura (ET_{10}) a cada 10

minutos, conforme procedimentos adotados por Silva et al. (2011b). Logo, $ET_{10} = (10.60.LE_{10}.\lambda^{-1}/1.000)$, em que, 10 e 60 são fatores de ajuste no tempo (10 minutos e 60 s); λ é o calor latente de evaporação, em kJ kg^{-1} ; e, 1.000 é o fator de conversão de λ em kJ kg^{-1} para J kg^{-1} .

2.11 Análise de dados e procedimentos estatísticos

Os dados experimentais dos dois talhões foram comparados entre si para avaliar os efeitos da manutenção da palhada no crescimento, desenvolvimento, produtividade e qualidade. Medidas de biometria, biomassa, contagem de colmos industrializáveis e índice de área foliar foram tratados com o teste paramétrico F de Fischer (F, $p < 0,05$ diferença entre sistemas de cultivo na mesma data de coleta). Todos os procedimentos estatísticos foram feitos por meio do aplicativo XLSTAT v.2016. Quando necessários ajustes de modelos matemáticos como sigmoide, gaussiano, exponencial e linear foram procedidos, com suas significâncias e de seus parâmetros analisados por meio dos testes F e Student t, ao nível de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Decomposição da palhada

A quantidade inicial da palhada depositada em campo ($27,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi acima das magnitudes relatadas na maioria dos estudos de cana-de-açúcar (5 a 20 Mg ha^{-1} , FORTES et al., 2012), mas ainda dentro da faixa observada em cultivos desta espécie (10 a 30 Mg ha^{-1} , TRIVELIN et al., 1996). A velocidade de decomposição da palhada foi de $0,0049 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 1), podendo ser considerada alta, ainda que dependa da quantidade e composição da palhada, atividade microbiana e do microclima do ambiente de cultivo (FORTES et al., 2012). No final do ciclo (342 dias), a massa seca remanescente foi $7,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Figura 2). Entretanto, percebe-se que a partir do dia 258 houve aumento da massa seca acima do solo, de $5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ para $8,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ no 307, devido a deposição de novas folhas. O tempo para incremento da massa seca da palha acima do solo, resultante da deposição de novas folhas da cana-de-açúcar, pode ser estimada pela expressão $tdp = 1,2642/k$, conforme proposto no presente estudo, em que k é a taxa de decomposição. Logo, a decomposição real foi de 73%, considerando a quantidade de palha inicial ($27,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) somada a deposição de novas folhas ($3,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) e a massa seca remanescente ($7,2 \text{ Mg ha}^{-1}$). Assim, o máximo de palhada $20,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ pode ser mantido acima do solo, visando minimizar o acúmulo para o ciclo subsequente.

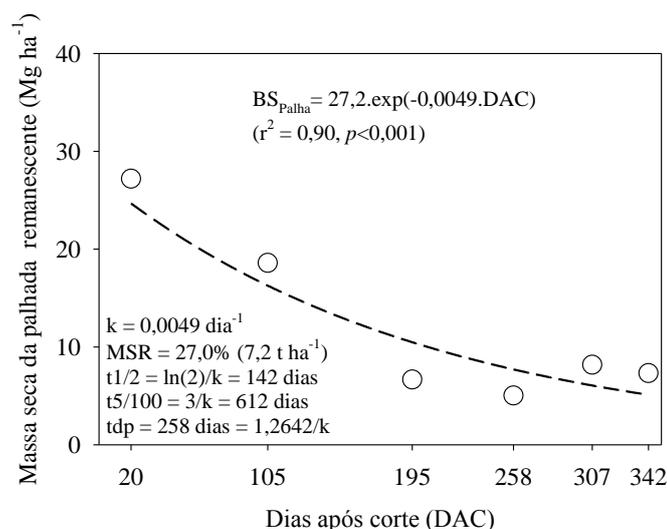


Figura 2. Massa seca da palhada remanescente ao longo do tempo, taxa de decomposição (k), massa seca remanescente em %, tempo de meia vida ($1/2$), tempo de decomposição de 95% e tempo de deposição de palha nova (tdp) em uma área de cultivo de cana-de-açúcar em sistema de manutenção de palha, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro.

A taxa de decomposição de 73% pode ser considerada alta, uma vez que a relação C:N de 142 no início do ciclo foi alta (Tabela 1), o que dificulta a mineralização dos nutrientes da massa seca. A massa seca remanescente de 27% está dentro da faixa de 25% a 36% citada por Vitti et al. (2008), trabalhando com palhada de cana-de-açúcar, em Pradópolis-SP, entretanto com cobertura inicial de $9,0 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Tabela 1. Concentração de [C], [N] e C/N inicial e final da palha, palha decomposta, e N e C liberados à cana-de-açúcar irrigada, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro

	Inicial			Final			Palha decomposta Mg ha^{-1}	C Liberado Mg ha^{-1}	N Liberado kg ha^{-1}
	[C] g kg^{-1}	[N] g kg^{-1}	C/N	[C] g kg^{-1}	[N] g kg^{-1}	C/N			
Média	47,5	0,44	142	44,10	0,74	64	20,0	0,98	5,4

Porém, o excesso de palhada, como verificado no presente estudo, pode resultar em efeitos nos ciclos subsequentes, uma vez que o tempo de meia vida foi de 142 dias, e o tempo para decomposição de 95% da palha inicial seria de 612 dias, acima dos 342 dias de duração do ciclo. Assim, para o próximo ciclo, além da palhada remanescente da nova colheita, adicionar-se-ia à massa seca depositada pela cultura e aquela resultante da colheita anterior. Portanto, a manutenção da palhada em grandes quantidades pode promover o efeito aditivo, de tal modo que prejudique o ciclo sucessivo.

A redução da [C] ao longo do tempo indica que houve liberação de C (Tabela 1), superior à mineralização da [N], a qual foi maior do que do final do ciclo. Por este motivo, houve redução de 55% da relação C:N. Este resultado tem sido observado em outros trabalhos com manutenção da palhada de cana-de-açúcar (VITTI et al., 2008).

A palhada decomposta ($20,0 \text{ Mg ha}^{-1}$) promoveu a liberação de $0,98 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C e $5,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, representando 76% e 49% das quantidades iniciais ($1,30 \text{ Mg ha}^{-1}$ de C e $11,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de N). Vitti et al. (2008) verificaram liberações de C entre $0,682$ e $1,097 \text{ Mg ha}^{-1}$ e de N entre $15,0$ e $25,7 \text{ kg ha}^{-1}$, equivalentes, nessa ordem, a 69,5% e 81,1% para C e de 49,5% e 70,5% para N, em relação as quantidade de C e N da massa seca de palhada inicial, nas condições climáticas de Pradópolis, São Paulo.

3.2 Crescimento e desenvolvimento da cultura

O número de colmos industrializáveis do sistema sem palha foi em média 2,6 colmos por m^2 maior do que o cultivo com palhada, entre o dia 104 e o final do ciclo, mas essa diferença não foi significativa ($F, p=0,076$, Figura 3A). Efeito da palhada foi constatado na estatura nos dias 147, 194, 232, 257 e no final do ciclo (341 dias), com diferença média de 0,38 m entre os colmos ($F, p=0,135$, Figura 3B).

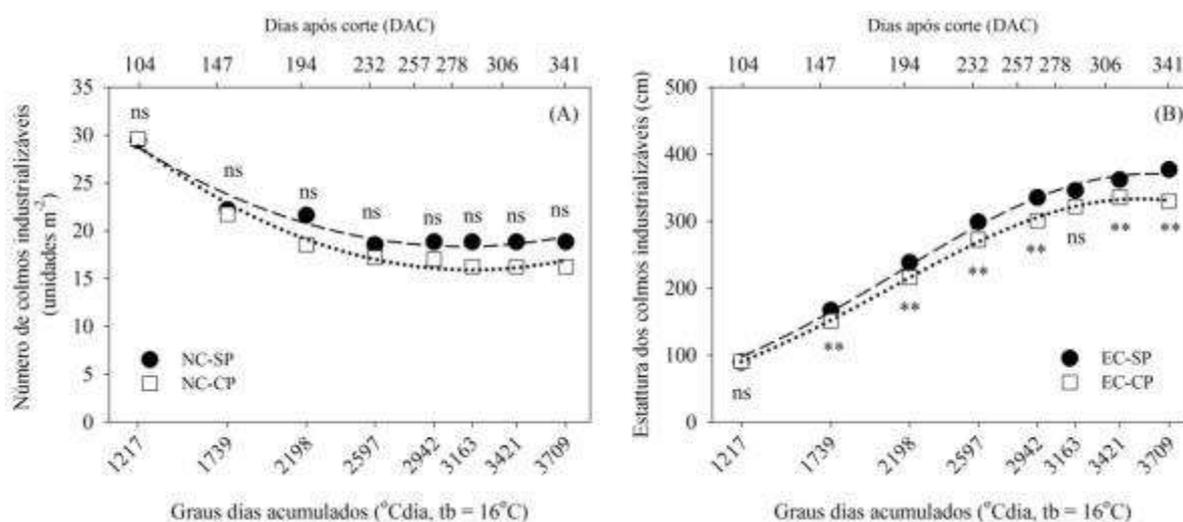


Figura 3. Número (A) e estatura (B) de colmos da cana-de-açúcar sob cultivos sem e com manutenção da palha acima do solo, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro. ** indica diferença significativa, dentro da mesma data, ao nível de significância de 5% pelo teste paramétrico F de Fisher (comparação entre duas amostras). ns - diferença não significativa.

As maiores estaturas das plantas no sistema sem palhada promoveram tombamento da cultura de maneira mais antecipada, quando comparado ao cultivo com palhada, que ocorreu

apenas próximo à colheita (Figura 4A). Carlin et al. (2008) citam que, o tombamento aumenta o comprimento e o número de internódios de variedades de cana-de-açúcar (IAC86-2210 e SP80-1842) e, por conseguinte, o rendimento da cultura, mas favorece o surgimento de brotões (caules mais grossos e folhas mais largas e curtas), que diminuem a qualidade da matéria prima, devido o reduzido teor de sacarose e alto teor de açúcares redutores (BERDING et al., 2005).

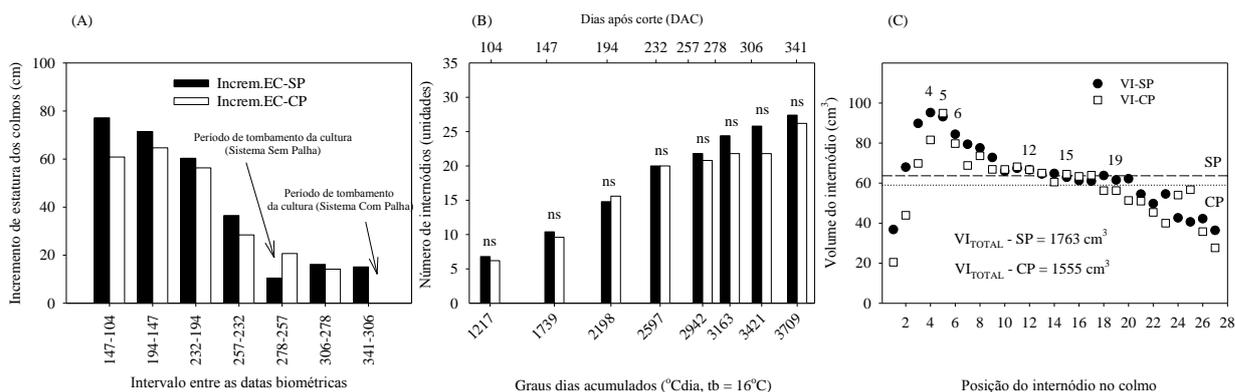


Figura 4. (A) Incremento da estatura do colmo, (B) número de internódios por colmo ao longo do tempo, e (C) volume do internódio em relação a sua posição no colmo da cana-de-açúcar sob cultivos sem e com manutenção da palhada, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro.

Na Figura 4C é possível verificar que os maiores volumes individuais ocorreram entre a 3ª e a 14ª posições. Nota-se ainda que, os volumes até a 6ª posição no cultivo com palhada foram menores do que no sistema sem palhada, embora não tenha havido diferença significativa para as três primeiras posições. Este resultado indica que a cana-de-açúcar sofreu limitação inicial no crescimento por causa da presença da palhada, a qual não foi constatada em algumas outras variáveis caulinares, uma vez que as suas medidas foram iniciadas apenas no dia 104 (Figura 3A, 3B e 4B).

As dimensões caulinares variaram mais em comprimento do que em largura ao longo das posições dos internódios (dados não mostrados) e com magnitudes superiores no sistema sem palhada; logo, ao final do ciclo, o volume total dos colmos foi 13% maior neste último sistema em relação ao cultivo com palhada, apesar de não significativa ($F, p > 0,05$, Fig. 4C).

Por conseguinte, o volume individual dos internódios pode ser considerado um ótimo indicador de análise do efeito da palhada no crescimento da cana-de-açúcar, mesmo que as suas medidas sejam obtidas apenas na ocasião da colheita. Porém, as medições de variáveis

biométricas ao longo do tempo permitem indicar o momento de superação dos efeitos da palhada no crescimento da cultura e a sua persistência até o final do ciclo.

O menor crescimento inicial está atrelado à barreira física promovida pela palhada, mas também pode estar associada à menor temperatura do solo ou excesso hídrico, que reduzem o crescimento da planta (AWE et al., 2015). Neste estudo, considerou-se a hipótese de que a melhoria do regime térmico-hídrico e nutricional pela decomposição da palhada compensariam as restrições físicas iniciais. Portanto, essa hipótese pode ser considerada verdadeira.

A velocidade de desenvolvimento da cana-de-açúcar também foi menor no cultivo com palhada, ainda que a temperatura do ar tenha sido superior ao sistema sem palhada ($0,7^{\circ}\text{C}$). Houve atraso de 248°C dia , no desenvolvimento da cana-de-açúcar no cultivo com palhada, para atingir 80% de cobertura do solo (Figura 5). Este resultado é análogo ao citado por Olivier e Singels (2015), que verificaram redução no desenvolvimento da cultura por causa da presença da palhada, nas condições climáticas da África do Sul.

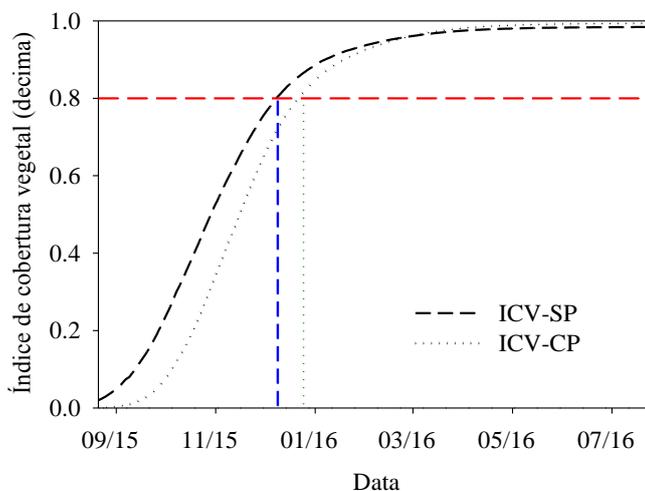


Figura 5. Índice de cobertura vegetal em duas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, uma sem e outra com manutenção da palha acima do solo, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro. A linha tracejada em vermelho indica o ICV de 80%, quando o solo está completamente coberto, enquanto as linhas tracejadas em azul e verde indicam os momentos de ocorrência do ICV de 80% nas áreas sem e com manutenção da palha, respectivamente.

3.3 Produtividade e indicadores de industriais

A partição final de biomassa para os colmos foi de 80% no sistema sem palhada e de 78% no cultivo com palhada. Dos 20% e 22% de resíduo cultural produzido nestes dois cultivos, a

maior parte foi composta por estruturas foliares (folhas e bainhas) e o restante por ponteiro (pseudocolmos e folhas emergentes) (Figura 6).

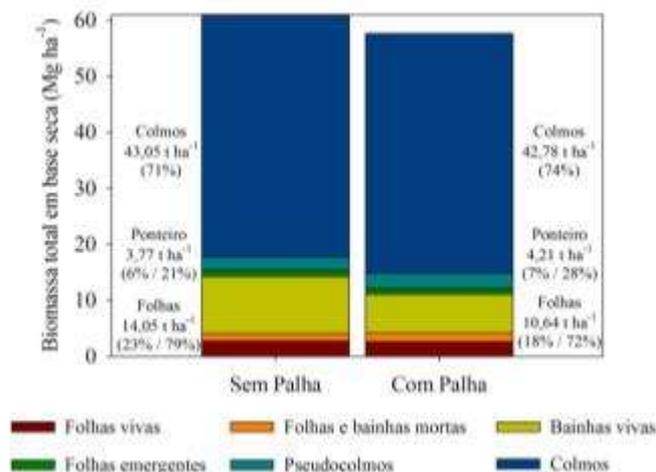


Figura 6. Massa total em base seca por parte estrutural da cana-de-açúcar sob cultivos sem e com manutenção da palha acima do solo, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro.

A produtividade total de biomassa seca foi 5,3% menor na área com palha (-3,3 t ha⁻¹), mas não foi significativa (F, p>0,05, Figura 6). Este resultado está bem associado ao número de colmos industrializáveis que também não foi modificado pela presença da cobertura, ainda que tenha afetado a estatura dos colmos (Figura 3B).

Em termos produtividade de colmos por hectare (TCH), também não houve efeito da palhada (F, p>0,05, Tabela 2), como era previsto, uma vez que a partição de biomassa para os colmos não foi diferente entre os cultivos, porém atingiu 4%. Olivier e Singles (2015) igualmente não verificaram efeitos significativos da palhada no rendimento da cana-de-açúcar, com redução de 9% em relação ao sistema sem palhada. Tendência similar foi citada por Souza et al. (2005) e Olivier e Singles (2012). Estes últimos autores obtiveram reduções de 4% e 15% durante o ciclo de cana planta e cana soca, nessa ordem. Para os demais indicadores de rendimento, apenas a pureza e teor de fibras foram maiores no cultivo com palhada (Tabela 2).

Tabela 2. Indicadores de rendimento e concentração de nutrientes (carbono e nitrogênio) obtidos na ocasião da colheita, aos 341 dias após corte, da cana-de-açúcar sob dois sistemas de cultivo, um sem e o outro com a manutenção da palha acima do solo, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro

Variável	Unidades	Sem Palha	Com Palha
TCH	Mg ha ⁻¹	166,76a	160,16a
Brix	°	18,62a	20,03a
Pureza	%	85,67b	85,90a
Fibra	%	15,73b	15,84a
PC	%	12,65a	13,62a
ATR	t ha ⁻¹	126,88a	136,08a
Pol	%	15,97a	17,21a
RBAÇ	t ha ⁻¹	21,08a	21,77a
RBAL	m ³ ha ⁻¹	15,12a	15,56a
[C]	Mg ha ⁻¹	2,89a	2,72b
[N]	kg ha ⁻¹	8,92b	14,21a

Médias na horizontal seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de significância de 5% ($\alpha < 0,05$) pelo teste paramétrico F de Fisher (comparação entre duas amostras), ou seja, não há efeito da manutenção da palha sobre o respectivo índice de rendimento. TCH - toneladas de colmos por hectare; PC - percentagem bruta de açúcar; ATR - açúcares totais redutores; POL, porcentagem de sacarose no caldo; RBAÇ, rendimento bruto de açúcar; e, RBAL, rendimento bruto de álcool.

3.4 Comparação da EUA_{ET} e EUN_{wET} entre os cultivos sem e com palhada

A EUA_{ET} em base de matéria seca da cana-de-açúcar aumentou 26% (Tabela 3), por causa da redução da evapotranspiração da cultura promovida com a palhada em campo (25%) e a pouca alteração da biomassa (-5,3% no cultivo com palhada em relação ao sistema com palhada). Em termos de TCH, o rendimento de açúcar e álcool os valores de EUA foram ainda maiores (28%, 38% e 37%, respectivamente). A EUA depende da variedade, manejo de água adotado e ciclo da cultura (cana planta ou soca) (OLIVIER e SINGELS, 2015), mas é fortemente afetada pela manutenção da palhada em campo. Em termos de TCH, a EUA no cultivo com palhada, obtido neste estudo, foi de 134,13 kg ha⁻¹ mm⁻¹, valor superior aos citados por outros autores. Olivier e Singels (2015), em Komatipoort, África do Sul, encontraram valores de até 138 kg ha⁻¹ mm⁻¹, para a cana-de-açúcar N14 sob diferentes níveis de cobertura do solo, arranjos de cultivo, manejos de irrigação e ciclos. Esses autores citam que a EUA da cana-de-açúcar aumenta bem com o uso de irrigação, podendo atingir valores de até 480 kg ha⁻¹ mm⁻¹, a depender das estratégias adotadas e do nível de precipitação. A palhada em campo também aumentou a eficiência de acúmulo de carbono e nitrogênio pela cana-de-açúcar, como reflexo da redução da evapotranspiração da cultura e, ou, aumento da extração de nitrogênio pela planta (F, $p > 0,05$, Tabela 3).

Tabela 3. Indicadores de eficiência do uso da água e de nitrogênio da cana-de-açúcar sob dois sistemas de cultivo, um sem e o outro com a manutenção da palha acima do solo, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro

		Sem Palha	Com Palha	Diferença (CP-SP)
EUA _{BSTPA} (base seca)	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	38,24b	48,27a	26%
EUA _{Folhas} (base seca)	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	8,83a	8,91a	1%
EUA _{Ponteiro} (base seca)	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	2,37b	3,53a	49%
EUA _{Palha} (base seca)	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	11,20b	12,44a	11%
EUA _{Colmos} (base seca)	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	27,04b	35,82a	32%
EUA _{TCH}	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	104,75b	134,13a	28%
EUA _{RBAÇ}	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	13,24b	18,24a	38%
EUA _{RBAL}	L ha ⁻¹ mm ⁻¹	9,50b	13,03a	37%
[EUN]-C	kg N ha ⁻¹ mm ⁻¹	1,82b	2,50a	37%
[EUN]-N	g N ha ⁻¹ mm ⁻¹	5,60b	8,79a	57%

Médias na horizontal seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de significância de 5% ($\alpha < 0,05$) pelo teste paramétrico F de Fisher (comparação entre duas amostras).

BSTPA - biomassa seca total da parte aérea; Folhas - biomassa seca das folhas bainhas vivas e mortas; Ponteiro - biomassa seca do pseudocolmo e folhas emergentes; Palha - Folhas e Ponteiro; TCH - toneladas de colmos por hectare; RBAÇ - rendimento bruto de açúcar; RBAL - rendimento bruto de álcool; C - carbono; e, N - nitrogênio.

4 CONCLUSÃO

1. A palhada equivalente a 27,2 Mg ha⁻¹ exibiu alta taxa de decomposição no Semiárido brasileiro, com liberação de 5,6 kg ha⁻¹ de N e 0,98 Mg ha⁻¹ de C, e massa seca de palhada remanescente de 27%.
2. O crescimento e desenvolvimento da cultura foram reduzidos até os primeiros 100 dias do ciclo.
3. A maioria dos indicadores de rendimento não foi afetada por causa da presença da palhada em campo, incluindo a produtividade em TCH, açúcar e álcool.
4. A eficiência do uso da água foi significativamente aumentada pela palhada em campo superior a 26% na seguinte ordem: TCH, açúcar, álcool e matéria seca.

REFERÊNCIAS

AWE, G. O.; REICHERT, J. M.; WENDROTH, O. O. Temporal variability and covariance structures of soil temperature in a sugarcane field under different management practices in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 150, p. 93-106, 2015.

BERDING, N.; HURNEY, A.P. Flowering and lodging, physiological-based traits affecting cane and sugar yield. What do we know oh their control mechanisms and how do we manage them? **Field Crops Research**, v. 92, n. 1, p. 261-275, 2005.

CARLIN, S. D.; SILVA, M. A.; ROSSETTO, R. Parâmetros biométricos e produtividade da cana-de-açúcar após tombamento dos colmos. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 845-853, 2008.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar. Safra 2015/16. Quarto Levantamento.** Brasília: CONAB, abril/2016. <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_14_09_06_31_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em: 15/08/2016.

FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in Sao Paulo state, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 42, p. 189-198, 2012.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2014.** <www.sidra.ibge.gov.br/bda>. Acesso em: 03/08/2016.

OLIVIER, F. C.; SINGELS, A. Increasing water use efficiency of irrigated sugarcane production in South Africa through better agronomic practices. **Field Crops Research**, v. 176, p. 87-98, 2015.

OLIVIER, F.C., SINGELS, A. The effect of crop residue layers on evapotranspiration, growth and yield of irrigated sugarcane. **Water SA**, v. 38, p. 77-87, 2012.

SANDHU, H.S.; GILBERT, R.A.; KINGSTON, G.; SUBIROS, J.F.; MORGAN, K.; RICE, R.W.; BAUCUM, L.; SHINE JR.. J.M.; DAVIS, L. Effects of sugarcane harvest method on

microclimate in Florida and Costa Rica. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 177, p. 101-109, 2013.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; FARIAS JÚNIOR, W. G. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 1257-1265, 2011a.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; SOUZA, L. S. B.; BRANDÃO, E. O. Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 139-147, 2011b.

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

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

SILVA, T. G. F.; MOURA, MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOUZA, L. S. B. Biomassa seca acumulada, partições e rendimento industrial da cana-de-açúcar irrigada no Semiárido brasileiro. **Revista Ceres**, v. 61, p. 686-696, 2014b.

SINCLAIR, T. R.; GILBERT, R. A.; PERDOMO, R. E.; SHINED, J.M.; POWELL, G.; MONTES, G. Volume of individual internodes of sugarcane stalks. **Field Crops Research**, v. 91, p. 207-215, 2005.

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

SINGELS, A.; SMIT, M. A.; REDSHAW, K. A.; DONALDSON, R. A. 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, 2005.

SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005.

TEIXEIRA, L. G., CORRADI, M. M.; FUKUDA, A., PANOSSO, A. R.; REICOSKY, D.; LOPES, A.; LA SCALA Jr, N. Soil and crop residue CO₂-C emission under tillage systems in sugarcane-producing areas of southern Brazil. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 327-335, 2013.

TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUÊS, J.C.S. & VICTORIA, R.L. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia-15N e uréia-15N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, n. 2, p.89-99, 1996.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; CANTARELLA, H.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; TRIVELIN, M.O.; TOALIARI, J.G. Mineralização da palhada e desenvolvimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2757-2762, 2008.

APÊNDICE



Figura. Localização das torres micrometeorológicas em duas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, uma sem e outra com manutenção da palha acima do solo, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro.