



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

RAMON PEREIRA BERNARDO

**RESPOSTA FISIOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR AO MANEJO DE
FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS**

AREIA

2021

RAMON PEREIRA BERNARDO

**RESPOSTA FISIOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR AO MANEJO DE
FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS**

Trabalho de Graduação apresentado à
Coordenação do Curso de Agronomia do Centro
de Ciências Agrárias da Universidade Federal da
Paraíba, em cumprimento às exigências para a
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Fabio Mielezrski

AREIA

2021

Catálogo na publicação
Seção de Catálogo e Classificação

B523r Bernardo, Ramon Pereira.

Resposta fisiológica da cana-de-açúcar ao manejo de fertilizantes organominerais / Ramon Pereira Bernardo.

- Areia:UFPB/CCA, 2021.

28 f.

Orientação: Fabio Mielezrski.

TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Fluorescência da clorofila. 3. Fotossíntese. 4. Trocas gasosas. I. Mielezrski, Fabio. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(02)

RAMON PEREIRA BERNARDO

**RESPOSTA FISIOLÓGICA DA CANA-DE-AÇÚCAR AO MANEJO DE
FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS**

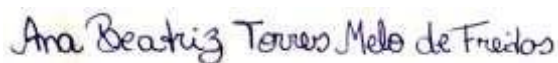
Trabalho de Graduação apresentado à
Coordenação do Curso de Agronomia do Centro
de Ciências Agrárias da Universidade Federal da
Paraíba, em cumprimento às exigências para a
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em: _06_/12_/2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fabio Mielezski – Orientador
DFCA/CCA/UFPB



MSc. Ana Beatriz Torres Melo de Freitas – Examinador
UFRPE



MSc. Josevaldo Ribeiro Silva – Examinador
UFRPE

Dedico este trabalho a Deus, ao meu pai Jose da Silva Bernardo, a minha mãe Severina Pereira Bernardo, que me dão forças e coragem para atingir meus objetivos.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que sempre iluminou meu caminho e me deu forças para seguir em frente nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Jose e Severina, que acreditaram em mim quando eu mesmo já não acreditava. Eles são dois anjos que Deus colocou em minha vida, e sem os quais não sou nada. A minha irmã Rayane e ao meu irmão Renan, por sempre terem uma palavra de apoio e me suportar até nos momentos mais estressantes. Amo vocês!

Agradeço a todos os meus amigos. Aos que conheço desde a infância e que mesmo na distância se fizeram presentes, e aos amigos que conquistei a pouco tempo, e que foram fundamentais para meu sucesso.

Ao meu orientador e professor Fabio, por sempre me atender, acompanhar meu trabalho, e principalmente pela paciência.

Enfim, sou grato a todos que de alguma forma contribuíram para que este momento fosse possível.

Obrigado a todos!

BERNARDO, Ramon Pereira. **Resposta fisiológica da cana-de-açúcar ao manejo de fertilizantes organominerais**. Areia – PB, 2021. 31 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba.

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma cultura de relevante importância para o agronegócio brasileiro. Para um bom desempenho produtivo dessa cultura, algumas medidas são necessárias, como por exemplo, a realização de fertilização mineral. Todavia, torna-se importante conhecer as respostas fisiológicas dessa cultura a esse tipo de manejo. Nesse sentido, este estudo objetivou avaliar as respostas fisiológicas da cultura da cana-de-açúcar ao uso e manejo de diferentes fertilizantes minerais mistos nas condições edafoclimáticas do Brejo Paraibano. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental de Chã de Jardim, no município de Areia, Paraíba. Utilizou-se um delineamento em blocos casualizados. Avaliou-se a variedade RB 867515 submetida a diferentes tratamentos com a mistura em diferentes proporções de 3 diferentes formulações de fertilizantes minerais mistos. Aos 360 dias após o plantio foram mensuradas as variáveis de trocas gasosas: concentração interna de carbono (C_i), transpiração (E), condutância estomática (g_s), taxa de fotossíntese (A), eficiência instantânea do uso de água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), e eficiência instantânea de carboxilação (EiC); bem como variáveis de fluorescência da clorofila: Fluorescência inicial (F_0), Fluorescência máxima (F_m), Eficiência Fotoquímica (F_v/F_m) e Fluorescência terminal (F_t), e ainda os teores de clorofila *a* e clorofila *b*. Observou-se efeito significativo dos diferentes tratamentos sobre as trocas gasosas da RB 867515, porém estes não influenciaram nas variáveis de fluorescência da clorofila, tampouco nos teores de clorofila *a* e clorofila *b* dessa variedade. O T6 propiciou os melhores valores de taxa de fotossíntese (A), eficiência instantânea do uso de água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), e eficiência instantânea de carboxilação (EiC). Dessa forma, tomando como base a importância dessas variáveis para a obtenção de uma melhor performance fisiológica da cana-de-açúcar, recomenda-se o uso do tratamento T6 para um melhor desempenho dessa cultura.

Palavras-chave: fluorescência da clorofila; fotossíntese; trocas gasosas.

BERNARDO, Ramon Pereira. **Physiological response of sugarcane to organic fertilizer management.** Areia – PB, 2021. 31 p. Course Completion Work (Graduation in Agronomic Engineering) - Federal University of Paraíba.

ABSTRACT

Sugarcane is a crop of relevant importance for Brazilian agribusiness. For a good productive performance of this crop, some measures are necessary, such as mineral fertilization. However, it is important to know the physiological responses of this culture to this type of management. In this sense, this study aimed to evaluate the physiological responses of the sugarcane crop to the use and management of different mixed mineral fertilizers in the edaphoclimatic conditions of Brejo Paraibano. The experiment was carried out at the Experimental Farm of Chã de Jardim, in the municipality of Areia, Paraíba. A randomized block design was used. The variety RB 867515 was evaluated submitted to different treatments with the mixture in different proportions of 3 different formulations of mixed mineral fertilizers. At 360 days after planting, the gas exchange variables were measured: internal carbon concentration (C_i), transpiration (E), stomatal conductance (g_s), photosynthesis rate (A), instantaneous water use efficiency (USA), intrinsic water use efficiency (E_iUA), and instantaneous carboxylation efficiency (E_iC); as well as chlorophyll fluorescence variables: Initial Fluorescence (F_0), Maximum Fluorescence (F_m), Photochemical Efficiency (F_v/F_m) and Terminal Fluorescence (F_t), as well as the contents of chlorophyll a and chlorophyll b. There was a significant effect of the different treatments on the gas exchange of RB 867515, but these did not influence the chlorophyll fluorescence variables, nor the chlorophyll a and chlorophyll b contents of this variety. T6 provided the best photosynthesis rate (A), instantaneous water use efficiency (USA), intrinsic water use efficiency (E_iUA), and instantaneous carboxylation efficiency (E_iC) values. Thus, based on the importance of these variables for obtaining a better physiological performance of sugarcane, the use of the T6 treatment is recommended for a better performance of this crop.

Key words: chlorophyll fluorescence; photosynthesis; gas exchange.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Taxas de fotossíntese (A) de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos de adubação com fertilizantes minerais mistos. Areia-Paraíba, 2021.	21
Figura 2. Eficiência instantânea do uso de água (EUA) de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos de adubação com fertilizantes minerais mistos. Areia-Paraíba, 2021.	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química dos fertilizantes utilizados no experimento.....	17
Tabela 2. Tratamentos utilizados no experimento.....	17
Tabela 3. Atributos químicos do solo da área experimental (0 - 0,20 m). Areia-PB, Brasil.	18
Tabela 4. Resumo da análise de variância para concentração interna de carbono (Ci), transpiração (E), condutância estomática (gs), taxa de fotossíntese (A), eficiência instantânea do uso de água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos de adubação com fertilizantes minerais mistos. Areia-Paraíba, 2021.....	19
Tabela 5. Concentração interna de carbono (Ci), transpiração (E), condutância estomática (gs) de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos de adubação com fertilizantes minerais mistos. Areia-Paraíba, 2021.....	20
Tabela 6. Eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos de adubação com fertilizantes minerais mistos. Areia-Paraíba, 2021.....	23
Tabela 7. Resumo da análise de variância para Fluorescência inicial (F_0), Fluorescência máxima (F_m), Eficiência Fotoquímica (F_v/F_m) e Fluorescência terminal (F_t), Clorofila <i>a</i> e Clorofila <i>b</i> de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos de adubação com fertilizantes minerais mistos. Areia-Paraíba, 2021.....	24

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1. A cultura da cana-de-açúcar.....	11
2.2. Adubação Mineral Mista.....	12
2.3. Fisiologia da cana-de-açúcar.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5. CONCLUSÕES	22
REFERÊNCIAS	23

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) tem sido uma cultura de destaque, tendo em vista a alta produção de derivados como o açúcar, melaço, bagaço e o etanol (OLIVEIRA et al., 2020). A sua importância econômica está ligada à sua função de mobilização do setor industrial, seja na produção de biocombustível renovável ou por intermédio da exportação de açúcar (SILVA et al., 2017). Destaca-se que essa cultura contribui com cerca de 80% do total da produção mundial de açúcar, produzindo receitas anuais de cerca de US\$ 150 bilhões (ALI et al., 2019). No estado da Paraíba, a cana-de-açúcar representa uma importante fonte de recursos para a economia local (SILVA et al., 2020), e a região do Brejo Paraibano se destaca por ser uma forte área produtora da cultura, sendo uma região tradicionalmente ocupada por engenhos (MENEZES et al., 2013; PESSOA et al., 2021).

A produção de cana-de-açúcar pode ser diretamente influenciada por diversos fatores como tipo de solo, método de plantio, escolha da variedade, condições edafoclimáticas e manejo cultural (SILVA, 2019). Dessa forma, para se obter uma máxima resposta da cultura, é essencial que se tenha um bom planejamento e monitoramento correto de todas as atividades envolvidas no seu ciclo, desde o plantio até a colheita (ARCOVERDE et al., 2019). Diversas áreas agrícolas apresentam deficiências de nutrientes, o que aponta a necessidade de adubações nos canaviais, podendo ser uma prática economicamente viável devido à elevação na qualidade fotossintética foliar, produtividade de colmos e qualidade tecnológica (LIRA, 2018).

A fotossíntese desempenha um papel fundamental na produção de biomassa e produtividade das culturas, no entanto, para a cana-de-açúcar o entendimento desse importante processo fisiológico é ainda limitado quando comparado com outras espécie C₄. Cenário esse que reforça a necessidade de estudos detalhados da fisiologia dessa cultura, principalmente no tocante a fotossíntese foliar (MATTIELLO et al., 2015).

Os estômatos presentes nas folhas desempenham papel fundamental para o controle da perda de água e ganho de carbono pela planta (SIMÕES et al., 2012). Segundo Taiz e Zieger (2004), a condutância estomática é afetada por diversos fatores, mesmo que de forma moderada os estômatos tendem a se fechar logo nos estádios iniciais de estresses; podendo acarretar outras consequências para a cultura da cana-de-açúcar, como redução na disponibilidade de substrato (CO₂) para atividade fotossintética. Assim, a mensuração de parâmetros relacionados as respostas fisiológicas da cultura são essenciais, auxiliando à tomada de decisões (SAMPAIO et al., 2014).

Nesse sentido, esse estudo objetivou avaliar as respostas fisiológicas da cultura da cana-de-açúcar ao uso e manejo de diferentes fertilizantes minerais mistos nas condições edafoclimáticas do Brejo Paraibano.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar mostra-se como uma das culturas mais produtivas do planeta em termos de acúmulo de biomassa por unidade de área, com capacidade de atingir picos de produção de matéria seca de aproximadamente 100 t/ha (WACLAWOVSKY et al., 2010). A cultura possui uma participação aproximada de 12% de todo o território agrícola brasileiro, com área cultivada de 8.442 milhões de hectares e produção de 642717 mil toneladas de colmos atribuídos às agroindústrias (IBGE, 2020). Diversos são os aspectos positivos da cultura e seus derivados para o país, sendo notório o avanço de pesquisas na área, além do vasto desenvolvimento que vem sendo utilizado com o intuito de elevar a obtenção de variedades com requisitos adequados a interesses industriais e agrônômicos (BARRETO, 2016).

Essa cultura é uma planta monocotiledônea, pertencente ao gênero *Saccharum*, e da família das Poaceae (SINGH et al., 2018), sendo nativa da Ásia, com cultivo datado a mais de 4000 anos (REDAE & AMBAYE, 2018). Além disso, a espécie tem destaque por possuir características na conversão de energia solar em energia química (SINGH et al., 2018). A cana-de-açúcar possui ciclo semi-perene, sendo caracterizada como uma planta C4, pelo fato de seu primeiro composto orgânico estável apresentar quatro carbonos, sendo, de forma geral, adaptada à alta luminosidade, escassez hídrica e altas taxas de temperaturas (LACERDA et al., 2019).

O Brasil se destaca como maior produtor mundial de cana-de-açúcar, apresentando produção anual superior a 730 milhões de toneladas, correspondendo a 39% de produção global, seguindo pela Índia (19%), China (6%) e Tailândia (6%), respectivamente (SILALERTRUKSA & GHEEWALA, 2018). Nas últimas décadas, a produção brasileira desta cultura teve dobramento, sendo movida pela necessidade de atender as demandas globais de bioenergia para diminuir a dependência do petróleo bruto e mitigar as mudanças climáticas promovidas pela queima de combustíveis fósseis (BORDONAL et al., 2018).

A produção de cana-de-açúcar no país se concentra em duas regiões distintas: Nordeste e Centro-Sul (SIGNOR et al., 2013). O Nordeste do Brasil é uma região com extensa tradição

no cultivo desta espécie, abrigando em torno de 10% da área total de cana-de-açúcar e 7% da produção canavieira do país (CARDOSO et al., 2019). Na Safra 2019/20, o estado da Paraíba, situado na Região Nordeste do país, representou cerca de 1,5% da área cultivada de cana-de-açúcar no Brasil, apresentando uma produtividade de 54,83 t/ha, ficando abaixo da média nacional de 76,13 t/ha (CONAB, 2020).

Segundo Sousa e Pereira (2016), a cana-de-açúcar se destaca por possuir uma participação equivalente em 38,9% das atividades agrícolas do Brejo Paraibano, sendo considerada a cultura de maior domínio na microrregião. No município de Areia, essa cultura apresenta relevante importância, com ganhos produtivos nos últimos anos, todavia, diante da baixa tecnificação usada para essa cultura no município, a adoção de práticas apropriadas, como a nutrição mineral adequada, poderia melhorar substancialmente a produtividade local dessa cultura (PESSOA et al., 2021).

2.2. Adubação Mineral Mista

A adubação inadequada pode ocasionar em deficiências nutricionais a cultura da cana-de-açúcar, afetando o seu desenvolvimento, produtividade e qualidade do produto comercial, tendo como consequência a redução do acúmulo de fotoassimilados, principalmente carboidratos (CASTRO et al., 2007). Nesse sentido, fazer uso de adubação mineral mista na cana-de-açúcar é essencial.

Segundo o MAPA (2007), sob a instrução normativa nº 5, os fertilizantes minerais mistos são resultado da mistura física de dois ou mais fertilizantes simples ou complexos, e os fertilizantes minerais complexos são o produto formado de dois ou mais compostos químicos, sendo resultado de uma reação química de seus componentes, no qual podem apresentar dois ou mais nutrientes cruciais.

Os adeptos a adubação mineral mista afirmam ser uma associação que promove a proteção do íon fosfato, evitando sua fixação pelo solo, que a disponibilidade do nitrogênio é mais lenta e gradual e o potássio são absorvidos em partes pelos húmus, afim de evitar sua lavagem pela água da chuva, sendo, portanto, uma associação que ajuda a melhorar o fornecimento de macro e micronutrientes às plantas (ALBUQUERQUE et al., 2010). Além disso, os fertilizantes minerais apresentam características específicas em relação à sua capacidade de liberar nutrientes (AQUINO et al., 2006).

A resposta da adubação em plantas é influenciada por vários fatores, destacando as fontes de nutrientes utilizados na adubação, sendo uma importante combinação a associação de adubos minerais mistos, alcançando uma maior eficiência quando comparado ao uso de

qualquer outro separadamente (GODINHO et al., 2019). Assim, os fertilizantes minerais mistos são uma boa alternativa como potencial de uso agrícola para o setor canavieiro, com menor custo em relação aos fertilizantes químicos (MALAQUIAS & SANTOS, 2016).

A adubação mineral que é utilizada com componentes químicos a base de NPK ainda é muito utilizada pelas unidades produtoras de cana-de-açúcar, tendo em vista a forma rápida de liberar os nutrientes necessários para a produção da cultura (EMBRAPA, 2005). Entretanto, ainda segundo a Embrapa, por liberarem os nutrientes de forma mais rápida, estes acabam também por terem sua durabilidade reduzida. Portanto, a associação entre a adubação mineral mista (organomineral), utiliza resíduos como fonte de matéria orgânica, sendo misturada aos nutrientes minerais, principalmente de NPK, apresentando vantagens como a liberação gradativa dos nutrientes, resultando em menor lixiviação de nutrientes minerais, menor fixação de fósforo e maior eficiência agrônômica (RUPPENTHAL & CONTE, 2005).

Posto isso, para a nutrição da cana-de-açúcar tem-se os fertilizantes. Consequentemente, as importações de fertilizantes minerais mistos são crescentes, sendo justificada pelo balanço negativo entre produção e demanda nacional (CRUZ et al., 2017). Na safra 2019/20, foram importados 2.376. 887 toneladas de fertilizantes, sendo este valor 19,5% maior que na safra 2018/19 (COMEXSTAT, 2019).

Atualmente, a fabricação de fertilizantes minerais mistos destinados a aplicações foliares em culturas como a cana-de-açúcar tem tido uma enorme demanda pelo setor agrícola, e isso se dá devido a sua técnica de aplicação de nutrientes na cultura que se baseia na absorção passiva e ativa desses nutrientes pela planta (PEREIRA & MELLO, 2002). Assim, fica evidente a importância da adubação com fertilizantes adequados as necessidades fisiológicas da cultura com o intuito de se obter uma maior produtividade (RÓS et al., 2013).

2.3. Fisiologia da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar por ser uma planta C4, possui grande eficiência fotossintética e elevado ponto de saturação luminosa, gerando maiores taxas de fotossíntese a depender de maiores picos de radiação solar e, consequentemente, maior crescimento e acúmulo de açúcar nos colmos (AUDE, 1993). Ainda segundo o autor, na presença de maior radiação solar, os colmos são mais grossos e curtos, enquanto que as folhas são mais largas e verdes, elevando assim, a produtividade. Por sua vez, a maturação é considerada a fase fisiológica da cana-de-açúcar que proporciona um maior retorno econômico, sendo definida pelos fisiologistas como um estágio senescente, entre o crescimento rápido e a morte final da planta (TOPPA et al., 2010).

Essa cultura apresenta boa adaptação às regiões de clima tropical, quente e úmido, com temperaturas ótimas dentro da faixa de 19° e 32°C, assim como equilibrada distribuição hídrica, obtendo por ano uma precipitação pluvial média acumulada maior que 1000 milímetros (MARIN, 2021). Além da temperatura, a condição hídrica é um dos principais fatores que limitam a produção da cana-de-açúcar, e sua necessidade é diferente em cada estágio fenológico (FERREIRA FILHO, 2019). Estima-se que a necessidade hídrica ideal da cultura está em torno de 1500 a 2500 mm durante o seu ciclo, que devem ser distribuídos uniformemente durante o desenvolvimento da cultura (AVILEZ, 2018).

Nas células do mesófilo, o mecanismo de concentração de CO₂ permite aos vegetais, especialmente os de estruturas C₄, fechar moderadamente os estômatos, diminuindo a condutância estomática e a transpiração quando sujeitas a altas concentrações de CO₂ (LUCCHESI, 2001). De maneira geral, essas informações correspondem à quantidade de material presente na planta e o tamanho do aparelho fotossintetizante (área foliar), alcançadas a intervalos regulares durante o desenvolvimento fenológico da planta (URCHEI et al., 2000). Os processos de bioconversão de energia na cana-de-açúcar são mais afetados de maneira efetiva pelos parâmetros ambientais relacionados a luz (intensidade e quantidade), concentração de CO₂, disponibilidade de água, nutrientes e temperatura (RODRIGUES, 1995).

A condição inicial para que ocorra a fotossíntese é a absorção de energia radiante através dos pigmentos fotossintéticos, como as clorofilas, que absorvem radiação luminosa dentro da faixa de 400 a 700nm (LARCHER, 2000). Ademais, os sistemas fotossintéticos contêm um ou mais pigmentos capazes de absorver a radiação luminosa, sendo as clorofilas a e b as abundantes nas plantas verdes, podendo ser utilizadas como indicador de resposta à sombra e senescência precoce (VALADÃO, 2020).

A cana-de-açúcar apresenta um bom crescimento em insolação da ordem de 18 a 36 MJ m⁻² dia⁻¹, sendo a duração e intensidade do brilho solar essenciais no perfilhamento da cultura, bem como no crescimento dos colmos que aumentam em fotoperíodo entre 10 e 14 horas (VIANNA, 2014). Além disso, a radiação solar contribui de maneira direta no rendimento final da cana-de-açúcar através de sua capacidade de converter em biomassa através do processo de fotossíntese (SILVA et al., 2014).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Chã de Jardim, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCA-UFPB), no período de julho de 2020 a setembro de 2021, localizada no município de Areia, Paraíba, nas coordenadas

geográficas 6° 58' 12" S e 35° 45' 15" W e uma altitude de 575 m. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (SANTOS et al., 2013). Segundo a classificação de Köppen o clima local é caracterizado como quente e úmido (As), com precipitação média anual de 1400 mm e temperatura média anual de 24,5 °C (RIBEIRO et al., 2018).

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 parcelas. Foram utilizados três fertilizantes minerais mistos, em forma líquida, cujas composições são encontradas na (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química dos fertilizantes utilizados no experimento.

Fertilizantes	Nutrientes (%)											
	N	P ₂ O ₅	K	COT	Mg	S	B	Ca	Cu	Mn	Mo	Zn
A	-	6	-	4	-	-	-	-	-	-	1	2
B	8	25	-	1.4	-	0.2	0.1	-	0.1	0.2	0.02	0.2
C	4	8	2	6	0.3	1	0.3	0.5	0.2	2	0.4	0.5

Fonte: Fabricante.

Os tratamentos utilizados estão dispostos na Tabela 2. A época de aplicação dos produtos variou de acordo com os tratamentos testados. As aplicações aos 0 DAP foram realizadas no plantio em fundo de sulco, enquanto que as realizadas aos 90 DAP foram realizadas via foliar.

Tabela 2. Tratamentos utilizados no experimento.

Tratamento	Formulação
T1	Testemunha Absoluta
T2	0,5 L ha ⁻¹ Produto A (0 DAP) + 2,0 L ha ⁻¹ Produto B (0 DAP)
T3	1 L ha ⁻¹ Produto A (0 DAP) + 2,0 L ha ⁻¹ Produto B (0 DAP)
T4	1 L ha ⁻¹ Produto A (0 DAP) + 1,0 L ha ⁻¹ Produto B (0 DAP) + 1,0 L ha ⁻¹ Produto C (0 DAP)
T5	1 L ha ⁻¹ Produto A (0 DAP) + 1,0 L ha ⁻¹ Produto B (0 DAP) + 1,0 L ha ⁻¹ Produto C (90 DAP)
T6	0,5 L ha ⁻¹ Produto A (0 DAP) + 2,0 L ha ⁻¹ Produto B (0 DAP) + 1,0 L ha ⁻¹ Produto C (90 DAP)

Utilizou-se nesse experimento a variedade de cana-de-açúcar RB867515. No processo de implantação, os sulcos foram abertos de forma mecanizada a uma profundidade entre 20 e 30 cm e o plantio foi executado de forma manual com 15 gemas por metro linear, utilizando-se da técnica padrão pé e ponta, com distribuição uniforme dos colmos nos sulcos, que foram cortados em toletes com tamanho médio de 60 cm. Os produtos adquiridos em forma líquida, foram

diluídos seguindo a medida recomendada por hectare e aplicados com o auxílio de bombas pulverizadoras costais com capacidade para 20 L de calda. Utilizou-se espaçamento de 1,0 m entre planta, 1,5 m entre linhas e de 2,0 m entre blocos. Cada suco apresentava um tamanho de 5 m. Os atributos químicos do solo da área experimental estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3. Atributos químicos do solo da área experimental (0 - 0,20 m). Areia-PB, Brasil.

pH (em água)	P	K	Na	H+Al	Al	Ca	Mg	SB	CTC	MO
	mg dm ³		cmolc dm ³						g kg ⁻¹	
5,9	1.46	25.26	0.07	4.50	0.0	3.69	2.04	5.86	10.37	46.83

(P e K): Extrator Mehlich-1; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; MO: matéria orgânica.

As avaliações foram realizadas ao final do ciclo da cultura, no momento da colheita, aos 360 dias após o plantio (DAP). As trocas gasosas foram medidas, em três plantas por parcela nas folhas +1 das plantas no período das 9:00 às 12:00 da manhã com um analisador de gás infravermelho- IRGA modelo LCpro-SD da BioScientific®. As análises foram realizadas sob luz natural na face abaxial das folhas. Foram coletados os valores da taxa de fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); concentração de carbono interno (Ci) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$); condutância estomática (gs) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e transpiração (E)($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$).Correlacionando os dados obtidos através da leitura do IRGA, foi possível calcular a eficiência instantânea do uso de água (EUA) (A/E) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$]; eficiência intrínseca do uso de água (EiUA)(A/gs)[$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$];e eficiência instantânea de carboxilação (EiCi, A/Ci) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$].

Com o auxílio de um fluorômetro modulado PlantEfficiencyAnalyser – PEA II® (HansatechInstrumentsCo., UK), avaliou-se a fluorescência da clorofila *a* inicial (F_0), máxima (F_m) e terminal (F_t), e a eficiência fotoquímica (F_v/F_m), em três plantas por parcela. As leituras foram realizadas no período da manhã, juntamente com as análises de trocas gasosas.

A determinação dos índices de clorofila *a* e *b* e foi realizada por método não destrutivo, com um clorofilômetro portátil (ClorfiLOG®, modelo CFL 1030). Realizaram-se três leituras por planta, e em seguida foi calculada a média.

Os dados foram submetidos a Análise de Variância (ANOVA) pelo teste F e posterior teste de médias pelos critérios de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, com auxílio do programa estatístico R® versão 3.6.1 (R CORE TEAM, 2019).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância (ANOVA) para as variáveis de trocas gasosas está descrito na Tabela 4. Observou-se efeito significativo ($p < 0.001$) dos diferentes tratamentos utilizados sobre todas as variáveis de trocas gasosas da cana-de-açúcar, demonstrando assim, que estes diferem entre si.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para concentração interna de carbono (Ci), transpiração (E), condutância estomática (gs), taxa de fotossíntese (A), eficiência instantânea do uso de água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos de adubação com fertilizantes minerais mistos. Areia-Paraíba, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio						
		Ci	E	gs	A	EUA	EiUA	EiC
Tratamento	5	275.867**	0.56268**	9.60E-04**	54.678**	81.469**	7255.9**	1.64E+03**
Bloco	3	4.333**	0.0000 ^{ns}	6.67E-05 ^{ns}	0.724*	0.2391*	795.1 ^{ns}	1.95E-05*
Resíduo	15	0.333	0.00005	4.00E-05	0.176	0.0668	484	5.35E-06
Média		186.16	1.61	0.04	5.89	3.45	142.71	0.031
CV (%)		0.31	0.44	15.81	7.1	7.48	15.41	7.26

ns,**e *: não significativo e significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; FV – Fonte de Variação; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de liberdade.

Para a concentração de carbono interno (Ci)(Tabela 5), observou-se que o T4 propiciou a obtenção do melhores resultados, sendo superior estatisticamente aos demais tratamentos. Em contraste, resultados inferiores para essa variável foram obtidos no T2, T3 e T5. No entanto, mesmo para esses tratamentos, a Ci foi superior a observada em outros trabalhos na literatura, como para a variedade SP 81-3250 ($171,67 \mu\text{mol mol}^{-1}$)(FARIA et al., 2013) e para a própria RB867515 ($156.25 \mu\text{mol mol}^{-1}$)(GONÇALVES et al., 2017) que foi a variedade usada nesse estudo.

Tabela 5.Concentração interna de carbono (Ci), transpiração (E), condutância estomática (gs)de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos de adubação com fertilizantes minerais mistos. Areia-Paraíba, 2021.

Tratamento	Ci($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	E($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	gs($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
1	184 b	2.08 a	0.06 a
2	182 c	1.45 b	0.03 b

3	182 c	1.45 b	0.03 b
4	203 a	1.18 c	0.03 b
5	182 c	1.45 b	0.03 b
6	184 b	2.08 a	0.06 a

Médias com mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

O uso conjunto das fontes de fertilização mineral mista influenciou significativamente na transpiração da cana-de-açúcar, levando a obtenção de resultados inferiores a testemunha (T1), com exceção do T6, que não diferiu desse tratamento controle (Tabela 5). Destaca-se que independente dos tratamentos utilizados, os valores médios de transpiração foram inferiores aos reportados para a variedade RB 867515 ($2,85 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), e para outras como a RB 855156 ($2,87 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e SP 80-1816 ($2,72 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (TORRES et al., 2012). Resultados que indicam uma menor atividade de trocas gasosas nos tratamentos T2, T3, T4 e T5, o que se deve provavelmente a uma situação de restrição de água no solo (BARBOZA&TEIXEIRA FILHO, 2017).

Menores médias oriundas do uso conjunto da adubação mista também foram observados para a condutância estomática, em que apenas o T6 foi igual estatisticamente a testemunha (T1) (Tabela 5), podendo esses valores baixos ocasionados devido à perda de água por transpiração, podendo ser uma resposta ao estresse hídrico. Esses baixos resultados possivelmente estão relacionados ao período de avaliação, que se deu na estação seca, em que a cultura se encontrava perto do ponto de colheita, no mês referente a setembro, em que as chuvas começaram a cessar. A cultura da cana-de-açúcar quando sob restrição hídrica reduz suas taxas de trocas gasosas, o que se deve a menor pressão de turgor das células-guarda, resultando assim, também em uma menor condutância estomática (GONÇALVES et al., 2017). A regulação da condutância estomática é importante porque permite que as plantas reduzam o consumo de água, evitando assim, perdas excessivas desse recurso (BARBOZA&TEIXEIRA FILHO, 2017).

A aplicação de fertilizantes minerais mistos com base no tratamento 6 propiciou os melhores resultados de taxas de fotossíntese (Figura 1), com média de $12,52 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Resultado esse superior em 38.09% quando comparado com a taxa fotossintética do tratamento testemunha (T1) ($7,75 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Para a mesma variedade aqui estudada (RB 867515), Gonçalves et al. (2017) obtiveram média de taxa fotossintética de $11,10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aos 260 dias após o plantio.

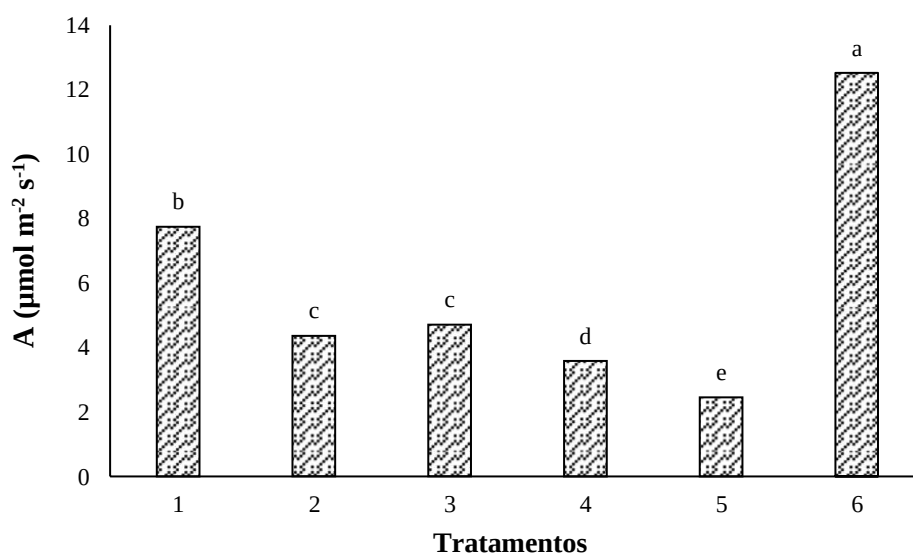


Figura 1. Taxas de fotossíntese (A) de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos de adubação com fertilizantes minerais mistos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Areia-Paraíba, 2021.

Muito provavelmente os melhores resultados obtidos com o T6 são derivados da concentração de nitrogênio presente nessa mistura, que dentre os tratamentos, é o que apresenta as maiores dosagens desse nutriente ($2,0 \text{ L ha}^{-1}$ Produto B (8% de N por litro) e $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ Produto C (4% de N por litro)) (Tabela 1). O nitrogênio é o principal componente do aparato fotossintético da cana-de-açúcar. As plantas exibem uma capacidade notável de detectar fatores ambientais, como por exemplo, o suprimento de N, nesse contexto, o conteúdo específico de nitrogênio foliar afeta positivamente a fotossíntese, com aumentos lineares em resposta ao aumento do teor de N nas folhas da cana-de-açúcar (BASSI et al., 2018).

No T6 também foram obtidos os melhores valores de eficiência instantânea do uso de água (EUA) (Figura 2). Essa variável reflete a quantidade de assimilação de carbono em relação ao uso da água, sendo considerada um fator chave para a melhoria do rendimento das culturas, visto que a disponibilidade de água é o fator ambiental mais importante para a limitação da produção agrícola. Assim, maiores valores de EUA são desejáveis, pois refletem o potencial de gerar um maior ganho de carbono, e, conseqüentemente, maior produção de biomassa em relação à quantidade de água usada pela cultura, ou seja, maior produção de matéria seca por grama de água transpirada ou fixação de mais carbono por grama de água transpirada (LEAKEY et al., 2019).

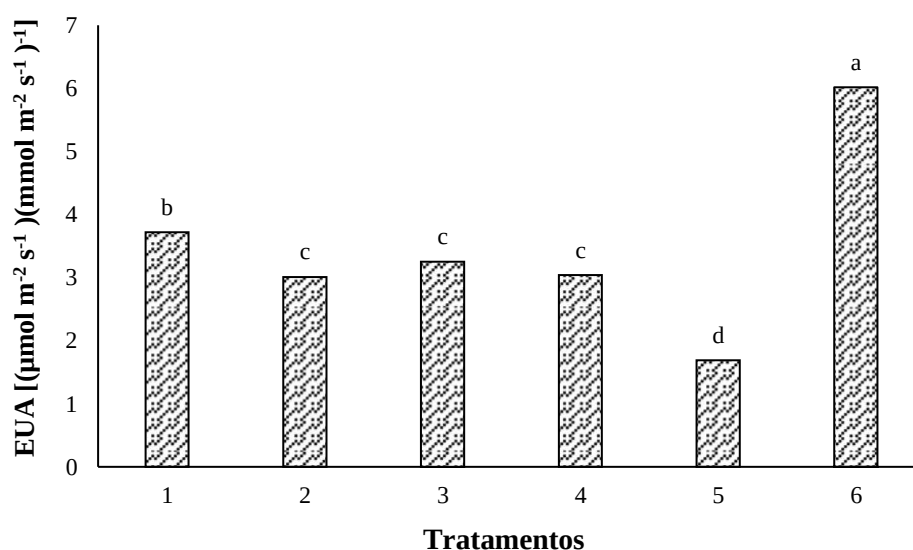


Figura 2. Eficiência instantânea do uso de água (EUA) de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos de adubação com fertilizantes minerais mistos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Areia-Paraíba, 2021.

Resultados superiores de eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) também foram propiciados pelo T6, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 6). Para a EiUA é importante frisar que aumentos dessa variável podem estar relacionados a estratégia da planta de fechamento dos estômatos visando reduzir o estresse hídrico, porém sem redução correspondente das taxas fotossintéticas (YI et al., 2018).

Tabela 6. Eficiência intrínseca do uso da água (EiUA), e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos de adubação com fertilizantes minerais mistos. Areia-Paraíba, 2021.

Tratamento	EiUA[(μmol m ⁻² s ⁻¹)(mol m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹]	EiC[(μmol m ⁻² s ⁻¹)(μmol mol ⁻¹) ⁻¹]
1	130.35 c	0.042 b
2	145.33 c	0.023 c
3	164.27 b	0.025 c
4	119.58 c	0.017 d
5	85.75 d	0.013 e
6	211.01 a	0.068 a

Médias com mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

A eficiência de carboxilação instantânea (EiC) é uma variável usada para identificar a ação de fatores não estomáticos que interferem nas taxas de assimilação de CO₂. Assim, resultados como os propiciados pelo T6 podem estar relacionados a um aumento da atividade da ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase (Rubisco) nas plantas desse tratamento (LIMA et al., 2022). Além disso, a relação desse tratamento com o resultado, pode ter se dado devido as épocas de aplicações bem como os próprios nutrientes que compõem o tratamento (Tabela 1).

Deve-se considerar que maior eficiência nas trocas gasosas, derivadas de maior capacidade fotossintética, maior eficiência instantânea do uso de água e maior eficiência intrínseca do uso da água, como observado no T6, são correlacionadas positivamente com aumento da produção de biomassa e produtividade (LEAKEY et al., 2019), ou a manutenção da produtividade da cana-de-açúcar durante períodos de seca (SILVA et al., 2013).

Os melhores resultados obtidos no T6 possivelmente estão associados a seu maior teor de nutrientes (Tabela 1), visto que esse tratamento além de ser constituído pelo três produtos em análise, apresenta a maior dosagem final, com aplicação de 2,5 L ha⁻¹ (0 DAP) (Produto A e B) e 1,0 L ha⁻¹ (90 DAP) (Produto C).

Diferentemente do observado para as variáveis de trocas gasosas, a aplicação de fertilizantes minerais mistos não influenciou significativamente nas variáveis de fluorescência da clorofila, tampouco nos teores de clorofila *a* e clorofila *b* (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo da análise de variância para Fluorescência inicial (F₀), Fluorescência máxima (F_m), Eficiência Fotoquímica (F_v/F_m) e Fluorescência terminal (F_t), Clorofila *a* e Clorofila *b* de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos de adubação com fertilizantes minerais mistos. Areia-Paraíba, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio					
		F ₀	F _m	F _v /F _m	F _t	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>
Tratamento	5	2282.5 ^{ns}	26558 ^{ns}	1.95E-02 ^{ns}	2003.3 ^{ns}	91.904 ^{ns}	1.154 ^{ns}
Bloco	3	3842.1 ^{ns}	36620 ^{ns}	3.16E-02 ^{ns}	5600.3 ^{ns}	181.602 ^{ns}	10.363 ^{ns}
Resíduo	15	1202	27738	1.21E-02	3470.2	110.295	3.045
Média		161.83	455.58	0.584	173.58	32.51	5.11
CV (%)		21.42	36.56	18.8	33.94	32.3	34.13

ns: não significativo pelo teste F; FV – Fonte de Variação; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de liberdade.

Os estresses ambientais frequentemente causam mudanças na fluorescência da clorofila, dessa forma, a mensuração dessas variáveis são comumente utilizadas no monitoramento do processo fotossintético das culturas agrícolas, visando assim, a obtenção

dedados sobre a inibição ou danos na transferência de elétrons no fotossistema II (JIANG et al., 2021). Dessa forma, os resultados aqui obtidos indicam a ausência de efeitos negativos ou positivos da aplicação dos fertilizantes minerais mistos para esses processos na RB 867515. Nesse mesmo sentido, os teores de clorofila *a* e clorofila *b* não foram influenciados.

5. CONCLUSÕES

Os usos de fertilizantes minerais mistos influenciaram nas trocas gasosas da cana-de-açúcar RB 867515, com respostas positivas a fotossíntese da planta, bem como influenciou na eficiência instantânea do uso de água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC).

Indica-se o uso do tratamento T6 [0,5 L ha⁻¹ Produto A (0 DAP) + 2,0 L ha⁻¹ Produto B (0 DAP) + 1,0 L ha⁻¹ Produto C (90 DAP)] para um melhor desempenho fisiológico dessa cultura.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. W.; ROCHA, E. S.; COSTA, J. V.; FARIAS, A. P.; BASTOS, A. L. Produção de helicônia Golden Torch influenciada pela adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p. 1052-1058, 2010.

ALI, A.; KHAN, M.; SHARIF, R.; MUJTABA, M.; GAO, S. J. SugarcaneOmics: An update on the current status of research and crop improvement. **Plants**, v. 8, n. 9, p. 344, 2019.

ARCOVERDE, S. N. S.; SOUZA, C. M. A.; ORLANDO, R. C.; SILVA, M. M.; NASCIMENTO, J. M. Crescimento inicial de cultivares de cana-de-açúcar em plantio de inverno sob preparos conservacionistas do solo. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 2, p. 142-156, 2019.

AUDE, M. I. S. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Ciência rural**, v. 23, p. 241-248, 1993.

AVILEZ, A. M. A. **Necessidade hídrica da cana-de-açúcar no Noroeste Paulista**. Trabalho de Dissertação (Mestrando em Agronomia). Universidade Estadual Paulista. Campus de Botucatu, 2018.

BARBOZA, G. C.; TEIXEIRA FILHO, J. Transpiração foliar e condutância estomática da cana-de-açúcar em função do clima e disponibilidade de água. **Irriga**, v. 22, n. 4, p. 675-689, 2017.

BARRETO, F. Z. **Caracterização fenotípica e molecular do painel brasileiro de genótipos de cana-de-açúcar**. Dissertação (Pós-Graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados) – Universidade Federal de São Carlos, Araras, p. 14, 2016.

BASSI, D.; MENOSSE, M.; MATTIELLO, L. Nitrogen supply influences photosynthesis establishment along the sugarcane leaf. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2018.

BORDONAL, R. O.; CARVALHO, J. L. N.; LAL, R.; FIGUEIREDO, E. B.; OLIVEIRA, B. G.; LA SCALA, N. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A Review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 2, p. 1-23, 2018.

CARDOSO, T. F.; WATANABE, M. D. B.; SOUZA, A.; CHAGAS, M. F.; CAVALETT, O.; MORAIS, E. R.; NOGUEIRA, L. A. H.; LEAL, M. R. L. V.; BRAUNBECK, O. A.; CORTEZ, L. A. B.; BONOMI, A. A regional approach to determine economic, environmental and social impacts of different sugarcane production systems in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 120, p. 9-20, 2019.

CASTRO, A. C. R.; LOGES, V.; COSTA, A. S.; CASTRO, M. F. A.; ARAGÃO, F. A. S.; WILLADINO, L. G. Hastes florais de helicônias sob deficiência de macronutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1299-1306, 2007.

COMEXSTAT, Exportação e Importação. **Análise das Informações do Comércio Exterior**. 2019. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis>. Acesso em: 15 de outubro de 2021.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira. Cana-de-açúcar. Safra 2019/2020. **Companhia Nacional de Abastecimento**, v. 6, n. 4, p. 1-58. 2020.

CRUZ, A. C.; PEREIRA, F. D. S.; FIGUEIREDO, V. S. D. Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro. **Chemical Industry/BNDES Setorial**, 45, 137-187, 2017.

EMBRAPA-SNLCS. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Definição e notação de horizontes e camadas do solo. Rio de Janeiro, EMBRAPA/SNLCS, 54p, 2005.

FARIA, A. T.; SARAIVA, D. T.; PEREIRA, A. M.; ROCHA, P. R. R.; SILVA, A. A.; SILVA, D. V. et al. Atividade fisiológica da cana-de-açúcar após a aplicação de herbicidas em pré-emergência. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 2, p. 171-178, 2013.

FERREIRA FILHO, D. V. **Calagem em primeira soca de dez genótipos de cana-de-açúcar**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba. Areia. 2019.

GODINHO, E. Z.; SANTOS, A. K. O.; ROCKENBACH, B.; BUNDSCHEN, G. Comparação na aplicação de adubo mineral e organomineral no desenvolvimento da beterraba cv. Detroit no cultivo de verão. **Revista Científica Agropampa**, v. 2, n. 2, p. 238-248, 2019.

GONÇALVES, I. Z.; BARBOSA, E. A. A.; SANTOS, L. D. S.; NAZÁRIO, A. A.; FEITOSA, D. R. C.; TUTA, N. F.; MATSURA, E. E. Water relations and productivity of sugarcane irrigated with domestic wastewater by subsurface drip. **Agricultural Water Management**, v. 185, p. 105-115, 2017.

JIANG, Y.; FENG, X.; WANG, H.; CHEN, Y.; SUN, Y. Heat-induced down-regulation of photosystem II protects photosystem I in honeysuckle (*Lonicera japonica*). **Journal of Plant Research**, p. 1-11, 2021.

LEAKEY, A. D.; FERGUSON, J. N.; PIGNON, C. P.; WU, A.; JIN, Z.; HAMMER, G. L.; LOBELL, D. B. Water use efficiency as a constraint and target for improving the resilience and productivity of C3 and C4 crops. **Annual Review of Plant Biology**, v. 70, p. 781-808, 2019.

LIMA, G. S.; PINHEIRO, F. W.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SOUSA, P. F. N.; FERNANDES, P. D. Saline water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit production of yellow passion fruit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 26, n. 3, p. 180-189, 2022.

LIRA, M. V. S. **Adubação de plantio e foliar com micronutrientes na produção da cana-de-açúcar**. 2018. 87p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Animal) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2018.

LUCCHESI, A. A. Cana-de-açúcar. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Eds.).

Ecofisiologia de culturas extrativistas: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendazeiro e oliveira. Piracicaba: Cosmópolis Stoller do Brasil, 2001, p. 13–45.

MALAGODI, E.; SANTOS, A. J. M. Adubação organomineral e NPK na cultura do milho (*Zeamays L.*). **Pubvet**, v. 11, p. 424-537, 2016.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos.** Brasília: MAPA, 141p, 2007.

MARIN, F. R. Cana-de-açúcar: Características. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, 2021. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01_20_3112006152934.html . Acesso em: 13 outubro de 2021.

MATTIELLO, L.; RIAÑO-PACHÓN, D. M.; MARTINS, M. C. M.; CRUZ, L. P.; BASSI, D.; MARCHIORI, P. E. R. et al.

Physiological and transcriptional analyses of developmental stages along sugarcane leaf. **BMC plant biology**, v. 15, n. 1, p. 1-21, 2015.

MENEZES, M.; MALAGODI, E.; MOREIRA, E. R. Dausina ao assentamento: os dilemas da reconversão produtiva no Brejo Paraibano. **Estudos, Sociedade e Agricultura**, v. 21, n. 2, p.332-358, 2013.

OLIVEIRA, M. H. R.; SOUSA, A. E. C.; SILVA ÁVILA, E. A.; OLIVEIRA, R. S.; SILVA, R. M.; VENTURA, M. V. A. Produtividade da cana-de-açúcar sob irrigação localizada: uma revisão sistemática. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, n. 7, pág. e104973966-e104973966, 2020.

PEREIRA, H. S.; MELLO, S. C. **Aplicações de fertilizantes foliares na nutrição e na produção do pimentão e do tomateiro.** Brasília. 2002.

PESSOA, G. G. F. A.; ALVES, A. K. S.; DANTAS, É. A., ALMEIDA, L. J. M.; SILVA, J. A.; ARAÚJO, J. R. E. S.; SILVA, D. A. M.; SANTOS, J. P. O. Dinâmica temporal da produção de cana-de-açúcar em um município do Brejo Paraibano, Brasil (1995–2019). **Scientific Electronic Archives**, v. 14, n. 11, p. 18-24, 2021.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. 2019. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: outubro de 2021.

REDAE, M. H.; AMBAYE, T. G. In Vitro propagation of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) variety C86-165 through apical meristem. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 14, p.228-234, 2018.

RIBEIRO, J. E. D. S.; BARBOSA, A. J. S.; LOPES, S. D. F.; PEREIRA, W. E.; ALBUQUERQUE, M. B. D. Seasonal variation in gas exchange by plants of *Erythroxylum simonis* Plowman. **Acta Botanica Brasilica**, v. 32, p. 287-296, 2018.

RODRIGUES, J. D. Fisiologia da cana-de-açúcar. **Botucatu: Unesp**, 1995.

RÓS, A.B.; HIRATA, A.C.S.; NARITA, N. Produção de raízes de mandioca e propriedades química e física do solo em função de adubação com esterco de galinha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.3, 2013.

RUPPENTHAL, V.; CONTE, M. A. Efeito do composto de lixo urbano na nutrição e produção de gladiolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p.145- 150, 2005.

SAMPAIO, A.H.R.; COELHO FILHO, M.A.; COELHO, E.F.; DANIEL, R. Indicadores fisiológicos da lima ácida 'TAHITI' submetida à irrigação deficitária com secamento parcial de raiz. **Revista Irriga**, v.19, n.2, p.292-301, 2014.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Produção Agrícola Municipal**. 2020. Disponível em: <http://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: outubro de 2021.

SIGNOR, D.; CERRI, C. E. P.; CONANT, R. N₂O emissions due to nitrogen fertilizer applications in two regions of sugarcane cultivation in Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 1, p. e015013, 2013.

SILALERTRUKSA, T.; GHEEWALA, S. H. Land-water-energy nexus of sugarcane production in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v. 182, p. 521-528, 2018.

SILVA, E. S. **Calagem em genótipos de cana-de-açúcar na primeira soca**. 2019. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) -Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2019.

SILVA, F. C.; BARBIERI, V.; CASTRO, A. D. Desenvolvimento de modelo computacional para estimar a produtividade potencial de cana de açúcar. **Embrapa Informática Agropecuária - Artigo em anais de congresso (ALICE)**. (Org.) JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: mobilizar o conhecimento para alimentar o Brasil. 2. ed. p. 442-446, 2017.

SILVA, M. D. A.; JIFON, J. L.; SANTOS, C. M. D.; JADOSKI, C. J.; SILVA, J. A. G. D. Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 56, p. 735-748, 2013.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; MOURA, L. S. B.; CARMOS, J. F. A. Índices morfofisiológicos e uso de radiação solar por um cultivo de cana-de-açúcar irrigada no Semiárido brasileiro. **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)**. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.07, n.4, p. 764-773, 2014.

SILVA, W. K. D. M.; MEDEIROS, S. E. L.; SILVA, L. P.; COELHO JUNIOR, L. M.; ABRAHÃO, R. Sugarcane production and climate trends in Paraíba state (Brazil). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, p. 1-12, 2020.

SIMÕES, W. L.; CALGARO, M.; SOUZA, M. A.; LIMA, J. A.; SOUZA, C. E. P.; SILVA, J. M. Respostas fisiológicas da cana-de-açúcar em função de diferentes sistemas de irrigação no Submédio São Francisco. In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 22., 2012, Cascavel. Cooperação e Inovação para o desenvolvimento da agricultura irrigada: anais. Cascavel: ABID, 2012.

SINGH, R.; JONES, T.; WAI, C. M.; JIFON, J.; NAGAI, C.; MING, R.; YU, Q. Transcriptomic analysis of transgressive segregants revealed the central role

of photosynthetic capacity and efficiency in biomass accumulation in sugarcane.

Scientific Reports, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2018.

SOUSA, D. S.; PEREIRA, W. E. Atividade agrícola do brejo paraibano: declínio e tendências atuais. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 6, n. 3, p. 11-20, 2016.

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

TOPPA, E. V. B.; JADOSKI, C. J.; JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E.

O. Physiology aspects of sugarcane production. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 3, n. 3, 2010.

TORRES, L. G.; FERREIRA, E. A.; ROCHA, P. R. R.; FARIA, A. T.; GONÇALVES, V. A.; GALON, L. et al. Alterações nas características fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetida à aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, v. 30, p. 581-587, 2012.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 35, n. 3, p. 497-506, 2000.

VALADÃO, I. B. **Caracterização morfofisiológica de genótipos de cana-de-açúcar e cana-energia**. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2020.

VIANNA, M. S. **Risco climático para a cultura da cana-de-açúcar e estratégias de manejo de irrigação complementar para a sua minimização em diferentes regiões brasileiras**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2014.

WACLAWOVSKY, A. J.; SATO, P. M.; LEMBKE, C. G. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant Biotechnology Journal**, v. 8, p. 263-276, 2010.

YI, K.; MAXWELL, J. T.; WENZEL, M. K.; ROMAN, D. T.; SAUER, P. E.; PHILLIPS, R. P.; NOVICK, K. A. Linking variation in intrinsic water-use efficiency to isohydricity: A comparison at multiple spatiotemporal scales. **New Phytologist**, v. 221, n. 1, p. 195-208, 2019.