

MORFOFISIOLOGIA DO MILHO IRRIGADO COM E SEM DÉFICIT HÍDRICO SOB DIFERENTES ARRANJOS DE PLANTAS NA REGIÃO MEIO-NORTE DO PIAUÍ

Marcus Willame Lopes Carvalho^{1*}, Edson Alves Bastos², Milton José Cardoso³, Aderson Soares de Andrade Junior², Carlos Antônio Ferreira de Sousa⁴

¹ Docente, Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, Maranhão. *E-mail do autor correspondente: marcus.willame@ufma.br

² Pesquisador, irrigação e drenagem, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI.

³ Pesquisador, fisiologia das plantas cultivadas, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI.

⁴ Pesquisador, ciências biológicas, Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

Recebido: 02/11/2020; Aceito: 25/03/2022

RESUMO: Alterações no arranjo de plantas pode influenciar diretamente as características morfológicas e a produtividade das culturas, sobretudo em condições de déficit hídrico. O trabalho teve como objetivo analisar os efeitos de diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantio na morfofisiologia do híbrido de milho AG-1051 submetido a diferentes regimes hídricos na região Meio-Norte do Piauí, Brasil. Foram implantados dois experimentos, em ambos se adotou o delineamento experimental de blocos casualizados em fatorial 5 x 2, combinando-se cinco densidades de plantio (20.000; 40.000; 60.000; 80.000 e 100.000 plantas ha⁻¹), dois espaçamentos entre fileiras (0,5 e 1,0 m), com quatro repetições. Foi utilizado o sistema de irrigação por aspersão e as lâminas calculadas com base na evapotranspiração da cultura (ETc). Em irrigação plena utilizou-se 100% da ETc e em déficit hídrico 50% da ETc. Avaliaram-se altura de planta, altura de espiga, diâmetro do colmo, índice de área foliar, matéria seca, taxa de assimilação líquida de CO₂, transpiração e condutância estomática. Em irrigação plena observa-se incremento linear na altura de planta e altura da espiga, enquanto sob condições de déficit hídrico, observa-se ajuste quadrático com altura máxima de 192,4 e 118,6 cm atingida na densidade de 85.000 e 80.000 plantas ha⁻¹. Há ajuste linear negativo no diâmetro do colmo e na matéria seca em ambos os regimes hídricos adotados. O aumento da densidade de plantas aumenta a altura de planta, altura de espiga e diminui o diâmetro de colmo. Além disso promove redução da taxa de transpiração, da condutância estomática e da taxa de assimilação líquida de CO₂. A redução do espaçamento entre plantas na linha em maiores densidades promove aumento do índice de área foliar e redução da matéria seca. Em condições de estresse hídrico os componentes fisiológicos apresentam as mesmas tendências em condições de irrigação plena, porém com redução expressiva dos índices.

Palavras-chave: *Zea mays* L. Densidade de plantas. Espaçamento entre linhas. Trocas gasosas.

MORPHOPHYSIOLOGY OF IRRIGATED CORN WITH AND WITHOUT WATER DEFICIT UNDER DIFFERENT PLANT ARRANGEMENTS IN THE MID-NORTH

ABSTRACT: Changes in plant arrangement can directly influence the morphophysiological characteristics and productivity of crops, especially in water deficit conditions. The objective of this work was to analyze the effects of different spacings between lines and planting densities on the morphophysiology of corn hybrid AG-1051 submitted to different water regimes in the Mid-North region of Piauí, Brazil. Two experiments were implemented in both of them, the experimental design of randomized blocks in 5x2 factorial was implemented, combining five planting densities (20,000; 40,000; 60,000; 80,000 and 100,000 plants ha⁻¹), two row spacings (0.5 and 1.0 m), with four replications. We used the sprinkler irrigation system and the slides were calculated based on crop evapotranspiration (ETc). In full irrigation, 100% of the ETc was used and in water deficit 50% of the ETc. Plant height, ear height, stem diameter, leaf area index, dry matter, net CO₂ assimilation rate, transpiration and stomatal conductance were evaluated. In full irrigation, a linear increase in plant height and ear height were observed, while under water deficit conditions, a quadratic adjustment with a maximum height of 192.4 and 118.6 cm reached at the density of 85,000 and 80,000 plants ha⁻¹ were observed. There was a negative linear adjustment in stem diameter and dry matter in both water regimes adopted. Increasing plant density increases plant height, ear height and decreases stem diameter. In addition, it promotes a reduction in transpiration rate, stomatal conductance and net CO₂ assimilation rate. The reduction of the spacing between plants in the line in higher densities promotes an increase in leaf area index and reduction of dry matter. Under water stress conditions, physiological components present the same trends in full irrigation conditions, but with significant reduction in indices.

Key words: *Zea mays* L. Plant density. Spacing within row. Leaf gas exchange.

INTRODUÇÃO

O milho é uma das culturas mais importantes da dieta humana e para fins agroindustriais em todo o mundo. É uma planta do tipo C4, apresentando maior eficiência na conversão de CO₂ em carboidratos e, conseqüentemente, na produção de biomassa verde e rendimento (SCHLÜTER *et al.*, 2012). Para que se obtenham elevados rendimentos, sugere-se que se deva maximizar a interceptação da radiação solar, por meio da escolha adequada do arranjo de plantas (BRACHTVOGEL *et al.*, 2012).

O arranjo de plantas ideal é aquele que proporciona a melhor distribuição das plantas em uma determinada área, minimizando a competição intraespecífica por água, luz e nutrientes (SANTOS *et al.*, 2018). Alterações no arranjo de plantas podem afetar a arquitetura da planta, alterar o crescimento e padrões de desenvolvimento, a interceptação da radiação pelo dossel, influenciando as taxas de fotossíntese, a produção de carboidratos e, conseqüentemente, a produtividade (ABUZAR *et al.*, 2011). A redução do espaçamento entre linhas mantendo a mesma densidade de plantas promove um espaçamento mais equidistante, reduzindo a competição entre plantas, ao mesmo tempo, melhorando a captação e utilização

de recursos vegetais e diminuição da competição com plantas daninhas em decorrência do fechamento do dossel (ROBLES; CIAMPITTI; TONY 2012).

Sob altas densidades de plantio, a intensidade de luz que atinge as folhas no terço médio da parte aérea da planta é menor e ocorre diminuição da concentração de CO₂, o que reduz o potencial fotossintético e acelera a senescência (WANG *et al.*, 2017). Além disso, outros órgãos vegetativos podem se tornar excessivamente desenvolvidos à medida que a competição de plantas aumenta, o que pode levar a um desvio de energia e nutrientes da produção de grãos (GONDAL *et al.*, 2017). Souza *et al.* (2013) observaram que o aumento da densidade de semeadura acima do ideal estimula a dominância apical, induz a esterilidade, diminui o número de espigas por planta e o número de grãos por espiga.

Outro fator que afeta o desenvolvimento das plantas é a disponibilidade de água. A escassez de água durante os períodos de seca é um fator limitante da produtividade das culturas e no fracasso em atingir o potencial de rendimento total (SEEVE *et al.*, 2017). A partir da adoção de estratégias de irrigação é importante conhecer o efeito do déficit hídrico nos estágios de desenvolvimento da planta. O cultivo do milho nas primeiras fases de desenvolvimento é limitado pela deficiência hídrica, principalmente sob lâminas inferiores a 80% da ETc (BRITO *et al.*, 2013).

Sob estes aspectos, estudos recentes vêm sendo realizados com o cultivo de milho em diferentes espaçamentos entre fileiras e densidades de plantio (CARVALHO *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2018; SHI *et al.*, 2016). Portanto, é importante e necessário desenvolver estudos na tentativa de solucionar os diversos problemas que envolvem esses fatores, buscando informações com maior confiabilidade e que melhor correspondam às condições locais, principalmente no que diz respeito às condições de déficit hídrico que corresponde à maior parte do ano. O estudo teve como objetivo analisar os efeitos de diferentes espaçamentos entre linhas e densidades de plantio na morfofisiologia do híbrido de milho AG-1051 submetido a diferentes regimes hídricos na região Meio-Norte do Piauí, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos na área Experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí, (5°05' S, 42°29' W e 72 m de altitude) no período de setembro a dezembro de 2018. O clima do município é caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão (THORNTHWAITE; MATHER, 1955). Apresenta temperaturas médias anuais de 28,2 °C, máximas de 34 °C e mínimas de 22,4 °C, umidade relativa média do ar de 69,5% e precipitação pluviométrica média de 1.318 mm por ano (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR, 2019). O solo da área experimental é classificado como Neossolo Flúvico Eutrófico (MELO *et al.*, 2014).

Em conformidade com o sistema convencional de cultivo, ainda muito utilizado na região, realizou-se uma aração e uma gradagem no preparo do solo. Foram utilizadas sementes do híbrido comercial de milho AG-1051, cuja semeadura foi realizada manualmente em 11 de setembro de 2018.

Por ocasião da semeadura, realizou-se o controle preventivo de plantas daninhas pela aplicação de herbicidas, em pré-emergência, utilizando-se uma mistura de atrazina e s-metolaclopro (1.480 + 1.160 g ha⁻¹ de i.a.). Quando as plantas se encontravam no estágio de crescimento V3, o controle das plantas daninhas foi complementado pela aplicação do herbicida tembotrione (100,8 g ha⁻¹ de i.a.). O controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foi realizado pela aplicação do inseticida lufenuron (15 g ha⁻¹ de i.a.) de acordo com o nível de ataque.

Com base nas informações da análise química de solo, na adubação de semeadura foram aplicados 75 kg ha⁻¹ de N, 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O em sulcos de 8 cm de profundidade. Realizou-se a adubação em cobertura durante o estágio vegetativo V6, quando a planta apresentou a sexta folha completamente expandida, aplicando-se 45 kg ha⁻¹ de N.

Para cada experimento utilizou-se sistema de irrigação por aspersão convencional fixo, com aspersores de impacto com bocais 4,4 x 3,2 mm, vazão de 1,59 m³ h⁻¹, pressão de serviço de 30 mca, espaçados de 12 x 12 m e intensidade de aplicação de 11,04 mm h⁻¹.

A irrigação foi realizada com base no monitoramento do conteúdo de água do solo utilizando-se uma sonda de capacitância (FDR) modelo Diviner 2000® da Sentek Pty Ltda, Austrália. A lâmina de irrigação foi calculada com base na evapotranspiração da cultura (ET_c) obtida pelo produto da evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente de cultura (K_c). A ET_o foi estimada pelo método de Penman-Monteith, utilizando dado da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o K_c do milho utilizado segundo Souza *et al.* (2015). Até os 30 dias após a semeadura foram aplicadas lâminas diárias de 100% da ET_c nos dois experimentos. Logo após aplicou-se o estresse no segundo experimento reduzindo a irrigação em 50% da ET_c. A lâmina de irrigação acumulada durante todo o ciclo da cultura no regime com irrigação plena foi de 419 mm e no regime sob deficiência hídrica foi aplicado 268 mm.

Após a fase vegetativa de transição (VT = pendoamento), aos 49 dias após a semeadura, as variáveis alturas de planta e de inserção da espiga foram medidas com o auxílio de uma trena graduada em cm. Considerou-se altura de planta como a distância do colo da planta à inserção da folha bandeira, enquanto a altura da espiga, como a distância do colo da planta até o ponto de inserção da primeira espiga. O diâmetro do colmo foi medido com o auxílio de um paquímetro digital, na região logo abaixo da inserção da primeira espiga. Para estas variáveis, o valor por parcela correspondeu à média da medição de três plantas dentro da área útil.

Para determinação da área foliar da planta, índice de área foliar e matéria seca da parte aérea coletou-se uma planta de cada parcela experimental, na fileira central da área útil, aos 49 dias após a semeadura. Mediu-se a área foliar utilizando o equipamento eletrônico de área LI-3100, LICOR (LINCOLN, NE, USA) retirando todas as folhas de cada planta. Após as medições de área foliar, os componentes das plantas (caule, folhas, flores e espigas) foram acondicionados em sacos de papel e levados à estufa com ventilação forçada a 65 °C até atingir o peso constante, sendo posteriormente pesados, onde determinou-se a matéria seca. O índice de área foliar foi obtido pela relação entre a área foliar e a área do terreno ocupada pela planta.

As medidas de trocas gasosas foram realizadas aos 50 dias após o plantio (estágio VT) na folha da espiga de uma planta por parcela. Utilizou-se um analisador portátil de gases na região do infravermelho do espectro eletromagnético marca ADC Mod. LCPro-SD (ADC BioScientific, Hoddesdon, Hertfordshire, UK), dotado de uma câmara de medição com sistema de iluminação artificial. O equipamento foi configurado para manter a umidade relativa no interior da câmara de medição entre 50 e 60%, com a temperatura do bloco ajustada para 35°C. A intensidade de luz no interior da câmara de medição foi configurada para 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; a taxa de fluxo de ar para 400 $\mu\text{mol s}^{-1}$ e a concentração de CO_2 em 400 ppm, na célula de referência, usando o misturador de CO_2 mod. 6400-01 (cilindro de CO_2 de 12 g). As medidas foram executadas entre 07:00-09:00 h em uma planta por parcela, no terço médio da folha da espiga aos 49 dias após a emergência. Os dados extraídos, fornecidos pelo software OPEN versão 6.3 foram: A = taxa de assimilação líquida de CO_2 , gs = condutância estomática ao vapor de água e E = taxa de transpiração.

Os experimentos foram avaliados individualmente a fim de se obter dados em senários diferentes. As plantas foram arrançadas em dois espaçamentos entre linhas (0,5 e 1,0 m) e cinco densidades de plantio (20.000; 40.000; 60.000; 80.000; e 100.000 plantas ha^{-1}), totalizando 10 espaçamentos entre plantas conforme demonstra a Tabela 1. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com tratamentos dispostos em fatorial 2 x 5, com quatro repetições. A parcela experimental foi composta por quatro fileiras de cinco metros de comprimento, sendo considerada para as análises apenas as fileiras centrais compondo as áreas úteis de 5 m^2 e 10 m^2 para as parcelas com espaçamentos de 0,5 e 1,0 m, respectivamente.

Tabela 1. Composição dos espaçamentos entre plantas na linha de semeadura em relação às diferentes densidades de plantas e espaçamento entre linhas. *Composition of spacing between plants in the sowing line in relation to the different plant densities and spacing between lines.*

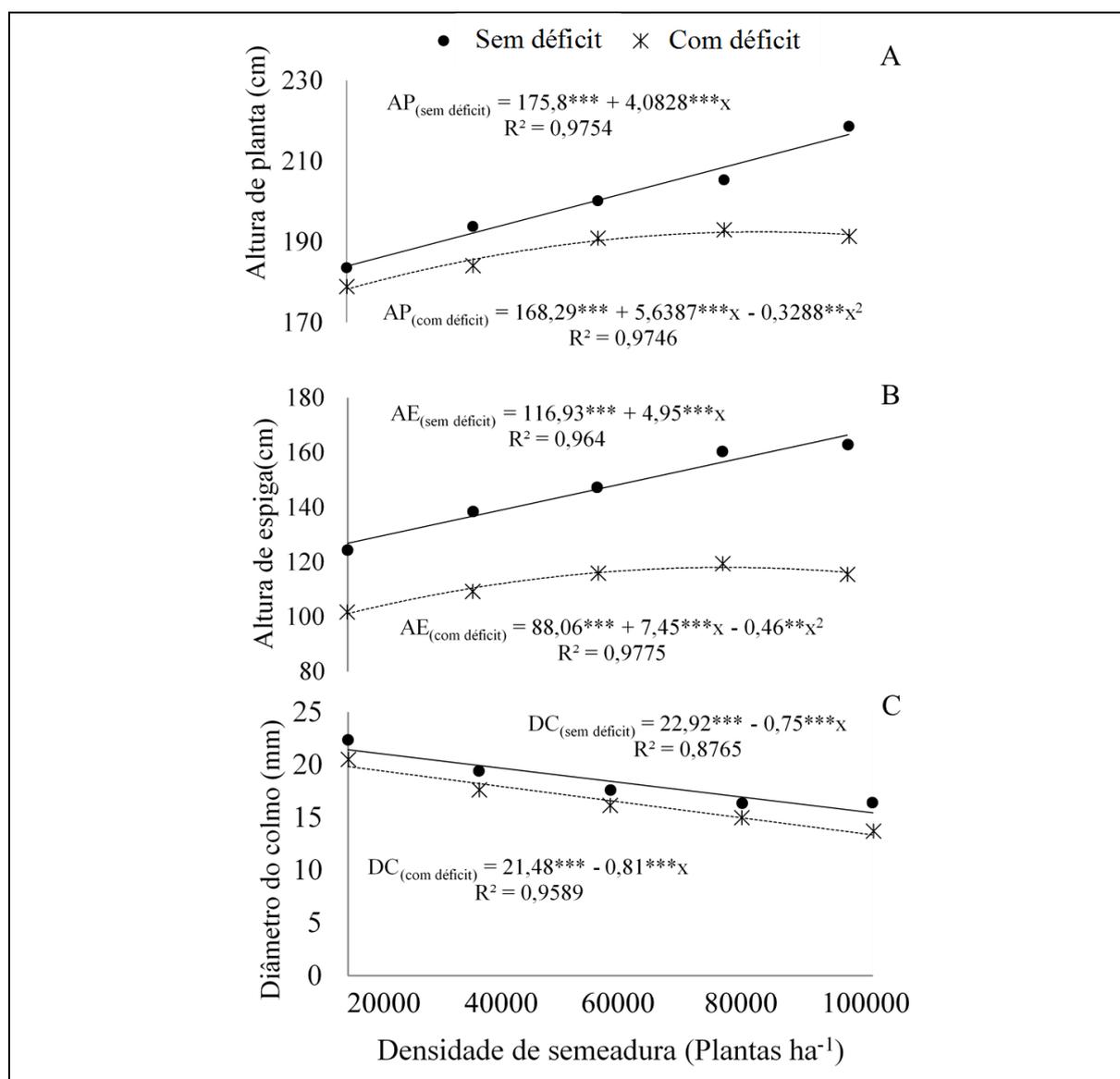
Densidades de plantas	Espaçamento entre plantas	
	Espaçamento entre linhas 0,5 m	Espaçamento entre linhas 1,0 m
20.000 plantas ha^{-1}	1,00 m	0,50 m
40.000 plantas ha^{-1}	0,50 m	0,25 m
60.000 plantas ha^{-1}	0,33 m	0,16 m
80.000 plantas ha^{-1}	0,25 m	0,12 m
100.000 plantas ha^{-1}	0,20 m	0,10 m

Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e T de Cochran para a normalidade de erros e homogeneidade de variância, respectivamente. Uma vez satisfeitos os requisitos básicos, os dados foram submetidos às análises de variância. Considerou-se espaçamento entre linhas como fator qualitativo sendo comparados pelo teste de F ($P < 0,05$). O efeito da densidade de semeadura foi analisado pela regressão polinomial de acordo com Zimmermann (2004). Todas as análises estatísticas foram realizadas com o uso do software R (FERREIRA, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aumento na densidade de plantas proporcionou incremento linear na altura de planta e de inserção da espiga, porém obteve-se ajuste quadrático quando os tratamentos foram submetidos ao déficit hídrico em ambas as variáveis (Figura 1A e 1B), com alturas máximas de 192,4 e 118,6 cm atingida na densidade de 85.000 e 80.000 plantas ha⁻¹, para altura de planta e altura da espiga respectivamente. Em relação ao diâmetro do colmo observa-se efeito linear negativo para ambos os regimes hídricos (Figura 1C).



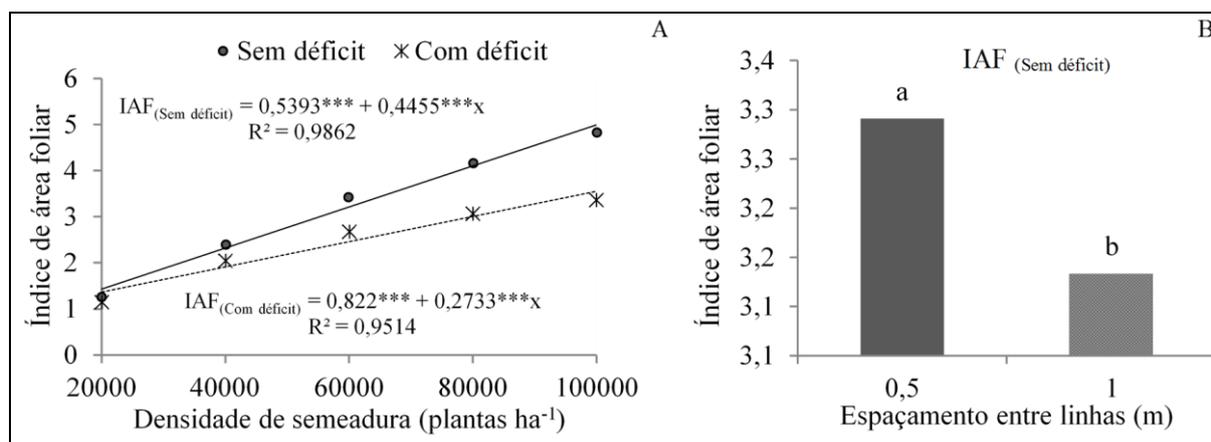
Nota: ***Significativo a 0,1% de probabilidade; **Significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade. ***Significant at the 0.1% probability; **1% of probability; *5% of probability.

Figura 1. Altura de planta, altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo de plantas do híbrido de milho AG – 1051 sob irrigação plena e déficit hídrico, em função de diferentes densidades de sementeira, em Teresina, PI, Brasil. *Plant height, ear insertion height and stem diameter of plants of the corn hybrid AG - 1051 under full irrigation and water deficit, depending on different seeding rate, in Teresina, PI, Brazil.*

Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*

Altura de planta, altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo são características agronômicas importantes, as quais estão relacionadas à densidade populacional em milho (LI *et al.*, 2016). Em altas densidades, as plantas podem competir por água e nutrientes minerais nas raízes e luz na parte aérea, resultando em colmos mais longos e finos favorecendo a dominância apical, autossombreamento e menor interceptação luminosa e, portanto, menos distribuição de fotoassimilados, prejudicando o desenvolvimento de outros órgãos como o colmo e o enchimento de grãos (CABRERA-BOSQUET *et al.*, 2017). Resultados semelhantes foram observados por Fromme, Spivey e Grichar (2019), ao avaliarem as respostas agronômicas de diferentes híbridos de milho a diferentes densidades de plantio.

Segundo Santos *et al.* (2009), o crescimento em altura nas plantas do tipo C4 é limitado pela disponibilidade de água, bem como pela ocorrência da fase fisiológica reprodutiva, iniciada pelo florescimento. Neste trabalho, o déficit hídrico associado às densidades mais elevadas proporcionou redução do crescimento das plantas quando comparado com o ensaio sem déficit hídrico. Em trabalho realizado por Melo *et al.* (2018), que avaliaram o desempenho da cultura do milho sob déficit e excesso hídrico, os maiores valores em altura de plantas e diâmetro do colmo foram encontrados nos tratamentos com excedente hídrico.



Nota: ***Significativo a 0,1% de probabilidade; **Significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade. ***Significant at the 0.1% probability; **1% of probability; *5% of probability.

Figura 2. Índice de área foliar de plantas do híbrido de milho AG – 1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função de diferentes densidades de semeadura (Figura 2A) e espaçamentos entre linhas (Figura 2B), em Teresina, PI, Brasil. *Leaf area index of plants of the hybrid corn AG - 1051 irrigated with and without water deficit, due to different seeding rate (Figure 2A) and spacing between rows (Figure 2B), in Teresina, PI, Brazil*

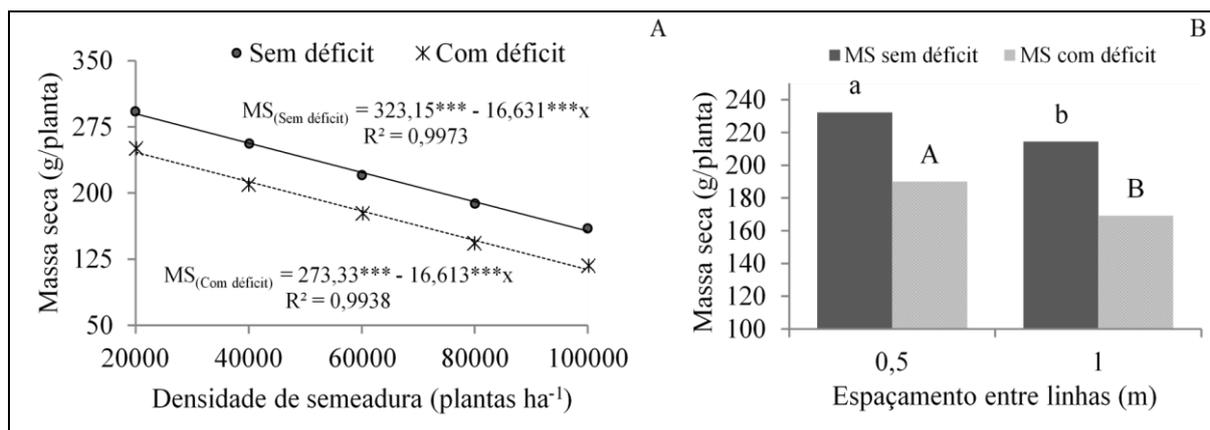
Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*

O aumento na densidade de plantas na linha provocou aumento linear no índice de área foliar, independentemente do regime hídrico adotado (Figura 2A), porém com maiores valores do índice de área foliar nas plantas espaçadas a 0,5 m (Figura 2B). O aumento do índice de área foliar com o adensamento das plantas é um resultado comumente descrito na literatura e já foi observado na cultura do milho por outros autores (CARVALHO *et al.*, 2020; ABUZAR *et al.*, 2011; REN *et al.*, 2017b). Segundo Gonzalez *et al.* (2018), apesar do adensamento reduzir a área foliar individual das plantas, o incremento no índice de área foliar ocorre por causa da presença de um maior número de plantas por área e redução do espaçamento, mas o seu incremento é desejável somente até o limite onde a atividade fotossintética não é

prejudicada pelo autossombreamento, pois as folhas sombreadas pelas folhas superiores acabam recebendo menos luz e, devido a menor taxa fotossintética, podem até se tornar drenos em vez de fontes de fotoassimilados. (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001).

Todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das plantas são afetados pelo déficit hídrico, sendo o decréscimo da área foliar uma das mais proeminentes, contribuindo para a redução da produtividade da planta (NASCIMENTO *et al.*, 2016). Esses efeitos foram observados nesta pesquisa, notadamente nos tratamentos com menor lâmina de irrigação (50% da ETc), em que foi observado menores valores do índice de área foliar em relação ao tratamento sem déficit (Figura 2A).

Os valores de fitomassa responderam de forma linear com decréscimo da massa seca da parte aérea da planta, nos dois regimes hídricos (Figura 3A) à medida que se aumentou a densidade de plantas. Além disso, os maiores valores de fitomassa foram atribuídos aos tratamentos dispostos a 0,5 m entre linhas de cultivo (Figura 3B). Essa redução pode ser explicada pelo ajuste linear negativo no diâmetro do colmo e redução da área foliar individual da planta. Segundo Valle *et al.* (2013), a densidade populacional interfere na massa individual das plantas, obtendo-se um decréscimo de matéria seca individual, principalmente, como resultado da competição entre as mesmas pelos recursos do meio.



Nota: ***Significativo a 0,1% de probabilidade; **Significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade. ***Significant at the 0.1% probability; **1% of probability; *5% of probability.

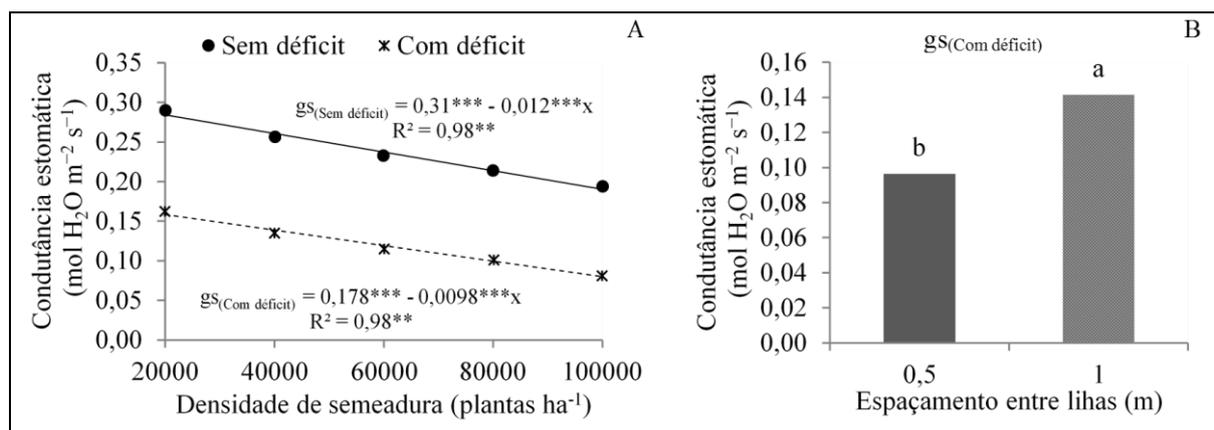
Figura 3. Massa seca (MS) da parte aérea de plantas do híbrido de milho AG – 1051 irrigado com e sem déficit hídrico, em função densidades de sementeira (Figura 3A) e de diferentes espaçamentos entre linhas (Figura 3B), em Teresina, PI, Brasil. *Dry mass (DM) of the aerial part of plants of the corn hybrid AG - 1051 irrigated with and without water deficit, due to different seeding rate (Figure 3A) and spacing between rows (Figure 3B), in Teresina, PI, Brazil.*

Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*

Na Figura 4A pode-se perceber que o aumento da densidade de sementeira proporcionou redução na condutância estomática em ambos os regimes hídricos. Estes resultados possuem uma estreita relação com o autossombreamento, o qual provoca acentuada redução na densidade dos estômatos (CABRERA-BOSQUET *et al.*, 2017) e, conseqüentemente, na condutância estomática. Barradas *et al.* (2018) verificaram que plantas

de milho sob baixa luminosidade apresentaram menor condutância estomática quando comparadas às plantas sob alta intensidade luminosa.

Associando o adensamento ao déficit hídrico, a redução da condutância estomática é mais expressiva sobretudo no maior adensamento proporcionado pelo espaçamento 1,0 m (Figura 4B). Os maiores valores de condutância estomática ocorrem quando a radiação solar é alta e o potencial hídrico da folha ainda não atingiu valores mínimos passíveis de induzir o fechamento estomático. Em condições de restrição hídrica as plantas tendem a diminuir a condutância estomática como estratégia para evitar a perda de água para atmosfera (SANTOS *et al.*, 2018).



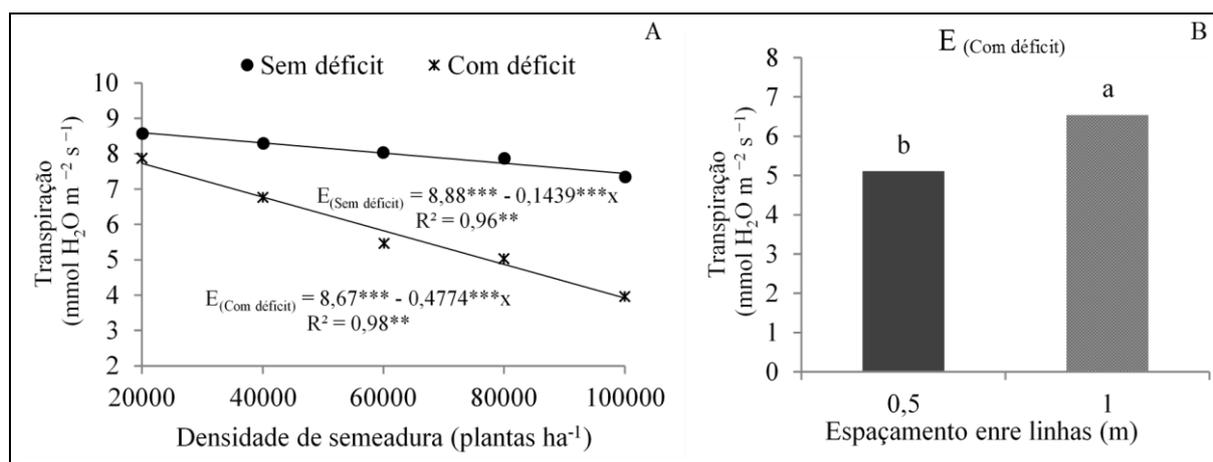
Nota: ***Significativo a 0,1% de probabilidade; **Significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade. ***Significant at the 0.1% probability; **1% of probability; *5% of probability.

Figura 4. Efeito da densidade de semeadura (Figura 4A) e do espaçamento (Figura 4B) sobre a taxa de condutância estomática (gs) em folhas de plantas do híbrido de milho AG-1051 em cultivado irrigado com e sem déficit hídrico, em Teresina, PI, Brasil. *Effect of seeding rate (Figure 4A) and spacing (Figure 4B) on stomatal conductance rate (gs) in leaves of plants of the corn hybrid AG-1051 in cultivated irrigated with and without water deficit, in Teresina, PI, Brazil.*

Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*

O aumento do adensamento de plantas proporcionou ajuste linear negativo para as taxas de transpiração nos dois regimes hídricos (Figura 5A) sendo os maiores valores observados no espaçamento 1,0 m (Figura 5B). A redução da taxa de transpiração é uma resposta da condutância estomática pelo aumento da densidade de plantas na área. Soares *et al.* (2019), avaliando as respostas de diferentes arranjos espaciais e a sua influência sobre parâmetros fotossintéticos do milho, obtiveram resultados semelhantes em que o aumento no número de plantas de milho reduziu a condutância estomática e a transpiração, diminuindo o consumo de CO₂ e conseqüentemente a taxa fotossintética.

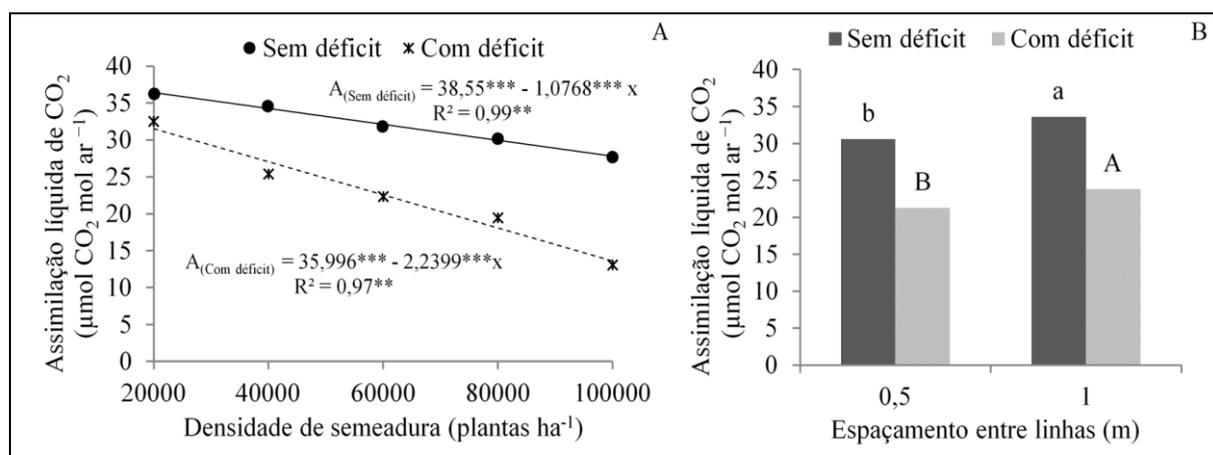
Observa-se que em condições de déficit a redução da taxa de transpiração é bem mais expressiva. Com a redução da disponibilidade hídrica, a planta tende a reduzir a transpiração e conseqüentemente a condutância estomática. Além disso, essa resposta fisiológica é relevante, pois promove uma diminuição na interface planta/atmosfera, com conseqüente queda na assimilação fotossintética o que afeta negativamente a produção (TAIZ *et al.*, 2017).



Nota: ***Significativo a 0,1% de probabilidade; **Significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade. ***Significant at the 0.1% probability; **1% of probability; *5% of probability.

Figura 5. Efeito da densidade de sementeira (Figura 5A) e do espaçamento (Figura 5B) sobre a taxa de transpiração (E) em folhas de plantas do híbrido de milho AG-1051 em cultivo irrigado com e sem déficit hídrico em Teresina, PI, Brasil. *Effect of seeding rate (Figure 5A) and spacing (Figure 5B) on the transpiration rate (E) in leaves of plants of the corn hybrid AG-1051 in irrigated cultivation with and without water deficit in Teresina, PI, Brazil.*

Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*



Nota: ***Significativo a 0,1% de probabilidade; **Significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade. ***Significant at the 0.1% probability; **1% of probability; *5% of probability.

Figura 6. Efeito da densidade de sementeira (Figura 6A) e do espaçamento (Figura 6B) sobre a taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) em folhas de plantas do híbrido de milho AG -1051 cultivado condições de irrigação com e sem déficit hídrico, em Teresina, PI, Brasil. *Effect of seeding rate (Figure 6A) and spacing (Figure 6B) on the net assimilation rate of CO₂ (A) in leaves of plants of the corn hybrid AG -1051 cultivated irrigation conditions with and without water deficit, in Teresina, PI, Brazil.*

Fonte: Autoria própria. *Own authorship.*

Estes resultados tiveram reflexo direto na taxa de assimilação líquida de CO₂ com ajuste linear negativo nos dois regimes hídricos (Figura 6A). Ren *et al.* (2017a) também observaram redução significativa do desempenho fotossintético com o aumento da densidade de 45.000 para 135.000 plantas ha⁻¹. Além disso, assim como a condutância estomática e a transpiração, as plantas espaçadas a 1,0 m proporcionaram maiores taxas assimilação líquida (Figura 6B).

O fato de que as taxas de assimilação líquida de CO₂ e condutância estomática tenham sido superiores com o incremento no espaçamento entre plantas, pode estar relacionado com uma maior interceptação de luz entre as linhas no maior espaçamento. Liu e Song (2012) também observaram que quando as plantas de milho são submetidas a maiores espaçamentos há maior taxa de fotossíntese.

Em resposta ao déficit hídrico há redução da área foliar, fechamento dos estômatos, aceleração na senescência e abscisão das folhas (TAIZ; ZEIGER, 1991) e conseqüentemente redução na produtividade. Estes efeitos foram notadamente observados neste trabalho quando as plantas foram submetidas ao déficit de 50% da ETC.

CONCLUSÃO

O aumento da densidade de plantas aumenta a altura de planta, altura de espiga e diminui o diâmetro de colmo. Além disso promove redução da taxa de transpiração, da condutância estomática e da taxa de assimilação líquida de CO₂.

A redução do espaçamento entre plantas na linha em maiores densidades promove aumento do índice de área foliar e redução da matéria seca.

Em condições de estresse hídrico os componentes fisiológicos apresentam as mesmas tendências em condições de irrigação plena, porém com redução expressiva dos índices.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Embrapa Meio-Norte, Teresina-PI, por disponibilizar sua estrutura física, material e mão-de-obra necessária para a realização deste estudo, e à CAPES, por conceder a bolsa ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUZAR, M. R.; SADOZAI, G. U.; BALOCH, M. S.; BALOCH, A. A.; SHAH, I. H.; JAVAID, T.; HUSSAIN, N. Effect of plant population densities on yield of maize. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, Nairobi, v. 21, n. 4, p.692-695, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266220150>. Acesso em: 07 dez. 2020.

ARGENTA, G. S.; SILVA, P. R. F.; SANGOI, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, p.1075-1084, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000600027>. Acesso em: 12 nov. 2019.

BARRADAS, T. F. S.; SANTOS, A. C. P.; MORO, A. L.; ARAUJO, F. F. Bacillus subtilis [Ehrenberg. (1835) Cohn 1872] improves water use efficiency in maize under drought conditions and two light intensities. **Applied Ecology and Environmental Research**, Budapest, v. 16, n. 4, p.3885-3895, 2018. Disponível em: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1604_38853895. Acesso em: 21 ago. 2019.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. **Boletim agrometeorológico do ano de 2018 para o Município de Teresina, PI**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2019. (Documentos,

266). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1117718>. Acesso em: 11 jan. 2020.

BRACHTVOGEL, E. L.; PEREIRA, F. R. D. S.; CRUZ, S. C. D. S.; ABREU, M. L. D.; BICUDO, S. J. População, arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, v. 6, n. 1, p.75-83, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/141177>. Acesso em: 13 dez. 2019.

BRITO, M. E. B.; ARAÚJO FILHO, G. D.; WANDERLEY, J. A. C.; MELO, A. S.; COSTA, F. B.; FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p.1244-1254, 2013. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/14061>. Acesso em: 19 dez. 2020.

CABRERA-BOSQUET, L.; GRIEDER, C.; PRADO, S. A.; SÁNCHEZ, C.; ARAUS, J. L. Kernel $\delta^{18}O$ reflects changes in apical dominance and plant transpiration in tropical maize. **Journal of Agronomy and Crop Science**, London, v. 203, n. 4, p.277-285, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jac.12196>. Acesso em: 14 jan. 2020.

CARVALHO, M. W. L.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; DE SOUSA, C. A. F. Spatial arrangement of maize plants aiming to maximize grain yield in the hybrid BRS-3046. **Australian Journal of Crop Science**, Australia, v. 14, n. 10, p.1662-1669, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.10.p2525>. Acesso em: 07 dez. 2020.

FERREIRA, D. F. **Recursos computacionais utilizando R**. Lavras: UFLA-DCE. 2013. 250 p.

FROMME, D. D.; SPIVEY, T. A.; GRICHAR, W. J. Agronomic Response of Maize (*Zea mays* L.) Hybrids to Plant Populations. **International Journal of Agronomy**, London, v. 2019, p.1-8, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2019/3589768>. Acesso em: 30 de nov. 2019.

GONDAL, M. R.; HUSSAIN, A.; YASIN, S.; MUSA, M.; REHMAN, H. S. Effect of seed rate and row spacing on grain yield of sorghum. **SAARC Journal of Agriculture**, Bangladesh, v. 15, n. 2, p.81-91, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3329/sja.v15i2.35154>. Acesso em: 04 dez. 2019.

GONZALEZ, V. H.; TOLLENAAR, M.; BOWMAN, A.; GOOD, B.; LEE, E. A. Maize yield potential and density tolerance. **Crop Science**, USA, v. 58, n. 2, p.472-485, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.06.0547>. Acesso em: 22 nov. 2019.

LI, X.; ZHOU, Z.; DING, J.; WU, Y.; ZHOU, B.; WANG, R.; CHEN, J. Combined linkage and association mapping reveals QTL and candidate genes for plant and ear height in maize. **Frontiers in plant science**, Melbourne, v. 7, n. 883, p.1-11, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00833>. Acesso em: 22 dez. 2019.

LIU, T. D.; SONG, F. B. Maize photosynthesis and microclimate within the canopies at grain-filling stage in response to narrow-wide row planting patterns. **Photosynthetica**, Praga, v. 50, n. 2, p.215-222, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11099-012-0011-0>. Acesso em: 22 dez. 2019.

ELO, A. V.; SANTOS, V. M.; VARANDA, M. A. F.; CARDOSO, D. P.; DIAS, M. A. R. Desempenho agrônomico de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico no sul do estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 17, n. 2, p.177-189, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v17n2p177-189>. Acesso em: 21 dez. 2019.

MELO, F. B.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; PESSOA, B. L. O. **Levantamento, zoneamento e mapeamento pedológico detalhado da área experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI**. (Embrapa Meio-Norte-Documents, 231), Teresina, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/120989/1/Doc-231.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2021.

NASCIMENTO, F. N.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; JÚNIOR, A. S. A.; RIBEIRO, V. Q. Parâmetros fisiológicos e produtividade de espigas verdes de milho sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 14, n. 2, p.167-181, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n2p167-181>. Acesso em: 22 dez. 2019.

REN, B.; LIU, W.; ZHANG, J.; DONG, S.; LIU, P.; ZHAO, B. Effects of plant density on the photosynthetic and chloroplast characteristics of maize under high-yielding conditions. **The Science of Nature**, Germany, v. 104, n. 12, p.1-12, 2017a. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00114-017-1445-9>. Acesso em: 12 dez. 2019.

REN, B.; LI, L.; DONG, S.; LIU, P.; ZHAO, B.; ZHANG, J. Photosynthetic Characteristics of Summer Maize Hybrids with Different Plant Heights. **Agronomy Journal**, Madison, v. 109, n. 4, p.1454-1462, 2017b. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2016.12.0693>. Acesso em: 05 jan. 2020.

ROBLES, M.; CIAMPITTI, I. A.; VYN, T. J. Responses of maize hybrids to twin-row spatial arrangement at multiple plant densities. **Agronomy Journal**, Madison, v. 104, n. 6, p.1747-1756, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0231>. Acesso em: 15 jan. 2020.

SANTOS, A. L. F.; MECCHI, I. A.; RIBEIRO, L. M.; CECCON, G. Eficiência fotossintética e produtiva de milho safrinha em função de épocas de semeadura e populações de plantas. **Journal of Neotropical Agriculture**, Cassilândia, v. 5, n. 4, p.52-60, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.32404/rean.v5i4.1631>. Acesso em: 06 jan. 2020.

SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool - tecnologias e perspectivas**. 2. ed. UFV: Mecenaz. 2009. 577 p.

SCHLÜTER, U.; MASCHER, M.; COLMSEE, C.; SCHOLZ, U.; BRÄUTIGAM, A.; FAHNENSTICH, H.; SONNEWALD, U. Maize source leaf adaptation to nitrogen deficiency affects not only nitrogen and carbon metabolism but also control of phosphate homeostasis. **Plant Physiology**, Rockville, USA, v. 160, n. 3, p.1384-1406, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.112.204420>. Acesso em: 21 dez. 2020.

SEEVE, C. M.; CHO, I. J.; HEARNE, L. B.; SRIVASTAVA, G. P.; JOSHI, T.; SMITH, D. O.; OLIVER, M. J. Water- deficit- induced changes in transcription factor expression in

maize seedlings. **Plant, Cell & Environment**, Glasgow, v. 40, n. 5, p.686-701, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pce.12891>. Acesso em: 30 nov. 2019.

SHI, D. Y.; LI, Y. H.; ZHANG, J. W.; LIU, P.; ZHAO, B.; DONG, S. T. Effects of plant density and nitrogen rate on lodging-related stalk traits of summer maize. **Plant, Soil and Environment**, Praga, v. 62, n. 7, p.299-306, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.17221/720/2015-PSE>. Acesso em: 21 dez. 2019.

SOARES, M. S.; OLIVEIRA, A. B.; CARMO E. V. B.; SANTOS NETO, J. F.; MARINHO, A. S.; AZEVEDO, M. C. Avaliação dos parâmetros fotossintéticos na fase de florescimento do milho em diferentes espaçamentos. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, Rio Largo, v. 4, n. 2, p.1-5, 2019. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/era/article/view/9192/6652>. Acesso em: 13 jan. 2020.

SOUZA, L. S. B. D.; MOURA, M. S. B. D.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. D. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p.151-160, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n417rc>. Acesso em: 07 dez. 2019.

SOUZA, R. S.; VIDIGAL FILHO, P. S.; SCAPIM, C. A.; MARQUES, O. J.; QUEIROZ, D. C.; OKUMURA, R. S.; TAVORE, R. V. Elementos de produção de milho doce em diferentes densidades populacionais. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 4, n. 3, p.285-292, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/cs.v4i3.226>. Acesso em: 18 dez. 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. California: California: The Benjamin: Cummings, 1991. 559p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MULLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 918 p.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology-Laboratory of Climatology. **Publications in climatology**, v. 8, n. 1, p.104, 1955.

VALLE, Í. C. A.; ALVES, J. M. A.; SILVA, L. S.; UCHÔA, S. C. P., ALBUQUERQUE, J. D. A. A.; SILVA, D. C. O. Produção do milho híbrido 30F35HR cultivado na savana de Roraima em diferentes densidades de plantio. **Revista Agroambiente**, Roraima, v. 7, n. 3, p.294-303, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v7i3.1543>. Acesso em: 22 dez. 2020.

WANG, J. I. A. N.; HUANG, H. A. I. J. I. A. O.; JIA, S.; ZHONG, X.; LI, F.; ZHANG, K.; SHI, Z. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence reaction to different shade stresses of weak light sensitive corn. **Pakistan Journal of Botany**, Pakistan, v. 49 n. 5, p.1681-1688, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/320457569>. Acesso em: 12 dez. 2019.

ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. 2 ed. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 402 p.