

CRESCIMENTO, FISILOGIA E PRODUÇÃO DO MILHO DOCE SOB ESTRESSE HÍDRICO

GROWTH, PHYSIOLOGICAL AND YIELD OF SWEET CORN UNDER WATER STRESS

Marcos Eric Barbosa BRITO¹; Geraldo Dutra de Araújo FILHO²;
José Alberto Calado WANDERLEY² Alberto Soares de MELO³;
Franciscleudo Bezerra da COSTA¹; Marta Gerusa Pessoa FERREIRA²

1. Professor, Doutor, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar – CCTA, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Pombal, PB, Brasil. marcoseric@ccta.ufcg.edu.br ; 2. Engenheiro Agrônomo formado no CCTA/UFCG, Pombal, PB, Brasil; 3. Professor, Doutor, Departamento de Ciências Biológicas - DCB, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde – CCBS, Universidade Estadual da Paraíba – UFCG, Campina Grande, PB, Brasil.

RESUMO: O cultivo de plantas de importância econômica na região semiárida, a exemplo do milho doce, é uma alternativa ao sistema produtivo existente, contudo deve-se conhecer a sua limitação de crescimento e produção sob déficit hídrico. Assim, objetivou-se estudar os aspectos fitotécnicos do milho doce sob estresse hídrico no semiárido da Paraíba. Em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, estudou-se cinco lâminas de irrigação determinadas a partir da evapotranspiração da cultura (ETc) do milho doce (40, 60, 80, 100 e 120% da ETc), em área experimental do Campus de Pombal, da Universidade Federal de Campina Grande, sendo a unidade experimental composta por oito plantas úteis. Avaliou-se o crescimento, a formação de fitomassa, os aspectos fisiológicos e a produção da cultura, sendo os dados submetidos a análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) seguido por análise de regressão. O crescimento da cultura do milho é limitado pela deficiência hídrica, notadamente quando se usa lâminas inferiores a 80% da ETc; o diâmetro de colmo e a massa seca do colmo são variáveis indicadas para o estudo do estresse hídrico em milho doce; a lâmina de 80% da ETc pode ser aplicada na cultura do milho na fase vegetativa, pois não há comprometimento na definição do número de grãos por fileiras e de fileiras por espiga.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays* L. Produção vegetal. Irrigação.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) representa um dos principais cereais cultivados em todo o mundo, fornecendo produtos largamente utilizados para a alimentação humana, animal e matéria-prima para indústria, principalmente em função da quantidade e da natureza das reservas energéticas acumuladas nos grãos (WEILAND, 2006; SCHITTENHELM, 2008). No Brasil, é o principal cereal produzido, sendo cultivado em cerca de 13,2 milhões de hectares, com uma produtividade média de 4,1 t ha⁻¹ (IBGE, 2011). Acrescente-se a isso, sua importância na cadeia social, econômica e alimentar do brasileiro, notadamente, por ser relacionada a uma cultura típica da agricultura familiar. Conforme Kwiatkowski e Clemente (2007), a exploração da cultura é realizada durante todo o ano utilizando-se irrigação e o escalonamento da produção, permitindo um fluxo constante do produto para a comercialização.

O Brasil, como grande produtor de milho comum, apresenta, também, grande potencial de produção de milho doce. No entanto, há pouco conhecimento, por parte dos consumidores, sobre esse produto, além de baixa disponibilidade de

sementes para os agricultores, o que restringem o seu cultivo (TEIXEIRA et al., 2001).

O milho doce pode ser destacado pela maior palatabilidade, sendo potencial para o cultivo como espécie hortícola, acreditando-se que, em pouco tempo, esta cultura possa se tornar uma importante fonte de renda no Brasil, notadamente em regiões semiáridas, já que tem um maior valor agregado e poder ser comercializada na forma miniprocessada (KWIATKOWSKI; CLEMENTE, 2007).

Conforme Wu et al. (2011), estudando o crescimento e a transpiração do milho em casa de vegetação sob deficiência hídrica, ocorre redução no formação de fitomassa e na transpiração, quando a umidade nos vasos são inferiores a 90% da capacidade de campo. Já segundo Schittenhelm (2010), estudando a cultura do milho em consórcio com sorgo e girassol, o milho tem potencial de produção mesmo em anos com baixa disponibilidade hídrica. Segundo Chun et al. (2011), a redução da disponibilidade hídrica ocasiona estresse às plantas de milho e reduz seu crescimento, mesmo sob condições de atmosfera modificada com aumento de CO₂. Do mesmo modo, Rivera-Hernández et al. (2009), ao estudarem a cultura sob diferentes tensões de umidade do solo e

adubação com fosfato, verificaram redução no crescimento. Com essas informações, observa-se que há variabilidade de resultados, conforme as condições impostas à cultura.

Ressalta-se, ainda, que os índices fisiológicos, taxa de assimilação de CO₂, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO₂ são afetados por fatores ambientais, como luz, temperatura, concentração de CO₂ e disponibilidade de água e nutrientes (SHIMAZAKI et al., 2007; TAIZ; ZEIGER, 2009; MELO et al., 2010); assim, com base no estudo das interações desses parâmetros com cada fator ambiental, em particular o estado hídrico da planta, pode-se conhecer a eficiência do crescimento e a habilidade de adaptação às condições ambientais de uma dada espécie ou variedade (QUIÑONES et al., 2005; PEIXOTO et al., 2006).

Desse modo, considera-se que o milho é limitado pelas condições de estresses comuns em regiões tropicais, incluindo solos ácidos e secos (MAIA et al., 2007); e que o cultivo na região semiárida brasileira deve levar em consideração, entre outros fatores, a limitação da quantidade de água durante o ano. Isso permite que estratégias sejam estabelecidas para obter rendimentos

economicamente viáveis e com maior eficiência no uso da água.

Nesse sentido, objetivou-se estudar o crescimento, os aspectos fisiológicos, a formação de fitomassa e a produção de milho doce, sob estresse hídrico na Região do semiárido brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de campo, na Universidade Federal de Campina Grande, Câmpus de Pombal, Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias, entre os meses de novembro de 2010 a fevereiro 2011.

O clima da região do experimento é do tipo BSh, conforme classificação de Koopen, ou seja, semiárido quente e seco, com precipitação média anual de 750 mm, e evaporação média anual de 2000 mm. Referente aos aspectos climáticas durante o período experimental (Figura 1), acrescenta-se que a média de evaporação no período foi de 6,9 mm, calculado pelo método de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 1998), e o somatório da precipitação foi de 331,9 mm, obtida pela leitura de um pluviômetro instalado no campo.

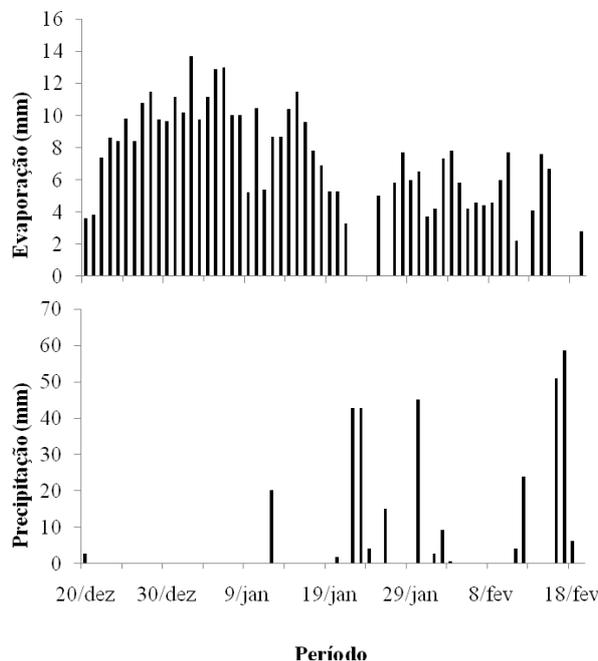


Figura 1. Evaporação e precipitação durante a condução do experimento de milho doce, ou seja, de 20 de Dezembro de 2010 a 20 de janeiro de 2011. Pombal, PB, 2011.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados, estudando-se cinco lâminas de irrigação, determinadas a partir da evapotranspiração da cultura (ETc) do milho doce (40, 60, 80, 100 e 120% da ETc) repetidos em

quatro blocos, com a unidade experimental composta por 8 plantas úteis.

As sementes de milho doce utilizadas foram da variedade BR 400, produzida e disponibilizada pela EMBRAPA. Na semeadura foram inseridas

duas sementes por cova, sendo uma plântula desbastada aos 30 dias após semeadura (DAS), no espaçamento de 0,15 m entre plantas e 0,80 m entre linhas, numa área de 112 m² (7 x 16 m), gerando uma densidade de plantio de 83.333 plantas por hectare.

O manejo da irrigação e a aplicação dos tratamentos foram realizados por meio de um sistema de irrigação por gotejamento, com a lâmina determinada a partir do modelo de Penman Monteith – FAO; o cálculo da ETc foi estimado pelo produto entre a lâmina evaporada e o coeficiente de cultura (Kc), conforme descrito em Resende et al. (2003).

O início da aplicação das lâminas de água foi realizado aos 30 dias após a semeadura (DAS). Até esse momento todas as plantas haviam recebido a lâmina equivalente a 100% da ETc. A partir do início da inserção dos tratamentos as lâminas foram aplicadas conforme evapotranspiração da cultura multiplicada pelo fator da lâmina. Ressalta-se, ainda, que o turno de rega foi intermitente, com duas irrigações diárias, às 9 e às 17 horas, visando garantir menor estresse pelo aumento da temperatura do solo. Na Tabela 1 encontram-se os dados das lâminas de irrigação, precipitação e lâmina total aplicada na cultura do milho doce durante o período de cultivo. Houve variação na lâmina total entre 506,1 e 854,5 mm.

Tabela 1. Dados das lâminas de irrigação, precipitação e lâmina aplicada durante o cultivo do milho doce em função dos tratamentos no período de 20 de dezembro de 2010 a 20 de fevereiro de 2012. Pombal, PB, 2011.

	Irrigação (mm)				
	L1(40%ETc)	L2(60%ETc)	L3(80%ETc)	L4(100%ETc)	L5(120%ETc)
Lâmina de irrigação	174,2	261,3	348,4	435,6	522,7
Precipitação	331,9	331,9	331,9	331,9	331,9
Lâmina Aplicada	506,1	593,2	680,4	767,5	854,6

Para o manejo nutricional e tratamentos culturais, adotaram-se as recomendações contidas em Duarte et al. (2006), considerando-se as características químicas do solo dispostas no Quadro 1. As

aplicações foram realizadas via água de irrigação, adotando-se um intervalo de 7 dias entre as fertirrigações.

Quadro 1. Características químicas do solo utilizado no cultivo do milho doce. Pombal, PB, 2011.

Prof.	CE	pH	H+Al	Al ³⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	P	MO
	dS m ⁻¹		-----cmol _c dm ⁻³ -----							mg dm ⁻³	g kg ⁻¹
0-20 cm	0,39	6,55	0,99	0,00	1,48	3,14	5,40	6,20	15,73	15	26
20-40 cm	0,06	6,55	0,66	0,00	0,29	0,51	3,55	3,15	7,87	11	9

Para as avaliações, foram selecionadas e marcadas com uma fita, oito plantas de cada bloco. Que foram avaliadas aos 90 dias após semeadura, determinando-se: a) Diâmetro do colmo (mm): utilizando-se de um paquímetro digital, sendo mensurado o diâmetro no colo da planta; b) números de folhas: a partir da contagem das folhas que já tinham a bainha formada; c) altura de planta (m): com medidas determinadas a partir do colo da planta até a inserção da última folha com a bainha formada, usando um diastímetro de lona; e, d) matéria fresca da parte aérea, MFPA (g)..

Aos 90 DAS, final do experimento, coletou-se as plantas, avaliando-se: o massa fresca da parte aérea (MFPA) (g), após os procedimentos fracionou-se as plantas para determinação da

fitomassa das folhas (FSFolhas) (g), fitomassa do colmo (FSColmo) (g) e fitomassa da inflorescência (FSInflorescência) (g).

A área foliar (cm²) foi determinada usando-se a relação entre a área conhecida e o peso da área da folha (Fernandes, 2002). Desta forma, coletou uma amostra da folha D (maior folha da planta) e em seguida amostras de 10 cm de comprimento foram retiradas, determinando-se a largura da mesma; pelo produto da largura e o comprimento, obteve-se a área foliar das amostras. Após este procedimento, colocou-se em estufa até o peso constante, sendo as amostras pesadas em balança analítica, com isso obteve-se a relação entre a massa e a área foliar.

Durante a fase de floração, determinou-se: a taxa de assimilação de CO_2 (A) ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), a transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), a condutância estomática (g_s) ($\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e a concentração interna de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) na folha D do milho doce. A partir desses dados foi quantificada a eficiência instantânea da carboxilação $\Phi_c (A/C_i)$ (SCHOLES; HORTON, 1993; KONRAD et al., 2005; MELO et al., 2010).

Aos 90 dias após semeadura (DAS) fez a colheita do milho doce verde para determinação da produtividade (MFF) (g por planta^{-1}); por meio do consumo hídrico das plantas em cada lâmina, determinou-se a Eficiência no Uso da Água (EUA) (g L^{-1}).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, ao nível de 5% de significância, havendo significância, os mesmos foram dispostos a análise de regressão polinomial,

ajustado pelo teste de Student até 5% de probabilidade com auxílio do software de análise estatística SISVAR 4.0 (FERREIRA, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento do milho doce foi influenciado pela restrição de água no solo, principalmente quanto ao diâmetro do colmo e a área foliar, assim como pode ser observado na Tabela 2, onde se obteve efeito significativo das lâminas nestas variáveis. Acrescenta-se ainda, em uma análise generalizada, que a área foliar e o diâmetro de colmo são variáveis sensíveis ao estresse, já que essas variáveis representam órgãos produtores e armazenadores de carboidratos na cultura do milho (Duarte et al., 2006). Pombal, PB, 2011.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para o número de folhas (NF), altura de planta (ALT) (m), diâmetro do colmo (DC) (mm) e área foliar (AF) (cm^2) para a milho doce (*Zea mays* L.) em função das lâminas de irrigação aplicadas (Lâmina) e seu desdobramento aos 90 dias após semeadura (DAS). Pombal, PB, 2011.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio			
		NF	ALT	DC	AF
Lâmina	4	0,41406 ^{ns}	0,00852 ^{ns}	12,07351 [*]	1049270 ^{ns}
Linear	1	0,30625 ^{ns}	0,00268 ^{ns}	33,63556 ^{**}	3704796 ^{**}
Quadrático	1	0,54018 ^{ns}	0,01795 ^{ns}	0,19861 ^{ns}	246139,7 ^{ns}
Erro	2	0,40491 ^{ns}	0,00672 ^{ns}	7,22993 ^{ns}	122973,03 ^{ns}
Bloco	3	1,56979 ^{ns}	0,02933 ^{ns}	1,97102 ^{ns}	376962,3 ^{ns}
Resíduo	12	0,54114	0,0113 ^{ns}	3,07578	331633,5
CV(%)		6,36	6,22	9,64	11,43
Média		11,56	1,71	18,20	5037,77

ns = não significativo, * significativo a 5% de probabilidade e ** significativos a 1% de probabilidade conforme teste F.

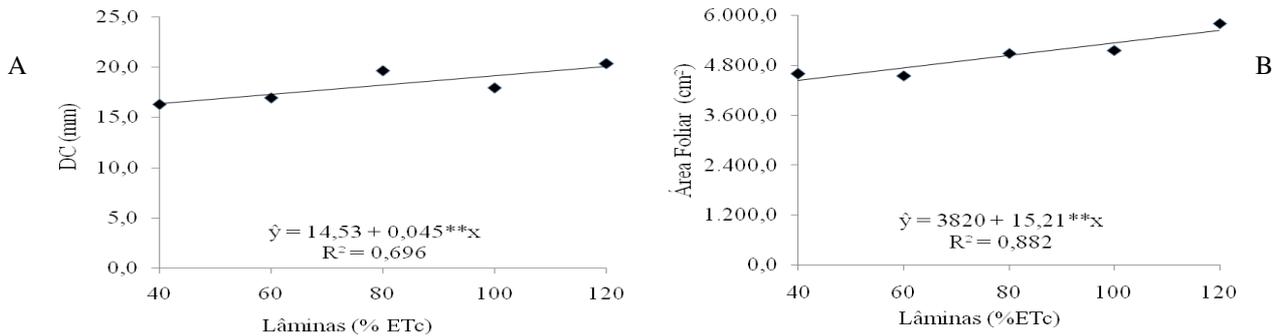
Ao se detalhar esses resultados, verificou-se incremento no diâmetro de colmo e em área foliar com aumento da lâmina de irrigação aplicada (Figura 2A e B), havendo aumento de 0,9 mm e 304,2 cm^2 , respectivamente, a cada adição de 20% na lâmina de irrigação em função da evapotranspiração da cultura, tomando-se por base o menor nível de irrigação (40% da ETc). Pode-se inferir que, sob melhores condições de cultivo, maior será a probabilidade de a planta expressar seu potencial genético. Assim, quando a lâmina de irrigação foi maior, as condições hídricas foram melhores, com isso houve um maior crescimento em área das folhas e diâmetro de colmo. Corroborando com os resultados de Costa et al. (2008), os quais verificaram redução da área foliar das plantas de milho, quando submetidas ao estresse hídrico.

A variação na disponibilidade hídrica proporcionou diferença significativa na formação de fitomassa, principalmente quando relacionadas às folhas (FSFolhas) e ao colmo (FSColmo) (Tabela 3), sendo o efeito linear. Corroborando com esses resultados, Rivera-Hernández et al. (2009), estudando tensões de umidade no solo combinado a fertilização fosfatada na cultura do milho, verificaram redução no crescimento e formação de fitomassa com tensões mais negativas, ou seja, com menor disponibilidade de água no solo.

Tal situação está relacionada à tensão de turgor, necessária para que haja fluxo de material orgânico na planta. Assim, com as células túrgidas, sujeitas a uma disponibilidade hídrica adequada, o produto da fotossíntese pode ser usado para transformar o CO_2 do ar em moléculas mais

complexas que, após serem formadas, são transferidas às células dreno por meio do floema e

com energia da pressão exercida pela solução (TAIZ; ZEIGER, 2009).



ns= não significativo, * significativo a 5% de probabilidade e ** significativos a 1% de probabilidade conforme teste 't'

Figura 2. (A) Diâmetro de colmo (DC) (mm) e (B) área foliar (cm²) do milho doce (*Zea mays* L.) em função das lâminas de irrigação estudadas por meio do percentual da Evapotranspiração da Cultura (% da ETc) aos 90 dias após semeadura (DAS). Pombal, PB, 2011.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para a massa fresca da parte aérea (MFPA) (g), fitomassa das folhas (FSFolhas) (g), fitomassa do colmo (FSColmo) (g) e fitomassa da inflorescência (FSInflorescência) (g) do milho doce (*Zea mays* L.) em função das lâminas de irrigação aplicadas (Lâmina) e seu desdobramento aos 90 dias após semeadura (DAS). Pombal, PB, 2011.

Fonte de Variação	Quadrado Médio			
	MFPA (g)	FSfolhas (g)	FSColmo (g)	FSInflorescência (g)
Lâmina	9718,750 ^{ns}	85,37681 ^{**}	1826,707 ^{**}	0,25338 ^{ns}
Linear	36150,160 [*]	240,47990 ^{**}	7119,158 ^{**}	0,85410 ^{ns}
Quadrático	388,5045 ^{ns}	40,55781 ^{ns}	48,02606 ^{ns}	0,10458 ^{ns}
Erro	2336,339 ^{ns}	60,469 [*]	139,64 ^{ns}	0,05486 ^{ns}
Bloco	5110,312 ^{ns}	13,00644 ^{ns}	553,4788 ^{ns}	0,7283 ^{ns}
Resíduo	5474,375	12,08003	196,5906	0,6565
CV(%)	20,38	12,02	17,22	28,82
Média	363,12	28,91	81,42	2,81

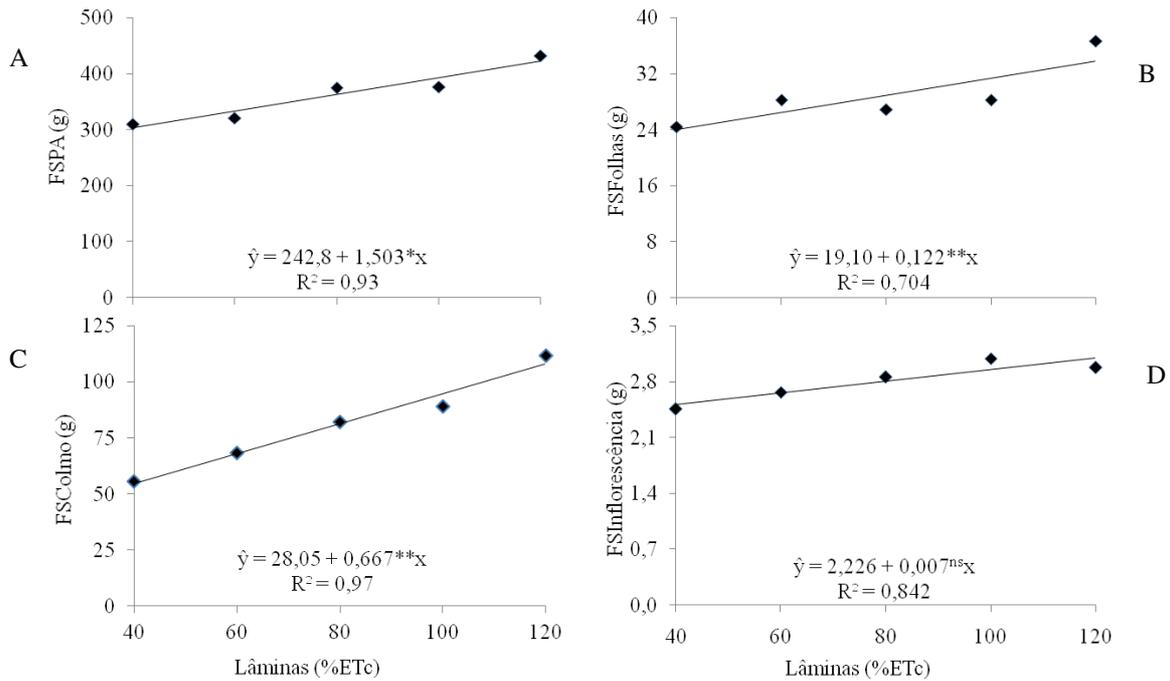
ns = não significativo, * significativo a 5% de probabilidade e ** significativos a 1% de probabilidade conforme teste F.

O incremento na matéria seca pode ser melhor visualizado na Figura 3, onde se verifica maior acúmulo de fitomassa no colmo com o incremento das lâminas. Nesse sentido, ao se aumentar em 20% a lâmina, tem-se um incremento de 47,55% em formação de fitomassa do caule, já nas fitomassas da parte aérea, folhas e inflorescência, o incremento foi de 12,38; 12,77 e 6,28%, respectivamente, com aumento em 20% na lâmina aplicada. Devido a essa sensibilidade, a variável FSColmo pode ser utilizada como base para determinação da tolerância de plantas de milho ao estresse hídrico, ou mesmo como fator que venha a ser correlacionada com a produção da cultura.

Ainda em relação à fitomassa do colmo, segundo Ayers e Westcot (1999), rendimentos até 90% do máximo podem ser economicamente

viáveis. Com isso, considerando-se que ao aplicar a lâmina de 120% da ETc tem-se como resultado o máximo de formação dessa fitomassa, ou seja, 108,0 g, estima-se que a produção economicamente viável pode ser obtida ao se aplicar uma lâmina estimada de 103,7% da ETc, correspondente a 97,2 g. Todavia, como a equação de regressão que melhor foi ajustada foi a linear, com maiores níveis de água obtêm-se o maior o crescimento.

É interessante ressaltar que as lâminas aplicadas levaram em consideração o Kc da cultura descritas em Resende et al. (2003), dessa forma, pode-se prever que estes são limitados para cultivo de milho na região semiárida do Brasil, necessitando-se de estudos que contemplem maiores lâminas de irrigação nas fases de desenvolvimento inicial.



ns= não significativo, * significativo a 5% de probabilidade e ** significativos a 1% de probabilidade conforme teste 't'

Figura 3. Análise de regressão para as variáveis: (A) fitomassa seca da parte aérea (FSPA) (g/planta), (B) fitomassa seca das folhas (FSFolhas) (g/planta), (C) fitomassa seca do Colmo (FSColmo) (g/planta) e (D) fitomassa seca da inflorescência (FSInflorescência) (g/planta) do milho doce (*Zea mays* L.) em função das lâminas de irrigação estudadas por meio do percentual da Evapotranspiração da Cultura (% da ETc) aos 90 dias após semeadura (DAS). Pombal, PB, 2011.

As lâminas afetaram, também, os aspectos fisiológicos das plantas (Tabela 4), principalmente quanto à fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), e eficiência intrínseca da

carboxilação (A/Ci). Tais resultados confirmam que os aspectos fisiológicos são afetadas por fatores ambientais, dentre eles, o efeito do estresse hídrico, assim como mencionam Shimazaki et al. (2007).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para a Concentração interna de CO₂ (Ci) (μmol m⁻² s⁻¹), fotossíntese (A) (μmol m⁻² s⁻¹), condutância estomática (gs) (mol de H₂O m⁻² s⁻¹), transpiração (E) (mmol de H₂O m⁻² s⁻¹), eficiência intrínseca da carboxilação (A/Ci), massa fresca do fruto (MFF) (g) e eficiência do uso da água (EUA) (g/L) do milho doce (*Zea mays* L.) em função das lâminas de irrigação aplicadas (Lâmina) e seu desdobramento aos 90 dias após semeadura (DAS). Pombal, PB, 2011.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio						
		Ci	A	gs	E	A/Ci	MFF	EUA
Lâmina	4	98,9250 ^{ns}	25,6197*	0,0070*	0,6506**	0,0014 ^{ns}	1568,4250 ^{ns}	0,2103 ^{ns}
Linear	1	19,6000 ^{ns}	83,6655**	0,0202**	1,2888**	0,0041*	3822,0250*	0,5417*
Quadrático	1	0,2857 ^{ns}	15,3197 ^{ns}	0,0031 ^{ns}	0,8800*	0,0016 ^{ns}	1617,8750 ^{ns}	0,1740 ^{ns}
Erro	2	187,9071 ^{ns}	2,3172 ^{ns}	0,0022 ^{ns}	0,2167 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	416,9000 ^{ns}	0,0628 ^{ns}
Bloco	3	1307,9333*	41,3868**	0,0050 ^{ns}	1,7002**	0,0062*	1097,1333 ^{ns}	0,1450 ^{ns}
Resíduo	12	238,3917	5,8520	0,0015 ^{ns}	0,1159	0,0008	596,5917	0,0844 ^{ns}
CV(%)		10,67	13,00	19,13	10,26	20,75	15,79	15,10
Média		144,70	18,61	0,20	3,32	0,13	154,70	1,92

ns = nãns = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade e ** = significativos a 1% de probabilidade conforme teste F.

Analisando-se os aspectos fisiológicos em conjunto (Figura 4), por meio de equações de regressão, verifica-se regressão linear crescente,

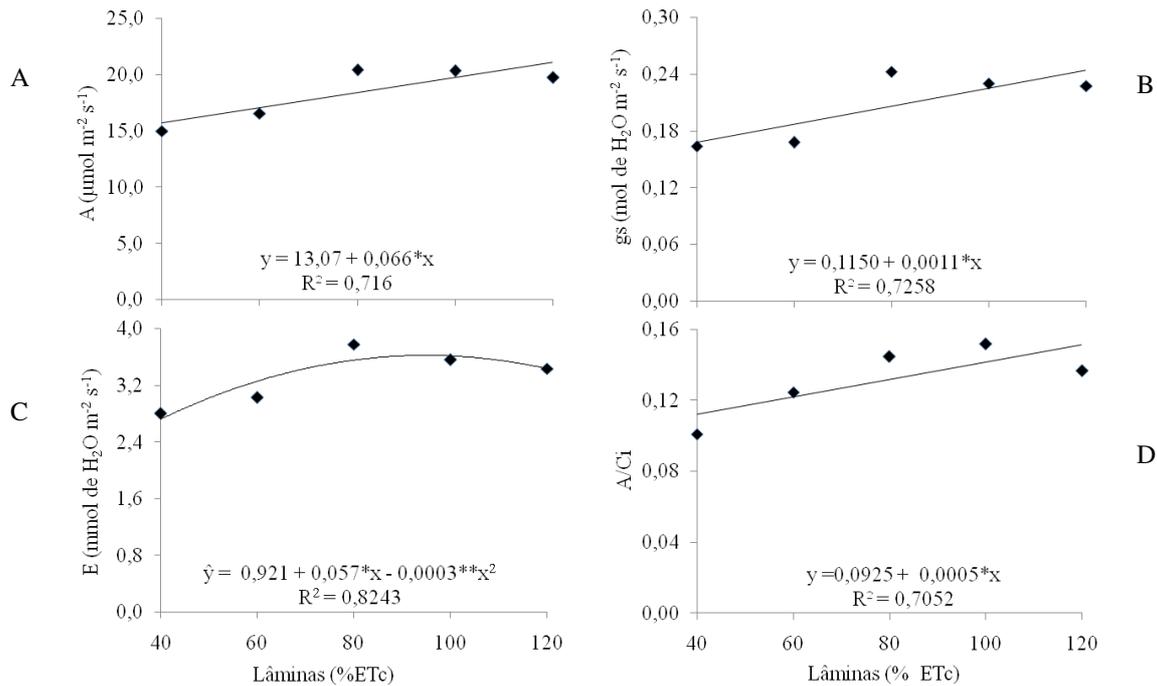
com aumento de 10,09; 19,13 e 10,81% na fotossíntese, condutância estomática e eficiência intrínseca da carboxilação por aumento de 20% da

ETc, respectivamente, se compararmos esses resultados aos observados nas variáveis de crescimento, nota-se que há coerência, verificando-se maiores valores quando se disponibilizou mais água.

Ademais, acrescenta-se que a variável fisiológica mais sensível ao estresse foi a condutância estomática, sendo assim, a planta na condição de estresse tende a fechar os seus estômatos no sentido de minimizar a perda de água e manter a turgescência, o que vem a refletir na

formação de carboidratos na fotossíntese e no acúmulo em fitomassa na planta, principalmente do caule. De maneira semelhante, Moura et al. (2006) obtiveram menor formação de fitomassa em plantas de milho doce sob restrição da disponibilidade hídrica.

Já para a transpiração, o comportamento foi quadrático, observando-se a maior médias quando se aplicou a lâmina estimada de 95% da ETc (Figura 4C), onde observa-se uma transpiração de 3,62 mmol de H₂O m⁻² s⁻¹, valor comum para plantas C₄.



ns= não significativo, * significativo a 5% de probabilidade e ** significativos a 1% de probabilidade conforme teste 't'

Figura 4. (A) fotossíntese (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), (B) condutância estomática (g_s) (mol de H₂O m⁻² s⁻¹), (C) transpiração (E) (mmol de H₂O m⁻² s⁻¹) e (D) eficiência intrínseca da carboxilação (A/Ci) do milho doce aos 90 dias após semeadura em função da lâmina de água aplicada. Pombal, PB, 2011.

Ainda para as características fisiológicas, ao analisar os dados brutos (Figura 4), verifica-se uma estabilização a partir da lâmina de 80%, assim, acredita-se que a planta não priorizou a formação de material reprodutivo em lâminas superiores, por não haver estresse significativo, ou seja, não houve estabilização do crescimento em virtude do estresse.

Corroborando com os resultados observados, Wu et al. (2011), estudando a resposta fisiológica e de crescimento do milho sob déficit hídrico, verificaram redução na matéria seca das plantas e na transpiração, principalmente ao manter o solo com umidade abaixo de 90% da Cc.

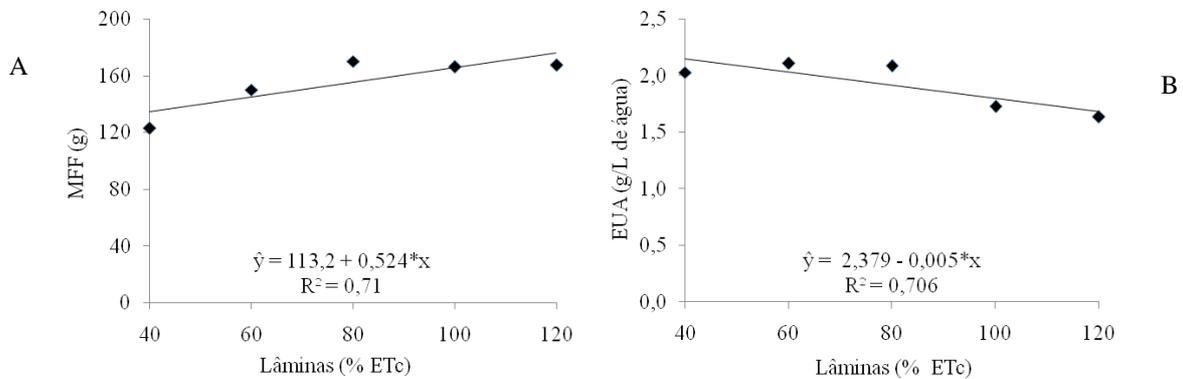
Sob maior disponibilidade hídrica no solo, o potencial hídrico fica próximo à capacidade de campo, neste sentido, o fluxo de seiva pelos vasos é

facilitado; com maior fluxo de seiva para a parte aérea, ocorrerá maior fluxo de água para a atmosfera e maior assimilação de CO₂. Com esse processo, é possível, para a planta, transformar CO₂ em moléculas orgânicas, que poderão ser usadas nas demandas do vegetal, observando-se que a passagem deste material para vasos condutores depende do gradiente de potencial, principalmente da tensão de turgor, que, além de garantir o fluxo de seiva, é responsável pela expansão celular (TAIZ; ZEIGER, 2009). Assim, com maior demanda hídrica, pode ter havido maior dispêndio de compostos orgânicos no sentido de proporcionar maior crescimento.

A limitação no crescimento da cultura proporcionado pelas lâminas de irrigação, refletiram

na massa dos frutos frescos, assim, verifica-se maior produção com as maiores lâminas aplicadas (Figura 5A). Os valores observados para a massa fresca do fruto refletem o rendimento da cultura, verificando-se que as médias variaram entre 120 e 160 g por fruto, no menor e maior nível de água aplicado,

respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Moura et al. (2006), os quais avaliaram o crescimento e a produtividade do milho sob intervalos de irrigação, verificando-se valores entre 90 e 160 g por fruto no menor e maior estresse hídrico.



ns= não significativo, * significativo a 5% de probabilidade e ** significativos a 1% de probabilidade conforme teste 't'

Figura 5. (A) Massa Fresca do Fruto (MFF) com palha e (B) Eficiência no uso da água do milho doce aos 90 dias após semeadura em função da lâmina de água aplicada. Pombal, PB, 2011.

Destaca-se, ainda, a relação entre o crescimento em diâmetro do colmo, a formação de fitomassa de colmo e a massa fresca dos frutos, demonstrando a importância da relação fonte dreno, pois, principalmente no estágio R₃, quando o grão está leitoso, os fotoassimilados são translocados das folhas e colmo para os grãos (MAGALHÃES et al., 2002). Desta maneira, pode-se observar maior acúmulo de massa nos grãos quando se tem maiores reservas no colmo, havendo redução no processo com a limitação na disponibilidade hídrica. Tal situação permite inferir que as variáveis relacionadas a formação do colmo e a produção são indicadas para estudo do estresse hídrico em plantas de milho doce.

Tomando por base a massa da espiga, produto comercial do milho verde, pode-se ter rendimentos economicamente viáveis em menores níveis de água aplicados, notadamente em lâminas superiores a 80% da ETc. Todavia, deve-se considerar que o período de precipitações na região coincidiu com a época de floração e frutificação do milho, assim, durante o enchimento de grãos, não houve restrição hídrica, o que pode ter modificado a resposta da planta quanto à produção (Figura 1). Com isso, pode-se dizer que há produção satisfatória, economicamente, ao se disponibilizar 680 mm de água a cultura durante o ciclo.

Considera-se, ainda, que entre as fases V5 e V8 do milho, conforme Duarte et al (2006), são definidos o número de grãos por fileira e o número de fileiras por fruto; salienta-se que, durante estas

fases, não houve influência de chuvas no experimento. Assim, acredita-se que a planta, mesmo sob o nível de 80% da ETc, não restringiu a formação em número de grãos na espiga, com isso, com maior disponibilidade de água no solo durante às fases de floração e frutificação, não ocorreu comprometimento da produção.

Em concordância, Rivera-Hernández et al. (2009) também tiveram maiores produções de milho verde, quando mantiveram a umidade do solo próxima a capacidade de campo, ressaltando que na tensão de -30KPa não observou diferença significativa da produção obtida quando se manteve o solo a tensão de -5 kPa. Tais aspectos enfatizam a necessidade hídrica da cultura do milho e a importância da água nas fases de floração e frutificação.

Complementando as discussões e dando melhor embasamento a indicação da lâmina de irrigação de 80% da ETc, durante a fase vegetativa da cultura do milho, tem-se a eficiência no uso da água (EUA); observando-se, na Figura 5B, maior produção em gramas por litro de água consumido de cada planta também na lâmina de 80% da ETc. Nesta situação, então, tem-se a conciliação dos dois fatores principais de produção no semiárido, pois, quando aplicamos a referida lâmina, temos maior produção total e maior produção por volume consumido. Por outro lado, embora tal eficiência tenha sido maior em lâminas inferiores (60 e 40% da ETc), estas proporcionaram estresses às plantas que denotaram em menor crescimento, índices

fisiológicos e produtividade, assim como verificado anteriormente.

Quando há redução na disponibilidade hídrica, a planta tende a reduzir o fluxo transpiracional e realizar mecanismos de ajustamento osmótico, de modo a garantir a absorção de água e manter as células túrgidas (TAIZ; ZEIGER, 2009), ressaltando que tal processo depende de gastos de energia que pode comprometer a produção. Neste sentido, devem-se obter lâminas adequadas, considerando-se o menor consumo hídrico com a maior produção. Da mesma forma, Schittenhelm (2010), estudando o efeito do suprimento hídrico baixo, médio e alto, na cultura do milho, verificou maiores produções nas maiores lâminas e maiores eficiências no uso da água nas menores lâminas aplicadas, obtendo valores entre 3,7 e 4,5 g L⁻¹ de água, todavia, usando a matéria seca de toda a planta.

CONCLUSÕES

O crescimento da cultura do milho é limitado pela deficiência hídrica, principalmente sob lâminas inferiores a 80% da ETc.

O diâmetro de colmo e a massa seca do colmo são variáveis indicadas para o estudo do estresse hídrico em milho doce, por serem mais sensíveis ao estresse.

As trocas gasosas são reduzidas pela limitação em água, sendo lâminas acima de 80% da ETc mais adequadas à irrigação com base nos dados brutos.

A condutância estomática é a variável fisiológica mais sensível ao estresse.

A lâmina de 80% da ETc pode ser aplicada na cultura do milho na fase vegetativa, pois não há comprometimento na definição do número de grãos por fileiras e de fileiras por espiga.

ABSTRACT: The plant growth of economic importance in the semiarid region, such as sweet corn, is an alternative to production system, however, to know the limitation of production and growth under water deficit. So, in order to evaluate the phytotechnical aspects of sweet corn, under water stress in semi-arid region of Paraíba, Br. In randomized block design, with four replications, were studied five irrigation depth, determined from of sweet corn evapotranspiration (40%, 60%, 80%, 100% and 120% of ETc) in the experimental field of Pombal Campus, Federal University of Campina Grande, with the experimental unit consisted of eight plants. Were evaluated the growth, the dry matter formation, production and physiological aspects of culture; the data were submitted to variance analysis by 'F' test ($p < 0.05$) and polynomial regression analysis. The growth of the corn crop is limited by water deficiency, principally when are used depth less that 80% of ETc; the stalk corn diameter and dry mass of stalk corn are variables indicated for the study of water stress in sweet corn; the depth of 80% of ETc can be suitable for vegetable phase, without less of grains by line and line by corn cob.

KEYWORDS: *Zea mays* L. Plant yield. Irrigation.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements.** Roma: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 29 Revisado I.
- CHUN, J. A.; WANG, Q.; TIMLIN, D.; FLEISHER, D.; REDDY, V. R. Effect of elevated carbon dioxide and water stress on gas exchange and water use efficiency in corn. **Agricultural and Forest Meteorology**, New Haven, v. 151, n. 3, p. 378–384, 2011.
- COSTA, J. R.; PINHO, J. L. N.; PARRY, M. M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 443–450, 2008.
- DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; MATTOS, M. J. **Sistema de produção de milho e sorgo.** Sete Lagoas, 2006. Disponível em: <<https://www.cnpms.com.br>>. Acesso em: 16 mai. 2011.
- FERNANDES, P. D. **Análise de crescimento e desenvolvimento vegetal.** Campina Grande: UFPB – DEAg, 2002. 52 p.

- FERREIRA, D. F. **Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0.** In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, São Carlos, SP. p. 255-258, 2000.
- IBGE – Sidra, Produção Agrícola Municipal, 2011. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=PA&z=t&o=11>. Acesso em: 26 jan. 2013.
- KONRAD, M. L. F. SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C.. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Piracicaba, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.
- KWIATKOWSKI, A.; CLEMENTE, E. Características do milho doce (*Zea mays L.*) para industrialização. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa, v. 1, n. 2, p. 93-103, 2007.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do milho.** Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2002. 23 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 22)
- MAIA, P. S. P.; NETO, C. F. O.; CASTRO, D. S.; FREITAS, J. M. N.; LOBATO, A. K. S.; COSTA, R. C. L. Conteúdo relativo de água, teor de prolina e carboidratos solúveis totais em folhas de duas cultivares de milho submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 918-920. 2007.
- MELO, A. S. de.; FERNANDES, P. D.; SOBRAL, L. F.; BRITO, M. E. B.; DANTAS, J. D. M. Crescimento, produção de biomassa e eficiência fotossintética da bananeira sob fertirrigação com nitrogênio e potássio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 417-426, 2010.
- MOURA, E. G. de; TEIXEIRA, A. P. R.; RIBEIRO, V. S.; AGUIAR, A. das C. F.; FARIAS, M. F. de. Crescimento e produtividade da cultura do milho (*Zea mays L.*) submetido a vários intervalos de irrigação na região da Pré-Amazônia. **Irriga**, Piracicaba, v. 11, n. 2, p. 169-177, 2006.
- PEIXOTO, C. P. CERQUEIRA, E. C.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T. de; LEDO, C. A. S.; MATOS, F. S. A.; OLIVEIRA, J. G. de. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 439-443, 2006.
- QUIÑONES, A.; BAÑULS, J.; PRIMO-MILLO, E.; LEGAZ, F. Recovery of the ¹⁵N-labelled fertiliser in citrus trees in relation with timing of application and irrigation system. **Plant and Soil**, Crawley, v. 268, n. 1, p. 367-376, 2005.
- RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; COUTO, L. (Ed). **A cultura do milho irrigado** (S. 1.). Embrapa Milho e Sorgo, Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 317 p.
- RIVERA-HERNÁNDEZ, B.; CARRILO-ÁVILA, E.; OBRADOR-OLÁN, J. J.; JUÁREZ-LÓPEZ, J. F.; ACEVES-NAVARRO, L. A.; GARCÍA-LÓPEZ, E. Soil moisture tension and phosphate fertilization on yield components of A-7573 sweet corn (*Zea mays L.*) hybrid, in Campeche, Mexico. **Agricultural Water Management**, Bushland, v. 96, n. 9, p. 1285-1292, 2009.
- SCHITTENHELM, S. Chemical composition and methane yield of maize hybrids with contrasting maturity. **European Journal Agronomy**, Córdoba, v. 29, n. 2, p. 72-79, 2008.
- SCHITTENHELM, S. Effect of drought stress on yield and quality of maize/sunflower and maize/sorghum intercrops for biogas production. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 196, n. 4, p. 253-261, 2010.
- SCHOLES, J. D.; HORTON, P. Photosynthesis and chlorophyll fluorescence: simultaneous measurements. In: **Methodes in comparative plant ecology**. London: Chapman & Hall, 1993. 252p.

SHIMAZAKI, K. I.; DOI, M.; ASSMANN, S. M.; KINOSHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 58, n. 1, p. 219-247, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed, Porto Alegre: ARTMED, 2009. 819p.

TEIXEIRA, F. F.; SOUZA, I. R. P.; GAMA, E. E. G.; PACHECO, C. A. P; PARENTONI, S.N.; SANTOS, M. X.; MEIRELLES, W. F. Avaliação da capacidade de combinação entre linhagens de milho doce. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 3, p. 483-488, 2001.

WEILAND, P. Biomass digestion in agriculture: a successful pathway for the energy production and waste treatment in Germany. **Engineering Life Science**, Dresden, v. 6, n. 3, p. 302-309, 2006.

WU, Y.; HUANG, M.; WARRINGTON, D.N. Growth and transpiration of maize and winter wheat in response to water deficits in pots and plots. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 71, n. 1, p. 65-71, 2011.