

CRESCIMENTO E FORMAÇÃO DE FITOMASSA DO TOMATEIRO SOB ESTRESSE HÍDRICO NAS FASES FENOLÓGICAS

MARCOS ERIC BARBOSA BRITO¹; LAURIANE ALMEIDA DOS ANJOS SOARES²; GEOVANI SOARES DE LIMA³; FRANCISCO VANIES DA SILVA SÁ⁴; TAMIRES TAVARES DE ARAÚJO⁴ E ELAINE CRISTINA BATISTA DA SILVA⁴

¹Engenheiro Agrônomo – Doutor – Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias – Universidade Federal de Campina Grande/UFCG, Pombal, PB, Brasil, marcoseric@ccta.ufcg.edu.br

²Engenheira Agrônoma – Doutoranda em Engenharia Agrícola – Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Campina Grande/UFCG, Campina Grande, PB, Brasil, laurispo@hotmail.com

³Pesquisador Doutor em Engenharia Agrícola, Programa Nacional de Pós-Doutorado/CAPES, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil, geovanisoareslima@gmail.com

⁴Graduando em Agronomia – Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias – Universidade Federal de Campina Grande/UFCG, Pombal, PB, Brasil, vanies_agronomia@hotmail.com, tt.araujo@hotmail.com, elainecristina6@hotmail.com

1 RESUMO

A água é fundamental no metabolismo das plantas, notadamente para o tomateiro, com demanda hídrica variável em cada fase fenológica, ocasionando alteração no crescimento e desenvolvimento da cultura. Objetivou-se avaliar o crescimento e a formação de fitomassa do tomateiro sob estresse hídrico aplicado nas fases fenológicas em condições de ambiente protegido no semiárido da Paraíba. Os tratamentos foram constituídos da aplicação de quatro lâminas de água [60, 80, 100 (testemunha) e 120% da Evapotranspiração real – ETr] em três fases de desenvolvimento (vegetativa, floração e frutificação). O experimento foi desenvolvido no delineamento de blocos casualizados com quatro repetições e uma planta por parcela, que foi conduzida em lisímetro de drenagem preenchido com 52 kg de um Neossolo Fúlvico eutrófico típico de textura franco-arenosa, sendo as unidades experimentais dispostas em fileira simples espaçadas de 1,0 m entre fileiras e 0,6 m entre plantas dentro da fileira. Avaliou-se o diâmetro caulinar, altura de plantas, fitomassa seca de folhas, caule, raiz nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm e o extravasamento de eletrólitos nas folhas. A irrigação com lâmina de 80% da ETr resulta em aumento no crescimento e acúmulo de fitomassa do tomateiro. O estresse hídrico aumenta a proporção de fitomassa do caule em relação às folhas, podendo ser um mecanismo de tolerância da cultura. A fase de floração mostrou-se mais sensível ao estresse hídrico, com drástica redução nos aspectos morfofisiológicos. Quando aplicado nas fases de floração e frutificação, o extravasamento de eletrólitos é a variável mais sensível ao estresse hídrico.

Palavras-chave: Evapotranspiração, Lâminas de água, *Lycopersicum esculentum*

BRITO, M. E. B.; SOARES, L. A. dos A.; LIMA, G. S. de; SÁ, F. V. da S.; ARAÚJO, T. T. de; SILVA, E. C. B. da

GROWTH AND PHYTOMASS FORMATION OF THE TOMATO PLANT UNDER WATER STRESS IN PHENOLOGICAL PHASES

2 ABSTRACT

Water is essential for plant metabolism, especially for tomato plants with variable water demands in each phenological phase, leading to alterations in growth and development of the plants. The objective of this study was to evaluate growth and phytomass formation of the tomato plant under water stress applied in the phenological phases under protected environment in the semi arid of the Paraíba state. Treatments consisted of application of four water depths [60, 80, 100 (control) and 120% actual evapotranspiration – ETr] in three development stages (vegetative, flowering and fruiting). Randomized blocks with four replicates and one plant per plot were used in the experimental design. A drainage lysimeter filled with 52 kg of an eutrophic fulvic neosoil with sandy loam texture was used. The experimental units were arranged in 1.0 m spacing single rows and 0.6 m between plants. The following parameters were evaluated: stem diameter; plant height; dry phytomass of leaves, stem, roots at 0-20 cm and 20-40 cm deep and electrolyte leakage in leaves. Irrigation at 80% ETr caused an increase in growth and phytomass formation in the tomato plant. Water stress increased the content of phytomass in the stem as compared to that in the leaves, which could be explained as a tolerance mechanism from the plant. The flowering stage was more sensitive to water stress, with a sharp reduction in morpho physiological features. When water stress is applied during the flowering and fruiting stages, electrolyte leakage is the most sensitive variable.

Keywords: Evapotranspiration, water depths, *Lycopersicon esculentum*

3 INTRODUÇÃO

Dentre as hortaliças cultivadas no Brasil, o tomateiro (*Lycopersicon esculentum*) é uma das mais importantes, considerando-se os aspectos socioeconômicos, já que é cultivada em todos os estados da Federação, em uma área de 67.992 ha, com produção superior a 4,1 milhões de toneladas, das quais cerca de 16% são provenientes do estado de São Paulo, 15% do Nordeste e 0,6% da Paraíba (IBGE, 2010). Assim, a sua ampla utilização em diversas regiões do país deve-se, principalmente, às suas qualidades organolépticas e ao seu valor como alimento funcional em vista das propriedades antioxidantes do licopeno (Chitarra & Chitarra, 1990).

Salienta-se que o tomateiro, como as hortaliças em geral, possui desenvolvimento influenciado pelas condições de umidade do solo. A deficiência hídrica é, normalmente, o fator mais limitante à obtenção de produtividades elevadas e produtos de boa qualidade, mas o excesso também pode ser prejudicial, sendo que a reposição de água ao solo por irrigação, na quantidade e no momento oportuno, é decisiva para obter maximização da produção (Marouelli & Silva, 2006).

No tomateiro, para se obter rendimentos elevados, é necessário repor a quantidade adequada de água ao solo, mantendo-o relativamente úmido durante todo o período de crescimento. Por outro lado, a deficiência hídrica causa sintomas na planta que depende do genótipo, da duração, da severidade e do seu estágio de desenvolvimento (Ayers & Westcot, 1999). Assim, é de grande valia identificar os níveis adequados de irrigação para cada fase de desenvolvimento, conhecendo-se qual fase possui maior tolerância ao déficit hídrico.

O ciclo do tomateiro pode ser dividido em três fases distintas. A primeira tem duração de quatro a cinco semanas, aproximadamente, com início no transplante das mudas e término no início do florescimento; a segunda fase compreende cinco a seis semanas, iniciando-se por

ocasião do florescimento e finalizando no início da colheita dos frutos; e a terceira fase representa todo o período da colheita (Alvarenga, 2004).

Assim como as demais culturas, o crescimento e o desenvolvimento do tomateiro são plenamente satisfeitos mediante um suprimento hídrico diferenciado para suas diferentes fases fenológicas, compatíveis com sua capacidade de retirada de água na zona padrão de absorção pelas raízes evitando desperdício de água e saturação da área de cultivo (Barreto, 2004). Nesse sentido, o entendimento das respostas das plantas ao déficit hídrico é de fundamental importância para o conhecimento da variação do consumo de água da cultura em suas diferentes fases de desenvolvimento, podendo-se interferir sobre os aspectos fisiológicos envolvidos no processo, assim como sobre suas consequências (Peixoto et al., 2006).

Marouelli e Silva (2006) mencionam que as plantas submetidas a restrições hídricas produziram frutos mais ácidos que àquelas irrigadas em alta frequência durante o estágio de frutificação. A necessidade hídrica do tomateiro esta entre 400 e 600 mm ciclo⁻¹, valor esse flexível em decorrência do clima (Silva et al., 2000), todavia, pode-se otimizar o uso da água, reduzindo-se o volume de água aplicada em fases de desenvolvimento menos críticas (Fageria & Gheyi, 1997).

Neste sentido, há diversos estudos realizados com cultivares de tomate para a indústria (Marouelli & Silva, 2006; Pires et al., 2009; Silva et al., 2013), não havendo, contudo, trabalhos que relacionem a aplicação de lâminas de irrigação em fases fenológicas, de modo a identificar as fases mais críticas e que quantificam a água necessária para garantir maior crescimento e eficiência no uso da água, notadamente em plantas de crescimento indeterminado.

Diante do exposto, objetivou-se, com este estudo, avaliar o crescimento e a formação de fitomassa do tomateiro sob déficit hídrico aplicado nas fases fenológicas em condições de ambiente protegido.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos, sob condições de ambiente protegido, no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar – CCTA, da Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Pombal, PB, 6°48'16" de latitude S e 37°49'15" de longitude W, a uma altitude de 174 m.

Os tratamentos foram constituídos da aplicação de quatro lâminas de água [60, 80, 100 (testemunha) e 120% da Evapotranspiração real – ETr] em três fases de desenvolvimento (vegetativa, floração e frutificação). O experimento foi desenvolvido no delineamento de blocos casualizados com quatro repetições e uma planta por parcela, conduzida em lisímetros de drenagem, sendo as unidades experimentais dispostas em fileiras simples espaçadas de 1,0 m entre fileiras e 0,6 m entre plantas dentro da fileira.

Estimou-se a evapotranspiração real da cultura (ETr) a partir da lisimetria de drenagem, conforme descrito por Bernardo et al. (2008). Para tanto, determinou-se o consumo de água pelas plantas a partir do tratamento controle (100% da ETr), obtidas pela diferença entre o volume aplicado (Va) e volume drenado na irrigação anterior (Vd), resultando no volume consumido (Vc), quando multiplicado pelos fatores 0,6, 0,8, 1,0 e 1,2, obtendo-se lâminas de 60, 80, 100 e 120% da ETr, respectivamente. Nos primeiros 15 dias após o transplantio (DAT) todos os tratamentos foram irrigados diariamente, usando-se de um sistema de irrigação por gotejamento, com emissores de vazão regulada igual a 6 L h⁻¹,

mantendo-se as plantas sob solo próximo a capacidade de campo, de modo a garantir um desenvolvimento uniforme das mudas.

As lâminas de irrigação foram aplicadas nas três fases de desenvolvimento da cultura (vegetativa, floração e frutificação) do tomateiro, a primeira teve início aos 15 dias após transplantio (DAT) e foi finalizada aos 41 DAT; a segunda fase foi iniciada aos 42 DAT e finalizada aos 82 DAT, com início da terceira fase, que perdurou pelo período de 83 a 112 DAT, sendo finalizado com a colheita, seguindo informações de Alvarenga (2004).

Na condução das plantas, utilizaram-se vasos plásticos de 40 L de capacidade, que foram perfurados na base para introdução de uma mangueira com 10 cm de comprimento e 0,5 cm de diâmetro nominal, a qual foi acoplada a um recipiente para coleta da água drenada. No preenchimento, os vasos receberam uma manta geotextil não tecida (Bidim OP 30) para evitar a obstrução da mangueira pelo solo, seguindo por acrescentar uma camada de 4 kg de brita, para facilitar a drenagem subterrânea e 52 kg de um Neossolo Fúlvico eutrófico típico de textura franco-arenosa, retirado do horizonte A, cujas características químicas e físicas encontram-se nas Tabelas 1 e 2, sendo este solo de uso comum para o cultivo do tomateiro (Gonçalves et al., 2011).

Tabela 1. Características químicas da água utilizada no experimento.

pH	CE _a	K	Ca	Mg	Na	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	CaCO ₃	RAS ¹
	dS m ⁻¹					mg L ⁻¹					(mmol _c L ⁻¹)
7,80	0,30	0,22	0,60	1,20	0,71	0,00	0,00	2,36	1,80	0,75	99,20

CE_a: Condutividade elétrica da água; ¹RAS= Relação de absorção de sódio.

Foram utilizadas sementes da cultivar de tomate Super Marmande, caracterizado por hábito de crescimento indeterminado, ciclo de 105 dias após a emergência, resistência a *Fusarium* e *Verticillium*, frutos do tipo globular com sulcos, peso médio de 180 g e indicados para saladas, a produtividade média entre 50 e 80 toneladas de frutos comerciais por hectare (Peixoto et al., 2001). No preparo das mudas, as sementes foram semeadas em bandeja de poliestireno com 128 células, na razão de três por célula, usando-se substrato comercial a base de casca de pinus, vermiculita e húmus na proporção de 1:1: 1.

Tabela 2. Características físicas e químicas do Neossolo Flúvico utilizado no experimento.

Densidade (kg dm ⁻³)	Porosidade total (%)	Umidade (%)		Água disponível (%)	Complexo sortivo					
		0,33 atm	15,0 atm		Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	pH _{ps}	CE _{es}
1,31	48,22	18,01	9,45	8,56(cmol _c kg ⁻¹).....					
					7,50	5,15	0,29	0,29	7,33	0,53

Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ pH 7,0; Na⁺ e K⁺ extraídos utilizando-se NH₄OAc 1 mol L⁻¹ pH 7,0; pH_{ps} - pH da pasta de saturação; CE_{es} - condutividade elétrica do extrato de saturação

Após 15 dias da semeadura (DAS), duas mudas foram transplantadas em cada vaso, ocasião em que as plantas possuíam, em média, 5 cm de altura e duas folhas definitivas. Com o início dos tratamentos, procedeu-se o desbaste de uma das plantas, a qual foi usada para obtenção da matéria seca inicial, deixando-se apenas uma planta com melhor vigor por vaso, a partir deste período, a quantidade de água aplicada às plantas seguiu os tratamentos; sendo que, para averiguar o conteúdo de água no solo, procedeu, em cada mudança de fase fenológica, a coleta de amostras de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, a fim de determinar o teor de água por gravimetria [(g g⁻¹) * 100] sendo os resultados expressos em % de peso.

A adubação foi feita com base na análise química do solo e seguiu recomendações contidas em Eloi (2007) para adubação de fundação e cobertura via fertirrigação. Foram

aplicados, em fundação, 50% do fósforo e, em cobertura, via fertirrigação, na fase vegetativa 20% do N, 25% do P e 10% do K; na fase de floração 52% do N, 25% do P e 40% do K e, na fase de frutificação os 28% do N e 50% do K, em aplicações semanais, seguindo esquema de parcelamento apresentado por aquele autor.

Além da adubação, foram realizados os seguintes tratos culturais: tutoramento das plantas, eliminação manual das plantas daninhas, escarificação superficial do solo antes de cada irrigação e pulverizações ao longo da condução, com produto indicado para o controle preventivo de insetos.

Para análise do efeito dos tratamentos sobre o crescimento e o desenvolvimento do tomateiro, foram determinados: o diâmetro do caule (DC) e a altura de planta (AP) no início e final de cada fase de desenvolvimento. O diâmetro caulinar foi determinado a 5 cm do colo das plantas, com auxílio de um paquímetro digital, e a altura de planta foi mensurada pela determinação da distância entre o colo e ápice da planta, utilizando-se de trena graduada em centímetros. Com estes dados, determinaram-se as taxas de crescimento relativo em altura de plantas (TCRAP) ($\text{cm cm}^{-1} \text{dia}^{-1}$) e em diâmetro de caule (TCRDC), seguindo metodologia descrita em Benincasa (2003).

No final da fase de produção, aos 112 DAT, coletaram-se as plantas para determinação da fitomassa seca das folhas (FSF), do caule (FSC) e das raízes (FSR), sendo esta nas profundidades de 0-20 cm (FSR0-20) e 20-40 cm (FSR20-40). Ainda, no final de cada fase fenologia, obteve-se o extravasamento de eletrólitos, extraíndo-se, por unidade experimental, cinco discos foliares de área 113 mm^2 cada, com auxílio de um perfurador de cobre, os quais foram lavados e acondicionados em béqueres contendo 50 mL de água destilada. Os béqueres foram fechados e mantidos à temperatura de 25°C , por 120 minutos. Após este período, a condutividade inicial no meio foi medida (X_i) usando um condutivímetro de bancada. Em seguida, os béqueres foram submetidos à temperatura de 90°C , por 240 minutos, em estufa de secagem e a condutividade medida novamente (X_f). O extravasamento de eletrólitos foi expresso como a porcentagem de condutividade em relação à condutividade total após o tratamento por 240 minutos a 90°C : $[(X_i/X_f) \times 100]$ (Scotti Campos & ThuPhamThi, 1997).

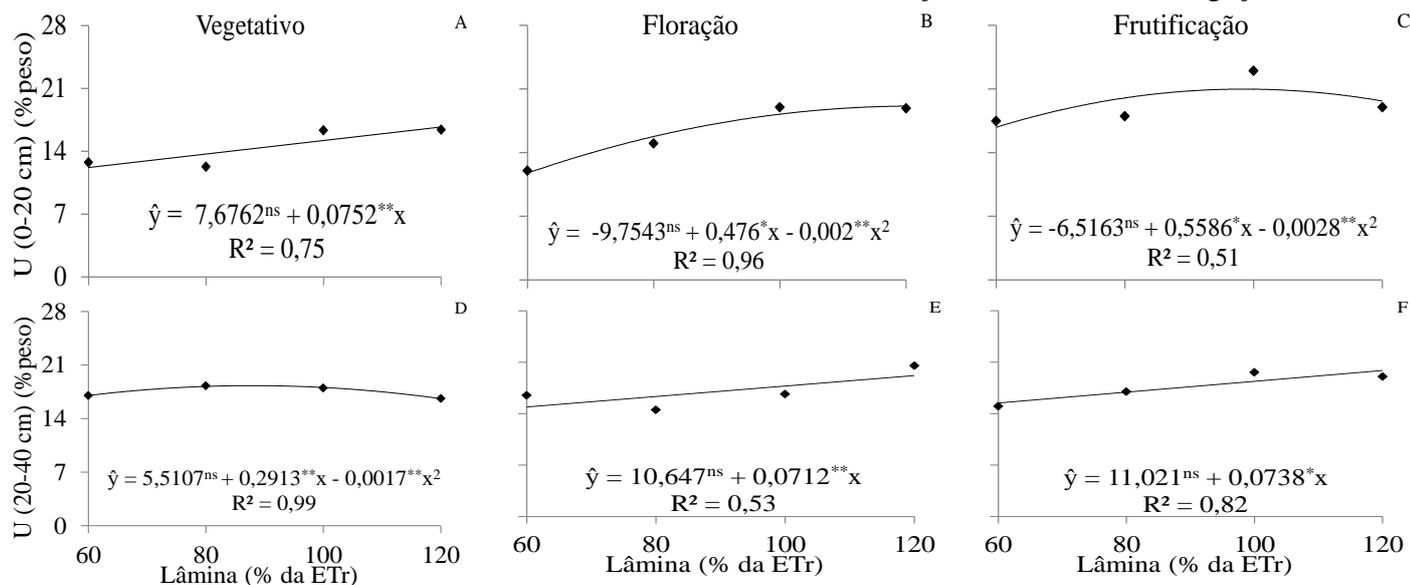
Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, nos casos de significância, realizou-se análise de regressão polinomial linear e quadrática para o fator lâmina em cada fase fenológica, utilizando software estatístico SISVAR (Ferreira, 2003). A escolha do modelo de regressão foi feita mediante melhor ajuste em base de coeficiente de determinação (R^2) e levando em consideração uma possível explicação biológica para os tratamentos estudados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliando-se a umidade do solo (%peso), obtida nos vasos cultivados com tomateiro, nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, ao final de cada fase fenológica (Figura 1), observam-se, notadamente na profundidade de 0-20 cm, que ao aplicar a menor lâmina (60% da ETr) ocorre variação de 12,18% na fase vegetativa a 16,91% na fase de frutificação, indicando que, as plantas estavam sob condições de umidade do solo limitada quando comparada a condição de maior disponibilidade hídrica com o maior nível de água (120% da ETr), encontrando valores variando entre 16,70e 20,19% entre as fases. Da mesma maneira, Marouelli et al. (2003), estudando diferentes regimes de irrigação por gotejamento em plantas de tomateiro, verificaram diferenças entre os tratamentos, sendo a menor umidade observada nas menores tensões de água no solo.

A maior diferença (11,27% peso) na concentração de água no solo foi observada nas plantas submetidas ao estresse durante a fase de floração, fato atribuído ao baixo consumo hídrico das plantas sob estresse na fase vegetativa, relativo ao porte, quanto à manutenção da umidade no solo para as plantas sob estresse na fase de frutificação. Ainda, deve-se considerar que o período de floração foi o mais extenso entre as fases, o que contribuiu para aumentar a diferença e a intensidade do estresse.

Figura 1. Umidade do solo nas profundidades de 0-20 cm (U0-20) e 20-40 cm (U20-40), no final das fases de desenvolvimento da cultura em função das lâminas de irrigação.



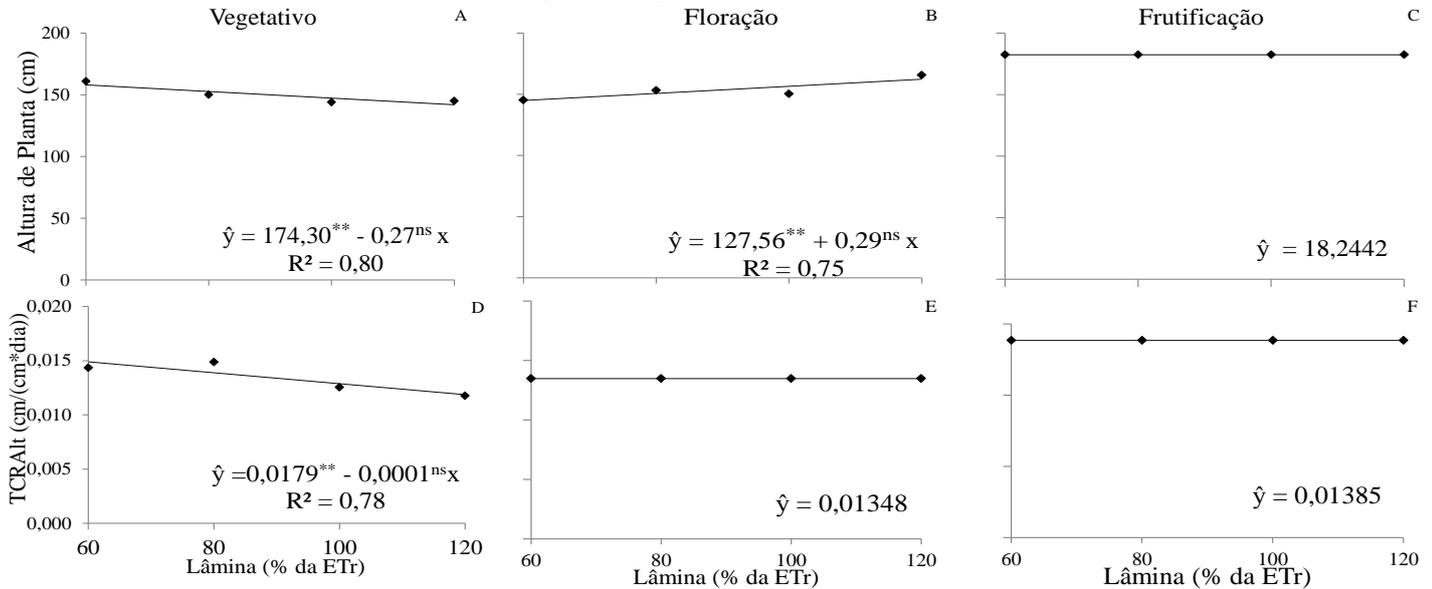
Um aspecto relevante, nas plantas sob condições de estresse na fase de frutificação foi a pouca influência da umidade do solo na superfície entre 0-20 cm, proporcionando uma diferença de 34,39% entre os níveis de 80 e 120% da ETr (Figura 1C), por outro lado, na maior profundidade estudada (Figura 1F), constatou-se diferença acentuada (40,17%) entre as lâminas de 60 e 120% da ETr.

Analisando-se a altura de planta em função das lâminas de água em cada fase fenológica do tomateiro, observa-se redução linear de 4,17% por aumento de 20% da ETrna fase vegetativa, notando-se redução de 23,2 cm (14,29%) em altura com o aumento na lâmina de 60 para 120% da ETr (Figura 2A). Sabendo-se que as plantas estavam na fase inicial de crescimento, com baixa demanda hídrica em virtude da área foliar limitada, pode-se inferir que o aumento das lâminas de água na fase vegetativa promoveu a saturação hídrica do solo, afetando o crescimento eliminando astrocas gasosas com a atmosfera (Larcher, 2000; Taiz&Zeiger, 2009).

Isso, porém, não ocorreu nas fases de floração e frutificação (Figura 2B e 2C), notando-se na fase de floração incremento na ordem de 4,54% com aumento da lâmina de água na altura de planta por aumento de 20% da Evapotranspiração Real, ou seja, acréscimo de 13,64% ao comparar o menor e o maior nível de água estudado nessa fase, estando em conformidade com as condições de umidade do solo nas diferentes profundidades. Por outro lado o estresse hídrico aplicado na fase de frutificação não influenciou sobre a altura de planta do tomateiro, tendo sido obtido valor médio de 18,24 cm. Provavelmente, o déficit hídrico reduziu a pressão de turgor e, conseqüentemente, o fluxo de seiva pelos vasos condutores

(Taiz & Zeiger, 2009), o que tende a diminuir o alongamento celular e, assim, o crescimento e o desenvolvimento das plantas, proporcionando reduções na expansão foliar, altura e diâmetro das plantas, resultando em perda da biomassa vegetal (Silva et al., 2001).

Figura 2. Altura de planta e taxa de crescimento relativo em altura de planta (TCRAIt) em função das lâminas de irrigação aplicadas nas fases de desenvolvimento da cultura avaliada aos 112 dias após transplântio.



Carvalho et al. (2004), em experimento com a cultura da berinjela, obteve menores valores de altura da planta (27 cm) quando a mesma foi submetida ao estresse hídrico até o início da frutificação; entretanto, esses valores foram inferiores aos encontrados no atual experimento. Resultados análogos foram encontrados por Lima et al. (2012) estudando os efeitos de diferentes lâminas sobre o crescimento do pimentão em casa-de-vegetação durante todo o ciclo de cultivo, constataram que as plantas irrigadas com 125% da ET possuem incremento de 13,4 cm em altura quando comparado com as plantas sob lâmina de 50% da ET.

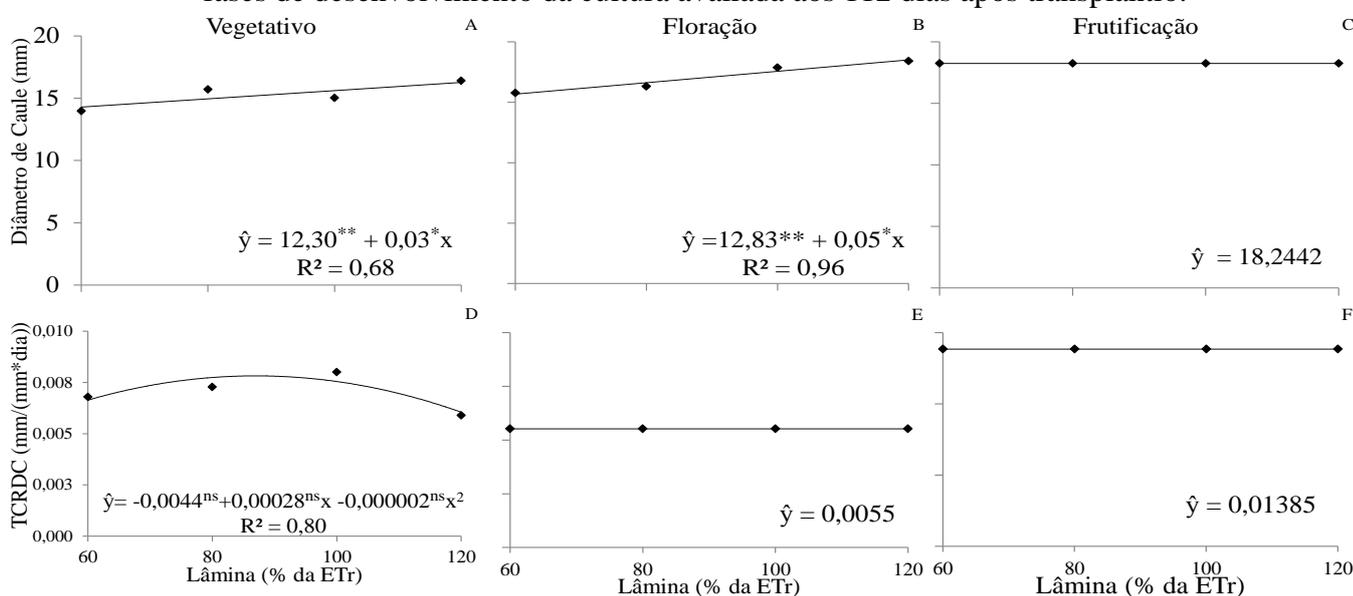
Os resultados observados para a taxa de crescimento relativo em altura de planta (TCRAIt) seguiram a mesma tendência da variável altura de planta, sendo verificado pouca variabilidade. Todavia, notou-se resposta linear decrescentesobre TCRAIt quando as plantas foram submetidas ao estresse hídrico durante a fase vegetativa, observando-se diminuição na TCRAIt de 11,17% por incremento de 20% da ETr, correspondente à redução em cerca de 33,51% TCRAIt das plantas irrigadas com 120% da ETr em relação às que se encontravam sob lâminas de irrigação de 60% da ETr, o que permite dizer que em condições de alta disponibilidade de água no solo, vários processos metabólicos das plantas podem ser influenciados, assim como a taxa de crescimento em função do fechamento estomático, da redução da fotossíntese e da transpiração, assim como atesta Porteset al.(2006), principalmente quando se relaciona com a taxa de crescimento relativo, já que esta reflete a eficiência da planta em produzir novos tecidos a partir do pré-existente, todavia, como já mencionado, isso foi pouco expressivo nas plantas de tomateiro sob estresse hídrico durante as fases, o que se pode associar ao pequeno período de estresse.

As distintas lâminas de irrigação estudadas não promoveram efeito significativo sobre a TCRAIt durante a fase de floração e frutificação. Observou-se que a TCRAIt média obtida,

em função das diferentes lâminas de água aplicadas, foram, respectivamente, de 0,0134 e 0,0138 $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ na fase de floração e frutificação. A primeira resposta fisiológica ao déficit hídrico é a diminuição da turgescência e, associada a esse evento, a diminuição do crescimento da planta e da produtividade (Larcher, 2000), fato que não foi evidenciado, neste trabalho, nas plantas de tomateiro submetidas à reposição de 60 da ETr durante as fases floração e de frutificação.

Quanto ao diâmetro de caule, o efeito do aumento da disponibilidade hídrica foi mais expressivo em relação ao observado para variável altura de planta, verificando-se, nas Figuras 3A e 3B, relacionadas às fases vegetativa e de floração, respectivamente, acréscimo linear de 5,37 e 7,33% por aumento em 20% da ETr, ou seja, o DC das plantas irrigadas com 120% da ETr em relação à menor lâmina tiveram incremento de 21,48% (1,98mm) e 29,32% (2,82mm), respectivamente.

Figura 3. Diâmetro de caule do tomateiro em função das lâminas de irrigação aplicadas nas fases de desenvolvimento da cultura avaliada aos 112 dias após transplantio.



Verifica-se, de maneira geral, que o estresse foi mais expressivo quando aplicado na fase vegetativa, onde se observa os menores valores de diâmetro de caule das plantas de tomateiro quando irrigadas com a menor lâmina (60% da ETr).

Com relação aos dados obtidos para diâmetro de caule na fase de frutificação (Figura 3C), assim como se observou em relação à altura de planta na mesma fase, em função das lâminas de água de irrigação aplicadas, nota-se que não houve influência significativa, entretanto, apesar de se perceber que não houve variação nas respectivas médias em função dos tratamentos avaliados, obtiveram-se um valor médio de 18,24 cm para DC.

Com relação à TCRDC em função das lâminas de irrigação, na fase vegetativa, observa-se pelo modelo de regressão comportamento quadrático (Figuras 3D), onde nota-se resposta positiva no fornecimento das lâminas de água até 75% da ETr, obtendo-se, nesta, a máxima TCRDC das plantas (0,0067 $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$), sendo que, a partir desta lâmina, ocorreu redução da TCRDC.

Tal comportamento não foi observado, na fase de floração e frutificação, todavia, verificou-se (Figura 3E e 3F), que as plantas cultivadas com lâminas de irrigação variando de 60 a 120% da ETr alcançaram uma TCRDC média de 0,005 e 0,013 $\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$

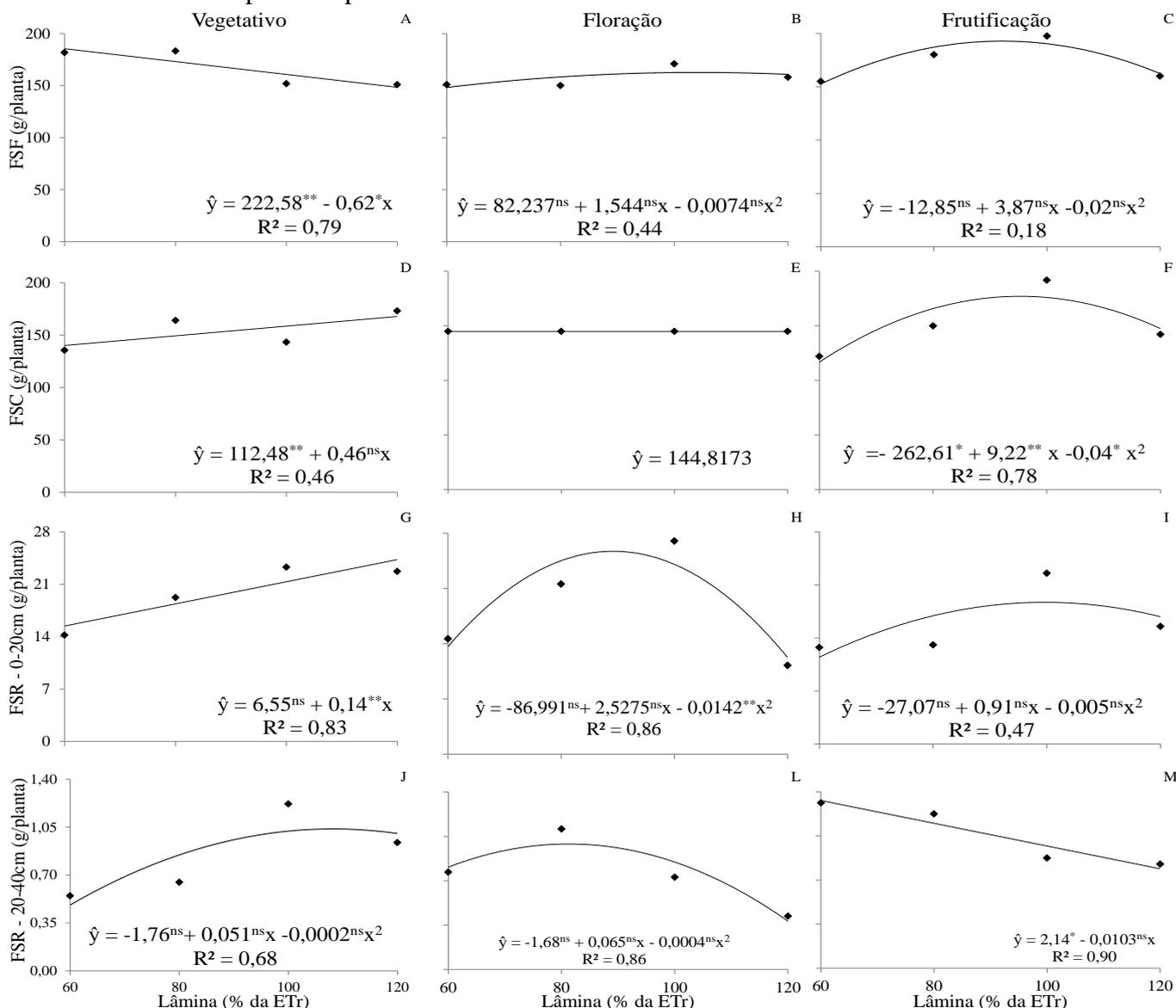
respectivamente, na fase de floração e frutificação. Assim, considerando que o estresse, nestas plantas, foi aplicado nas fases de floração e frutificação e o crescimento em diâmetro ocorreu durante todo o ciclo, não sendo limitado nestas fases, já que o maior dreno das plantas de tomateiro é o fruto, sendo assim, é de se esperar variabilidade na taxa de crescimento relativo, fato não constatado no presente estudo, pois esta mensura a eficiência do tecido em produzir novos tecidos, desta maneira, se o tecido já esta formado, o fluxo de metabolitos será encaminhado aos frutos, notadamente nestas fases. Larcher (2000) informa que esse fato é uma paralisação no crescimento vegetativo, ocorrendo direcionamento dos fotoassimilados produzidos para os órgãos reprodutivos.

A diminuição no crescimento ocorre porque as plantas foram submetidas ao estresse hídrico, justamente nos estádios de desenvolvimento em que estão no pico de suas atividades metabólicas (Larcher, 2000), o que pôde ser observado, neste trabalho, nas fases vegetativa e de floração. Dias et al. (2005) constataram que o aumento no fornecimento de lâminas de água até 100% da evapotranspiração da cultura influenciou positivamente o desenvolvimento inicial da pimenta malagueta, resultado semelhante ao observado neste trabalho, já que houve incremento no crescimento, fato observado na TCRDC com aumento da disponibilidade hídrica até 75% da ETr, principalmente na fase vegetativa.

O incremento da quantidade de água aplicada às plantas de tomateiro ocasionou redução na fitomassa seca das folhas (FSF) na fase vegetativa, com redução de 16,71% (37,2g por planta) nas plantas irrigadas com 120% da ETr quando comparadas as sob 60% da ETr (Figura 4A). Tal redução não é comum em plantas sob estresse por déficit hídrico, porém deve-se salientar que quando se aplicou o estresse na fase vegetativa, a demanda hídrica era menor, o que ocasionou acúmulo de água no solo, notadamente na camada superficial (0 a 20 cm) como já discutido, sendo assim, possivelmente tenha ocorrido um ligeiro estresse por excesso de água.

Já ao proporcionar o estresse nas fases de floração e frutificação (Figura 4B e 4C), a resposta foi quadrática, evidenciando-se maior acúmulo em massa de folhas (162,73 e 174,36 g planta) com as lâminas estimadas de 102 e 97% da ETr, respectivamente. Comportamento similar foi obtido por Aragão et al. (2011) trabalhando com doses de nitrogênio e níveis de irrigação no pimentão em ambiente protegido, constatando-se ao final do ciclo de cultivo, acréscimo na ordem de 460% na fitomassa seca da parte aérea quando as lâminas variaram de 50 a 125% baseadas na evaporação do Tanque Classe A (ECA).

Figura 4. Fitomassa seca das folhas (FSF), do caule (FSC) e das raízes nas profundidades de 0-20 cm (FSR 0-20) e 20 – 40 cm (FSR 20-40), do tomateiro em função das lâminas de irrigação aplicadas nas fases de desenvolvimento da cultura avaliadas aos 112 dias após transplantio.



Ao analisar FSC em função das lâminas em cada fase, observa-se, na fase vegetativa, comportamento linear (Figura 4D), ocorrendo um acréscimo de 8,17% na FSC por aumento de 20% na lâmina aplicada, ou seja, incremento de 24,53% (27,6 g por planta) na fitomassa seca do caule nas plantas irrigadas com 120% da ETr em relação às de 60% da ETr, ressaltando a hipótese descrita quando se estudou a variável FSF, portanto, as plantas sob estresse na fase vegetativa tenderam a acumular carboidratos no caule para inibir o estresse pelo excesso de água. Já na fase de floração (Figura 4E) não houve efeito significativo do fator lâmina de água para FSF, contudo, obtiveram-se um valor médio de 144,81 g por planta, quando as plantas foram submetidas à irrigação com lâminas variando de 60 a 120% da ETr. Para a fase de frutificação o comportamento foi quadrático (Figura 4E e 4F), onde nota-se, ao se extrair a primeira derivada das equações, maior massa seca quando as plantas foram

submetidas às lâminas de 90 e 97% da ETr, respectivamente, produzindo uma massa estimada de 153 e 177g por planta.

De maneira geral, verificando-se a formação de fitomassa de folhas e caule do tomateiro, pode-se observar maior acúmulo de matéria seca nas folhas, contudo, na condição de estresse hídrico o acúmulo no caule se tornou mais expressivo; outro aspecto passível de destaque está relacionado à combinação lâmina e fase fenológica, observando-se que, independente da fase, a demanda esta próxima a 100% da ETr.

A planta, sob condições de estresse hídrico, pode apresentar vários mecanismos de tolerância e adaptação, dentre eles, o deslocamento de fotoassimilados para as raízes a fim de aumentar a profundidade e o volume de solo explorado. Nesse sentido, Figuras 4G, 4H, 4I, 4J, 4L e 4M, verificam-se, de maneira geral, que as raízes se concentraram na superfície do solo, independente da combinação fase e lâmina, o que pode ter relação com o manejo da irrigação. Porém, na análise da umidade, os maiores teores de água foram observados nas maiores lâminas, independente da fase e da profundidade.

O estudo de regressão para fitomassa seca das raízes na profundidade de 0-20 cm durante a fase vegetativa do tomateiro (Figura 4G) refletiu em comportamento linear, com aumento de 15,43 g nas plantas irrigadas com 60% da ETr para 24,30 g nas plantas sob lâmina de 120% da ETr, um acréscimo de 180,52%. Já nas fases de floração e frutificação a função foi quadrática, com os maiores valores (de 25,47 e 14,33 g) de FSR 0-20 obtidos com a estimação das lâminas de 89 e 91% da ETr, respectivamente (Figura 4H e 4I). Este comportamento é condizente ao obtido por Macêdo e Alvarenga (2005), os quais trabalharam com pimentão em ambiente protegido, e que constataram efeito da lâmina de irrigação, com maiores valores obtidos nas lâminas entre 100 e 130% da ETc. De acordo com Malavolta et al. (1997) a produção de matéria seca está intimamente associada à lâmina de água colocada à disposição da planta, o que denota o ocorrido neste experimento visto que, à medida que se aumentou as lâminas de água, verificou-se acréscimo na FSR. Embora a maior concentração de raízes tenha sido observada na parte superficial, verificou-se um pequeno incremento na massa das raízes com a redução da disponibilidade hídrica, notadamente quando o estresse foi aplicado nas fases de floração e frutificação. Conforme equações de regressão para as fases vegetativa e de floração, quando se submetem as plantas às lâminas de 118 e 82% da ETr, tiveram os maiores acúmulos de FSR 20-40 (0,97 e 1,02 g), respectivamente (Figura 4J e 4L).

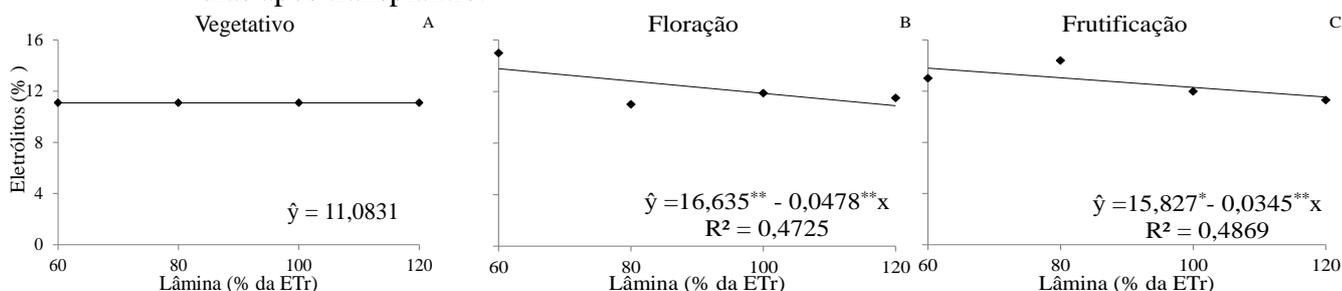
Pela equação de regressão (Figura 4M) referente à fitomassa seca das raízes na profundidade de 20-40 cm na fase de frutificação, o modelo ao qual os dados se ajustaram foi o linear, ocorrendo decréscimo na FSR 20-40 das plantas irrigadas com 120% da Evapotranspiração Real de 28,87% quando comparadas a menor lâmina (60% da ETr). Corroborando com os resultados de umidade do solo no presente trabalho na profundidade de 20-40 cm, onde se observa aumento de 14,85% na umidade de solo nessa profundidade em relação à lâmina de 60% da ETr, proporcionando condições favoráveis ao desenvolvimento do sistema radicular do tomateiro. Contudo, a partir dos dados apresentados (Figura 4G, 4H e 4I) a maior fitomassa seca de raiz foi observada na profundidade de 0-20 cm. Por outro lado, o maior crescimento do sistema radicular é importante, visto que, pode levar à exploração de um volume maior do solo, favorecendo a absorção de água e de elementos essenciais (Marschner, 1995).

Observa-se, conforme estudos de regressão para extravasamento de eletrólitos (%) em função das lâminas de irrigação aplicadas nas fases da cultura, decréscimos na ordem de 0,52, 6,93 e 5,38% por aumento de 20% da ETr (Figura 5A, 5B e 5C) para as fases vegetativa, de floração e de frutificação, respectivamente, ou seja, redução do extravasamento de

eletrólitos de 2,11, 27,75 e 21,54%, respectivamente, nas plantas irrigadas com 120% da ETr em relação às submetidas à menor lâmina.

Sendo assim, verifica-se coerência dos resultados, notando-se que o estresse na fase vegetativa foi pouco expressivo, tendo sido obtido um valor médio de 11,08%, possivelmente em função da baixa demanda hídrica, em tempo, entretanto, observa-se que o estresse na fase de floração, fase esta considerada sensível, sendo que o ideal, independente das fases, é realizar irrigação com lâminas próximas a da ETr. Conforme Endres et al. (2010) o estresse ocorrido na fase floração e ou frutificação tem efeitos mais desastrosos para a planta. Por outro lado, o maior extravasamento de eletrólitos com a menor disponibilidade hídrica, observado na fase de floração e frutificação sugere, segundo Alonso et al. (1997), uma limitação da fotossíntese imposta pelo estresse hídrico intenso, o que resultou na ruptura e aumento da permeabilidade das membranas. Visto que os compostos liberados são altamente reativos diminuindo a atividade de enzimas, causando peroxidação de lipídios e afetando praticamente todos os componentes fotossintéticos (Torres Neto et al., 2005).

Figura 5. Extravasamento de eletrólitos (Eletrólitos,%) do tomateiro em função das lâminas de irrigação aplicadas nas fases de desenvolvimento da cultura, avaliada aos 112 dias após transplantio.



6 CONCLUSÕES

A irrigação com lâmina de água baseada em 80% da ETr resulta em aumento no crescimento e acúmulo de fitomassa do tomateiro;

O estresse hídrico aumenta a proporção de fitomassa do caule em relação às folhas, podendo ser um mecanismo de tolerância da cultura;

A fase de floração mostrou-se mais sensível ao estresse hídrico, com drástica redução nos aspectos morfofisiológicos da cultura;

Quando aplicado nas fases de floração e frutificação do tomateiro, o extravasamento de eletrólitos é a variável mais sensível ao estresse hídrico.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, A.; QUEIROZ, C. G. S.; MAGALHÃES, A. C. Chilling stress leads to increased cell membrane rigidity in roots of coffee (*Coffea arabica* L.) seedlings. **Biochimica Biophysica Acta**, Amsterdam v.1323, n.1, p.75-84. 1997.

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: UFLA, 2004. 400p.

ARAGÃO, V. F.; FERNANDES, P. D.; GOMES FILHO, R. R.; SANTOS NETO, A. M.; CARVALHO, C. M.; FEITOSA, H. O. Efeito de diferentes lâminas de irrigação e níveis de nitrogênio em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.5, n.4, p.361-375, 2011.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, (Estudos FAO: irrigação e drenagem, 29), 1999. 153p.

BARRETO, A. N. **Quantificação de água necessária para a mamoneira irrigada com base nas constantes hídricas do solo**. In: Congresso Nacional da Mamona, 1, 2004, Campina Grande. Anais...Campina Grande: EMBRAPA, 2004. CD-Rom.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. 2ed Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625p.

CARVALHO, J. de A.; SANTANA, M. J. de; PEREIRA, G. M.; PEREIRA, J. R. D.; QUEIROZ, T. M. de. Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos da cultura da berinjela (*Solanum melongena* L.). **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.320-327, 2004.

CHITARRA MIF; CHITARRA AB. 1990. **Pós-colheita de frutos e hortaliças, fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FACEPE, 320p.

DIAS, M. A.; LOPES, J. C.; CORREA, N. B. **Desenvolvimento inicial de plantas de pimenta malagueta submetidas a cinco diferentes lâminas de água e substratos**. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 45, Fortaleza. Anais... Brasília: Associação Brasileira de Olericultura, CD-Rom. 2005.

ELOI, W. M. **Níveis de salinidade e manejo da fertirrigação sobre o cultivo do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) em ambiente protegido**. 111f. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia)-ESALQ, Piracicaba, 2007.

ENDRES, L.; SOUZA, J. L.; TEODORO, L.; MARROQUIM, P. M. G.; SANTOS, C. M.; BRITO, J. E. D. Gas exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.1, p.11-16, 2010.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares. In.: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (Ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p.363-383.

FERREIRA, D. F. **Programa Sisvar – programa de análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2003.

GONÇALVES, I. V. C.; FREIRE, M. B. G. dos S.; SANTOS, M. A. dos; SANTOS, E. R. dos; FREIRE, F. J. Alterações químicas de um Neossolo Flúvico irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.42, n.3, p. 589-596, 2011.

IBGE, **Sidra - Produção Agrícola Municipal**, 2010. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso: 27 Ago. 2012.

LACHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531p.

LIMA, E. M. C.; MATIOLLI, W.; THEBALDI, M. S.; REZENDE, F. C.; FARIA, M. A. de. Produção de pimentão cultivado em ambiente protegido e submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v.3, n.1, p.40-56, 2012.

MACÊDO, L. de S.; ALVARENGA, M. A. R. Efeitos de lâminas de água e fertirrigação potássica sobre o crescimento, produção e qualidade do tomate em ambiente protegido. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.29, n.2, p.296-304. 2005.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 201p.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Irrigação por gotejamento do tomateiro industrial durante o estágio de frutificação, na região do cerrado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.24, n.3, p.342-346, 2006.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; MORETTI, C. L. Resposta do tomateiro para processamento a tensões de água no solo, sob irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.1, p.1-8, 2003.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. Berna: International Potash Institute, 1995. 680p.

PEIXOTO, C. P.; CERQUEIRA, E. C.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T.; LEDO, C. A. S.; MATOS, F. S.; OLIVEIRA, J. G. 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.

PEIXOTO, J. R.; MATHIAS FILHO, L.; SILVA, C. M.; OLIVEIRA, C. M.; CECILIO FILHO, A. B. Produção de genótipos de tomateiro tipo 'Salada' no período de inverno, em Araguari. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 148-150, 2001.

PIRES, R. C. M; FURLANI, P.R; SAKAI, E; LOURENÇÃO, A.L; SILVA, E.A; TORRE NETO, A; MELO, A. M. T. Desenvolvimento e produtividade do tomateiro sob diferentes frequências de irrigação em estufa. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.27, n.2, p.228-234, 2009.

PORTES; M. T.; ALVES, T. H.; SOUZA, G.M. Water deficit affects photosynthetic induction in *Bauhinia forficata* Link (Fabaceae) and *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (Rutaceae)

growing in understorey and gap conditions **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v.18, n.4, p.491-512, 2006.

SCOTTI CAMPOS, P.; THU PHAN THI, A. Effect of abscisic acid pretreatment on membrane leakage and lipid composition of *Vigna unguiculata* leaf discs subject to osmotic stress. **Plant Science**, Dordrecht, v.130, s.n., p.11-18, 1997.

SILVA, E. L., PEREIRA, G. M., CARVALHO, J. A., VILELA, L. A. A., FARIA, M. A. **Manejo de irrigação das principais culturas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2000. 89p.

SILVA, J. M. da; FERREIRA, R. S.; MELO, A. S. de; SUASSUNA, J. F.; DUTRA, A. F.; GOMES, J. P. Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes taxas de reposição da evapotranspiração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.1, p.40-46, 2013.

SILVA, W.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A. A.; SOUZA, A.P. Taxa fotossintética líquida de *Eucalyptus citriodora* Hook e *E. grandis* W. Hill em níveis de água no solo e associação com *Brachiaria brizantha* Staf. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.23, n.5, p.1205-1209, 2001.

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

TORRES NETO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; SMITH, R. E. B. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll *a* fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.104, n.2, p.199-209. 2005.