ANDERSON CARLOS DE MELO GONÇALVES | THIAGO JARDELINO DIAS

CRESCIMENTO, PRODUÇÃO, TROCAS GASOSAS E QUALIDADE

PÓS-COLHEITA DE *Beta vulgaris L.*

EM FUNÇÃO DE DOSES DE ÁCIDO ASCÓRBICO
E DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

Editora UFPB

CRESCIMENTO, PRODUÇÃO, TROCAS GASOSAS E QUALIDADE

PÓS-COLHEITA DE *Beta vulgaris L.*

EM FUNÇÃO DE DOSES DE ÁCIDO ASCÓRBICO
E DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Reitor Valdiney Veloso Gouveia
Vice-Reitora Liana Filgueira Albuquerque

EDITORA UFPB

Direção Natanael Antonio dos Santos
Gestão de Editoração Sâmella Arruda Araújo
Gestão de Sistemas Ana Gabriella Carvalho

Conselho Editorial Adailson Pereira de Souza (Ciências Agrárias)
Eliana Vasconcelos da Silva Esvael (Linguística, Letras e Artes)
Fabiana Sena da Silva (Interdisciplinar)
Gisele Rocha Côrtes (Ciências Sociais Aplicadas)
Ilda Antonieta Salata Toscano (Ciências Exatas e da Terra)
Luana Rodrigues de Almeida (Ciências da Saúde)
Maria de Lourdes Barreto Gomes (Engenharias)
Maria Patrícia Lopes Goldfarb (Ciências Humanas)
Maria Regina Vasconcelos Barbosa (Ciências Biológicas)

Editora filiada à: Associação Brasileira das Editoras Universitárias

Anderson Carlos de Melo Gonçalves
Thiago Jardelino Dias

CRESCIMENTO, PRODUÇÃO, TROCAS GASOSAS E QUALIDADE

PÓS-COLHEITA DE *Beta vulgaris L.*

EM FUNÇÃO DE DOSES DE ÁCIDO ASCÓRBICO
E DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

Editora UFPB
João Pessoa
2021

Direitos autorais 2021 – Editora UFPB.
TODOS OS DIREITOS RESERVADOS À EDITORA UFPB.
É proibida a reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio.
A violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610/1998) é crime estabelecido no artigo 184 do Código Penal.
O conteúdo e a revisão de texto/normalização desta publicação são de inteira responsabilidade do(s) autor(es).

Design Editorial Editora UFPB

Projeto Gráfico Michele Holanda
Revisão Gráfica Alice Brito
Fotos da capa Freepik com modificações

Catalogação na fonte:
Biblioteca Central da Universidade Federal da Paraíba

G635c Gonçalves, Anderson Carlos de Melo.
Crescimento, produção, trocas gasosas e qualidade pós-colheita de *Beta vulgaris L.* : em função de doses de ácido ascórbico e de lâminas de irrigação [recurso eletrônico] / Anderson Carlos de Melo Gonçalves, Thiago Jardelino Dias. - João Pessoa : Editora UFPB, 2021.

Recurso digital (2,94 MB)
Formato: e-book
Requisito do Sistema: Adobe Acrobat Reader

ISBN 978-65-5942-105-3

1. Beterraba (Beta vulgaris L.). 2. Ácido ascórbico. 3. Lâminas de irrigação. I. Gonçalves, Anderson Carlos de Melo. II. Dias, Thiago Jardelino. III. Título.

UFPB/BC CDU 633.41

Livro aprovado para publicação através do Edital Nº 01/2020/Editora Universitária/ UFPB – Programa de Publicação de E-books.

EDITORA UFPB
Cidade Universitária, Campus I
Prédio da editora Universitária, s/n
João Pessoa – PB
CEP 58.051-970
http://www.editora.ufpb.br
E-mail: editora@ufpb.br
Fone: (83) 3216.7147

RESUMO DA OBRA

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é uma cultura de crescente demanda, no entanto, o fator disponibilidade hídrica é determinante em sua produção. Estratégias fisiológicas que visem o uso do recurso hídrico limitado de forma mais eficiente, é indispensável, sendo o uso de antioxidantes como o ácido ascórbico uma opção. Objetivou-se avaliar o crescimento, a produção, as trocas gasosas e a qualidade pós-colheita da beterraba em função de doses de ácido ascórbico e de lâminas de irrigação. O experimento foi conduzido em condições de ambiente protegido no Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, Areia, Paraíba, Brasil, em delineamento experimental de blocos casualizados, com cinco doses de ácido ascórbico (0,00; 0,29; 1,00; 1,71 e 2,00 mM) e cinco lâminas de irrigação (40,0; 51,6; 80,0; 108,4 e 120,0% da evapotranspiração), combinadas segundo a matriz experimental Composto Central de Box, totalizando nove tratamentos, com três repetições e três plantas por parcela. Foram realizadas as análises de crescimento, trocas gasosas, clorofilas, fluorescências, produção e pós-colheita. Os dados foram submetidos a análise de variância, de regressão e as avaliações repetidas no tempo por modelo misto. Foram estimados coeficientes de correlação de Pearson nas variáveis ecofisiológicas. As doses de ácido ascórbico nas maiores lâminas de irrigação não expressaram significâncias no crescimento, trocas gasosas, clorofilas, fluorescências e na produção, apenas na qualidade pós-colheita. As maiores lâminas de irrigação incrementaram a produção, no entanto, reduziram índices ecofisiológicos que se correlacionam. Concluiu-se que o

crescimento e a produção de beterraba aumentam com as maiores lâminas de irrigação independentemente da aplicação de ácido ascórbico, que influencia a massa foliar isoladamente. As correlações ecofisiologicas são significantes. Doses de ácido ascórbico nas menores lâminas, aumentam a qualidade pós-colheita de beterraba.

PREFÁCIO

Anderson Carlos de Melo Gonçalves, natural de Catolé do Rocha - PB, desde muito cedo dedicou a sua vida aos estudos, ganhando grande notoriedade por sua simpatia e destreza na execução de suas atividades. Sua vontade de contribuir com a ciência, o fez cursar Agronomia na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), onde teve grande destaque no meio acadêmico e científico.

Após concluir sua graduação, este jovem cientista ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da UFPB, sob a tutela do prof. Dr. Thiago Jardelino Dias, onde se destacou por sua desenvoltura, compromisso e dinamismo. Durante este período, desenvolveu trabalhos relacionados aos estresses abióticos (salino e hídrico) em culturas olerícolas. Nesta linha de pesquisa, o autor buscou compreender a dinâmica de substâncias atenuantes de efeitos dos estresses abióticos sobre as plantas.

Neste livro, o autor desenvolveu estudos relacionados ao efeito do ácido ascórbico sobre plantas de beterraba (*Beta vulgaris*) submetidas ao déficit hídrico. Com isso, buscou entender as relações da aplicação deste antioxidante e do estresse no crescimento, fisiologia, produção e pós-colheita de beterraba.

A beterraba é uma das hortaliças mais consumidas no Brasil, sendo consumida tanto *in natura* como utilizada nas indústrias de alimentos, cosméticos e farmacêutica. Essa cultura tem grande importância, principalmente para a agricultura familiar, que produz grande parte desta olerícola. O fortalecimento das bases agrícolas para a agricultura familiar

é um dos grandes desafios e perspectiva da agricultura moderna, pois bem se sabe, que uma quantidade considerável dos alimentos produzidos (principalmente hortaliças) são oriundos da agricultura familiar. Um desses grandes desafios é o manejo adequado dos recursos hídricos, que é cada vez mais escasso em várias regiões ao redor do mundo.

A escassez de água é acentuada, principalmente, em regiões áridas e semiáridas, como grande parte da região Nordeste do Brasil. O déficit hídrico acarreta uma série de danos às plantas. Um dos primeiros sintomas é a murcha das folhas, sendo seguida da diminuição das trocas gasosas e do crescimento, aumento das espécies reativas de oxigênio, danos de membranas, baixa produtividade e, em casos mais severos, a morte precoce da planta.

A produção de alimentos nestes ambientes requer uma série de manejos e técnicas. Uma das técnicas que podem ser utilizada e com baixo custo é o uso de ácido ascórbico. Este antioxidante é produzido pelas plantas e pode ser utilizado como mecanismo de defesa contra estresse, atuando, principalmente na liberação de espécies reativas de oxigênio. Portanto, o autor relata cientificamente de maneira clara e objetiva uma técnica de manejo para a cultura da beterraba submetida às condições supracitadas. Com isso, é possível criar um laço entre o conhecimento técnico/científico e os produtores, levando conhecimento de forma clara e rica de detalhes ao leitor.

Ao final desta obra, o autor mostra, com grande contribuição científica, sugestões de manejo da irrigação desta hortaliça (beterraba), nos dando noções de como enfrentar/conviver com o desafio de produzir alimentos e gerar renda em áreas com baixa disponibilidade de água.

Toshik Iarley da Silva
(Universidade Federal de Viçosa)

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 10

CAPÍTULO I

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Beta vulgaris L.* SUBMETIDA A DOSES DE ÁCIDO ASCÓRBICO E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO 12

CAPÍTULO II

ECOFISIOLOGIA DE BETERRABA *(Beta vulgaris L.)* SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E ÁCIDO ASCÓRBICO 26

CAPÍTULO III

QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE BETERRABA CULTIVADA SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E ÁCIDO ASCÓRBICO 39

CAPÍTULO IV

GAS EXCHANGE AND CHLOROPHYLL FLUORESCENCE OF SUGAR BEET UNDER WATER STRESS AND APPLICATION OF ASCORBIC ACID 49

CAPÍTULO V

POSTHARVEST QUALITY OF BEETROOTS GROWN UNDER DIFFERENT IRRIGATION DEPTHS AND ASCORBIC ACID DOSES 62

REFERÊNCIAS 72

SOBRE OS AUTORES 86

INTRODUÇÃO

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) pertence à família das Quenopodiáceas, e sua origem é das regiões europeias e norte-africanas de clima temperado (FILGUEIRA, 2013). É uma planta bienal, sua maior produção de raízes ocorre nas condições de outono/inverno. Devido as raízes tuberosas permitirem transporte a longas distâncias, houve grande expansão nos últimos anos, atingindo fronteiras agrícolas mais distantes dos grandes centros consumidores (CORRÊA et al., 2014).

Dos fatores adversos para a produção agrícola, a limitação quanto ao fornecimento de água é o principal agente de redução da produtividade, por restringir o potencial e a exploração das culturas no período de estiagens, principalmente em regiões áridas e semi-áridas (TOPAK et al., 2011; SILVA et al., 2013). Sendo assim, o uso da irrigação é uma alternativa para a redução de riscos na produção agrícola em épocas secas, pois irrigações com frequência e na quantidade adequada, proporciona crescimento e rendimento satisfatórios a cultura (GHAMARNIA et al., 2012).

No entanto, estratégias que visem o uso do recurso hídrico limitado de forma mais eficiente, é indispensável (TOPAK et al., 2011). A planta sob estresse hídrico, ativa estratégias que diminuem seus efeitos, pela utilização de mecanismos de tolerância, como o ajustamento osmótico, que resulta na concentração de solutos que mantêm o potencial hídrico no interior celular abaixo do potencial matricial do solo para a absorção de água, manutenção do tugor e crescimento, contudo, essa capacidade possui variações entre as culturas (MORANDO et al., 2014).

A aplicação na planta de solutos orgânicos ou osmólitos tem sido recomendada de forma a contribuir na redução do efeito osmótico causado por estresses oxidativos, promovendo a garantia de produção da cultura (ASHRAF; FOOLAD, 2007). A aplicação de ácido ascórbico tem proporcionado aumento no crescimento e na produtividade de diversas culturas, entre elas a cana-de-açúcar (EJAZ et al., 2012), trigo (KHAN et al., 2006), ervilha (BELTAGI, 2008), entre outras. Tendo em vista que a beterraba pode adaptar-se satisfatoriamente sob irrigação deficitária (KIRDA, 2002) e que há limitação de estudos neste contexto, objetivou-se avaliar o crescimento, a produção, as trocas gasosas e a qualidade pós-colheita da beterraba em função de doses de ácido ascórbico e de lâminas de irrigação.

CAPÍTULO I

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Beta Vulgaris L.* SUBMETIDA A DOSES DE ÁCIDO ASCÓRBICO E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é uma das hortaliças mais cultivadas no Brasil (Tivelli et al., 2011), botanicamente pertence à família Quenopodiaceae (FILGUEIRA, 2008), destaca-se entre as demais, pelas altas concentrações de vitaminas do complexo B e nutrientes, como potássio, sódio, ferro, cobre e zinco (ALVES et al., 2008). No Brasil, a comercialização nos últimos anos encontra-se em ascensão, devido ao aumento na demanda tanto em consumo *in natura*, quanto industrialmente, através do beneficiamento em conservas e alimentos infantis, como corantes em sopas desidratadas, iogurtes e "catchups" (PAIVA et al., 2017).

Dentre os fatores necessários para a produção agrícola, o recurso água está cada vez mais escasso, tanto em quantidade quanto em qualidade, sendo a irrigação a forma que requer seu maior consumo, neste sentido, práticas que visem à utilização eficiente da água de irrigação devem ser adotadas (VALNIR JÚNIOR et al., 2017). Quando as plantas são submetidas a estresse hídrico ativam-se mecanismos de defesa por antioxidantes, os quais envolvem agentes enzimáticos e não enzimáticos

(KIM; KWAK, 2010). Dentre os não enzimáticos destaca-se o ácido ascórbico, que é uma importante micromolécula nos vegetais, envolvida na defesa contra estresses oxidativos, na fotossíntese e na regulação do crescimento (AHMAD et al., 2013; GALLIE, 2013).

Uma maneira da indução a tolerância ao estresse oxidativo seria aumentar a quantidade de substratos enzimáticos nas células, como o ácido ascórbico (vitamina C), atuando como um substrato primário na via cíclica da desintoxicação enzimática do peróxido de hidrogênio (BELTAGI, 2008), pois o baixo potencial osmótico nos vacúolos é balanceado pelos íons inorgânicos que são sequestrados no vacúolo, enquanto os solutos orgânicos são compartimentalizados no citoplasma (TAIZ et al., 2017).

Sendo assim, a aplicação de ácido ascórbico nas plantas pode ser recomendada para atenuar os efeitos do estresse oxidativo, além de regular outros processos no metabolismo das plantas (CHEN; GALLIE 2004), como encontrado nos trabalhos de Azzedine et al. (2011) em trigo e Dolatabadian et al. (2010) em milho. Portanto, objetivou-se avaliar o efeito de doses de ácido ascórbico e de lâminas de irrigação no crescimento e na produção de beterraba.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, pertencente ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, no Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais, do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, na cidade de Areia, Paraíba, Brasil, de 5 de maio (plantio) a 1 de agosto (colheita) de 2017.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco doses de ácido ascórbico (0,00; 0,29; 1,00; 1,71 e 2,00 mM) e cinco lâminas de irrigação (40,0; 51,6; 80,0; 108,4 e 120,0% da evapotranspiração),

combinadas segundo a matriz experimental Composto Central de Box, totalizando nove tratamentos: T_1, 1,71 e 108,4; T_2, 1,71 e 51,6; T_3, 0,29 e 108,4; T_4, 0,29 e 51,6; T_5, 2,0 e 80; T_6, 0,0 e 80; T_7, 1,0 e 120; T_8, 1,0 e 40; e T_9, 1,0 mM e 80% da ETc, com três repetições e três plantas por parcela. A aplicação dos tratamentos iniciou-se em conjunto a partir dos 21 dias após a emergência (DAE) até o término do ciclo da cultura.

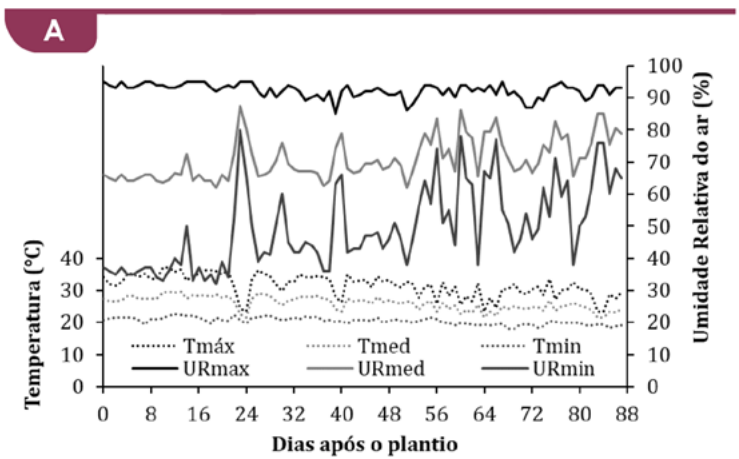
As sementes utilizadas foram da beterraba cultivar Maravilha Top Tall Early Wonder, e cada parcela experimental consistiu de três vasos cônicos de 20,5 cm de diâmetro superior, 18 cm de diâmetro inferior e 20 cm de altura, com capacidade volumétrica de 5 dm^3, e com furos circulares de 1 cm de diâmetro em suas face inferior, com a finalidade de permitir melhor aeração das raízes e percolação do excesso de água.

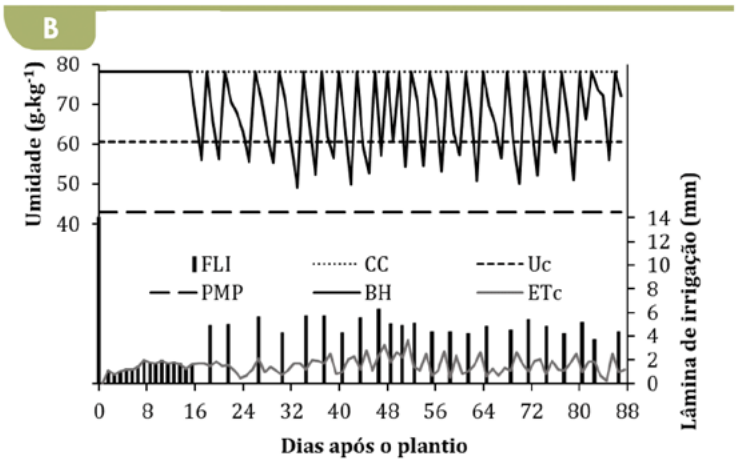
Os vasos foram preenchidos por solo de horizonte A coletado na profundidade de 0-20 cm, classificado como Planossolo Háplico Eutrófico Êndico (EMBRAPA, 2014), com as seguintes características químicas: pH = 6,26; P (Mehlich) = 11,35 mg dm^{-3}; K^+ = 40,00 mg dm^{-3}; Na^+ = 0,22 $cmol_c$ dm^{-3}; $H^+ + Al^{+3}$ = 1,82 $cmol_c$ dm^{-3}; Al^{+3} = 0,00 $cmol_c$ dm^{-3}; Ca^{+2} = 3,00 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg^{+2} = 1,90 $cmol_c$ dm^{-3}; SB = 5,22 $cmol_c$ dm^{-3}; CTC = 7,03 $cmol_c$ dm^{-3}; V = 74,34%; M.O. = 17,53 g kg^{-1} (EMBRAPA, 2009). As características físicas avaliadas foram: Densidade do solo (Ds) = 1,38 g cm^{-3}; Densidade de partícula (Dp) = 2,67 g cm^{-3}; Porosidade total (Pt) = 0,48 m^3 m^{-3}; Capacidade de campo (CC) = 78,00 g kg^{-1}; Ponto de murcha permanente (PMP) = 43,00 g kg^{-1}; Areia = 756,90 g kg^{-1}; Silte = 59,10 g kg^{-1}; Argila = 184,00 g kg^{-1} e classe textural franco arenosa (EMBRAPA, 2014).

O solo foi previamente secado ao ar e devidamente homogeneizado, sendo colocado nos vasos acomodados previamente com tela (tecido tule) e 300 g de brita, para evitar a saída de solo dos vasos por seus orifícios inferiores. A semeadura foi diretamente no solo, depositando cinco sementes por vaso, e após 15 DAE realizou-se o desbaste deixando-se a planta mais vigorosa.

Durante o período experimental, foram registrados diariamente ao final da tarde os dados climáticos (Figura 1A) com termohigrômetro digital HT-600 Instruthermr®, instalado no interior da área experimental, à altura das plantas. Os valores climáticos médios de temperatura foram próximos da faixa considerada ideal (15 a 25°C) para o desenvolvimento da cultura, segundo Filgueira (2008).

Figura 1. Elementos climáticos do ambiente de estudo (A) e hídricos do solo nos lisímetros de pesagem com reposição de 100% da evapotranspiração (B) em função dos dias após o plantio da beterraba. Temperaturas do ar máximas (Tmáx), médias (Tmed) e mínimas (Tmin) em ^{0}C; umidade relativa do ar máximas (URmáx), médias (URmed) e mínimas (URmin) em %; Balanço hídrico (BH), capacidade de campo (Cc), umidade crítica (Uc), ponto de murcha permanente (PMP), em g kg^{-1}, frequência e lâmina de irrigação (FLI) e evapotranspiração da cultura (ETc), em mm.





A adubação de plantio e cobertura foi nas doses de 40, 180 e 90 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente, com ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, de acordo com a análise química do solo e recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008). Realizou-se durante a condução do experimento controles fitossanitários de pragas e de plantas daninhas manualmente. Não foram verificadas doenças durante o ciclo da cultura da beterraba.

No primeiro DAE, a lâmina foi calculada pela equação proposta por Mantovani et al. (2009). A irrigação total necessária (ITN), em mm, foi calculada pela equação de Bernardo et al. 2008, considerando 100% de eficiência de aplicação da irrigação. A partir do segundo dia a lâmina aplicada foi determinada de acordo com a parcela de evapotranspiração registradas por lisímetros de pesagem, com reposição de 100% da evapotranspiração, mantendo a umidade do solo, próximo da capacidade de campo e a umidade crítica, estabelecida em torno de 50% da água disponível, sendo registrados durante todo o ciclo da cultura (Figura 1B).

As variáveis de crescimento foram analisadas aos 22, 37, 52, 67 e 82 DAE no início da manhã. O número de folhas foi contado em todas as plantas, desconsiderando as folhas em senescência. O diâmetro das raízes tuberosas foi tomado medindo-se a distância transversal com uso de paquímetro digital, sendo medidas apenas a parte acima da superfície do solo. Foram medidos todas as plantas com régua graduada, a altura da folhagem do nível do solo, foi medido da superfície do solo ao ponto mais alto das folhas e a área foliar, tomando-se as dimensões de maior comprimento (C) e largura (L), e aplicando-se na fórmula AF = C*L*f, sendo AF = área foliar em m^2; C = comprimento da folha, em m; L = largura da folha, em m; e f = fator de correção indicado para beterraba (0,692), segundo Simões et al. (2016).

A colheita foi realizada quando o diâmetro atingiu o padrão comercial mínimo de 5 cm (TIVELLI et al., 2011), alcançado aos 82 DAE, nos lisímetros de pesagem referenciais com reposição de 100% de evapotranspiração. O comprimento da raiz, tomando-se a medida da base do colo até a extremidade da raiz com régua milimetrada, o diâmetro longitudinal foi determinado com auxílio de um paquímetro digital, a massa fresca do tubérculo, da folha e da raiz foram obtidas pela pesagem em balança semianalítica com precisão de 0,01 gramas, em seguida as folhas e raízes foram postas a secar em estufa com circulação de ar forçada na temperatura de $65^0C \pm 5^0C$, até atingirem peso constante, sendo em seguida pesadas em balança analítica, para a determinação da massa seca da folha e da raiz.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e de regressão polinomial, e para as avaliações repetidas no tempo utilizou-se o modelo misto (MIXED), utilizando-se o pacote estatístico SAS® University (Cody, 2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de ácido ascórbico (AA) não influenciou no crescimento da cultura da beterraba. Apenas as interações das lâminas de irrigação com os dias após a emergência (DAE) foram significativas em todas as variáveis analisadas.

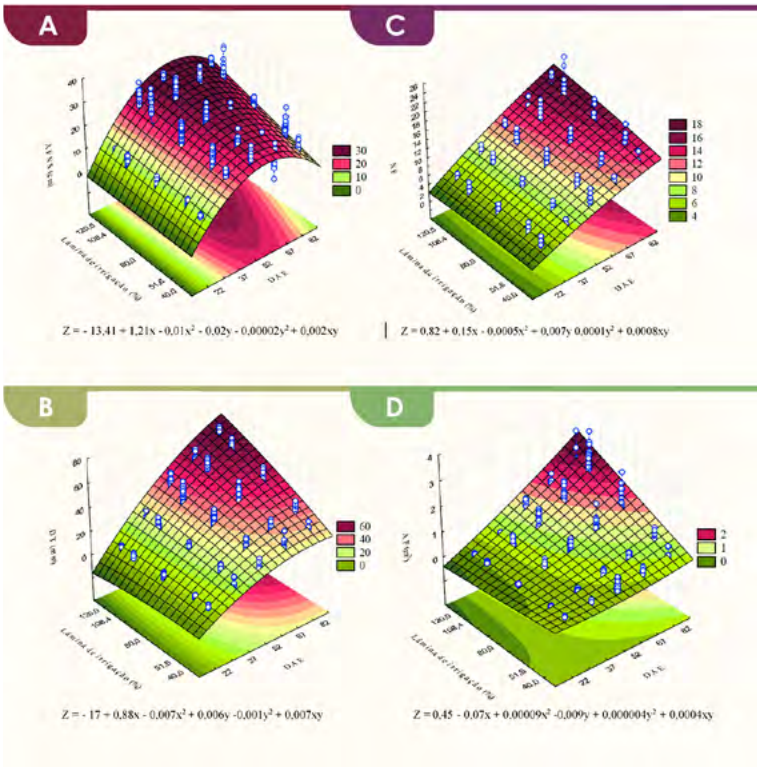
Houve acréscimos da altura da folhagem do nível do solo (Figura 2A) com o aumento das lâminas de irrigação havendo efeito sinérgico quanto ao adiamento do início do decréscimo em relação aos DAE. Possivelmente a maior disponibilidade de água otimizou a ocorrência dos processos bioquímicos e fisiológicos necessários para o desenvolvimento das plantas, gerando a pressão de turgor essencial para manter a planta ereta, bem como, o alongamento celular, as trocas gasosas e o transporte no floema, além de estar relacionado com o movimento de nutrientes minerais e de fotoassimilados (KERBAUY, 2013; MADANY; KHALIL, 2017).

Para o diâmetro dos tubérculos (Figura 2B), houve incrementos positivos com acréscimos nas lâminas de irrigação ao decorrer dos DAE, provavelmente a maior disponibilidade hídrica no solo proporcionou maior absorção de nutrientes, consequentemente a acumulação de carboidratos que se depositam no câmbio vascular, espessando transversalmente os tubérculos ao transcorrer do ciclo da cultura (MEENA et al. 2016; AL-GHOBARI; DEWIDAR, 2017).

O aumento da lâmina de irrigação incrementou o número de folhas (Figura 2C) e consequentemente a área foliar (Figura 2D) ao decorrer do tempo de cultivo. Possivelmente a redução dessas variáveis com as decrescentes quantidades de água foi uma resposta da planta para garantir a manutenção dos tecidos com o agravamento do estresse (INMAN-BAMBER et al., 2008), que reduz a emissão de novas folhas, e por

consequente a área foliar, sendo uma estratégia de sobrevivência das plantas, uma vez que, reduzindo o número de folhas ocorre diminuição da perda de água por transpiração, e por conseguinte, redução da taxa fotossintética e menor crescimento (TAIZ et al., 2017).

Figura 2. Interação entre as lâminas de irrigação (%) com os dias após a emergência (DAE), na altura da folhagem do nível do solo (AFNS) (A), diâmetro do tubérculo (DT) (B), número de folhas (NF) (C) e área foliar (AF) (D) nas beterrabas.



A cultura da beterraba reduz em massa fresca radicular (Figura 3A), quando submetidas a lâmina de irrigação de até 61%, no entanto, a partir desta há aumento. Provavelmente para garantir captação de recursos em condições irregulares, ocorre a máxima emissão de pelos radiculares resultando em uma absorção efetiva de água em um maior volume de solo (SANTOS; SCHUMACHER, 2016), semelhante ao encontrado por Ghamarnia et al. (2012) na mesma cultura.

Figura 3. Massa fresca radicular (MFR) (A), massa fresca do tubérculo (MFT) (B) em função da lâmina de irrigação e a interação entre a aplicação de ácido ascórbico (AA) e as lâminas de irrigação na massa fresca foliar (MFF) (C) nas beterrabas. ** e *, significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente.

GRÁFICO A

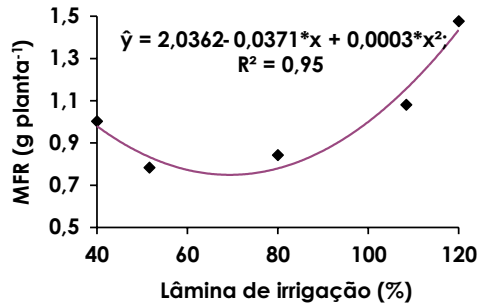
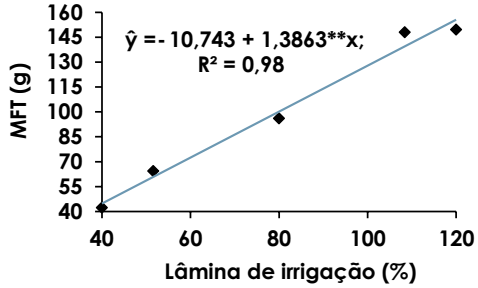
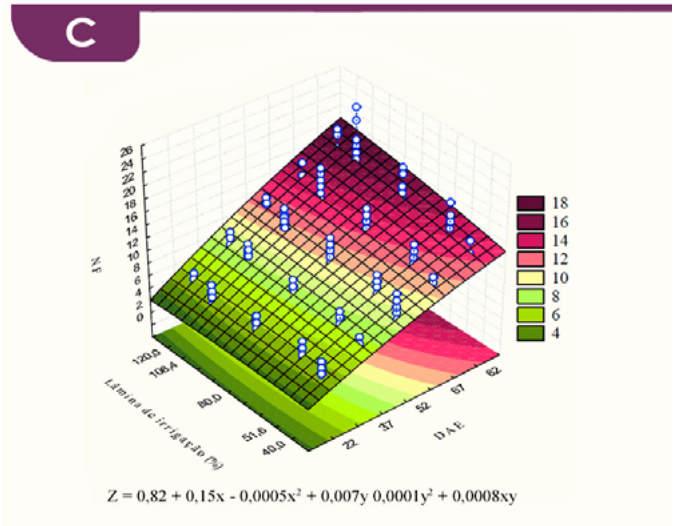


GRÁFICO B





A massa fresca do tubérculo (Figura 3B), ajustou-se linearmente as lâminas de irrigação. Possivelmente, com o aumento no fornecimento de água, houve alteração no turgor celular, beneficiando a formação do cambio vascular como reserva energética, pela elevação do turgor vacuolar nas células em expansão que produz o potencial de pressão necessário para o crescimento e abertura estomática promovendo o influxo externo de CO_2 utilizado na fotossíntese (HAFSI et al., 2014).

O acréscimo das doses de AA nas crescentes disponibilidades hídricas incrementou a massa fresca foliar (Figura 3C), no entanto, pode-se constatar que as doses de AA dentro de cada lâmina de irrigação afetaram negativamente até cerca de 1 mM, no entanto, depois houve acréscimo. Provavelmente houve efeito pró-oxidativo do AA ao gerar espécies reativas de oxigênio devido a não realização de ajustamento

osmótico (HUSSAIN et al., 2017), divergindo com os trabalhos de Malik e Ashraf (2012) em trigo e Dolatabadian et al. (2010) em milho.

Para o comprimento radicular (Figura 4A), verificou-se que os dados ajustaram-se ao modelo linear de regressão em função da lâmina de irrigação, por promover maior desenvolvimento do sistema radicular para absorver água em camadas mais profundas do solo, pois o potencial hídrico é maior em maiores profundidades (VIÇOSI et al., 2017).

Figura 4. Comprimento radicular (CR) (A), diâmetro transversal do tubérculo (DTT) (B), diâmetro longitudinal do tubérculo (DLT) (C) e massa seca radicular (MSR) (D) em função da lâmina de irrigação nas beterrabas. ** e *, significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente.

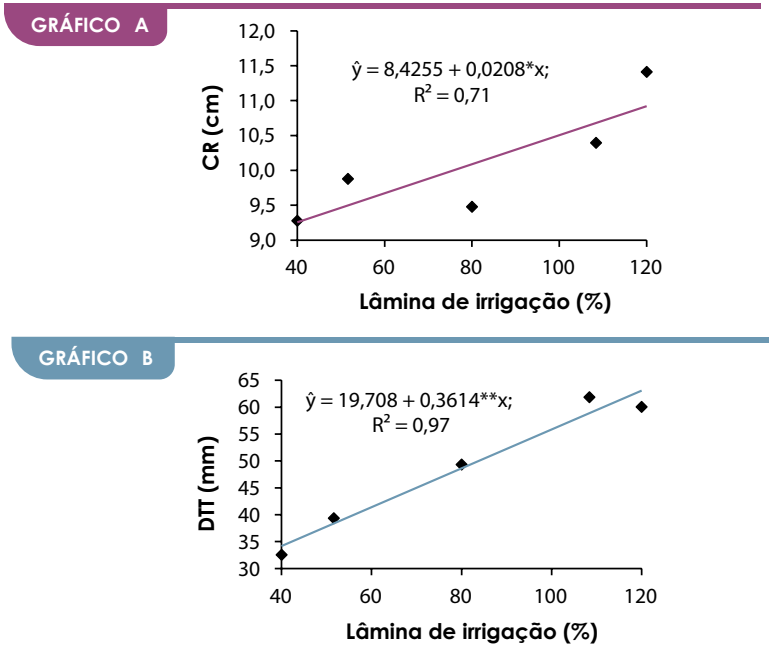


GRÁFICO C

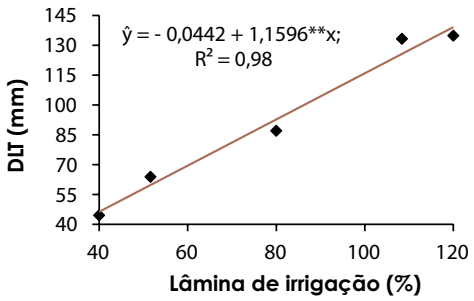
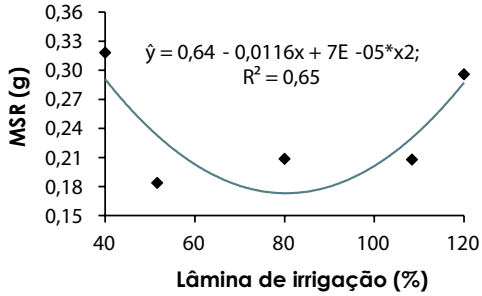


GRÁFICO D



O diâmetro transversal (Figura 4B) e longitudinal (Figura 4C) aumentaram linearmente em função das lâminas de irrigação. Provavelmente as maiores lâminas de irrigação proporcionaram rendimentos na realização da fotossíntese, por consequência, maior absorção de nutrientes, que condicionou ao acumulo de carboidratos (MELO et. al., 2010). Desta forma houve a formação e o espessamento dos tecidos primários do cambio vascular originando a raiz tuberosa (SCHILLING et al., 2016), corroborando com os resultados de Pethybridge et al. (2017).

A lâmina de irrigação de 83% produziu o menor valor de massa seca radicular (Figura 4D), menores fornecimento de água induzem as plantas a investirem seus fotoassimilados na produção em volume de raízes, que geralmente são finas em camadas superficiais do solo, visto que a distribuição e a quantidade de raízes finas são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes, com função central no ciclo do carbono, além de oferecer mecanismos para proteger as plantas em condições estressantes, como o hídrico (METCALFE et al., 2008; NAVROSKI et al., 2010).

A massa seca foliar (Figura 5A) decresceu com a aplicação de até 1,18 mM de AA, justificado possivelmente ao efeito inibitório do AA sobre a peroxidação de lipídios (DOLATABADIAN, 2008). A partir desta dose os valores aumentaram, provavelmente para a manter o turgor celular (Kasote et al., 2015). Desta forma, verificou-se que cada parte da planta responde de forma diferente a distintas concentrações de compostos orgânicos por seus padrões de translocação diferencial (ALI e ASHRAF, 2011; HAMEED et al., 2015).

Houveram menores valores na massa seca foliar (Figura 5B) nas menores lâminas de irrigação, pois em uma situação de menor potencial matricial, há dificuldade na absorção de água, condicionando na diminuição da massa da planta, uma vez que a água fica mais retida no solo, dificultando assim sua absorção pelas plantas, que gastam mais energia para adquiri-la para usá-la em seus processos fisiológicos vitais (SILVA et al., 2012; WANG et al., 2007), resultados estes, divergem com os encontrados por Mohammadian et al. (2005).

Figura 5. Massa seca foliar (MSF) em função da aplicação de ácido ascórbico (A) e da lâmina de irrigação (B) nas beterrabas. ** e *, significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente.

GRÁFICO A

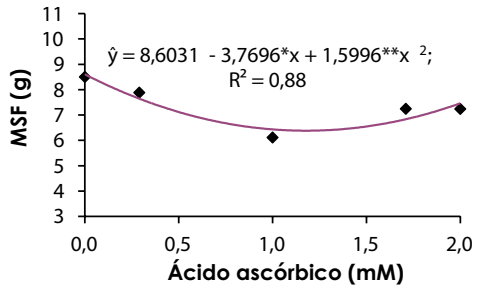
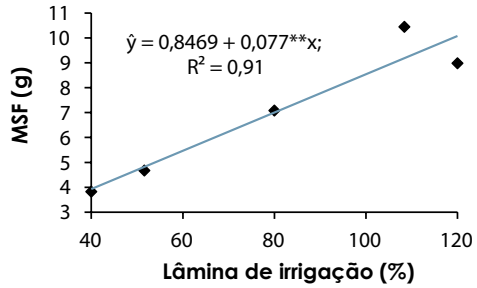


GRÁFICO B



4 CONCLUSÃO

A aplicação de ácido ascórbico via água de irrigação não afetou o crescimento e a produção da cultura da beterraba, exceto na massa das folhas.

Maiores lâminas de irrigação proporcionam aumento do crescimento e da produção da beterraba.

O sistema radicular da cultura da beterraba diminuiu em massa fresca e seca respectivamente sob lâminas de até 83% e 61% da evapotranspiração, após estás, as massas aumentam.

CAPÍTULO II

ECOFISIOLOGIA DE BETERRABA (*Beta vulgaris L.*) SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E ÁCIDO ASCÓRBICO

1 INTRODUÇÃO

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é classificada botanicamente como uma herbácea bienal da família Chenopodiaceae, possuindo variedades com diferentes cores de casca e polpa, as quais variam de amarelo ao vermelho (SINGH e HATHANE, 2014). No Brasil, é uma das hortaliças mais cultivadas devido à crescente demanda, tanto na forma *in natura* como industrial (PAIVA et al., 2017). Possui diversos biótipos, as de maior destaque são a açucareira, utilizada para a extração de açúcar por possuir alto teor de sacarose, a forrageira, empregada na alimentação animal e a beterraba hortícola ou de mesa utilizada na alimentação humana (TIVELLI et al., 2011).

Entre os vários fatores limitantes da produção vegetal, a restrição hídrica, ocupa posição de destaque, por afetar as relações hídricas nas plantas, alterando seu crescimento, comportamento fisiológico e produtivo (SILVA et al., 2015). O estresse hídrico provoca mudanças morfológicas e fisiológicas, como redução da expansão celular, redução na área foliar, aumento na abscisão foliar, diminuição da relação entre a biomassa da raiz com a parte aérea, como também pode interferir nas trocas gasosas,

fluorescência e nos índices de clorofilas (SANTOS et al., 2006; TAIZ et al., 2017). Devido à importância da água no desenvolvimento das plantas e suas implicações em várias propriedades do solo, a determinação do teor de água no solo sempre é de grande interesse, tanto no aspecto científico quanto no econômico (SOARES et al., 2014).

As plantas precisam manter seu potencial hídrico interno abaixo daquele verificado no solo para a absorção de água, manutenção do turgor e crescimento. Para isso, requerem aumento no potencial osmótico-hídrico, quer seja através da absorção de íons do solo ou pela síntese e acúmulo de solutos orgânicos compatíveis (HASEGAWA et al., 2000).

Uma defesa ao estresse em plantas seria a síntese do ácido ascórbico, pela cadeia transportadora de elétrons (TAIZ et. al., 2017). O ácido ascórbico atua como substrato primário na via cíclica utilizada para a desintoxicação e neutralização de várias espécies reativas de oxigênio (ROS) dentre estas os radicais superóxidos e o oxigênio singleto (DOLATABADIAN et al., 2009). Apesar do seu papel como eliminador de ROS, este ácido também está envolvido na capacidade fotossintética pelo controle do movimento de abertura e fechamento dos estômatos, além de ser um cofator de algumas enzimas envolvidas na regulação da fotossíntese (ATHAR et al., 2008).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho, avaliar a ecofisiologia da beterraba sob doses de ácido ascórbico em lâminas de irrigação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, na cidade de Areia,

Paraíba, Brasil. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco doses de ácido ascórbico via água de irrigação (0,0; 0,29; 1,0; 1,71 e 2,0 mM) e cinco lâminas de irrigação (40,0; 51,6; 80,0; 108,4 e 120% da evapotranspiração de referência), combinadas segundo a matriz experimental Composto Central de Box, totalizando nove tratamentos: T_1, 1,71 e 108,4; T_2, 1,71 e 51,6; T_3, 0,29 e 108,4; T_4, 0,29 e 51,6; T_5, 2,0 e 80; T_6, 0,0 e 80; T_7, 1,0 e 120; T_8, 1,0 e 40; e T_9, 1,0 mM e 80% da ETc, com três repetições e três plantas por parcela. A aplicação dos tratamentos iniciou-se de forma conjugada aos 21 dias após a emergência (DAE) e se estendeu até a colheita.

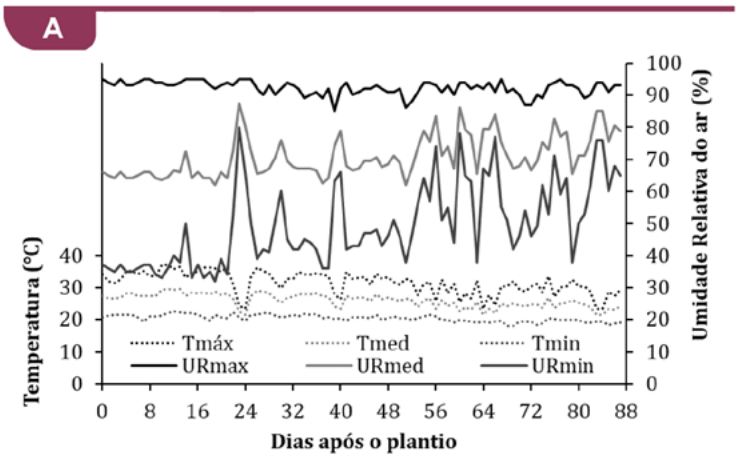
As sementes utilizadas foram da beterraba (*Beta vulgaris* L.) cultivar Maravilha Top Tall Early Wonder. Cada parcela experimental consistiu em três vasos cônicos de 20,5 cm de diâmetro superior, 18 cm de diâmetro inferior e 20 cm de altura, com capacidade volumétrica de 5 dm^3, e com orifícios circulares de 1 cm de diâmetro em sua face inferior.

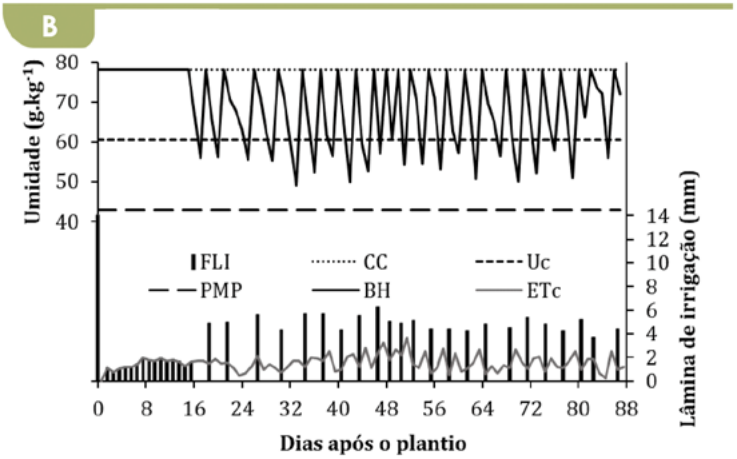
Os vasos foram preenchidos por solo de horizonte A coletado na profundidade de 0-20 cm, classificado como Planossolo Háplico Eutrófico Ênndico (EMBRAPA, 2014), com as seguintes características químicas: pH = 6,26; P (Mehlich) = 11,35 mg dm^{-3}; K^+ = 40,00 mg dm^{-3}; Na^+ = 0,22 $cmol_c$ dm^{-3}; $H^+ + Al^{+3}$ = 1,82 $cmol_c$ dm^{-3}; Al^{+3} = 0,00 $cmol_c$ dm^{-3}; Ca^{+2} = 3,00 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg^{+2} = 1,90 $cmol_c$ dm^{-3}; SB = 5,22 $cmol_c$ dm^{-3}; CTC = 7,03 $cmol_c$ dm^{-3}; V = 74,34%; M.O. = 17,53 g kg^{-1} (EMBRAPA, 2009). As características físicas avaliadas foram: Densidade do solo (Ds) = 1,38 g cm^{-3}; Densidade de partícula (Dp) = 2,67 g cm^{-3}; Porosidade total (Pt) = 0,48 m^3 m^{-3}; Capacidade de campo (CC) = 78,00 g kg^{-1}; Ponto de murcha permanente (PMP) = 43,00 g kg^{-1}; Areia = 756,90 g kg^{-1}; Silte = 59,10 g kg^{-1}; Argila = 184,00 g kg^{-1} e classe textural franco arenosa (EMBRAPA, 2014).

A semeadura foi de forma direta, depositando-se cinco sementes por vaso. Após a estabilização da emergência (15 DAE) foi realizado o

desbaste, permanecendo apenas a planta com maior vigor. Durante o período experimental, foram registrados diariamente ao final da tarde os dados climáticos (Figura 1A) com termohigrômetro digital HT-600 Instruthermr®, instalado no interior da área experimental, à altura das plantas. Os valores climáticos médios de temperatura foram próximos da faixa considerada ideal (15 a 25 °C) segundo Filgueira (2008) para o desenvolvimento da cultura.

Figura 1. Elementos climáticos do ambiente de estudo (A) e hídricos do solo nos lisímetros de pesagem com reposição de 100% da evapotranspiração (B) em função dos dias após o plantio da beterraba. Temperaturas do ar máximas (Tmáx), médias (Tmed) e mínimas (Tmin) em ^{0}C; umidade relativa do ar máximas (URmáx), médias (URmed) e mínimas (URmin) em %; Balanço hídrico (BH), capacidade de campo (Cc), umidade crítica (Uc), ponto de murcha permanente (PMP), em g kg^{-1}, frequência e lâmina de irrigação (FLI) e evapotranspiração da cultura (ETc), em mm.





As adubações foram nas doses de 40, 180 e 90 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente (IPA, 2008), com ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio como fontes. Realizou-se durante a condução do experimento controles fitossanitários de pragas e de plantas daninhas manualmente. Não houve incidência de doenças durante o ciclo.

Para o manejo das lâminas de irrigação, tomou-se como referência a média do peso de nove vasos (lisímetros de pesagem) instalados em meio aos tratamentos, os quais foram pesados diariamente em balança de precisão, durante todo o ciclo da cultura, procurando mantê-los com relação a umidade do solo, próxima da capacidade de campo e a umidade crítica, estabelecida em torno de 50% da água disponível, sendo os valores registrados (Figura 1B).

A lâmina aplicada foi determinada de acordo com a parcela de evapotranspiração registrados pelos lisímetros, sendo que para estes foi reposto 100% da evapotranspiração, no entanto, a primeira lâmina de irrigação foi calculada segundo Mantovani et al. (2009), considerando que

umidade em que se encontrava o solo foi de 9,8 g kg^{-1} e a profundidade do sistema radicular foi de 15 cm (profundidade de solo no vaso). A irrigação total necessária (ITN), em mm, foi calculada de acordo com Bernardo et al. (2008), considerando 100% de eficiência de aplicação.

As análises ecofisiológicas foram realizadas aos 82 DAE entre as 9h00 e 11h00. As determinações do índice de clorofila *a*, *b* e *total* foi na parte mediana de todas as folhas das plantas utilizando-se clorofilômetro eletrônico portátil (ClorofiLog®, modelo CFL 1030, Falker).

As medições de emissão da fluorescência da clorofila foram efetuadas seguindo modelo descrito por Melo et al. (2017), utilizando-se fluorômetro modulado Plant Efficiency Analyser - PEA II® (Hansatech Instruments Co, UK), sendo determinadas a fluorescência inicial (F0) e a fluorescência máxima (Fm). Foram calculados a fluorescência variável (Fv = Fm-F0), a eficiência máxima do processo fotoquímico no FSII (Fv/F0) e o rendimento quântico potencial do fotossistema II (FSII = Fv/Fm).

As determinações das trocas gasosas foram realizadas com um medidor portátil de fotossíntese - IRGA (LI-COR - modelo LI-6400XT), sendo analisadas a quarta folha a partir do ápice da planta de cada parcela, sempre na região mediana das folhas completamente expandidas, totalmente expostas à radiação solar. Avaliou-se as seguintes características: assimilação líquida de CO_2 (Fotossíntese líquida) (A) (µmol de CO_2 m^{-2} s^{-1}); condutância estomática (gs) (mol de H_2O m^{-2} s^{-1}); concentração de CO_2 (Ci) (µmol de CO_2 m^{-2} s^{-1}), e transpiração (E) (mmol de H_2O m^{-2} s^{-1}); déficit de pressão de vapor ($DPV_{folha-ar}$) (kPa), temperatura da folha (°C) (T Leaf). Após a coleta dos dados foram quantificadas a eficiência instantânea do uso da água (WUE) (A/E) [(µmol de CO_2 m^{-2} s^{-1}) (mmol de H_2O m^{-2} s^{-1})$^{-1}$], a eficiência intrínseca do uso da água (iWUE) (A/gs) [(µmol de CO_2 m^{-2} s^{-1}) (mmol de H_2O m^{-2} s^{-1})$^{-1}$]

e a eficiência instantânea de carboxilação (EIC) (A/Ci) [(µmol de CO_2 m^{-2} s^{-1}) (µmol de CO_2 m^{-2} s^{-1})$^{-1}$]. A temperatura variou entre 22,67 e 29,04 ^{0}C e a umidade relativa do ar entre 37,92 e 49,00% no espaço de tempo em que as leituras foram tomadas.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e regressão polinomial, utilizando-se o programa estatístico SAS® University (Cody, 2015). Foram estimados os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis utilizando-se o pacote corrplot (Wei e Simko, 2017) através do programa R (R CORE TEAM, 2018), com até 95% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As espécies vegetais quando são expostas ao déficit hídrico de forma gradual, há ativação de uma complexa série de adaptações morfofisiológicas de aclimatação ao estresse, com a finalidade de minimizar seus efeitos (Santos e Carlesso, 1998). As consequências do estresse hídrico nas plantas são muito variadas e dependentes da intensidade e da duração a qual o vegetal está sendo submetida (Mendes et al., 2007).

Não foi verificado efeito significativo das doses de ácido ascórbico, isoladamente ou interagindo com as lâminas de irrigação. As lâminas de irrigação foram significativas de forma independente apenas para índices de clorofilas *a* (Figura 2A), *b* (Figura 2B) e *total* (Figura 2C), fluorescência máxima (Figura 2D), eficiência instantânea do uso da água (Figura 2E) e eficiência intrínseca do uso da água (Figura 2F).

Figura 2. Índices de clorofila a (A), clorofila b (B), clorofila total (C), fluorescência máxima (Fm) (D), eficiência instantânea do uso da água (WUE) (E) e eficiência intrínseca de uso da água (iWUE) (F), em função das lâminas de irrigação em beterraba . WUE e iWUE em (µmol de CO_2 m^{-2} s^{-1}) (mmol de H_2O m^{-2} $s^{-1})^{-1}$. ** e *, significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente.

GRÁFICO A

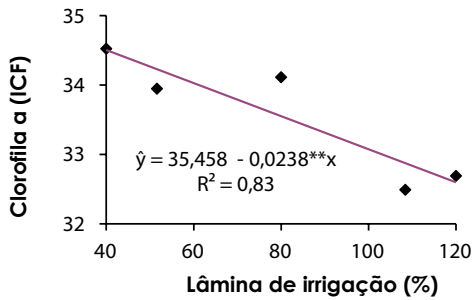


GRÁFICO B

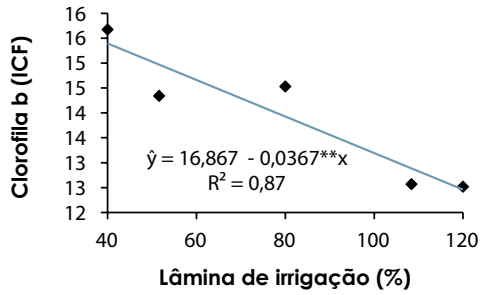


GRÁFICO C

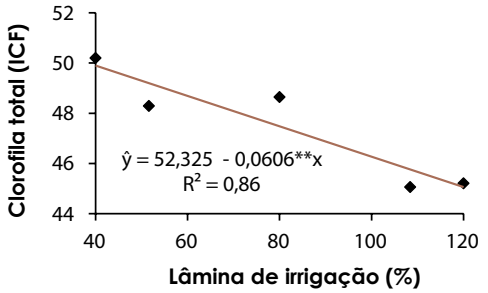


GRÁFICO D

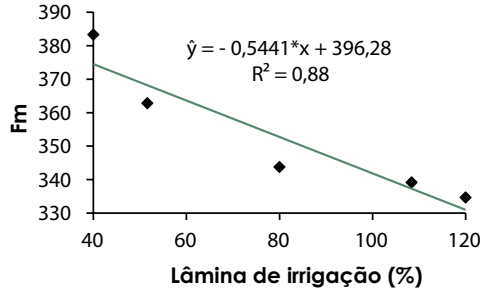


GRÁFICO E

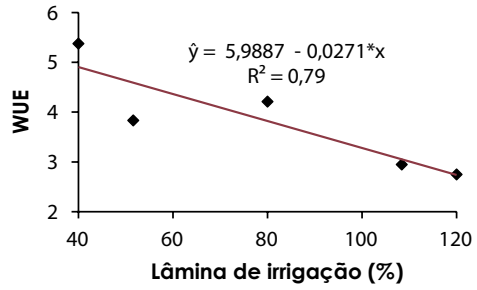
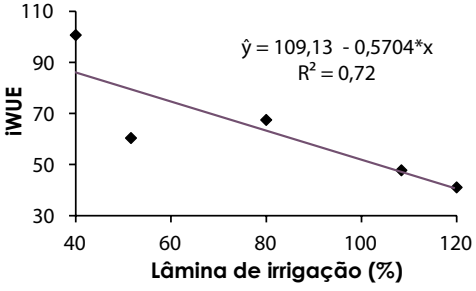


GRÁFICO F



As clorofilas são de grande importância na fotossíntese, pois são responsáveis pela captação de energia luminosa, sendo a clorofila *a* de

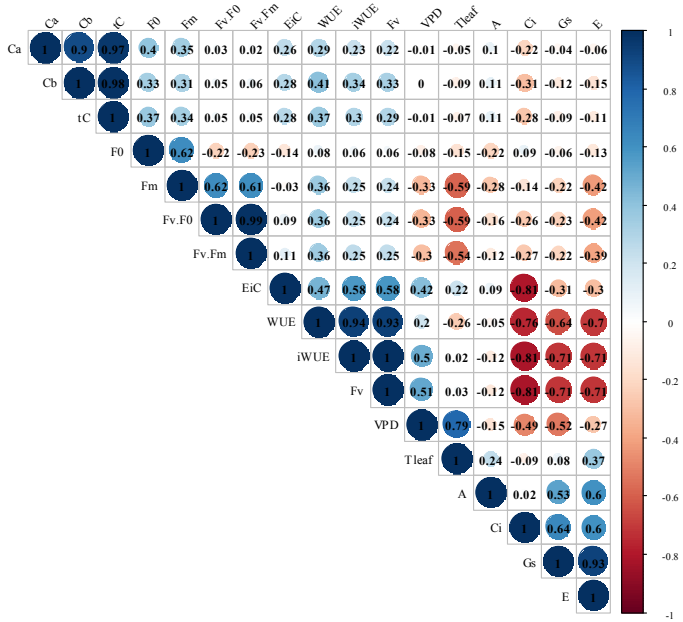
maior destaque, por ser o principal pigmento dos complexos receptores de luminosidade para a realizaão das reações fotoquímicas (TAIZ et al., 2017). O efeito de um agente estressante sobre o teor da clorofila depende de sua intensidade e também da espécie vegetal (JAMIL et al., 2007). Os índices de clorofila *a*, *b* e *total* foram incrementados com o aumento do estresse hídrico na cultura da beterraba, o que é esperado em espécies com melhor capacidade de tolerar essa condição (O'NEILL et al., 2006), sugerindo que esses pigmentos são bons indicadores fisiológicos na seleção de espécies tolerantes (SILVA et al., 2014).

A fluorescência máxima (Fm) comportou-se de maneira decrescente à medida que aumentou-se as lâminas de irrigação, caracterizando deficiência de fotorredução da quinona A (QA), pois valores crescentes de Fm associados a maiores disponibilidade de água, mostram a não carência na fotorredução da QA, tampouco no fluxo de elétrons entre os fotossistemas (TATAGIBA et al., 2014).

A eficiência instantânea do uso da água (WUE) e a eficiência intrínseca de uso da água (iWUE) foram afetados negativamente à medida que aumentou-se a lâmina de irrigação, justificado pelo aumento da concentração de CO_2, se relacionar com à transpiração (E) e com à condutância estomática (gs), (JADOSK et al. (2015), assegurando à manutenção da taxa fotossintética da planta mesmo com o fechamento parcial dos estômatos, devido ao estresse hídrico (KAO e FORSETH, 1992).

Através da matriz de correlação (Figura 3), foi verificado que os índices de clorofilas se correlacionaram entre si, clorofila *a* e *b* de 0,90, clorofila *a* e *total* de 0,97 e clorofila *b* e *total* de 0,98.

Figura 3. Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis de trocas gasosas (gs, A, Ci, E, VPD, EIC, WUE e iWUE), fluorescências (F0, Fm, Fv/F0 e Fv/Fm) e índices de clorofilas (Ca, Cb e tC) em beterraba. *Nas lacunas ausentes de coloração, as correlações não foram significativas até 5% de probabilidade.



As fluorescências se correlacionaram entre si e com algumas variáveis das trocas gasosas. A Fm se correlacionou com maior expressão a fluorescência inicial (0,62), eficiência máxima do processo fotoquímico no FSII (Fv/F0) (0,62) e com o rendimento quântico potencial do fotossistema II (Fv/Fm) (0,61). A fluorescência variável (Fv) se correlacionou com maior destaque com o déficit de pressão de vapor (DPV) (0,51), WUE (0,93),

iWUE (1,00) e eficiência instantânea de carboxilação (EIC) (0,58). A Fv/F0 se correlacionou com o Fv/Fm (0,99).

Com relação a correlação entre as variáveis das trocas gasosas, foi verificado que a WUE apenas se correlacionou de maneira proeminência com a iWUE (0,94), sendo esta correlacionada à EIC (0,58) e com o DPV (0,50), já este correlaciona-se apenas com a temperatura foliar (Tleaf) (0,79). A Tleaf se correlacionou negativamente com a F0 (0,59), a Fv/F0 (0,59) e com o rendimento quântico potencial do FSII (0,54).

Dos mecanismos fisiológicos correlacionados com as condições hídricas dos vegetais, a Tleaf pode ser usada como indicador relevante do grau de déficit hídrico na planta. Ressalta-se ainda que a E é o principal mecanismo envolvido na regulação da Tleaf devido às menores aberturas estomáticas e, por consequência, ocorrem diminuição da E e aumento da Tleaf, por conta da redução da dissipação do calor latente sinalizando que a capacidade de refrigeração das plantas diminui via E (VIEIRA JÚNIOR et al., 2007; KUMAR et al., 2009).

A gs se correlacionou de forma mais evidente com a fotossíntese líquida (A) (0,53), carbono interno (Ci) (0,64) e E (0,93), no entanto, se correlacionou negativamente com ênfase com a Fv (0,71), WUE (0,64), iWUE (0,71) e com DPV (0,52). A concentração de carbono no interior dos cloroplastos está altamente relacionada à gs, havendo aumento ou diminuição simultânea de ambos. Com isso, o desempenho fotossintético pode ser dificultado quando há restrição na abertura do estômato (SILVA et al., 2015), que pode ser ocasionado pelo déficit hídrico ou outros tipos de estresses, pois quanto maior a abertura do estômato, maior será a entrada de CO_2 na câmara subestomática, e consequentemente, maior produção de fotoassimilados. A gs e a resistência estomática, são dependentes, possuem

variações em função do processo difusivo da E, abertura estomática e assimilação fotossintética do mesófilo (LAWLOR e TEZARA, 2009).

A E correlacionou-se expressivamente de forma positiva com a A (0,60) e com o Ci (0,60), entretanto, negativamente com a Fv (0,71), WUE (0,70) e com a iWUE (0,71). O Ci se correlacionou com maior expressão de forma negativa com a Fv (0,81), WUE (0,76), iWUE (0,81) e EIC (0,81). Sabe-se que a absorção de CO_2 ocorre por meio dos estômatos e em concomitância o fluxo de água, por meio do processo da E, sendo o movimento de abertura e fechamento estomático o principal mecanismo de controle das trocas gasosas nas plantas superiores. Desta forma, a indisponibilidade hídrica no solo as culturas podem causar fechamento estomático, limitando a gs e a E, o que por consequência reduz a taxa fotossintética (SILVA et al., 2010).

4 CONCLUSÃO

Maiores lâminas de irrigação reduzem os índices de clorofilas *a*, *b* e *total*, fluorescência máxima, eficiência instantânea do uso da água e eficiência intrínseca do uso da água em beterraba.

A ecofisiologia da beterraba não é alterada por doses de ácido ascórbico via lâmina de irrigação.

Os índices de clorofilas não se correlacionam com emissão de fluorescência e trocas gasosas em beterrabas.

A emissão de fluorescência possui baixa correlação com as variáveis de trocas gasosas em beterraba.

CAPÍTULO III

QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE BETERRABA CULTIVADA SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E ÁCIDO ASCÓRBICO

1 INTRODUÇÃO

A beterraba hortícola ou de mesa (*Beta vulgaris* L.) é a mais conhecida no Brasil, se destaca por sua dupla aptidão entre as hortaliças (raízes e folhas), pertence à família Chenopodiaceae, sua origem é da costa do Mediterrâneo (COSTA et al., 2017). É uma cultura que possui crescente demanda de consumo no Brasil, tanto *in natura* quanto beneficiada pela indústria, devido a suas altas concentrações de vitaminas e nutrientes (PAIVA et al., 2017).

A produção das olerícolas é afetada diretamente pela quantidade de água no solo, por ser determinante na fisiologia vegetal, por participar de todas as fases da planta. Tanto o deficit como o excesso hídrico limitam a produtividade e a qualidade final do produto na maioria das culturas (SOUSA et al., 2014; SANTOS et al., 2016). A irrigação é o trato cultural que mais incrementa a produção das hortaliças. Desta maneira, o adequado manejo e ajustamento da lâmina de irrigação nas culturas, principalmente

durante a produção, faz-se necessário para garantia de colheita com maior qualidade (CAVALCANTE et al., 2016).

Sob estresse hídrico, solutos orgânicos podem ser alterados de forma quantitativa e qualitativa, desencadeando efeitos antioxidantes relevantes em resposta ao estresse devido a restrição na disponibilidade de água, induzindo tolerância a planta (SILVA et al., 2016). A aplicação de solutos orgânicos nas plantas sob estresse hídrico pode ser uma alternativa de reduzir o efeito osmótico, proporcionando garantia de produção nas culturas (LACERDA et al., 2012), um osmólito de grande importância como antioxidante é o ácido ascórbico (TERZI et al., 2015).

O uso combinado de determinadas lâminas de irrigação com um soluto orgânico pode contribuir na melhoria da qualidade pós-colheita de raízes tuberosas de beterraba. Tendo em vista a carência de trabalhos científicos envolvendo essa temática, objetivou-se com esta pesquisa, avaliar a qualidade pós-colheita de beterrabas cultivadas sob lâminas de irrigação associadas a doses de ácido ascórbico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita do Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, Bananeiras, Paraíba, Brasil, de 16 a 18 de agosto de 2017.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco doses de ácido ascórbico (0,00; 0,29; 1,00; 1,71 e 2,00 mM) e cinco lâminas de irrigação (40,0; 51,6; 80,0; 108,4 e 120,0% da evapotranspiração), combinadas segundo a matriz experimental Composto Central de Box, totalizando nove tratamentos: T_1, 1,71 e 108,4; T_2, 1,71 e 51,6; T_3, 0,29 e 108,4;

T_4, 0,29 e 51,6; T_5, 2,0 e 80; T_6, 0,0 e 80; T_7, 1,0 e 120; T_8, 1,0 e 40; e T_9, 1,0 mM e 80% da ETc, com cinco repetições. Os tratamentos iniciaram-se em conjunto aos 21 dias após a emergência (DAE) até o término do ciclo da cultura.

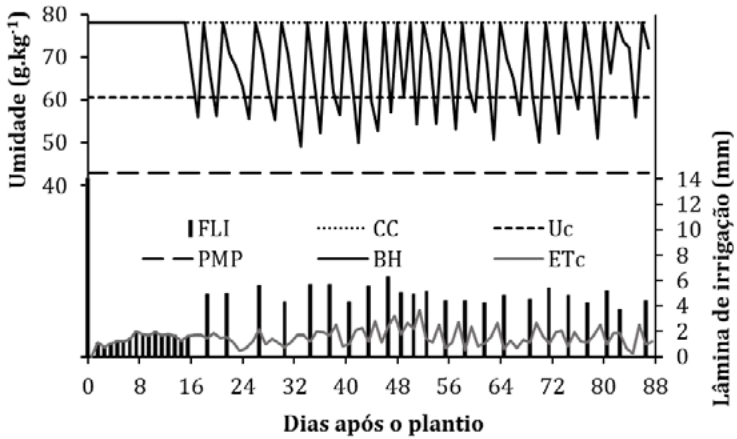
As sementes utilizadas foram da beterraba cultivar Maravilha Top Tall Early Wonder (Feltrin® sementes) semeando-se cinco sementes por vaso, que após a estabilização da emergência (5 dias após o plantio) e passados 15 dias, foram desbastadas deixando-se apenas a mais vigorosa. Os vasos utilizados tinham capacidade volumétrica de cerca de 5 dm^3, que possuíam furos na face inferior para permitir uma melhor aeração das raízes e facilitar a percolação do excesso de água evitando a saída de solo dos vasos.

Os vasos foram preenchidos por solo de horizonte A coletado na profundidade de 0-20 cm, classificado como Planossolo Háplico Eutrófico Êndico (EMBRAPA, 2014), com as seguintes características químicas: pH = 6,26; P (Mehlich) = 11,35 mg dm^{-3}; K^+ = 40,00 mg dm^{-3}; Na^+ = 0,22 cmolc dm^{-3}; $H^+ + Al^{+3}$ = 1,82 cmolc dm^{-3}; Al^{+3} = 0,00 $cmol_c$ dm^{-3}; Ca^{+2} = 3,00 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg^{+2} = 1,90 $cmol_c$ dm^{-3}; SB = 5,22 $cmol_c$ dm^{-3}; CTC = 7,03 $cmol_c$ dm^{-3}; V = 74,34%; M.O. = 17,53 g kg^{-1} (EMBRAPA, 2009). As características físicas avaliadas foram: Densidade do solo (Ds) = 1,38 g cm^{-3}; Densidade de partícula (Dp) = 2,67 g cm^{-3}; Porosidade total (Pt) = 0,48 m^3 m^{-3}; Capacidade de campo (CC) = 78,00 g kg^{-1}; Ponto de murcha permanente (PMP) = 43,00 g kg^{-1}; Areia = 756,90 g kg^{-1}; Silte = 59,10 g kg^{-1}; Argila = 184,00 g kg^{-1} e classe textural franco arenosa (EMBRAPA, 2014).

A adubação de plantio e cobertura com foi nas doses de 40, 180 e 90 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente, conforme análise química do solo e recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008). Todas as plantas daninhas foram retiradas durante todo o período de crescimento e produção da cultura, em concomitância com o monitoramento das pragas e doenças, no entanto foram ausentes.

Para o manejo das lâminas de irrigação, tomou-se como referência lisímetros de pesagem com reposição de 100% da evapotranspiração. No dia do plantio a lâmina de irrigação foi calculada segundo Mantovani et al. (2009) sendo considerado profundidade do sistema radicular de 15 cm (profundidade de solo no vaso) elevando a umidade do solo a capacidade de campo, a partir do segundo dia do plantio a lâmina foi determinada de acordo com a parcela de evapotranspiração registrados pelos lisímetros de pesagem, mantendo a umidade do solo entre a capacidade de campo e a umidade crítica, estabelecida de 50% da água disponível, sendo os valores foram registrados durante todo o ciclo da cultura (Figura 1). A irrigação total necessária foi calculada de acordo com Bernardo et al. (2008), considerando 100% de eficiência de aplicação da irrigação.

Figura 1. Dados hídricos do solo nos lisímetros de pesagem com reposição de 100% da evapotranspiração em função dos dias após o plantio da beterraba. Balanço hídrico (BH), capacidade de campo (CC), umidade crítica (Uc), ponto de murcha permanente (PMP), em g kg^{-1}, e frequência e lâmina de irrigação (FLI) e evapotranspiração da cultura (ETc), em mm.



A colheita foi determinada pelas plantas dos lisímetros de pesagem, considerando o diâmetro da raiz tuberosa em torno de 5 cm (TIVELLI et al., 2011), alcançado aos 82 dias após a emergência. Após a colheita, as beterrabas foram conduzidas para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita, para as análises dos sólidos solúveis totais, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico (pH), acidez titulável (% de ácido cítrico), relação sólidos solúveis totais e acidez titulável, umidade, matéria seca e matéria mineral (cinzas), determinadas de acordo com o manual do Instituto Adolfo Lutz (2008).

Os dados obtidos das variáveis avaliadas foram submetidos a análise de variância e regressão polinomial, utilizando-se o pacote estatístico SAS® University (CODY, 2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

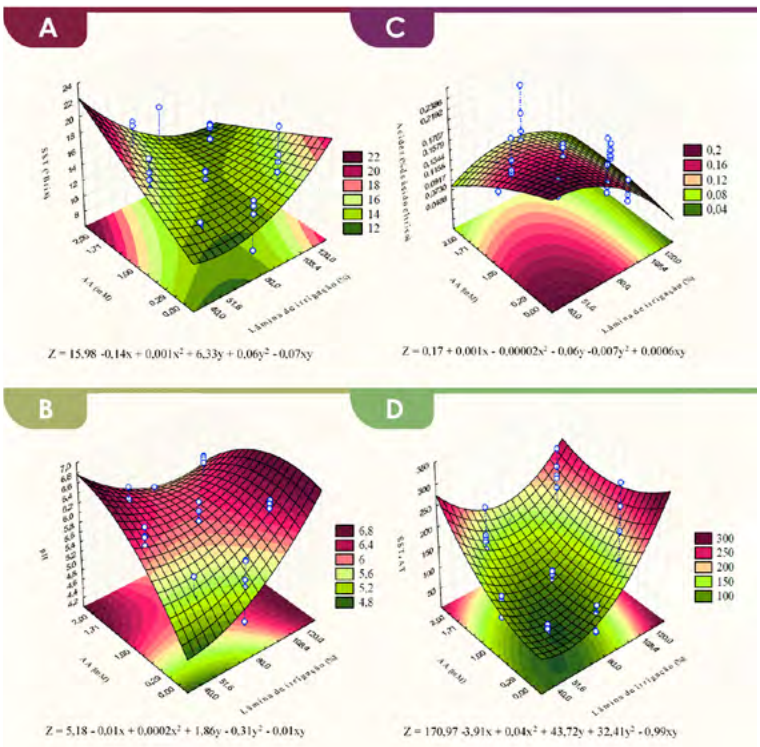
As interações das lâminas de irrigação com as doses de ácido ascórbico (AA) foram significativas para as variáveis pós-colheita das raízes tuberosas de beterraba, exceto em matéria mineral (cinzas) e condutividade elétrica.

Para sólidos solúveis totais (Figura 2A), verificou-se que um aumento linearmente com o aumento das doses de AA na menor lâmina de irrigação, enquanto que na maior lâmina (120%) praticamente não houve variação. Possivelmente, as maiores reposições hídricas diluíram os sólidos solúveis totais, por consequência diminuíram seus teores na polpa semelhante ao encontrado por DOLKER et al. (2017) em citrus e por SILVA et al. (2013) em graviola.

Os valores extremos de AA sob estresse hídrico induziram a maiores valores de potencial hidrogeniônico (pH) (Figura 2B). Possivelmente justificado pelos aumentos dos antioxidantes formados pelo estresse hídrico doarem íons de hidrogênio para os radicais livres durante a oxidação

causada pela restrição hídrica na polpa das raízes tuberosas da beterraba (BREWER, 2011), tal como verificado por Murshed et al. (2013).

Figura 2. Sólidos solúveis totais (SST) (A), potencial hidrogeniônico (pH) (B), acidez titulável (% de ácido cítrico) (C), relação sólidos solúveis totais e acidez titulável (SST/AT) (D) de raízes tuberosas de beterrabas cultivadas em função de lâminas de irrigação (%) e de aplicações de ácido ascórbico (AA).



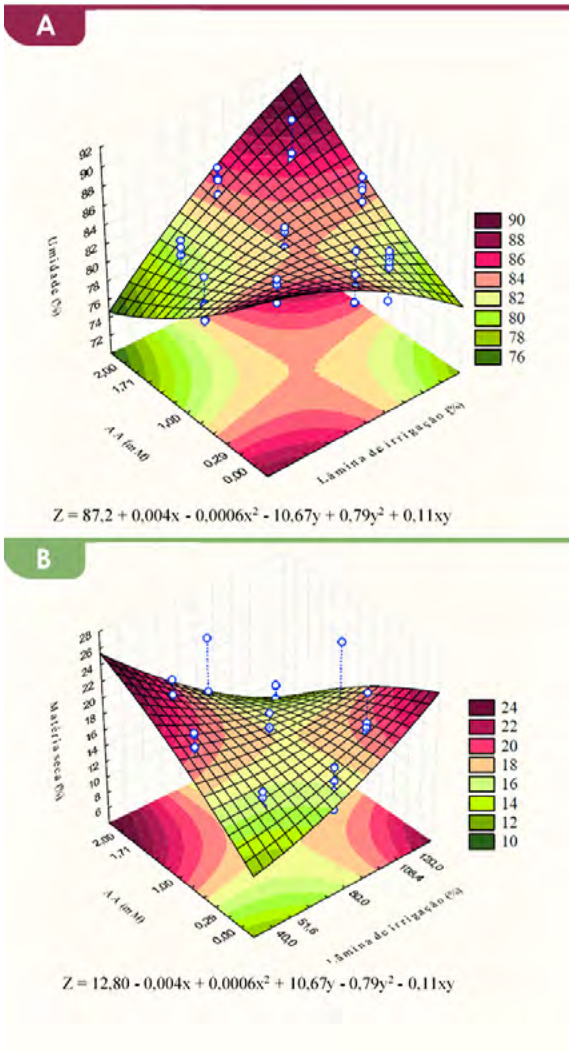
Os menores valores de acidez total titulável (% de ácido cítrico) (Figura 2C), foram obtidos a medida em que houve aumento da disponibilidade hídrica e das doses de AA. Provavelmente o AA não

auxiliou na acumulação de ácido cítrico, apenas o estresse hídrico, tal resposta pode estar relacionada ao efeito de diluição dos ácidos orgânicos pelo aumento da quantidade de água na produção da cultura (SOARES et al., 2013) e da acumulação de diferentes solutos sob estresse hídrico (WU et al., 2016).

Em virtude da relação inversa dos resultados encontrados dos sólidos solúveis totais e da acidez titulável, foi verificado que as maiores lâminas de irrigação proporcionaram incrementos positivos na relação sólidos solúveis totais e acidez titulável (Figura 2D), não havendo interferência visível das doses de AA, no entanto, foi verificado que nas menores lâminas de irrigação, houve efeito sinérgico do AA no aumento da SST/AT, justificado pelo acumulo de diversos tipos de solutos orgânicos sintetizados devido a restrição hídrica (SILVA et al., 2014).

As maiores doses de AA nas maiores lâminas de irrigação resultaram nos maiores valores de umidade da polpa (Figura 3A). Possivelmente sob déficit hídrico, a aplicação de AA não favoreceu a retenção de água no interior das células das raízes, no entanto, provavelmente a planta manteve sua pressão de turgor durante o estresse hídrico nas folhas, protegendo os compartimentos celulares de possíveis danos ocasionados pela desidratação e favorecendo a fotossíntese (WARAICH et al., 2011), pois o AA exerce papel importante na eliminação de espécies reativas de oxigênio produzidas sob condições de restrição hídrica (HAMEED et al., 2015).

Figura 3. Umidade (A) e massa da matéria seca (B) de raízes tuberosas de beterrabas cultivadas em função de lâminas de irrigação (%) e de aplicações de ácido ascórbico (AA).



Para massa da matéria seca da polpa (Figura 3B), os valores se comportaram de maneira inversa a umidade da polpa, ou seja, as aplicações de AA favoreceram o incremento de massa seca sob restrição hídrica severa, no entanto, sua ação foi reduzida a medida das crescentes disponibilidades hídricas, chegando a ser deletério nas maiores lâminas de irrigação. Provavelmente devido ao efeito pró-oxidativo do AA ao gerar espécies reativas de oxigênio quando não é necessário a realização de ajustamento osmótico (HUSSAIN et al., 2017).

A condutividade elétrica da polpa das raízes tuberosas de beterraba não foi influenciada pelos dois fatores avaliados, com média de 1731,04 µSm cm^{-1}. Possivelmente, o uso de fatores com condutividade elétrica uniformes (AA e lâminas de irrigação) não tenha interferido na condutividade elétrica da polpa, conforme trabalho de Medeiros et al. (2014), que verificou que com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, aumentou a condutividade elétrica da polpa de maracujazeiro amarelo.

A matéria mineral (cinzas) não foi influenciada pelas doses de AA, tampouco pelas lâminas de irrigação, alcançando média de 1,49%. Provavelmente justificado pelo fato que os fatores avaliados não terem contribuído para aumentar a concentração de minerais nas raízes tuberosas, superior ao encontrado por Tivelli et al. (2011), que obteve o valor de 1,1%.

4 CONCLUSÃO

Os sólidos solúveis totais, potencial hidrogeniônico, relação sólidos solúveis totais e acidez titulável e massa seca da polpa de raízes tuberosas de beterraba aumentam com as doses de ácido ascórbico e com a menor lâmina de irrigação, que diminuem a acidez titulável e a umidade.

A condutividade elétrica da polpa e os teores de minerais (cinzas) não foram alterados pela lâmina de irrigação, tampouco pela aplicação de ácido ascórbico.

A umidade da polpa diminuiu e a massa seca aumentou com a maior dose de ácido ascórbico na menor lâmina de irrigação.

A maior dose de ácido ascórbico (2 mM) na menor lâmina de irrigação (40%) aumenta a qualidade pós-colheita de raízes tuberosas de beterraba.

CAPÍTULO IV

GAS EXCHANGE AND CHLOROPHYLL FLUORESCENCE OF SUGAR BEET UNDER WATER STRESS AND APPLICATION OF ASCORBIC ACID

1 INTRODUCTION

Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) is botanically classified as a biennial herbaceous of the Chenopodiaceae family, with varieties of different bark and pulp colors, from yellow to red (SINGH; HATHANE, 2014). In Brazil, it is one of the most cultivated vegetables due to the increasing demand, both in natura and industrial forms (PAIVA et al., 2017). There are several biotypes, including the sugar beet, used for sugar extraction because of its properties like high content of sucrose, forage use in animal feed and as vegetable for human consumption (TIVELLI et al., 2011).

Among the several limiting factors that this crop faces, the water deficit is the most important, affecting plant growth, physiology and productive behavior (SILVA et al., 2015). The water deficit in the soil can lead to water stress, causing morphological and physiological changes, such as reduction of cell expansion and leaf area, increase of leaf abscission, decrease in the ratio between root and shoot biomass, closure of stomata and decreases in photosynthesis (TAIZ et al., 2017).

Due to the importance of water in plant development and its implications on various soil properties, determination of water content in the soil is always important, both in the scientific and economic aspects (SOARES et al., 2014).

Plants need to maintain their internal water potential below that found in the soil for water absorption, turgor maintenance and growth. The ability to perform osmotic adjustments and maintain a high relative water content in leaves at low water potential favors a positive pressure potential and maintains active the plant cell metabolism (TIME et al., 2018). The increase in the osmotic potential is required, either through the absorption of soil ions or by the synthesis and accumulation of compatible organic solutes (ACOSTA-MOTOS et al., 2017).

One of the plant defense mechanisms to stress is the synthesis of ascorbic acid (TAIZ et al., 2017). The most abundant water-soluble antioxidant in plants is the ascorbic acid, used for the detoxification and neutralization of several reactive oxygen species (ROS), among them superoxide radicals and single oxygen (GALLIE, 2012). Despite its role as ROS eliminator, this acid is also involved in the photosynthetic capacity by controlling the stomatal aperture and closure, besides being a cofactor of enzymes involved in the regulation of photosynthesis (ATHAR et al., 2008).

Based on that, this study aimed to evaluate the gas exchange and chlorophyll fluorescence of beet plants (*Beta vulgares* L.) under ascorbic acid application via irrigation water as a physiological strategy to water stress.

2 MATERIAL AND METHODS

The experiment was carried out under a greenhouse environment at the Centro de Ciências Agrárias of the Universidade Federal da Paraíba, in the city of Areia, Paraíba, Brazil. The experimental design used was a randomized complete block design with five irrigation depths (40.0, 51.6, 80.0, 108.4 and 120% of the reference evapotranspiration) and five doses of ascorbic acid via irrigation water (0.0, 0.29, 1.0, 1.71 and 2.0 mM), with three replications, generated from the Central Compound matrix of Box (CCB), totaling nine experimental plots. The application of the treatments started in a conjugated way at 15 days after emergence (DAE) and was extended until the harvesting day (82 DAE).

Sugar Beet seeds (*Beta vulgaris* L.) of the cultivar Maravilha Top Tall Early Wonder were used. Each experimental plot consisted of three conical pots of 20,5 cm of superior diameter, 18 cm of inferior diameter and 20 cm of height, with 5 dm^3 of capacity, with circular holes of 1 cm of diameter in the bottom.

The pots were filled with soil collected from 0-20 cm depths, classified as eutrophic albaqualf (EMBRAPA, 2014), with the following chemical properties: pH = 6.26; P (Mehlich) = 11.35 mg dm^{-3}; K^+ = 40.00 mg dm^{-3}; Na^+ = 0.22 $cmol_c$ dm^{-3}; H^++Al^{+3} = 1.82 $cmol_c$ dm^{-3}; Al^{+3} = 0.00 $cmol_c$ dm^{-3}; Ca^{+2} = 3.00 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg^{+2} = 1.90 $cmol_c$ dm^{-3}; SB = 5.22 $cmol_c$ dm^{-3}; CTC = 7.03 $cmol_c$ dm^{-3}; V = 74.34%; M.O. = 17.53 g kg^{-1} (EMBRAPA, 2009). The evaluated physical properties were: Soil Bulk Density (Ds) = 1.38 g cm^{-3}; Particle Density (Dp) = 2.67 g cm^{-3}; Total porosity (Pt) = 0.48 m^3 m^{-3}; Field capacity (CC) = 78.00 g kg^{-1}; Permanent wilting point (PWP) = 43.00 g

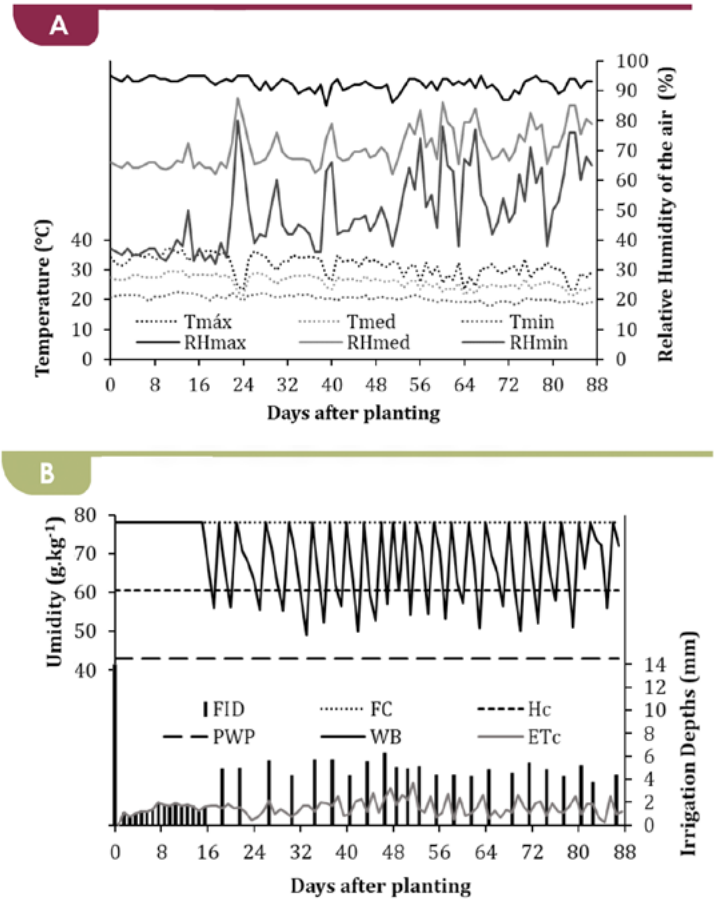
kg^{-1}; Sand = 756.90 g kg^{-1}; Silt = 59.10 g kg^{-1}; Clay = 184.00 g kg^{-1} and sandy loam textural class (EMBRAPA, 2014).

The sowing was done directly, with five seeds per pot. After the stabilization of the emergency (15 DAE) the thinning was performed, remaining only the plant with greater vigor. For the fertilization, were used N, P_2O_5 and K_2O at the doses of 40, 180 and 90 kg ha^{-1}, respectively (Ipa, 2008). There was no incidence of diseases during the conduction of the experiment. During the experimental period, the temperature (T) and the relative humidity of the air (RH), maximum (max), medium (med) and minimum (min) were measured daily at the end of the afternoon with a digital thermohygrometer (HT-600 Instruthermr®), located inside the experimental area, at plant height (Figure 1A).

To adjust the irrigation depths, the mean weight of nine pots (weighing lysimeters) placed in the middle of the treatments, were weighed daily in a precision scale, throughout the experiment. The pots were maintained with soil moisture of the field capacity until critical humidity, established in 50% of available water (TOPAK et al., 2011).

Information on water balance (WB), field capacity (FC), critical water content (Hc), permanent wilt point (PWP), frequency and irrigation depth (FID) and crop evapotranspiration (ETc), on the weighing lysimeters with 100% replacement of 100% of evapotranspiration, were used to manage irrigation throughout the beet crop cycle (Figure 1B).

Figure 1. Climatic elements of the study environment (A), Water data in the weighing lysimeters with 100% replacement of evapotranspiration (B), according to the days after planting the beet crop (*Beta vulgaris* L.). * Tmax - maximum temperature; Tmed - average temperature; Tmim - minimum temperature; RHmax - relative humidity of the maximum air; RHmed - relative humidity of the medium air; RHmin - minimum relative humidity; ID - frequency and irrigation depth; FC - field capacity; Hc - critical humidity; PWP - permanent wilting point; WB - water balance and ETc - crop evapotranspiration.



The first irrigation depth was calculated according to Mantovani et al. (2009), considering that the soil moisture was 9.8 g kg^{-1} and the depth of the root system was 15 cm (soil depth in the pot). The irrigation depths applied later were determined according to the evapotranspiration rate recorded by the lysimeters, and for these, 100% of the evapotranspiration was restored. The total irrigation required (TIR), in mm, was calculated according to Bernardo et al. (2008), considering 100% of application efficiency.

Echophysiological analyses were performed at 82 DAE between 9:00 AM and 11:00 AM. The determination of the chlorophyll a, b index and total were taken from the middle part of all the leaves of the plants using a portable electronic chlorophyllometer (ClorofiLog®, model CFL 1030, Falker).

The chlorophyll fluorescence emission measurements were performed following the methodology described by Melo et al. using a fluorescence modulator Plant Efficiency Analyzer - PEA II® (Hansatech Instruments Co, UK). Determining the initial fluorescence (F0) and the maximum fluorescence (Fm). The variable fluorescence (Fv = Fm-F0), the maximum efficiency of the photochemical process in FSII (Fv/F0) and the potential quantum yield of photosystem II (FSII = Fv/Fm) were also calculated.

The determination of the gas exchange was performed using a portable photosynthesis meter - IRGA (LI-COR - model LI-6400XT, USA). The fourth leaf was analyzed from the upper part of the plant of each plot, always in the median region of fully expanded leaves, totally exposed to solar radiation. The following variables were analyzed: net CO_2 assimilation (A) (µmol de CO_2 m^{-2} s^{-1}), stomatal conductance (Gs)

(mol de H_2O m^{-2} s^{-1}), internal CO_2 concentration (Ci) (µmol de CO_2 m^{-2} s^{-1}), Transpiration (E) (mmol de H_2O m^{-2} s^{-1}), vapor pressure deficit ($DPV_{leaf-air}$) (kPa) and leaf temperature (°C) (T Leaf). After collecting the data, the instantaneous water use efficiency was quantified (WUE) (A/E) [(µmol de CO_2 m^{-2} s^{-1}) (mmol de H_2O m^{-2} $s^{-1})^{-1}$], the intrinsic water use efficiency (iWUE) (A/Gs) [(µmol de CO_2 m^{-2} s^{-1}) (mmol de H_2O m^{-2} $s^{-1})^{-1}$] and the efficiency of instantaneous carboxylation (EIC) (A/Ci) [(µmol de CO_2 m^{-2} s^{-1}) (µmol de CO_2 m^{-2} $s^{-1})^{-1}$]. The temperature, the relative humidity and the maximum and minimum photosynthetically active radiation were measured at the moment of the readings.

Data were submitted to analysis of variance by the F test (5% of probability) and in the cases of significance, a polynomial regression analysis was performed using the statistical program SAS University software (Cody, 2015). The Pearson correlation coefficients between the variables were estimated using the corrplot package (Wei and Simko, 2017) using the program R (R Core Team, 2017), with up to 95% probability.

3 RESULTS AND DISCCUSSION

Irrigation depths were independently significant for chlorophyll indexes a (Figure 2A), b (Figure 2B) and total (Figure 2C), maximum fluorescence (Figure 2D), instantaneous water use efficiency (Figure 2E), and intrinsic water use efficiency (Figure 2F). There was no significant effect of ascorbic acid concentrations under the conditions in which the experiment was carried out, and interaction with the irrigation depths did not occur.

Figure 2. Indices of chlorophyll a (A), chlorophyll b (B), total chlorophyll (C), maximum fluorescence (Fm) (D), instantaneous water use efficiency (WUE) (E) and intrinsic water (iWUE) (F) as a function of the irrigation blades in beet (*Beta vulgaris* L.).

GRÁFICO A

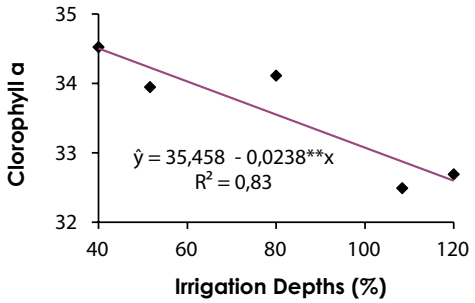


GRÁFICO B

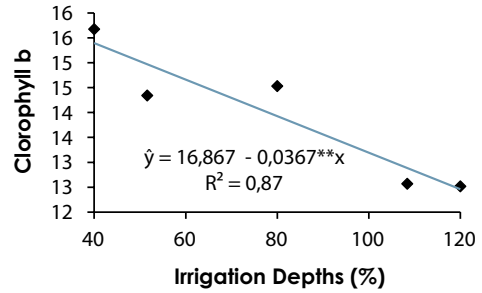


GRÁFICO C

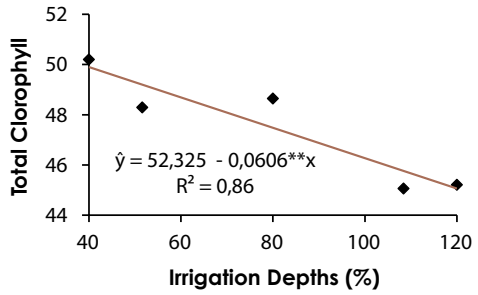


GRÁFICO D

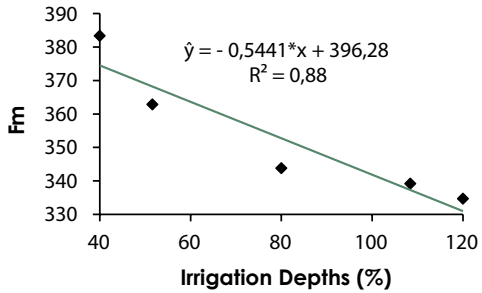


GRÁFICO E

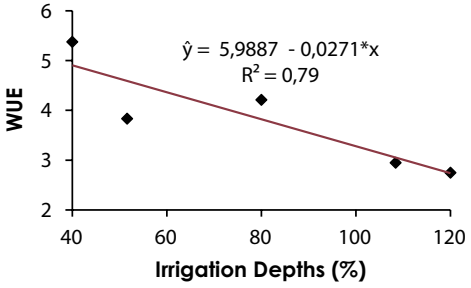
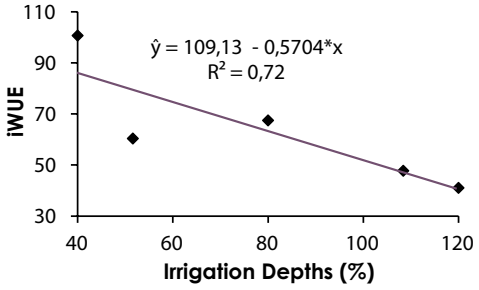


GRÁFICO F



The chlorophylls are very important for the photosynthesis process, since they are responsible for the capture of light energy, being the chlorophyll a the most important, the main pigment of the luminosity complexes receptors for the photochemical reactions (TAIZ et al., 2017). There are several factors that influence the concentration of chlorophylls in the

plant cell such as the water deficit (CARDOSO et al., 2012). The chlorophyll a, b and total were increased as the water stress in the beet plants was increased.

There are several reports in the literature about the increase and reduction of chlorophyll content in the plant cell under water stress conditions, as described by Mendes et al. (2011). These authors also point out that the increase in total chlorophyll content, under stress conditions, would be associated to the adaptive response of the plant to the stress, by the activation of protection mechanisms of the photosynthetic apparatus. Silva et al. (2014) suggests that these pigments are good physiological indicators in the selection of species tolerant to water stress.

The maximum fluorescence (Fm) decreased as the amount of water increased, characterizing photoreduction of quinone A (QA), since increasing values of increasing Fm associated with greater availability of water, showed no lack in the photoreduction of QA, nor in the electron flow between the photosystems (TATAGIBA et al., 2014).

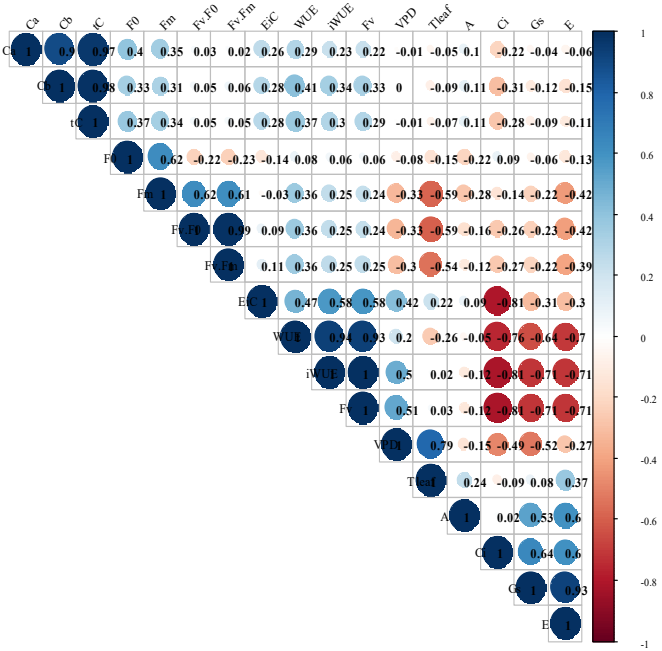
The instantaneous water use efficiency (WUE) and intrinsic water use efficiency (iWUE) were negatively affected as the irrigation depth increased, this is justified by the increase in CO_2 concentration related to transpiration (E) and to the stomatal conductance (Gs), (Jadoski et al., 2015), ensuring the maintenance of the photosynthetic rate of the plant even with the partial closure of the stomata, due to water stress (HU et al., 2010).

By the correlation matrix (Figure 3), it was verified that the chlorophyll indexes correlated with each other, chlorophyll a and b 90%, chlorophyll a and total 97% and chlorophyll b and total 98%.

Fluorescence correlated with each other and some gas exchange variables. The Fm correlated with greater expression to initial fluorescence (62%), the maximum efficiency of the photochemical process in FSII (Fv/F0) (62%) and the potential quantum yield of photosystem II (Fv/Fm) (61%). Fluorescence (Fv) highly correlated with the vapor pressure deficit (VPD)

(51%), instantaneous water uses efficiency (WUE) (93%), intrinsic water uses efficiency (iWUE) (100%) and instantaneous carboxylation efficiency (ICE) (58%). The Fv/F0 correlated with Fv/Fm (99%).

Figure 3. Pearson correlation matrix between gaseous gas variables (Gs, A, Ci, E, VPD, EIC, WUE and iWUE), fluorescence (F0, Fm, Fv / F0 and Fv / Fm) and chlorophyll indices (Ca, Cb and Ct) in beet (*Beta vulgaris* L.).



* GS - stomatal conductance; A - liquid CO_2 assimilation; Ci - internal concentration of CO_2; E - sweating; VPD - vapor pressure deficit; EIC - instantaneous carboxylation efficiency; WUE - instantaneous water use efficiency; iWUE - intrinsic efficiency of water use; F0 - initial fluorescence; Fm - maximum fluorescence; Fv/F0 - maximum efficiency of photochemical process at FSII; Fv/Fm - potential quantum yield of photosystem II; Ca - chlorophyll index a; Cb - chlorophyll index b and Ct - total chlorophyll index.
* Gaps without staining correspond to non-significant correlations at 5% probability.

For the correlation between the gas exchange variables, it was verified that the WUE only correlated prominently with the iWUE (94%), which was correlated with the ICE (58%) and with the VDP (50%), this last one correlates only with leaf temperature (Tleaf) (79%). Tleaf correlated negatively with F0 (59%), Fv/F0 (59%) and with the potential quantum yield of FSII (54%).

Among the physiological mechanisms correlated with the water status of the plants, Tleaf can be used as a relevant indicator of the degree of water deficit in the plant. It is also important to mention that E is the main mechanism involved in the regulation of Tleaf due to the fewer stomatal aperture and, consequently, there is a decrease in E and an increase in Tleaf due to the reduction of latent heat dissipation, indicating that the cooling capacity of the plants decreases via E (VIEIRA JÚNIOR et al., 2007; KUMAR et al., 2009). According to Silva et al. (2015) leaf temperature decreases as the water availability to the plant is increased.

Gs clearly correlated with liquid photosynthesis (A) (53%), internal carbon (Ci) (64%), and E (93%), however, negatively correlated with Fv (71%), WUE (64%), iWUE (71%) and VPD (52%). The concentration of carbon inside the chloroplasts is highly related to Gs, with a simultaneous increase or decrease of both. Thus, photosynthetic performance may be hampered when stomatal aperture is restricted (SILVA et al., 2015), which may be caused by water deficit or other types of stress, considering that the greater the stoma aperture, the greater the movement of CO_2 to the substomatic chamber, and consequently, higher the production photoassimilates. The Gs and the stomatal resistance are dependent, have variations due to the diffusive process of E, stomatal aperture and photosynthetic assimilation of the mesophyll (LAWLOR; TEZARA, 2009).

E positively correlated with A (60%) and Ci (60%), but negatively with Fv (71%), WUE (70%) and iWUE (71%). Ci correlated, with higher expression, negatively with Fv (81%), WUE (76%), iWUE (81%) and ICE (81%). It is known that the CO_2 uptake occurs through stomata and concomitant with the water flow, through the E process, where the stomatal aperture and closure are the main mechanism that control gas exchange in vascular plants. Thus, water restriction in the soil can cause the closure of stomata limiting the Gs and E, which consequently decreases the rate of A (SILVA et al., 2010).

4 CONCLUSIONS

The ecophysiology of *Beta vulgaris* L. is not affected by the application of ascorbic acid via irrigation water at the concentrations used in this study.

Higher irrigation depths reduce the chlorophyll a, b and total indexes, maximum fluorescence, instantaneous water use efficiency and intrinsic water use efficiency in *B. vulgaris* L.

Fluorescence emission has a low correlation with gas exchange in *B. vulgaris* L.

Chlorophyll indexes do not correlate with fluorescence emission and gas exchange in *B. vulgaris* L.

CAPÍTULO V

POSTHARVEST QUALITY OF BEETROOTS GROWN UNDER DIFFERENT IRRIGATION DEPTHS AND ASCORBIC ACID DOSES

1 INTRODUCTION

The horticultural or table beetroot (*Beta vulgaris* L.) is the most known beetroot variety in Brazil. It belongs to the Chenopodiaceae family and it originates from the Mediterranean coast (COSTA et al., 2017). There is a culture of increasing consumption demand in Brazil, both in natural and industrialized states, due to its high concentrations of vitamins and nutrients (PAIVA et al., 2017).

The olericulture is directly affected by the amount of water in the soil because it is determinant in vegetable physiology due to its participation in every phase of the plant. Both water deficit and excess limit the yield and final quality of the product in most cultures (SOUSA et al., 2004; SANTOS et al., 2016). Irrigation is the cultural treatment that most increases the production of vegetables. Therefore, the proper management and adjustment of the irrigation depth in the cultures, especially during production, are necessary to guarantee greater quality harvests (CAVALCANTE et al., 2016).

Under water stress, organic solutes may be quantitatively and qualitatively changed, triggering relevant antioxidant effects in response to stress due to water availability restriction, generating tolerance in the plant (SILVA et al., 2016). The application of organic solutes in plants under water stress can be an alternative to reduce the osmotic effect, guaranteeing the culture production (LACERDA et al., 2012). An osmolyte of great importance as antioxidant is the ascorbic acid (TERZI et al., 2015).

The combined use of certain irrigation depths with an organic solute may contribute to the improvement of postharvest quality of tuberous beetroots. Due to the lack of scientific work on this subject, the purpose hereof was to evaluate the postharvest quality of beetroots (*Beta vulgaris* L.) grown under different irrigation depths in association with ascorbic acid doses.

2 MATERIAL AND METHODS

The experiment has been carried out from May to August 2017, in a protected environment at the Agricultural Sciences Center of the Federal University of Paraíba, in the city of Areia, Paraíba, Brazil.

The experimental design was completely randomized with five doses of ascorbic acid (0.00, 0.29, 1.00, 1.71, and 2.00 mM) and five irrigation depths (40.0, 51.6, 80.0, 108.4, and 120.0% of evapotranspiration), combined according to the Box Central Compound experimental matrix, totaling nine treatments: T1, 1.71 and 108.4; T2, 1.71 and 51.6; T3, 0.29 and 108.4; T4, 0.29 and 51.6; T5, 2.0 and 80; T6, 0.0 and 80; T7, 1.0 and 120; T8, 1.0 and 40; and T9, 1.0 mM and 80% of the evapotranspiration (ETc) with five repetitions. The treatments began 21 days after germination (DAG) until the end of the culture cycle.

Maravilha Top Tall Early Wonder cultivar seeds were employed (Feltrin® seeds). Five seeds per vase were used, which after germination stabilization (5 days after the sowing) and 15 days later, were thinned, remaining only the most vigorous one.

Each experimental plot consisted of three conical pots of 20,5 cm of superior diameter, 18 cm of inferior diameter and 20 cm of height, with 5 dm^3 of capacity, with circular holes of 1 cm of diameter in the bottom.

The pots were filled with soil collected from 0-20 cm depths, classified as eutrophic albaqualf (EMBRAPA, 2014), with the following chemical properties: pH = 6.26; P (Mehlich) = 11.35 mg dm^{-3}; K^+ = 40.00 mg dm^{-3}; Na^+ = 0.22 $cmol_c$ dm^{-3}; $H^+ + Al^{+3}$ = 1.82 $cmol_c$ dm^{-3}; Al^{+3} = 0.00 $cmol_c$ dm^{-3}; Ca^{+2} = 3.00 $cmol_c$ dm^{-3}; Mg^{+2} = 1.90 $cmol_c$ dm^{-3}; SB = 5.22 $cmol_c$ dm^{-3}; CTC = 7.03 $cmol_c$ dm^{-3}; V = 74.34%; M.O. = 17.53 g kg^{-1} (EMBRAPA, 2009). The evaluated physical properties were: Soil Bulk Density (Ds) = 1.38 g cm^{-3}; Particle Density (Dp) = 2.67 g cm^{-3}; Total porosity (Pt) = 0.48 m^3 m^{-3}; Field capacity (CC) = 78.00 g kg^{-1}; Permanent wilting point (PWP) = 43.00 g kg^{-1}; Sand = 756.90 g kg^{-1}; Silt = 59.10 g kg^{-1}; Clay = 184.00 g kg^{-1} and sandy loam textural class (EMBRAPA, 2014).

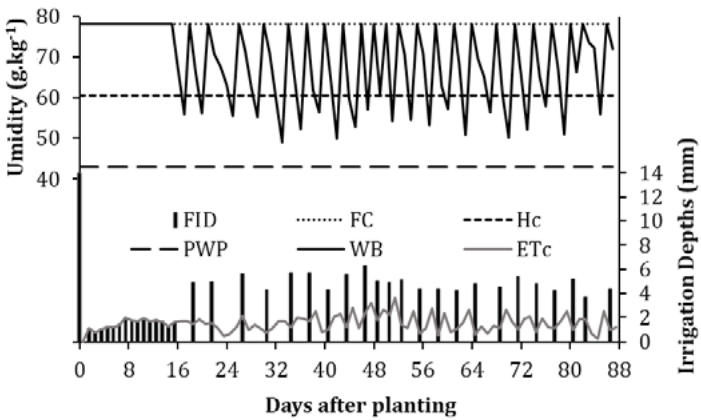
The sowing fertilization and cover were made at doses of 40, 180, and 90 kg ha^{-1} of N, P_2O_5 and K_2O, respectively, with urea, simple superphosphate and potassium chloride, according to chemical soil analysis and fertilization recommendation for the State of Pernambuco (IPA, 2008). Phytosanitary controls of pests and weeds were manually performed during the experiment. No diseases were observed during the beetroot culture cycle.

For the irrigation depth management, weight lysimeters of 100% evapotranspiration reposition were used as reference. During the first sowing day, the irrigation depth was calculated according to Mantovani et al. (2009),

considering a root system depth of 15 cm (soil depth in the vase), increasing the moisture of the soil to field capacity. From the second sowing day onwards, the irrigation depth was determined according to the evapotranspiration patch registered by the weight lysimeters, keeping the soil's moisture between the field capacity and the critical moisture levels, established by 50% of available water, and the values were registered during the entire culture cycle (Figure 1). The total irrigation required was calculated according to Bernardo et al. (2008), considering a 100% level of irrigation application efficiency.

The harvest has been determined by the plants of the weight lysimeters, considering the diameter of the tuberous root around 5 cm (TIVELLI et al., 2011) after 82 of germination.

Figure 1. Water data of the soil in the weight lysimeters of 100% evapotranspiration reposition for the days after sowing in *Beta vulgaris* L. Water balance (WB), field capacity (Fc), critical humidity (Hc), permanent withering point (PWP) in g kg^{-1}, and frequency and irrigation depth (FID) and culture evapotranspiration (ETc), in mm.



After the harvest, the beetroots were conducted for the PostHarvest Physiology and Technology Laboratory of the Human, Social, and Agricultural Center's of the Federal University of Paraíba, Bananeiras, Paraíba, Brazil, for analysis of total soluble solids, electrical conductivity, potential of hydrogen (pH), titratable acidity (% citric acid), total soluble solid and titratable acidity ratio, moisture, dry matter, and mineral matter (ash), determined according to the manual of Instituto Adolfo Lutz (2008).

The resulting data from the evaluated variables were submitted to analysis of variance and polynomial regression, using the SAS® University statistical package (CODY, 2015).

3 RESULTS AND DISCCUSSION

The interactions between the irrigation depths with the ascorbic acid (AA) doses were significant for the postharvest variables of the tuberous beetroots (*Beta vulgaris* L.), except for mineral matter (ash) and electrical conductivity.

As regards total soluble solids (Figure 2A), there was a linear increase with the increase of AA doses in the thinner irrigation depth, as in the deeper irrigation depth (120%), there was practically no variation. Possibly, the greatest water solubility diluted the total soluble solids and consequently decreased their levels in the pulp, similar to that found by Dolker et al. (2017), and by Silva et al. (2013), which worked with citrus and graviola, respectively, submitted to water deficit verified higher values of total soluble solids under conditions of soil water deficit in the root zone of plants.

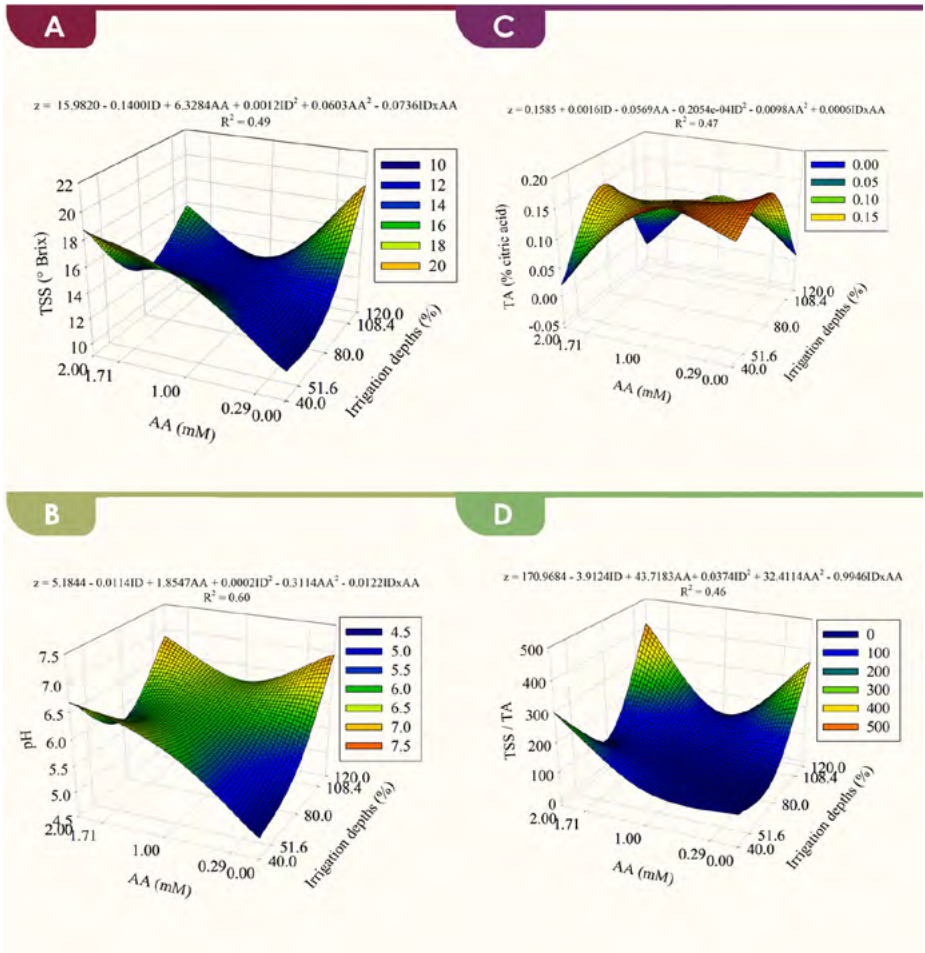
The extreme AA values under water stress resulted in greater potential of hydrogen (pH) values (Figure 2B), which is possibly justified by

the increase of antioxidants, developed as a consequence of water stress, which donate hydrogen ions to free radicals during the oxidation caused by water restriction in the pulp of beet tuberous roots (BREWER, 2011), as verified by Murshed et al. (2013), which investigated the effect of water deficit on some oxidative parameters and antioxidant systems on tomato Micro-Tom fruits at different stages of development, the authors verified that the concentrations of ascorbate (AsA) and dehydroascorbate (DHA) are modified with stress water.

The lesser total titratable acidity values (% citric acid) (Figure 2C) were obtained as the water availability and AA doses increased. The AA probably did not help to accumulate citric acid; only water stress did. Such response may be related to the dilution effect of organic acids by the water amount increase in the culture production (SOARES et al., 2013; GONZÁLEZ-CHAVIRA et al., 2018) and by the accumulation of different solutes under water stress (WU et al., 2016).

Due to the inverse relation between the results of total soluble solids and titratable acidity, it has been noticed that greater irrigation depths resulted in positive increases in the total soluble solids and titratable acidity ratio (Figure 2D), with no visible interference of the AA doses. However, it has noticed that in the thinner irrigation depths, there was an AA synergistic effect in the increase of TSS/TA, justified by the accumulation of several types of organic solutes synthesized by the water restriction (SILVA et al., 2014; ZOUAOUI et al., 2019).

Figure 2. Total soluble solids (TSS) (A), potential of hydrogen (pH) (B), titratable acidity (TA) (C), total soluble solids and titratable acidity ratio (TSS/TA) (D) of tuberous roots of beets grown according to the irrigation depths (%) and ascorbic acid (AA) applications.



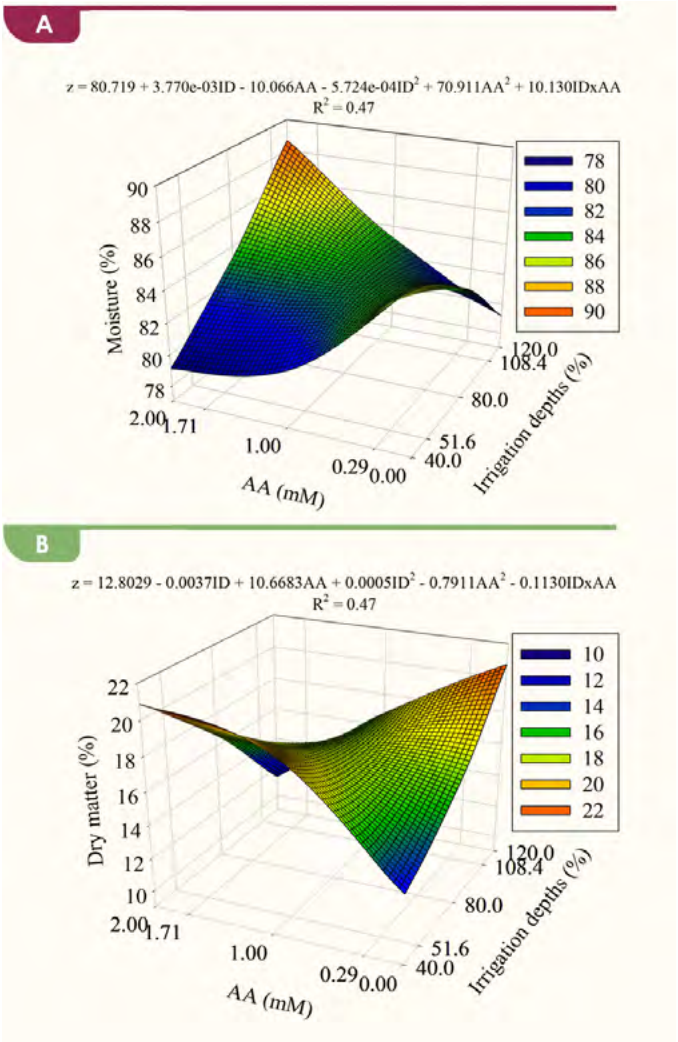
The greater AA doses in the deeper irrigation depths resulted in greater moisture values in the pulp (Figure 3A). Possibly under water deficit, the AA application did not favor the water retention in the root cells. However, the plant probably kept its turgor pressure during water stress in the leaves, protecting the cell compartments from possible damage caused by dehydration (WARAICH et al., 2011) because AA plays an important role in the elimination of oxygen reactive species produced under water restriction conditions (HAMEED et al., 2015).

The behavior of the dry matter mass of the pulp (Figure 3B) was inverse to that observed for the moisture of pulp, that is, the AA applications favored the increase of dry mass under severe water restriction. However, its action has reduced as the water availability increased, becoming even harmful in deeper irrigation depths, probably due to pro-oxidative effect of AA resulting from the generation of oxygen reactive species when the is no need of osmotic adjustment (HUSSAIN et al., 2017).

The electrical conductivity of the pulp of the beet tuberous root was not affected by the two evaluated factors, with an average value of 1731.04 μSm cm^{-1}. The use of uniform electrical conductivity factors (AA and irrigation depths) probably did not interfere with the electrical conductivity of the pulp. Medeiros et al. (2014) verified that the electrical conductivity of yellow passion fruit pulp increased with the increase of electrical conductivity of the irrigation water.

Neither AA doses nor irrigation depths affected mineral matter (ash), reaching a mean of 1.49%, which is probably justified by the fact that the evaluated factors did not contribute to increase the mineral concentration in the tuberous roots, because they have only organic chemical elements in their constitution (FARAHAT et al., 2018). The values found were higher than those found by Tivelli et al. (2011), which obtained the value of 1.1%.

Figure 3. Moisture (A) and dry matter mass (B) of beet tuberous roots grown according to the irrigation depths (%) and ascorbic acid (AA) applications.



4 CONCLUSIONS

Total soluble solids, potential of hydrogen, total soluble solids and titratable acidity ratio, and dry mass of pulp of beet (*Beta vulgaris* L.) tuberous root increase with the ascorbic acid doses and with the thinner irrigation depth, which decrease the titrable acidity and moisture. Neither irrigation depth nor application of ascorbic acid affected the electrical conductivity of pulp and the mineral contents (ashes). The moisture of the pulp decreased and the dry mass increased with the greatest dose of ascorbic acid in the thinner irrigation depth. The greatest dose of ascorbic acid (2 mM) in the thinner irrigation depth (40%) increases the postharvest quality of beet tuberous roots.

REFERÊNCIAS

ACOSTA-MOTOS, J. R.; ORTUÑO, M. F.; BERNAL-VICENTE, A.; DIAZ-VIVANCOS, P.; SANCHEZ-BLANCO, M. J.; HERNANDEZ, J. A. Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. **Agronomy**, v. 7, n. 18, p. 1-38, 2017.

AHMAD, I.; BASRA, S. M. A; AFZAL, I.; FAROOQ, M.; WAHID, A. Growth improvement in spring maize through exogenous application of ascorbic acid, salicylic acid and hydrogen peroxide. **International Journal of Agriculture & Biology**, v.15, n.1, p. 95-100, 2013.

AL-GHOBARI, H. M.; DEWIDAR, A. Z. Deficit irrigation and irrigation methods as on-farm strategies to maximize crop water productivity in dry areas. **Journal of Water and Climate Change**, v. 9, n. 2, p. 399-409, 2017.

ALI, Q.; ASHRAF, M. Induction of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) due to exogenous application of trehalose: growth, photosynthesis, water relations and oxidative defence mechanism. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, n. 4, p. 258-271, 2011.

ALVES, A. U; PADRO, R. M; GONDIM, A. R. O; FONSECA, I. M. F; FILHO, A. B. C. Desenvolvimento e estado nutricional da beterraba em função da omissão de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 2, p. 457-465, 2008.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and praline in improving plant abiotic stress resistence. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, n. 2, p. 206-216, 2007.

ATHAR, H.; KHAN, A.; ASHRAF, M. Exogenously applied ascorbic acid alleviates salt-induced oxidative stress in wheat. **Environmental and Experimental Botany**, v. 63, n. 1-3, p. 224-231, 2008.

AZZEDINE, F.; GHERROUCHA, H.; BAKA, M. Improvement of salt tolerance in durum wheat by ascorbic acid application. **Journal of Stress Physiology and Biochemistry**. v. 7, n. 1, p. 27-37, 2011.

BELTAGI, M. S. Exogenous ascorbic acid (vitamin C) induced anabolic changes for salt tolerance in chick pea (*Cicer arietinum* L.) plants. **African Journal of Plant Science**, v. 2, n. 10, p. 118-123, 2008.

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

BREWER M. S. Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 10, n. 4, p. 221-247, 2011.

CARDOSO, N. D. S. N.; OLIVEIRA, L. M.; FERNANDEZ, L. G.; PELACANI, C. R.; SOUZA, C. L. M.; OLIVEIRA, A. R. Osmocondicionamento na germinação de sementes, crescimento inicial e conteúdo de pigmentos de *Myracrodruon urundeuva* fr. Allemão. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 10, n. 4, p. 457, 2012.

CAVALCANTE, L. F.; ROCHA, L. F.; SILVA, R. A. R.; SOUTO, A. G. L.; NUNES, J. C.; CAVALCANTE, Í. H. L. Produção e qualidade da graviola sob irrigação e cobertura do solo com resíduo de sisal. **Magistra**, v. 28, n. 1, p. 91-101, 2017.

CHEN, Z.; GALLIE, D. R. The ascorbic acid redox state controls guard cell signaling and stomatal movement. **The Plant Cell**, v. 16, n.1, p. 1143–1162, 2004.

CODY, R. **An introduction to SAS**. Cary: SAS Institute, 2015.

CORRÊA, C. V.; CARDOSO, A. I.; SOUZA, L. G.; ANTUNES, W. L.; MAGOLBO, L. A. Produção de beterraba em função do espaçamento. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 111-114, 2014.

COSTA, F. A.; NASCIMENTO, W. M.; SILVA, P. P. Table beet floral induction by artificial vernalization of roots under Brasília conditions. **Savannah Journal of Research and Development**, v. 1, n. 1, p. 28-33, 2017.

DOLATABADIAN A.; SANAVY, S. A.M.M.; ASILAN, K. S. Effect of ascorbic acid foliar application on yield, yield component and several morphological traits of grain corn under water deficit stress conditions. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 2, n. 3, p. 45–50, 2010.

DOLATABADIAN, A.; SANAVY, S. A. M. M. Effect of the ascorbic acid, pyridoxine and hydrogen peroxide treatments on germination, catalase activity, protein and malondialdehyde content of three oil seeds. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 36, n. 2, p. 61-66, 2008.

DOLATABADIAN, A.; SANAVY, S. A. M. M.; SHARIFI, M. Alleviation of water deficit stress effects by foliar application of ascorbic acid on *Zea mays* L. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 195, n. 5, p. 347-355, 2009.

DOLKER, D.; BAKSHI, P.; DORJEY, S.; CHOUDHARY, P.; KOUR, K.; SINGH, M. Effect of deficit irrigation scheduling on yield and quality of kinnow mandarin fruits. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 7, p. 261-269, 2017.

EJAZ, B.; SAJID, Z. A.; AFTAB, F. Effect of exogenous application of ascorbic acid on antioxidant enzyme activities, proline contents, and growth parameters of Saccharum spp. hybrid cv. HSF-240 under salt stress. **Turkish Journal of Biology**, v. 36, n. 6, p. 630-640, 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo.** 4. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2014. 376 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2009. 624 p.

FARAHAT, M. M.; AZIZ, N. G. A.; HASHISH, K. I.; MAZHAR, A. A. M. Effect of ascorbic acid on growth and chemical constituents of Monstera delicious under lead pollutant conditions. **Agricultural Engineering International**, v. 19, n. 5, p. 239-244, 2018.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. 412 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2013. 421 p.

GALLIE, D. R. Ascorbic acid: a multifunctional molecule supporting plant growth and development. **Scientifica**, v. 2003, n. 1, p. 1-24, 2013.

GALLIE, D. R. The role of L-ascorbic acid recycling in responding to environmental stress and in promoting plant growth. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 2, p. 433-443, 2012.

GHAMARNIA, H.; ARJI, I.; SEPEHRI, S.; NOROZPOUR, S.; KHODAEI, E. Evaluation and comparison of drip and conventional irrigation methods on sugar beets in semiarid region. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 138, n. 1, p. 90-97, 2012.

GONZÁLEZ-CHAVIRA, M. M.; HERRERA-HERNÁNDEZ, M. G.; GUZMÁN-MALDONADO, H.; PONS-HERNÁNDEZ, J. L. Controlled water deficit as abiotic stress factor for enhancing the phytochemical content and adding-value of crops. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 354-360, 2018.

HAFSI, C.; DEBEZ, A.; ABDELLY, C. Potassium deficiency in plants: effects and signaling cascades. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, n. 5, p. 1055-1070, 2014.

HAMEED, A.; GULZAR, S.; AZIZ, I.; HUSSAIN, T.; GUL, B.; KHAN, M. A. Effects of salinity and ascorbic acid on growth, water status and antioxidant system in a perennial halophyte. **AoB Plants**, v. 7, n. 1, p.1-11, 2015.

HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R. A.; ZHU, J. K.; BOHNERT, H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 51, p. 463-499, 2000.

HU, L.; WANG, Z.; HUANG, B. Diffusion limitations and metabolic factors associated with inhibition and recovery of photosynthesis from drought stress in a C_3 perennial grass species. **Physiologia Plantarum**, v. 139, n. 1, p. 93-106, 2010.

HUSSAIN, I.; SIDDIQUE, A.; ASHRAF, M. A.; RASHEED, R.; IBRAHIM, M.; IQBAL, M.; AKBAR, S.; IMRAN, M. Does exogenous application of ascorbic acid modulate growth, photosynthetic pigments and oxidative defense in okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) under lead stress? **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 39, n. 6, p. 144-156, 2017.

INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D. SPILLMAN, M. F.; HEWITT, M. L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 59, n. 1, p. 13-26, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. 4. ed. São Paulo, SP: Instituto Adolfo Lutz. 1020 p. 2008.

IPA - Instituto Agronômico de Pernambuco. **Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco:** 2ª aproximação. 3. ed. Recife, PE: Instituto Agronômico de Pernambuco, IPA, 2008. 212p.

JADOSKI, C. J.; RODRIGUES, J. D.; SORATTO, R. P.; SANTOS, C. M.; RIBEIRO, E. Ação fisiológica da piraclostrobina na assimilação de CO_2 e enzimas antioxidantes em plantas de feijão condicionado em diferentes tensões de água no solo. **Irriga**, v. 20, n. 2, p. 319-333, 2015.

JAMIL, M.; REHMAN, S.; LEC, K. J.; KIM, J. M.; KIM, H. S.; RHA, E. S. Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. **Scientia Agrícola**, v. 64, n. 2, p. 111-118, 2007.

KAO, W.Y; FORSETH, I. N. Responses of gas exchange and phototropic leaf orientation in soybean to soil water availability, leaf water potential, air temperature, and photosynthetic photon flux. **Environmental and Experimental Botany**, v. 32, n. 2, p. 153-161, 1992.

KASOTE, D. M.; KATYARE, S. S.; HEGDE, M. V.; BAE, H. Significance of antioxidant potential of plants and its relevance to therapeutic applications. **International Journal of Biological Sciences**, v. 11, n. 8, p. 982-991, 2015.

KERBAUY, G. B. Relações Hídricas. In: PIMENTA, J. A. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2013. p. 2-32.

KHAN, A.; AHMAD, M. S. A.; ATHAR, H.; ASHRAF, M. Interactive effect of foliarly applied ascorbic acid and salt stress on wheat (*Triticum aestivum* L.) at the seedling stage. **Pakistan Journal of Botany**, v. 38, n. 5, p. 1407-1414, 2006.

KIM, Y.H.; KWAK, S.S. The role of antioxidant enzymes during leaf development. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p. 145-166.

KIRDA, C. Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. **Food and Agricultural Organization of the United Nations, Deficit Irrigation Practices, Water Reports**, v. 22, p. 102, 2002.

KUMAR, A.; LI, C.; PORTIS, A. R. *Arabidopsis thaliana* expressing a thermostable chimeric Rubisco activase exhibits enhanced growth and higher rates of photosynthesis at moderately high temperatures. **Photosynthesis Research**, v. 100, n. 3, p. 143-153, 2009.

LACERDA, F. H. D.; PEREIRA, F. H. F.; NEVES, D. S.; BORGES, F. Q. C.; CAMPOS JÚNIOR, J. E. Aplicação exógena de prolina na redução do estresse salino em meloeiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 3, p. 218-227, 2012.

LAWLOR, D. W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 561-579, 2009.

MADANY, M.; KHALIL, R. Seed priming with ascorbic acid or calcium chloride mitigates the adverse effects of drought stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.) seedlings. **The Egyptian Journal of Experimental Biology (Botany)**, v. 13, n. 1, p. 119-133, 2017.

MALIK, S.; ASHRAF, M. Exogenous application of ascorbic acid stimulates growth and photosynthesis of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought. **Soil & Environment**, v. 31, n. 1, p. 72-77, 2012.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa, MG: UFV. 2009. 355p.

MEDEIROS, W. J. F.; OLIVEIRA, F. Í. F.; CAVALCANTE, L. F.; COSTA, L. C.; ROCHA, R. H. C.; SILVA, A. R. Qualidade química em frutos de maracujazeiro amarelo cultivado em solo com biofertilizantes bovino. **Magistra**, v. 26, n. 2, p. 156-168, 2014.

MEENA, S.; SWAROOP, N.; DAWSON, J. Effect of integrated nutrient management on growth and yield of green gram (*Vigna radiata* L.). **Agricultural Science Digest-A Research Journal**, v. 36, n. 1, p. 63-65, 2016.

MELO, A.S.; SUSSUNA, J.F.; FERNANDES, P.D.; BRITO, M.E.B.; SUSSUNA, A, F.; OLIVEIRA, A. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancieira em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010.

MELO, H. F.; SOUZA, E. R.; CUNHA, J. C. Gas exchange and photosynthetic pigments in bell pepper irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 38-43, 2017.

MENDES, B. S. S.; WILLADINO, L.; CUNHA, P. C.; OLIVEIRA FILHO, R. A.; CAMARA, T. R. Mecanismo fisiológicos e bioquímicos do abacaxi ornamental sob estresse salino. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 71-77, 2011.

MENDES, F. S.; CASTRO, D. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; LOBATO, A. K. S.; CUNHA, R. L. M.; COSTA, R. C. L. Níveis de prolina e carboidratos solúveis totais em folhas de mogno (*Swietenia macrophylla* King R.A) induzidas ao estresse hídrico e a reidratação. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 2, p. 939-941, 2007.

METCALFE, D. B.; MEIR, P.; ARAGÃO, L. E. O.; COSTA, A. C.; BRAGA, A. P.; GONÇALVES, P. H.; SILVA JUNIOR, J. A.; ALMEIDA, S. S.; DAWSON, L. A.; MALHI, Y.; WILLIAMS, M. The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. **Plant and Soil**, v. 311, n. 1, p. 189-199, 2008.

MOHAMMADIAN, R; MOGHADDAM, M.; RAHIMIAN, H.; SADEGHIAN, S.Y. Effect of early season drought stress on growth characteristics of sugar beet genotypes. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 29, n. 5, p. 357-368, 2005.

MORANDO, R.; SILVA, A. O.; CARVALHO, L. C.; PINHEIRO, M. P. Déficit hídrico: Efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, v.3, n. especial, p.114-129, 2014.

MURSHED, R.; LOPEZ-LAURI, F.; SALLANON, H. Effect of water stress on antioxidant systems and oxidative parameters in fruits of tomato (*Solanum lycopersicon* L, cv. Micro-tom). **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 19, n. 3, p. 363-378, 2013.

NAVROSKI, M. C.; BIALI, L. J.; BIANCHIN, J. E.; CAMARGO, L.; SCHUMACHER, M. V. Quantificação de biomassa e comprimento de raízes finas em povoamento de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 535-540, 2010.

O'NEILL, P. M.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. **Crop Science**, v. 46, n. 2, p. 681-687, 2006.

PAIVA, P. V. V.; VALNIR JÚNIOR, M.; LIMA, L. S. S.; ROCHA, J. P. A.; DEMONTIEZO, L.; LEVY, F.; ARAGÃO, M. F. Avaliação de crescimento de cultivares de beterraba de mesa sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 2, p. 1271-1277, 2017.

PETHYBRIDGE, S. J.; VAGHEFI, N.; KIKKERT, J. R. Horticultural characteristics and susceptibility of table beet cultivars to cercospora leaf spot in new york. **HortTechnology**, v. 27, n. 4, p. 530-538, 2017.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. VIENA, AU: R Foundation for Statistical Computing, 2018. 2673 p.

SANTOS, D. P. D.; SANTOS, C. S. D.; SILVA, P. F. D.; PINHEIRO, M. P. M. A.; SANTOS, J. C. Growth and biomass beet under irrigation supplementary with water different concentrations saline. **Revista Ceres**, v. 63, n. 4, p. 509-516, 2016.

SANTOS, K. F.; SCHUMACHER, M. V. Ecofisiologia e crescimento de Eucalyptus em condição de déficit hídrico. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 4, n. 2, p. 33-44, 2016.

SANTOS, M. G.; RIBEIRO, R. V.; OLIVEIRA, R. F.; MACHADO, E. C.; PIMENTEL, C. The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mild water deficit. **Plant Science**, v. 170, n. 3, p. 659-664, 2006.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SCHILLING, G.; EIBNER, H.; SCHMIDT, L.; PEITER, E. Yield formation of five crop species under water shortage and differential potassium supply. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 179, n. 2, p. 234-243, 2016.

SILVA, A. O. D.; SILVA, Ê. F. D. F.; KLAR, A. E. Eficiência de uso da água em cultivares de beterraba submetidas a diferentes tensões da água no solo. **Water Resources and Irrigation Management**, v.2, n.1, p. 27-36, 2013.

SILVA, A. R.; BEZERRA, F. M.; LACERDA, C. F. D.; MIRANDA, R. D. S.; MARQUES, E. C.; GOMES-FILHO, E. Organic solutes in coconut palm seedlings under water and salt stresses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 11, p. 1002-1007, 2016.

SILVA, C. D. S.; SANTOS, P. A. A.; LIRA, J. M. S.; SANTANA, M. C.; SILVA JUNIOR, C. D. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 4, p. 7-13, 2010.

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 19, n. 10, 2015.

SILVA, M. D. A.; SANTOS, C. M. D.; VITORINO, H. D. S.; RHEIN, A. F. D. L. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 173-181, 2014.

SILVA, R. A.; NUNES, J. C.; LIMA NETO, A. J.; CAVALCANTE, L. F.; SILVA, M. R.; RODRIGUES, R. M. Lâminas de irrigação e cobertura do solo na produção e qualidade de frutos da gravioleira. **Revista Brasileira de Ciencias Agrárias**, v. 8, n. 3, p.441-447, 2013.

SILVA, R. F.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S.; PINHEIRO, R. R. Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* em substratos orgânicos alternativos. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 609-619, 2014.

SILVA, W. G. D.; CARVALHO, J. D. A.; OLIVEIRA, E. C.; REZENDE, F. C.; JUNIOR, J. A.; RIOS, G. F. Manejo de irrigação para o feijão-de-metro, nas fases vegetativa e produtiva, em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 978–984, 2012.

SIMÕES, W. L.; SOUZA, M. A.; YURI, J. E.; GUIMARÃES, M. M.; GOMES, V. H. F. Desempenho de cultivares de beterrabas submetidas a diferentes lâminas de irrigação no Submédio São Francisco. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 5, n. 2, p. 51-57, 2016.

SINGH, B.; HATHAN, B. S. Chemical composition, functional properties and processing of beetroot-a review. **International Journal of Scientific and Engineering Research**, v. 5, n. 1, p. 679-684, 2014.

SOARES, F. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; RUSSI, J. L.; VIVAN, G. A. Redes neurais artificiais na estimativa da retenção de água do solo. **Ciência Rural**, v. 44, n. 2, p. 293-300, 2014.

SOARES, L. A.; BRITO, M. E. B.; ARAÚJO, T. T.; SÁ, F. V. S.; SILVA, E. C. B.; OLIVEIRA, E. S. Morfofisiologia e qualidade pós-colheita do tomateiro sob estresse hídrico nas fases fenológicas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 1, p. 239-246, 2013.

SOUSA, G. G.; VIANA, T. V. A.; DIAS, C. N.; SILVA, G. L.; AZEVEDO, B. M. Lâminas de irrigação para cultura do gergelim com biofertilizante bovino. **Magistra**, v. 26, n. 3, p. 343-352, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2017. 888 p.

TATAGIBA, S. D.; MORAES, G. A. B. K.; NASCIMENTO, K. J. T.; PELOSO, A. F. Limitações fotossintéticas em folhas de plantas de tomateiro submetidas a crescentes concentrações salinas. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 2, p. 138-149, 2014.

TERZI, R.; KALAYCIOGLU, E.; DEMIRALAY, M.; SAGLAM, A.; KADIOGLU, A. Exogenous ascorbic acid mitigates accumulation of abscisic acid, proline

and polyamine under osmotic stress in maize leaves. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, n. 3, p. 43-52, 2015.

TIME, A.; GARRIDO, M.; ACEVEDO, E. Water relations and growth response to drought stress of *Prosopis tamarugo* Phil. A review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 18, n. 2, p. 329-343, 2018.

TIVELLI, S. W.; FACTOR, T. L.; TERAMOTO, J. R. S.; FABRI, E. G.; MORAES, A. R. A.; TRANI, P. E.; MAY, A. **Beterraba do plantio à comercialização**. Campinas, SP: IAC, 2011. 45 p.

TOPAK, R.; SÜHERI, S.; ACAR, B. Effect of different drip irrigation regimes on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield, quality and water use efficiency in Middle Anatolian, Turkey. **Irrigation Science**, v. 29, n. 1, p. 79-89, 2011.

VALNIR JÚNIOR, M.; RIBEIRO, F. C.; ROCHA, J. P. A.; LIMA, S. C. R. V.; CARVALHO, C. M.; GOMES FILHO, R. R. Desenvolvimento de um software para o manejo da microirrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 2, p. 1324-1330, 2017.

VIÇOSI, K. A.; FERREIRA, A. A. S.; OLIVEIRA, L. A. B.; RODRIGUES, F. Estresse hídrico simulado em genótipos de feijão, milho e soja. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 5, p. 36-42, 2017.

VIEIRA JÚNIOR, P. A.; DOURADO NETO, D.; OLIVEIRA, R. F.; PERES, L. E. P.; MARTIN, T. N.; MANFRON, P. A.; BONNECARRÈRE, R. A. G. Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 4, c555-561, 2007.

WANG, D.; KANG, Y.; WAN, S. Effect of matric potential on tomato yield and water use under drip irrigation condition. **Agricultural Water Management**, v. 87, n. 2, p. 180-186, 2007.

WARAICH, E.A.; AHMAD, R.; ASHRAF M.Y.; AHMAD S. M. Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. **Acta Agricultura e Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science**, v. 61, n. 4, p. 291-304, 2011.

WEI, T.; SIMKO, V. **R package 'corrplot': visualization of a correlation matrix**. Matrix R Package (Version 0.84), 2017.

WU, G. Q.; FENG, R. J.; SHUI, Q. Z. Effect of osmotic stress on growth and osmolytes accumulation in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) plants. **Plant Soil Environ**, v. 62, n. 4 p. 189-194, 2016.

ZHANG, H.; XIONG, Y.; HUANG, G.; XU, X.; HUANG, Q. Effects of water stress on processing tomatoes yield, quality and water use efficiency with plastic mulched drip irrigation in sandy soil of the hetao irrigation district. **Agricultural Water Management**, v. 179, p. 205-214, 2016.

ZOUAOUI, R.; AMMARI, Y.; ABASSI, M.; AHMED, H. B.; SMAOUI, A.; HILALI, K. Physiological and biochemical responses of *Rhus tripartita* (ucria) grande under water stress. **Pakistan Journal of Botany**, v. 51, n. 4, p. 1215-1221, 2019.

SOBRE OS AUTORES

ANDERSON CARLOS DE MELO GONÇALVES

Técnico Agrícola com Habilitação em Agropecuária pela Escola Agrotécnica do Cajueiro da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campus IV, Catolé do Rocha, Paraíba, Brasil (2008). Engenheiro Agrônomo (2016) e Mestre em Agronomia (2018) pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II, Areia, Paraíba, Brasil. Doutorando em Agronomia pela Universidade Federal de Roraima (UFRR) - Campus Cauamé, Boa Vista, Roraima, Brasil (2018 - Atual). Durante a graduação foi bolsista remunerado do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/UFPB) e bolsista voluntário do Programa de Bolsas de Extensão (PROBEX/UFPB). Durante os cursos de Mestrado e de Doutorado foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Foi docente das disciplinas de Profissão, Ética e Receituário Agronômico, Horticultura Geral, e Legislação e Impactos Ambientais, do curso de Agronomia da Faculdade Roraimense de Ensino Superior (2018 e 2019). Foi instrutor do curso de Produção Orgânica Comunitária de Hortaliças pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Rural, SENAR - RR (2019). Membro associado do grupo de pesquisa "Manejo da Água em Sistemas de Produção Agrícola" da Universidade Federal da Paraíba (2020 - Atual). Professor substituto das disciplinas de Fundamentos de Geoprocessamento, Gestão de Resíduos Sólidos e Sistemas de Gestão Ambiental do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental do Centro de Estudos Superiores de São Bento, da

Universidade Estadual do Maranhão (2021 - Atual). Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase na área de concentração da Agricultura Tropical, na linha de pesquisa da Ciência e Tecnologia da Produção de Culturas, atuando principalmente na horticultura e nas grandes culturas, nos temas relacionados a fisiologia do estresse hídrico e salino, relação água-solo-planta-clima, manejo da água, nutrição mineral e orgânica, e manejo de plantas daninhas. Publica constantemente artigos científicos em periódicos nacionais e internacionais.

THIAGO JARDELINO DIAS

Professor Associado do Departamento de Agricultura do Centro de Ciências, Humanas Sociais e Agrárias, CCHSA - Campus III, da Universidade Federal da Paraíba. Possui graduação em Agronomia, mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água e doutorado em Agronomia. Atualmente é professor permanente do Programa de Pós-graduação em Agronomia e do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo no Campus II, CCA da UFPB. Está como chefe do Laboratório de Irrigação e Drenagem do CCHSA UFPB e tem experiência na área de Ciências Agrárias (Agronomia), com ênfase em manejo de solo e água, manejo de irrigação, salinidade da água e do solo, tolerância das plantas a estresse abióticos, em sistemas de manejo e produção de culturas agrícolas. Atua ainda como coordenador o grupo de pesquisa de "Manejo da água em sistemas de produção agrícola" do CNPq e leciona as disciplina de Irrigação e Drenagem, Sistemas de Irrigação e Drenagem, Manejo de Culturas, Produção de Hortaliças de Clima Tropical, dos cursos de graduação em Ciências Agrárias e Agroecologia.

Este livro foi diagramado pela Editora UFPB em junho de 2021, utilizando a fonte Myriad Pro.