



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

Jenilton Gomes da Cunha

FORNECIMENTO DE PROLINA E EXTRATO DE ALGAS COMO
ATENUANTE DO ESTRESSE ABIÓTICO EM MANGUEIRA
‘TOMMY ATKINS’ CULTIVADA NO SEMIÁRIDO

Petrolina-PE

2019

Jenilton Gomes da Cunha

**FORNECIMENTO DE PROLINA E EXTRATO DE ALGAS COMO
ATENUANTE DO ESTRESSE ABIÓTICO EM MANGUEIRA
'TOMMY ATKINS' CULTIVADA NO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal do *Campus* de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Ítalo Herbert Lucena Cavalcante
Coorientadora: Marcelle Almeida da Silva

Petrolina-PE

2019

C972f

Cunha, Jenilton Gomes da

Fornecimento de prolina e extrato de algas como atenuante do estresse abiótico em mangueira 'Tommy Atkins' cultivada no semiárido/ Jenilton Gomes da Cunha.-- Petrolina, 2019.

90 f.: il. ; 29 cm

Dissertação (Pós-Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina - PE, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Ítalo Herbert Lucena Cavalcante.

1. *Mangifera indica* - Estudo 2. Déficit hídrico 3. *L. Ascophyllum nodosum* - Análise I. Cavalcante, Ítalo Herbert Lucena (Orient.) II. Título. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 581

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

Jenilton Gomes da Cunha

**FORNECIMENTO DE PROLINA E EXTRATO DE ALGAS COMO ATENUANTE
DO ESTRESSE ABIÓTICO EM MANGUEIRA 'TOMMY ATKINS' CULTIVADA
NO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada como
requisito parcial para obtenção
do título de Mestre em
Agronomia – Produção Vegetal,
pela Universidade Federal do
Vale do São Francisco.

Aprovada em: ____ de _____ de _____.

Banca Examinadora

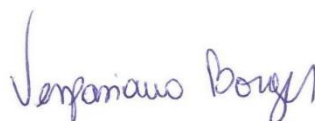


Prof. Dr. Ítalo Herbert Lucena Cavalcante (CCA/UNIVASF)
(Orientador)



Prof^a. Dr^a. Marcelle Almeida da Silva (CCBIO/UNIVASF)
(Coorientadora)

Prof. Dr. José Aliçandro Bezerra da Silva (CENAMB/ UNIVASF)
(Membro externo)



Prof. Dr. Vespasiano Borges de Paiva Neto (CCA/UNIVASF)
(Membro interno)

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por ter me guiado com muito amor ao longo deste curso, por me mostrar o caminho nas horas incertas e ter me concedido graça, saúde e sabedoria para alcançar mais esta vitória.

A minha família, sobretudo a minha mãe, Marilene Batista e a minha tia Veneranda por me incentivar e me apoiar em todos os momentos sempre com a certeza de que tudo daria certo. A vocês, a minha eterna gratidão.

A Universidade Federal do Vale do São Francisco, campus Ciências Agrárias (CCA/UNIVASF) por ter me concedido a oportunidade de cursar o Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal.

A FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) pela concessão da bolsa de estudo que me permitiu realizar essa pesquisa.

A empresa Global Crops pelo suporte na realização desta pesquisa.

A Jailton, gerente da Fazenda FRUTAVI/ARGO, por conceder a área de realização do experimento e pela disponibilidade em ajudar sempre que necessário.

Ao meu orientador, Professor Dr. Ítalo Herbert Lucena Cavalcante, por sua orientação, paciência, confiança, compreensão e motivação. Admiro sua dedicação e seu profissionalismo, seus ensinamentos me ajudaram a crescer pessoal e profissionalmente.

A minha Coorientadora Dra. Marcelle Almeida da Silva por todos os ensinamentos durante esses dois anos de mestrado, principalmente nas análises laboratoriais.

Aos professores Vespasiano Borges e Adriano Victor por toda a ajuda concedida, fundamental na construção dessa dissertação.

Aos colegas e amigos, em especial a Luan Silva, Jackson Teixeira, Kellem Ângela, Ana Paula Torres, Kátia Araújo, Jasmine Sena, Raianne Lopes, Shayne Moura, Poliana Martins, Rosiclea Carvalho, Daniel Almeida, Alana Santos, Luciana Sanches, Vanuza Souza e Clérison Souza. Obrigado por toda ajuda.

Aos meus amigos e companheiros de projeto Raí Nascimento e Renata Amariz, vocês foram essenciais na realização desta pesquisa.

A todo o grupo do FRUTVASF pelas amizades construídas, ajuda e momentos de descontração.

Aos meus irmãos que ganhei no período de graduação, e sempre me incentivam na busca dos meus objetivos.

Por fim, a todos que de alguma forma me ajudaram, torceram e oraram para que este caminho fosse trilhado com muito sucesso. Meu muito obrigado!

RESUMO

O estresse hídrico é uma técnica necessária para o cultivo de mangueira no semiárido, pois visa promover uma florada mais uniforme. Diante disso, é preciso que se trace estratégias que busquem mitigar os efeitos nocivos ocorridos durante a redução da lâmina hídrica e que proporcione maiores produtividades. Este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos do fornecimento de prolina e extrato de algas como atenuante do estresse abiótico em mangueira 'Tommy Atkins' cultivada no semiárido tropical. Foram realizados cinco experimentos consecutivos individuais na fazenda FRUTAVI/ARGO BRASIL em Petrolina-PE. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 2, correspondente à: i) concentrações de prolina (Pro): 0,0% (sem prolina), 0,287; 0,575; e 1,150%; e ii) Extrato de algas a base de *Ascophyllum nodosum* (EA) (ausência e presença). Avaliou-se os teores foliares de prolina livre, aminoácidos totais, proteínas totais, atividade das enzimas catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e superóxido dismutase (SOD); pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, *b*, total e carotenóides), carboidratos solúveis totais, trocas gasosas (fotossíntese líquida, transpiração e condutância estomática), concentração interna de CO₂ (Ci), eficiência instantânea de carboxilação (Eic), *quenching* fotoquímico (*qP*), coeficiente de inibição não fotoquímica (*qN*); uniformidade de floração, número de frutos por panícula, produção e produtividade. Os dados foram submetidos a ANOVA pelo teste 'F' e a partir da significância foram comparados entre si e ajustados a modelos de regressão. No decorrer dos experimentos, a prolina exógena demonstrou ser eficaz a partir dos 21 dias após a redução da lâmina hídrica, na qual com o decorrer das avaliações dos experimentos, os teores de aminoácidos totais, proteínas totais, oscilaram em função da atuação dos fatores EA x Pro. Em adição, ausência do extrato de algas foi eficiente em promover uma maior atividade da catalase, ascorbato peroxidase e superóxido dismutase. A concentração de 0,286% foi efetiva na elevação das taxas de trocas gasosas, em contrapartida plantas tratadas com extrato de algas apresentaram maior uniformidade de florada. Recomenda-se o fornecimento de prolina e extrato de algas para o cultivo de mangueira no semiárido durante a fase de redução da lâmina hídrica, uma vez que os mesmos são capazes de promover incrementos em variáveis fisiológicas, bioquímicas e fitotécnicas das plantas.

Palavras-chave: *Mangifera indica* L. *Ascophyllum nodosum* L. Ajustamento osmótico. Déficit hídrico.

ABSTRACT

Water stress is a necessary technique for the mango cultivation in the semiarid, because it aims to promote an uniform flowering. Therefore, it is necessary to define strategies that seek to mitigate the harmful effects that occur during the reduction of the water stress period and also provide greater productivity. The aim of this work was to evaluate the effects of proline supply and algal extract on attenuation of the abiotic stress in 'Tommy Atkins' mango grown in tropical semiarid. Five consecutive individual experiments were carried out at the FRUTAVI/ARGO BRASIL farm in Petrolina-PE City. The experimental design adopted was randomized blocks in a 4 x 2 factorial scheme, corresponding to: i); Proline concentrations (Pro): 0.0% (without proline), 0.287; 0.575; and 1.150%; and ii) Extract of algal based on *Ascophyllum nodosum* (EA) (absence and presence). The foliar contents of free proline, total amino acids, total proteins, catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX) and superoxide dismutase (SOD) activity were evaluated; photosynthetic pigments (chlorophyll *a*, *b*, total and carotenoids), total soluble carbohydrates, gas exchanges (liquid photosynthesis, transpiration and stomatal conductance), CO₂ internal concentration (Ci), instantaneous carboxylation efficiency (Eic), photochemical quenching (qP), non-photochemical inhibition coefficient (qN); flowering uniformity, number of fruits per panicle, yield and productivity. The data were submitted to ANOVA by the 'F' test and, when significant, were compared to each other and adjusted to regression models. During the experiments, the exogenous proline was effective after 21 days after the reduction of the water supply, in which, with the evaluation of the experiments, the total amino acids, total proteins, oscillated according to the performance of the factors EA x Pro. In addition, absence of algal extract was efficient in promoting increased activity of catalase, ascorbate peroxidase and superoxide dismutase. The concentration of 0.286% was effective in increasing the rates of gas exchange, in contrast, plants treated with algal extract presented greater flowering uniformity. The proline supply and algal extract are recommended for the mango culture in the semiarid during the water reduction phase, as they are capable of promoting increases in physiological, biochemical and plant genetic variables.

Key words: *Mangifera indica* L. *Ascophyllum nodosum* L. Osmotic adjustment. Water deficit.

Lista de figuras

Capítulo 2

Figura 1. Temperatura máxima (A), mínima (B) e média do ar (C), precipitação (D), radiação solar global (E) e umidade relativa do ar (F) registradas durante a condução dos experimentos. Petrolina PE.....39

Figura 2: Teores foliares de prolina livre em função do fornecimento de prolina em mangueira 'Tommy Atkins' na fase de maturação de ramos.....47

Figura 3: Teores foliares de aminoácidos totais em função do fornecimento de prolina e extrato de algas em mangueira 'Tommy Atkins' na fase de maturação de ramos.....50

Figura 4: Teores foliares de proteínas totais em função do fornecimento de prolina e extrato de algas em mangueira 'Tommy Atkins' cultivada no semiárido durante a fase de maturação de ramos.....51

Figura 5: Atividade da enzima catalase em função do fornecimento exógeno de prolina, e da ascorbato peroxidase em função do fornecimento de prolina e extrato de algas em folhas de mangueira 'Tommy Atkins' na fase de maturação de ramos.....54

Capítulo 3

Figura 1 **Figura 1.** Temperatura máxima (A), mínima (B) e média do ar (C), precipitação (D), radiação solar global (E) e umidade relativa do ar (F) registradas durante a condução dos experimentos, indução floral, florescimento e colheita. Petrolina-PE.....67

Figura 2: Teores foliares de carotenóides em função do fornecimento de prolina e extrato de algas em mangueira 'Tommy Atkins' na fase de maturação de ramos.....74

Figura 3: Teores foliares de carboidratos solúveis totais, no experimento 1, em função do fornecimento de prolina em mangueira 'Tommy Atkins' na fase de maturação de ramos.....75

Figura 4: Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (B) e transpiração (C) em plantas de mangueira 'Tommy Atkins' em função do fornecimento de prolina e extrato de algas na fase de maturação de ramos.....79

Figura 5: Coeficiente de inibição não fotoquímica (qN) em plantas de mangueira 'Tommy Atkins' em função do fornecimento de prolina e extrato de algas.....82

Lista de tabelas

Capítulo 2

- Tabela 1:** Análise química do solo, profundidade de 0-40 cm, da área experimental cultivada com mangueira 'Tommy Atkins' antes da aplicação dos tratamentos.....40
- Tabela 2:** Análise foliar da área experimental cultivada com mangueira 'Tommy Atkins' antes da aplicação dos tratamentos.....40
- Tabela 3.** Teores foliares de aminoácidos totais, prolina livre, proteínas totais, e atividade das enzimas ascorbato peroxidase, catalase e superóxido dismutase antes da aplicação dos tratamentos.....40
- Tabela 4.** Manejo de paralização de crescimento, aplicação dos tratamentos e avaliação dos experimentos durante a fase de maturação de ramos em mangueira 'Tommy Atkins'.....42
- Tabela 5:** Síntese da análise de variância para prolina livre, aminoácidos totais e proteínas totais em folhas de mangueira 'Tommy Atkins' em função do fornecimento de prolina e extrato de algas na fase maturação de ramos.....44
- Tabela 6:** Síntese da análise de variância para catalase, ascorbato peroxidase e superóxido dismutase, em folhas de mangueira 'Tommy Atkins' em função do fornecimento de prolina e extrato de algas na fase de maturação de ramos.....53

Capítulo 3

- Tabela 1:** Análise química do solo, profundidade de 0-40 cm, da área experimental cultivada com mangueira 'Tommy Atkins' antes da aplicação dos tratamentos.....68
- Tabela 2:** Análise foliar da área experimental cultivada com mangueira 'Tommy Atkins' antes da aplicação dos tratamentos.....68
- Tabela 3.** Teores foliares clorofila *a*, *b*, total e carboidratos solúveis totais (CST) antes da aplicação dos tratamentos.....68
- Tabela 4.** Atividades referente ao manejo de paralização do crescimento, aplicação dos tratamentos, avaliação dos experimentos, indução floral e colheita de mangueira 'Tommy Atkins' durante o ciclo de produção de 2017/2018.....70
- Tabela 5:** Síntese da análise de variância para os teores foliares de clorofila *a*, *b*, total, carotenóides e carboidrato solúveis totais em mangueira 'Tommy Atkins' em função do fornecimento de prolina e extrato de algas na fase de maturação de ramos.....72
- Tabela 6:** Síntese da análise de variância para fotossíntese líquida instantânea (*A*), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), concentração interna de CO₂ (*Ci*), eficiência instantânea de carboxilação (*Eic*), *quenching* fotoquímico (*qP*) e coeficiente de inibição não fotoquímica (*qN*) em plantas de mangueira 'Tommy Atkins' em função do fornecimento de prolina e extrato de algas.....78
- Tabela 7:** Síntese da análise de variância para uniformidade de floração, frutos panícula⁻¹, produção e produtividade em plantas de mangueira 'Tommy Atkins' em função do fornecimento de prolina e extrato de algas.....83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Pro	Prolina
EA	Extrato de algas
<i>A. nodosum</i>	<i>Ascophyllum nodosum</i>
Rubisco	Ribulose 1,5 bifosfato carboxilase oxigenase
P5C	Pirrolina-5-carboxilato
P5CDH	Pirrolina-5-carboxilato desidrogenase
P5C1 e P5C2	Pirrolina-5-carboxilato sintetase 1 e 2
O ₂	Oxigênio molecular
¹ O ₂	Oxigênio singleto
O ₂ ⁻	Íon superóxido
HO ₂ [·]	Radical hidroperoxila
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
OH [·]	Radical hidroxila
CAT	Catalase
APX	Ascorbato peroxidase
SOD	Superóxido dismutase
EROs	Espécies reativas de oxigênio
qP	<i>Quenching fotoquímico</i> (Dissipação fotoquímica)
qN	Coefficiente de inibição não fotoquímica
A	Fotossíntese líquida
gs	Condutância estomática
E	Transpiração
CO ₂	Dióxido de carbono
C _i	Concentração interna de CO ₂
E _c	Eficiência instantânea de carboxilação
CST	Carboidratos solúveis totais
ATP	Adenosina trifosfato
NADP	Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1. A cultura da mangueira	14
2.2. Estresses abióticos	15
2.2.1. Estresse hídrico	16
2.2.2. Temperatura.....	18
2.4. Espécies reativas de oxigênio.....	23
2.5. Extrato de algas (<i>Ascophyllum nodosum</i> L).....	25
3. REFERÊNCIAS.....	28
CAPÍTULO 2	36
RESPOSTAS BIOQUÍMICAS E ENZIMÁTICAS EM FUNÇÃO DO FORNECIMENTO DE PROLINA E EXTRATOS DE ALGAS EM MANGUEIRA 'TOMMY ATKINS' CULTIVADA NO SEMIÁRIDO.....	36
RESUMO.....	36
ABSTRACT	36
1.0. INTRODUÇÃO	37
2.0. MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.0. CONCLUSÕES	57
5.0. REFERÊNCIAS.....	58
CAPÍTULO 3	64
EXTRATO DE ALGAS E PROLINA NA FISIOLOGIA E PRODUTIVIDADE DE MANGUEIRA 'TOMMY ATKINS' CULTIVADA NO SEMIÁRIDO ¹	64
RESUMO.....	64
ABSTRACT	64
1.0. INTRODUÇÃO	65
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	66
3.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
4.0. CONCLUSÃO.....	85
5.0. REFERÊNCIAS.....	85
CONSIDERAÇÕES FINAIS	90

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

A mangueira (*Mangifera indica* L.) figura como uma das frutíferas tropicais de maior importância social e econômica para o Brasil. Segundo dados do IBGE (2018), a produção brasileira de manga no ano de 2017 foi de 1.087.081 toneladas, das quais 538.687 toneladas corresponderam ao total produzido na microrregião geográfica do polo juazeiro/Petrolina, que apresentou respectivamente rendimento médio de 24,74 e 23,09 t ha⁻¹, valores superiores quando comparados à média nacional de 17,01 t ha⁻¹.

A mangicultura na região do Vale do São Francisco destaca-se nacional e internacionalmente pelas condições edafoclimáticas favoráveis em conjunto com manejo específico, como uso de sistemas de irrigação localizada, podas mais eficientes, estresse hídrico, uso de reguladores vegetais e indução floral. Esses fatores contribuem para a obtenção de elevadas produtividades, com frutos que atendem o padrão de qualidade exigido pelo mercado internacional, fazendo com que a União Europeia e os Estados Unidos, sejam os principais importadores da manga brasileira (ARAÚJO et al., 2017; MAPA, 2018).

Apesar do panorama positivo da produção de mangas no Vale do São Francisco, as elevadas temperaturas, associada à redução de lâmina hídrica na fase de maturação de ramos (CAVALCANTE et al., 2018) vem causando problemas de estresse excessivo na mangueira. Quando expostas a condições adversas de cultivo as plantas ativam diferentes mecanismos de proteção dentre os quais está o acúmulo de solutos orgânicos de baixo peso molecular (aminoácidos, carboidratos) nos tecidos (MARIJUAN; BOSCH, 2013).

Esse mecanismo de defesa vem sendo estudado especialmente em relação a estresse hídrico, térmico, salino, estresse causado por patógenos, anaerobiose, deficiência de nutrientes, poluição atmosférica e radiação UV, e até mesmo a todos esses estresses de forma combinada “estresses múltiplos” (SALISBURY; ROSS, 2013; KANAYAMA; KOCHETOV, 2015).

Segundo Cvikrová et al. (2013) a prolina desempenha papel de adaptação em tolerância a estresses e o nível de acumulação desse aminoácido na planta varia conforme varia de espécie para espécie, e pode ser até 100 vezes

superior em condições de estresse, embora para a cultura da mangueira as informações sejam incongruentes (GOSBEE et al., 1998; ZAHARAH; RAZI, 2009).

Nesse sentido, alguns estudos têm sido desenvolvidos com aplicação exógena de prolina via foliar visando melhorar a tolerância das plantas a diferentes estresses, com resultados satisfatórios registrados por Ali et al. (2008), Hayat et al. (2012), Abdelhamid et al. (2013), Shahbaz et al. (2013), Wani et al. (2016) e Butt et al. (2016). Entretanto, especificamente para a mangueira a efetividade da aplicação exógena da prolina como mitigador dos efeitos deletérios, especialmente concernentes a temperaturas elevadas e déficit hídrico ainda constitui uma lacuna da literatura científica nacional e internacional.

Por outro lado, tradicionalmente, o uso foliar de insumos possui baixa eficiência e uma alternativa de melhoria na absorção foliar é o uso de extratos de algas como agentes complexantes, especialmente *Ascophyllum nodosum* (L.) cujos estudos têm comprovado potencial de uso para incrementar o desenvolvimento vegetal, algumas vezes com consequentes aumentos na produção; sendo também relatado aumento da tolerância vegetal aos estresses bióticos e abióticos (SANTANIELLO et al., 2017; COOK et al., 2018).

Mediante o exposto e pela importância social e econômica da fruticultura para o Vale do São Francisco, este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos do fornecimento de prolina e extrato de algas como atenuante do estresse abiótico em mangueira 'Tommy Atkins' cultivada no semiárido tropical.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. A cultura da mangueira

A fruticultura é uma das atividades de maior destaque do agronegócio brasileiro, responsável por empregar cerca de 5 milhões de pessoas, correspondendo a 16% do total de vagas do agronegócio (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2018). Entre as frutíferas produzidas no Brasil, a manga ganha destaque na primeira posição como a fruta fresca mais exportada no ano de 2017, com cerca de 179 mil toneladas, gerando uma receita de mais de US\$ 205 milhões, tendo como principais compradores a União Europeia e os Estados Unidos (MAPA, 2018). Parte dessa produção oriunda dos estados da Bahia e Pernambuco considerados os maiores produtores com 438.630 e 239.559 toneladas, respectivamente (IBGE, 2018).

Dentre as diversas cultivares de manga produzidas no Brasil e na região do Vale do São Francisco, encontra-se a cultivar Tommy Atkins, que se caracteriza por apresentar alta produtividade, coloração atraente do fruto, polpa doce, pouca ou nenhuma fibra, resistência ao manuseio e ao transporte para mercados distantes (EMBRAPA, 2014), apresenta facilidade para indução floral em época quente, boa vida de prateleira, regularidade de produção (PINTO, et al., 2002).

O volume expressivo de comercialização da fruta dessa cultivar está diretamente relacionado ao fruto, que possui um tamanho médio, de aproximadamente 450 g, casca espessa e formato oval, coloração laranja-amarelado coberto com vermelho e púrpura intenso, polpa firme, succulenta, com alto teor de sólidos solúveis (16º Brix) e médio teor de fibras (SOUZA et al., 2016).

Apesar de ser uma cultura amplamente explorada, a mangueira ainda apresenta problemas quanto à uniformidade de floração e de frutificação, especialmente nas áreas tropicais, fato este que pode afetar diretamente a oferta dessa fruta no mercado. Diante disso, muitos produtores promovem a indução floral com submissão das plantas ao estresse hídrico moderado em associação com o uso de reguladores de crescimento sintéticos como o Paclobutrazol (PBZ), além de poda. Essas técnicas são de certa forma complexas, pois demandam conhecimento profundo da fisiologia e fenologia da planta, do clima da região,

dos produtos a serem usados para cada situação e do nível de estresse hídrico apropriado (PAULA JÚNIOR, 2007).

Na busca de resultados satisfatórios, as técnicas necessárias na fase de indução floral devem ser aplicadas de forma correta, do contrário acarretará em diversos problemas, como ausência de diferenciação da gema vegetativa em inflorescência e distúrbios fisiológicos por excesso de estresse hídrico (FARIA, 2014). Como consequência tem-se a redução de produção na safra atual e nas subsequentes, além do aumento do custo de produção devido às despesas geradas pela aquisição dos produtos e aplicações (FARIA, 2014).

Com base nisso, é de fundamental importância o entendimento sobre o mecanismo de ação de algumas moléculas responsáveis pelo ajustamento osmótico das células, como o aminoácido prolina e moléculas contidas em produtos à base de extrato de algas que despontam como potenciais moléculas redutoras de estresse.

2.2. Estresses abióticos

As plantas são seres vivos que em todo o seu ciclo de vida têm que lidar com vários e complexos tipos de interações envolvendo inúmeros fatores ambientais, no entanto, no curso da evolução, elas desenvolveram mecanismos específicos que permitem se adaptar e sobreviver a condições de estresse (REJEB et al., 2014). Essas condições ambientais adversas incluem os danos causados por fatores bióticos, como infecção por patógenos e ataque de insetos, e abióticos, como seca, calor, frio, deficiência de nutrientes e excesso de sais ou metais tóxicos no solo.

O estresse altera o equilíbrio normal e leva a uma série de mudanças morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares nas plantas, o que afeta negativamente seu crescimento, com decréscimos de mais de 50% no rendimento médio das principais culturas de interesse agrônomico (LISAR et al, 2012).

Para Minocha et al. (2014) a exposição a fatores que provocam o estresse abiótico nas plantas pode ser dividida em três estágios, que são eles: a percepção, a resposta e o desfecho do estresse. Segundo os autores, a percepção pode ser localizada em um grupo específico de células, tecidos e órgãos, ou pode ser generalizada no organismo, onde o estresse pode surgir de

repente ou lentamente. A resposta está atrelada ao tempo de exposição aos agentes estressores e vem a ser fisiologicamente diferente por envolver diferentes mecanismos de detecção, provocando um desfecho local ou podendo se expandir por todo o metabolismo da planta.

2.2.1. Estresse hídrico

Devido aos distúrbios morfofisiológicos causados pelo estresse em plantas, submetê-las a essas condições seria um risco, entretanto, para a mangueira cultivada em região semiárida, essa prática é essencial para o manejo da floração, é possível pelas características climáticas presentes na região, como insolação intensa durante grande parte do ano e a baixa e mal distribuída pluviosidade, proporcionando ao longo dos anos um manejo da irrigação mais específico e conseqüentemente do florescimento, permitindo a realização da colheita em qualquer época do ano geralmente acima da média nacional (LEITE; ALVES, 2010).

Para a cultura da mangueira a diminuição da lâmina de irrigação ocorre pelo fato de que o déficit hídrico acelera a maturação dos ramos, estando ligado diretamente à produção de etileno, responsável pela maturação dos órgãos vegetais em plantas lenhosas; bem como a síntese de ácido abscísico (SANTOS, 2012). De forma direta, essa redução na disponibilidade de água afeta o metabolismo da planta, levando a alterações como novas folhas com área reduzida, fechamento estomático, aumento da atividade enzimática, além de causar o chamado estresse oxidativo das células através da produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (EROs) (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Segundo Taiz e Zeiger (2013), plantas sob condições mais severas de déficit hídrico apresentam reduções nas taxas fotossintéticas devido à inibição de processos metabólicos específicos como, por exemplo, a fotofosforilação, a capacidade de regeneração da ribulose - 1,5 - bisfosfato (RuBP) e redução de atividade da ribulose 1,5 bifosfato carboxilase oxigenase (Rubisco) e de outras enzimas envolvidas no ciclo de Calvin.

Outra consequência do estresse está ligada a restrições na aquisição de nutrientes (absorção e transporte), provocando uma diminuição na área de novas folhas e alteração na partição de assimilados entre os órgãos, tendo como exemplo a redução na atuação de íons como cálcio (Ca^{2+}), nitrogênio (N) e

potássio (K^+) que se constituem como três dos quatros nutrientes mais requeridos pela mangueira nas suas diferentes fases fenológicas, juntamente com o boro (B), dentre os micronutrientes (LISAR et al., 2012).

Todavia, mesmo com todas essas disfunções ocorridas no metabolismo vegetal o déficit hídrico caracteriza-se por ser um “mal necessário”, pois Pongsomboon (1991) inferiu que há uma relação direta entre plantas sob déficit hídrico e intensidade de floração. Ao longo de três anos consecutivos Bally et al. (1999) cultivaram plantas com e sem a indução ao déficit hídrico na fase que antecedia a floração, e, observaram que os tratamentos com uso do estresse proporcionaram uma floração superior, aumentando a produtividade.

Em relação à quantidade de tempo requerido para se aplicar o estresse hídrico pela redução de lâmina hídrica, Albuquerque et al. (2002) afirmam que varia entre as regiões, de acordo com as condições climáticas e tipo de solo, quando se bem conduzido, a depender do estado nutricional da planta e da idade dos ramos, pode emitir o efeito desejado entre 30 e 60 dias.

O primeiro impacto causado pelo déficit hídrico na cultura da mangueira é a paralisação do crescimento, pela diminuição na síntese de giberelina, que é considerado o hormônio promotor de crescimento vegetativo (TAIZ et al., 2017). A partir desse retardo no crescimento, as plantas ganham mais tempo para acumulação do estímulo floral proposto ou redução no nível do promotor vegetativo (giberelina) à medida que o ramo amadurece, diminuindo assim os níveis de giberelina (NUÑEZ-ELISEA; DAVENPORT, 1991).

Para Chen (1987), a brotação está diretamente ligada aos níveis de estímulo floral presentes nas folhas, onde maiores quantidades são encontradas em folhas maduras, pois folhas imaturas apresentam maiores quantidades de inibidores florais. Segundo Albuquerque et al. (2002), sob condições de estresse hídrico o meristema apical desidratado pode tornar-se mais sensível a baixos níveis de estímulos florais, deixando-o mais responsivos aos fatores endógenos promotores da brotação, assim como, ao uso de produtos de efeitos fisiológicos fornecidos exogenamente, que são capazes de proporcionar altos percentuais de florada.

Após esse período de estresse induzido, a irrigação deve ser reiniciada gradualmente até atingir seu ponto máximo definido pela fase reprodutiva da

planta, quando 60% das gemas florais apresentarem sintomas de brotação (ALBUQUERQUE et al., 2002). Portanto, fica evidenciado a importância do estresse hídrico, induzido pela redução de lâmina hídrica, na floração da mangueira, visto que sem essa técnica, as plantas cultivadas em regiões tropicais não apresentariam altos índices de produtividade.

2.2.2. Temperatura

Inúmeros processos metabólicos que influenciam no crescimento e desenvolvimento das plantas são controlados pela temperatura presente em todos os ambientes de cultivo, sendo este um fator abiótico primário fundamental no rendimento das culturas comerciais. Todas as plantas mantêm sua homeostase quando estão presentes em uma faixa ótima de temperatura, porém, oscilações ao longo do ciclo produtivo podem comprometer a produção em quantidade e em qualidade.

Dentre as espécies vegetais cultivadas na região semiárida, a cultura da mangueira destaca-se e chega a suportar até 48 °C (GALÁN-SAÚCO, 1999), no entanto, a essas temperaturas alguns eventos indesejáveis são observados como a floração tardia, emissão de brotações vegetativas ao invés de reprodutivas, dificuldade no pegamento dos frutos, frutos anormais com variações na maturação, sabor e aparência (RAJAN et al., 2011; MAKHMALE et al., 2016).

A temperatura do ar é considerada um dos principais fatores que influenciam nas taxas de florescimento da mangueira, principalmente em variedades como a cv. Tommy Atkins que tem maior facilidade de florescimento durante maior parte do ano, quando cultivada sob as temperaturas mais elevadas das regiões tropicais, como acontece no semiárido brasileiro, pois esse hábito não é observado em outras regiões tropicais e subtropicais no mundo (KULKARNI, 2004).

Ambientes com temperaturas inferiores a 15°C promovem aumento na proporção de flores hermafroditas em panículas de mangueiras, já o grão de pólen tem a sua formação prejudicada e viabilidade reduzida em 50%, quando a temperatura do ambiente não se encontra na faixa ideal entre, 17 e 33 °C (ISSARAKRAISILA; CONSIDINE, 1994; RAMÍREZ; DAVENPORT, 2010; MAKHMALE et al., 2016). A ocorrência de temperaturas iguais ou superiores a

30 °C durante o dia e superiores a 25 °C durante a noite, estimulam o crescimento vegetativo, enquanto, máximas de 28 °C (dia) e 18 °C (noite), observadas com mais frequência entre maio e agosto, promovem intensa floração (LIMA FILHO et al., 2002).

A mangueira possui um crescimento rítmico e a temperatura é considerada um fator que interfere diretamente a relação crescimento/dormência da frequência de crescimento dos fluxos vegetativos (LOCKWOOD, 2011). Tal informação foi comprovada por Whiley et al. (1989) que acompanharam uma média de dez variedades cultivadas em regiões com uma média de 20 °C dias/15 °C noites, e de 30°C dias/25°C noites. Os autores concluíram que sob temperaturas mais amenas (20/15°C) as plantas necessitaram de 20 semanas para completar um ciclo de crescimento/dormência enquanto que em temperaturas mais elevadas (30/25°C) o mesmo ciclo foi completado em apenas seis semanas, encurtando assim o período da poda até a fase de maturação de ramos.

Em relação ao florescimento na cultura da mangueira há uma teoria da existência de uma substância denominada “promotor florigênico” (PF) regulado pela temperatura, e outra substância denominada “promotor vegetativo” (PV) regulado pela idade da planta (DAVENPORT; NÚÑEZ-ELISÉA, 1997; DAVENPORT, 2000) que é uma giberelina. O suposto PV estimula a emissão de fluxos vegetativos e o PF estimula a emissão de fluxos reprodutivos (RAMÍREZ; DAVENPORT, 2010).

O promotor florigênico (PF) da mangueira é sintetizado nas folhas, e em condições de baixas temperaturas, especialmente nas regiões dos trópicos onde ocorre o aumento desse promotor e a diminuição do promotor vegetativo (PV), que resulta no aumento da razão PF/PV resultando na indução floral (RAMÍREZ; DAVENPORT, 2010). Elevados níveis de PF induzem o surgimento de brotos reprodutivos, enquanto que o PV induz a emissão brotos vegetativos, logo para níveis intermediários desses estímulos ocorre o surgimento de brotos mistos. Ramírez e Davenport (2010), relatam que as mangueiras produzem brotações vegetativas, reprodutivas e mistas, sendo esse processo regulado além da relação PF/PV, também pela idade do ramo, dada pela duração do estresse hídrico sofrido pela planta.

Contudo, Murti e Upreti (2000) e Davenport (2009) elucidaram ainda mais a importância do promotor florígeno no processo de florescimento ao relatarem a sua forte ligação com fatores fitohormonais, que atuam em associação com produção e fornecimento de carboidratos durante a diferenciação para expressão de respostas florais.

Com base nisso, as necessidades térmicas da cultura da mangueira permitem determinar de forma mais precisa, a duração dos estádios fenológicos, favorecendo o planejamento de tratamentos culturais, como a melhor época para indução floral, poda e colheita, assim como o manejo de irrigação, proporcionando melhorias na qualidade dos frutos e aumento de produção (SANZ-CORTÉS et al., 2002).

2.3. Prolina

As plantas são capazes de tolerar níveis diferentes de estresse abiótico, e uma alternativa de incrementar essa tolerância é a capacidade de desenvolver e compensar as condições estressantes mediante alterações fisiológicas e de desenvolvimento para manter o crescimento e a reprodução (TAIZ et al., 2017). Em decorrência das adversidades presentes no meio ambiente, vários mecanismos de proteção são ativados nas plantas em resposta a condições antagônicas de crescimento (MARIJUAN; BOSCH, 2013).

Em função da sensibilidade de resposta às condições de estresse, a prolina vem sendo estudada em relação ao seu acúmulo nos tecidos das plantas (ASHRAF et al., 2011). Segundo Ashraf e Harris (2005) o acúmulo de prolina, além de estar relacionado com o ajustamento osmótico pode contribuir para a estabilização de membranas e proteínas por ser um acompanhante molecular, promover a eliminação de radicais livres, atuar na sinalização celular, participar do equilíbrio de oxirredução e na indução da expressão de genes.

A prolina se diferencia dos demais aminoácidos proteicos, porque contém uma cadeia alifática com estrutura cíclica, o que é incomum, sendo considerada um iminoácido, onde seu grupo amino secundário (ou grupo imino) é mantido em uma conformação rígida a qual reduz a flexibilidade estrutural de proteínas, contendo prolina (NELSON; COX, 2011).

A biossíntese de prolina ocorre no citosol e nos plastos (como cloroplastos em tecidos verdes) por duas vias, utilizando como precursores o glutamato e a ornitina, e a degradação ocorre nas mitocôndrias (SZOKE et al., 1992), catalisada por duas enzimas, a prolina desidrogenase (ProDH) que converte a prolina em pirrolina-5-carboxilato (P5C) posteriormente oxidada a glutamato pela P5C desidrogenase (P5CDH) (YOSHIBA et al., 1997). O conteúdo de prolina depende da biossíntese, catabolismo e transporte, no qual este último ocorre de forma intracelular entre o citosol, cloroplastos e mitocôndrias (HAYAT et al., 2012).

O acúmulo da prolina também está ligado ao papel que ela exerce durante o desenvolvimento de plantas, principalmente no florescimento e na formação do grão de pólen (PHANG, 1985), atuando como fonte de energia, pois há uma produção de 30 ATPs através da oxidação de uma molécula (HU et al., 1996). A prolina também é responsável por regular a razão NADP⁺/NADPH, cuja variação afeta o fluxo de carbono pela via oxidativa da pentose fosfato (HARE; CRESS, 1997).

Quando em baixas concentrações a prolina pode suprimir a atividade de enzimas como a Rubisco, no entanto sob elevadas concentrações ela pode causar malefícios ao metabolismo das plantas (SZEPESI; SZOLLOSI, 2018). Dessa forma o ideal é que os níveis intracelulares desse aminoácido estejam apropriados para conferir tolerância, quando as mesmas forem expostas aos agentes estressores.

A prolina mesmo tendo a capacidade de aumentar em até 100 vezes o seu conteúdo na planta em função do estresse abiótico, a quantidade produzida pode não ser o suficiente, fazendo-se necessário o fornecimento exógeno, visando maior eficiência no ajustamento osmótico das células, sempre levando em consideração aspectos como idade da planta, cultivar, tempo de aplicação e concentração (ASHRAF; FOOLAD, 2007).

O acúmulo de prolina em excesso no interior das células é devido ao fornecimento exógeno excessivo ou a diminuição no catabolismo dessas moléculas. Sendo assim, muitos trabalhos visam definir uma dose adequada para cada cultura e nível de estresse, causados por fatores bióticos e abióticos, no qual as plantas se encontram.

Diante disso, em um experimento realizado com a aplicação exógena de 30mM em todos os estádios de crescimento das plantas de milho, Ali et al. (2007) relataram eficácia na indução de tolerância à seca, aumentando a produção de biomassa e aumentando a taxa fotossintética, condutância estomática e concentração interna de CO₂. Ali et al. (2008), também com a cultura do milho, informaram que a aplicação exógena de prolina aumentou a absorção de nutrientes pelas raízes, sob condições de déficit hídrico e correlacionou os resultados com um aumento na taxa transpiratória da planta.

Com a pulverização foliar de 20 mM de prolina em 12 genótipos de plantas de erva-doce cultivados com e sem déficit hídrico, Zali e Ehsanzandeh (2018), observaram que a prolina foi capaz de neutralizar parcialmente os efeitos nocivos do estresse hídrico sobre os pigmentos fotossintéticos, prolina endógena, carboidratos solúveis e o potencial hídrico das folhas, refletindo dessa forma no rendimento de sementes. Entretanto, uma resposta negativa foi encontrada por Heuer (2003), onde fornecendo as plantas de tomateiro nas concentrações de 40 e 50 mM de prolina, observaram efeito fitotóxico através da inibição do crescimento das plantas.

A depender da espécie, as plantas podem elevar os seus níveis de prolina endógena, e este ser o suficiente para atenuação dos efeitos nocivos do estresse. Iqbal et al. (2018) avaliaram a influência do fornecimento de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) em plantas de quinoa estressadas por déficit hídrico, e verificaram que mesmo nessas condições houve aumento na atividade das enzimas antioxidantes, pigmento fotossintéticos, trocas gasosas e teores de açúcares solúveis totais, em função da elevação dos teores de prolina, expressada pela aplicação do H₂O₂.

Esses resultados fazem com que esse aminoácido seja um dos mais importantes entre os vinte codificados geneticamente, pois de modo geral a prolina evita alterações da homeostase celular, impedindo que ocorra um severo atraso no crescimento e desenvolvimento vegetal, além da senescência programada. Logo, a mangueira cultivada em regiões semiáridas, por necessitar ser submetida ao estresse hídrico pela redução da lâmina de irrigação, o conhecimento dos reais níveis endógenos de prolina torna-se necessário para

que se possa tomar medidas apropriadas no combate aos efeitos deletérios provocados pelo estresse.

2.4. Espécies reativas de oxigênio

Os organismos vegetais ao longo do seu ciclo de vida são submetidos a diversos fatores bióticos e abióticos que por sua vez afetam as funções metabólicas normais das plantas, dentre esses, e a baixa disponibilidade de água é considerada um dos fatores que mais limitam a produção das culturas.

A cultura da mangueira, assim como qualquer vegetal em estado de estresse hídrico, tende a fechar os estômatos a fim de reduzir a taxa de transpiração, e conseqüentemente, a taxa fotossintética é reduzida devido à menor disponibilidade de CO₂. A baixa concentração de CO₂ na etapa bioquímica da fotossíntese reduz a oxidação de NADPH no ciclo de Calvin-Benson, que por sua vez afeta a sua disponibilidade sob a forma de NADP⁺ na etapa fotoquímica (NUNES JÚNIOR et al., 2017).

Em decorrência deste processo têm-se a transferência de elétrons da ferredoxina reduzida no PSI ao O₂, favorecendo o aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) com danos ao aparato fotossintético provocados pelo estresse oxidativo (PEREIRA et al., 2012). Tendo como definição usualmente utilizada, as EROs são formas parcialmente reduzidas ou ativadas de oxigênio atmosférico (O₂), sendo considerados subprodutos inevitáveis de metabolismo aeróbio que acompanhou a vida na Terra desde o aparecimento de organismos fotossintéticos a cerca de 2,7 bilhões de anos atrás (MITTLER et al., 2011).

Sendo também consideradas subprodutos de várias vias metabólicas, as EROs são continuamente produzidas pelas plantas, pois, elas possuem papel importante na defesa do organismo contra patógenos nocivos (ALVAREZ; LAMB, 1997), além de serem importantes na formação de elementos traqueais, na lignificação e em vários outros processos de desenvolvimento (FATH et al., 2002). No entanto, a produção em excesso, leva ao dano oxidativo das células.

Segundo Taiz e Zeiger (2013) as EROs estão associadas a diversos danos celulares, tais como a oxidação de lipídeos, proteínas e ácidos nucléicos, o quê, em última instância, pode causar a morte do tecido vegetal. Essas moléculas podem ser geradas como resultado de excitação dos elétrons,

presentes na mitocôndria e nos cloroplastos, formando oxigênio singlete ($^1\text{O}_2$), ou de sucessivas adições de elétrons ao O_2 , reduzindo-o ao radical superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$), radical hidroperoxila (HO_2^{\cdot}), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radical hidroxila (OH^{\cdot}) (D'AUTRÉAUX; TOLEDANO, 2007).

Para atenuar as consequências trazidas pelo estresse hídrico às células, os organismos aeróbicos desenvolveram sistemas defensivos antioxidante enzimático e não enzimático. As defesas não enzimáticas incluem as vitaminas C e E, glutatona (GSH), β -caroteno, compostos fenólicos, tocoferóis e poliaminas. Já o sistema defensivo enzimático envolve as enzimas superóxido dismutase (SOD), catalases (CAT), peroxidases (POD), glutatona peroxidase (GPX), ascorbato peroxidase (APX), glutatona redutase (GR) e glutatona S-transferase (GSTs) (BLOKHINA et al., 2003).

Dentre as enzimas do sistema antioxidante as mais estudadas são as POD, CAT e SOD. As superóxidos dismutases são metalo-enzimas consideradas a primeira linha de defesa contra as EROs e que catalisam a dismutação de dois radicais $\text{O}_2^{\cdot-}$, gerando H_2O_2 e O_2 (BARBOSA et al., 2014). Três classes de SOD são conhecidas em plantas e podem estar ligadas a um metal (Cu/Zn, Mn e Fe), tendo normalmente Cu/Zn-SOD no citosol, Cu/Zn e/ou Fe-SOD nos cloroplastos e Mn-SOD nas mitocôndrias (NUNES JÚNIOR et al., 2017).

A CAT é a enzima mais ativa produzida pela natureza e converte o H_2O_2 em H_2O e O_2 . Em plantas as catalases estão presentes em várias isoformas as quais estão presentes nos peroxissomas e glioxissomas. São as principais enzimas de detoxificação do H_2O_2 em plantas e podem dismutar diretamente o H_2O_2 ou oxidar substratos, tais como metanol, etanol, formaldeído e ácido fórmico (NUNES JÚNIOR et al., 2017).

A APX é uma heme-proteína, da Classe I da superfamília das peroxidases, possui uma alta afinidade com o H_2O_2 necessitando do ácido ascórbico como redutor, além disso, apresentam distintas formas isoenzimáticas, encontradas em citosol, mitocôndrias, peroxissomos, cloroplastos e parede celular (DABROWSKA et al., 2007).

A alta atividade das três famílias supracitadas é um indicativo de que as plantas estão sob estresse. Nesse sentido, Qayyum et al. (2018) realizaram um

estudo com a indução de cinco genótipos de trigo ao estresse osmótico de -0,2; -0,4; -0,6 e -0,8 Mpa (induzido por PEG-6000), além do tratamento controle, e verificaram que a atividade das enzimas SOD, CAT e APX foram superiores nas plantas submetidas aos diferentes níveis de estresse, principalmente para o mais severo (-0,8 MPa).

Como citado anteriormente, as enzimas do sistema antioxidante têm a sua atividade aumentada com base nos teores de prolina, fato este, relatado por Campos et al. (2011) em estudo realizado em plantas de citrumelo transgênico, observando que as mesmas produziam altos níveis endógenos de prolina, o que contribuía para uma maior atividade de APX e SOD melhorando a capacidade da planta de tolerar estresse oxidativo induzido pela seca.

Diante do exposto, a SOD, CAT e APX têm as suas atividades aumentadas quando as plantas estão sob influência de agentes estressores de forma individual ou em conjunto (estresses múltiplos) sendo esta uma resposta comum entre as espécies vegetais. Visto isso, é possível salientar que os níveis dessas enzimas, componentes do sistema antioxidante, são dependentes do grau de exposição das plantas ao estresse, sendo a presença destas fundamentais a manutenção da integridade celular.

2.5. Extrato de algas (*Ascophyllum nodosum* L)

A espécie *Ascophyllum nodosum*, é a mais estudada, se caracterizando como uma alga parda pertencente ao reino Chromista, classe Phaeophyceae, família Fucaceae, gênero *Ascophyllum*, que abriga cerca de 18 espécies (GUIRY; GUIRY, 2014). De acordo com Silva et al. (2015), a alga *A. nodosum* se caracteriza por ser perene com crescimento lento e quando em locais protegidos de ondas pode viver até 15 anos formando maciços densos, no qual crescendo fixa a substratos rígidos, através de um disco basal, possui talos que podem atingir cerca de 60 centímetros de comprimento.

As algas são organismos que desenvolveram a capacidade de se adaptar a diferentes ambientes, tendo a capacidade de colonizar locais que disponibilizem luz e humidade tanto temporária como permanentemente, dessa forma, podem ser encontradas em diversos tipos de habitats, que compreende água doce como água salgada até habitats terrestres (VIDOTTI et al, 2004).

Algas marinhas são organismos avasculares, filamentosos, autotróficos uni ou pluricelulares, e têm sido reconhecidas como excelentes adubos e bioestimulantes naturais para as plantas. Essas algas apresentam em sua constituição matéria orgânica, aminoácidos (alanina, ácido aspártico e glutâmico, glicina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, prolina, tirosina, triptofano e valina), carboidratos e concentrações importantes dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Mn, Cu e Zn (SILVA et al., 2016). Apresentam ainda hormônios de crescimento (auxinas, giberelinas, citocininas, ácido abscísico), estimulando o crescimento vegetal (ACADIAN, 2009), logo esses compostos apresentam a capacidade de interagirem sinergicamente e aumentarem o crescimento de várias culturas (CRAIGIE, 2011).

Os extratos de algas também são considerados como agentes antiestressantes, uma vez que afetam o sistema antioxidante (enzimático e não-enzimático) das plantas, aumentando a tolerância do vegetal frente a condições ambientais adversas e melhorando a capacidade de recuperação após o estresse (NAIR et al., 2012). Os extratos à base de *A. nodosum*, exibem ação semelhante aos hormônios vegetais (citocininas, auxinas, ácido abscísico, giberelina) e têm sido muito utilizados para aplicações foliares ou no solo (SILVA et al., 2016).

Várias pesquisas têm apontado os efeitos benéficos da aplicação dos extratos de algas na agricultura, em especial na mitigação de estresses abióticos, responsáveis por grandes perdas de produção (RIBEIRO et al., 2017; BONOMELLI et al., 2018; CAVALCANTE et al., 2018; FRIONI et al., 2018; MATTNER et al., 2018). Os produtos à base dos extratos de algas atuam como estimulantes para a atividade de várias enzimas do sistema antioxidante, bem como a síntese de outros compostos (tais como osmólitos compatíveis), os quais são necessários para as plantas tolerarem mais eficientemente o período de estresse (CARVALHO; CASTRO, 2014).

Uma implicação prática do uso de extrato de algas sob estresses abióticos foi relatada por Di Stasio et al. (2018), sob aplicação de *A. nodosum* em plantas de tomateiro, observaram respostas positivas, como acúmulo de minerais, antioxidantes e aminoácidos essenciais, quando as mesmas foram submetidas a um período de estresse salino e disponibilidade de nutrientes normal e

reduzida. Carvalho et al. (2014) forneceram diferentes doses de *A. nodosum* via solo e foliar as plantas de feijoeiro, exposta ao déficit hídrico, e observaram elevação nos níveis de prolina.

Segundo Nair et al. (2012), maior acúmulo e síntese de osmólitos como a prolina, já haviam sido relatados após a aplicação de extratos de algas relacionados à tolerância a estresses por baixas temperaturas em plantas de *Arabidopsis thaliana*. Neste trabalho, os autores concluíram que a aplicação do extrato de alga levou ao pré-condicionamento das plantas para maior acúmulo de compostos osmoprotetores, alteração da regulação gênica e composição de ácidos graxos na célula, o que possibilitou a melhor tolerância à temperatura extrema pelas plantas.

Spann e Little (2011), observaram que o *A. nodosum* promoveu uma melhor tolerância ao déficit hídrico e um melhor desenvolvimento vegetativo de mudas de laranja doce enxertadas para dois porta-enxertos (Carrizo; Citrumelo Swingle). Em videiras o extrato de *A. nodosum* foi capaz de melhorar o conteúdo foliar de macronutrientes, promover o crescimento e aumentar a tolerância ao estresse hídrico (MANCUSO et al., 2006).

Kaseker et al. (2014) relataram que alguns estudos foram conduzidos com diferentes espécies de plantas, como couve, batata, alface, feijoeiro, cenoura e maracujá, submetidas a aplicação do extrato de *A. nodosum*, onde, na maioria dos casos, verificou-se maior crescimento e aumento na produtividade dessas culturas. Para a cultura do cafeeiro, a aplicação foliar de extrato de algas proporcionou a melhoria na qualidade da bebida e um incremento de até 70% na produtividade, além de ter auxiliado no controle de doenças, como ferrugem e cercóspora (FERNANDES; SILVA, 2011).

Pelo fato do extrato de *A. nodosum* atuar em múltiplos processos fisiológicos, bioquímicos e genéticos, estando envolvido diretamente nas respostas metabólicas dos vegetais, para a cultura da mangueira esses benefícios ainda precisam ser melhor elucidados principalmente no que diz respeito ao estresse hídrico, visando a elaboração de estratégias que proporcionem aumentos na produtividade desta cultura.

3. REFERÊNCIAS

- ABDELHAMID, M. T.; RADY, M. M.; OSMAN, A. S.; ABDALLA, M. A. Exogenous application of proline alleviates salt induced oxidative stress in *Phaseolus vulgaris* L. Plants. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v. 88, ed. 4, p. 439-446, 2013.
- ACADIAN AGRITECH. **Ciência das Plantas**. 2009. Disponível em: <<http://www.acadianagritech.ca/portuguese/PSansA.htm>>. Acesso em: 26 de outubro de 2018.
- ALBUQUERQUE, J. A. S.; MEDINA, V. D.; MOUCO, M. A. C. **Indução Floral**. In: GENUÍ, P. J. C.; PINTO, C. A. Q. (Ed.). A cultura da mangueira. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 259-276, 2002.
- ALI, Q.; ASHRAF, M.; ATHAR, H. R. Exogenously applied proline at different growth stages enhances growth of two maize cultivars grown under water deficit conditions. **Pakistan Journal of Botany**, v. 39, p.1133–1144. 2007
- ALI, Q.; ASHRAF, M.; SHAHBAZ, M. Ameliorating effect of foliar applied proline on nutrient uptake in water stressed maize (*Zea mays* L.) plants. **Pakistan Journal of Botany**, v. 40, ed. 1, p. 211–219, 2008.
- ALVAREZ, M. E.; LAMB, C. Oxidative burst-mediated defense responses in plant disease resistance. **Cold Spring Harbor Monograph Series**, v. 34, p. 815-840, 1997.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2018. **Santa Cruz do Sul**: Editora Gazeta, 2018. 49 p.
- ARAÚJO, D. O.; MORAES, J. A. A.; CARVALHO, J. L. M. Fatores determinantes na mudança do padrão de produção e consumo da manga no mercado nacional. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**. v. 10, Ed. Especial, p. 51-73, 2017.
- ASHRAF, M.; AKRAM, N. A.; ALQURAINY, F.; FOOLAD, M. R. Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. **Advances in Agronomy**, v.111, p. 249-296. 2011.
- ASHRAF, M.; FOOLAD, M.R. Roles of glycinebetaine and proline in improving plant abiotic stress tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, p. 206–216. 2007.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v. 166, p. 3-16, 2005.
- BALLY, I. S. E.; HARRIS, M.; WHILEY, A. W. Effect of water stress on flowering and yield of 'Kensington Pride' mango (*Mangifera indica* L). In: **VI International Symposium on Mango 509**. 1999. p. 277-282.
- BARBOSA, M. R.; MEDEIROS, A. S. M.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; RANGEL, C. T. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, 2014.

- BLOKHINA, O.; VIROLAINEN, E.; FAGERSTEDT, K. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. **Annals of Botany**, v. 91, p. 179-194, 2003.
- BONOMELLI, C.; CELIS, V.; LOMBARDI, G.; MÁRTIZ, J. Salt Stress Effects on Avocado (*Persea americana* Mill.) Plants with and without Seaweed Extract (*Ascophyllum nodosum*) Application. **Agronomy**, v. 8, n. 5, p. 64, 2018.
- BUTT, M.; AYYUB, C. M.; AMJAD, M.; AHMAD, R. Proline application enhances growth of chilli by improving physiological and biochemical attributes under salt stress. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 53, ed 1, p. 43-49, 2016.
- CAMPOS, M. K. F.; CARVALHO, K.; SOUZA, F. S.; MARUR, PEREIRA, C. J.; L. F. P.; BESPALHOK, J. C.; VIEIRA, L. G. E. Drought tolerance and antioxidant enzymatic activity in transgenic 'Swingle' citrumelo plants over-accumulating proline. **Environmental and Experimental Botany**, v. 72, n. 2, p. 242-250, 2011.
- CARVALHO, L. B.; BIANCO, S.; BIANCO, M. S. Estudo comparativo do acúmulo de massa seca e macronutrientes por plantas de *Zea mays* e *Ipomoea hederifolia*. **Planta Daninha**, v.32, n.1, p.99-107, 2014.
- CARVALHO, M. E. A.; CASTRO, P. R. C. **Extratos de algas e suas aplicações na agricultura**. 58 p.: il. (Série Produtor Rural, nº56). Piracicaba: ESALQ - Divisão de Biblioteca, 2014.
- CAVALCANTE, Í. H. L.; SANTOS, G. N. F.; SILVA, M. A.; MARTINS, R. S.; LIMA, A. M. N.; MODESTO, P. I. R.; ALCOBIA, A. M.; SILVA, T. R. S.; AMARIZ, R. A.; BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z. A new approach to induce mango shoot maturation in Brazilian semi-arid environment. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 91, p. 281-286, 2018.
- CHEN, W.S. Endogenous growth substances in relation to shoot growth and flower bud development of mango. **Journal of the American Society Horticulturæ of Science**, v.112, n.2, p.360-363, 1987.
- COOK, J.; ZHANG, J.; NORRIE, J.; BLAL, B.; CHENG, Z. Seaweed Extract (Stella Maris®) Activates Innate Immune Responses in *Arabidopsis thaliana* and Protects Host against Bacterial Pathogens. **Marine Drugs**, v. 16, n. 7, p. 221, 2018.
- CRAIGIE, J. S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, n. 3, p. 371-393, 2011.
- CVIKROVÁ, M.; GEMPERLOVÁ, L.; MARTINCOVÁ, O.; VANKOVÁ, R. Effect of drought and combined drought and heat stress on polyamine metabolism in proline over producing tobacco plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.73, p.7-15, 2013.
- D'AUTRÉAUX, B.; TOLEDANO, M.B. ROS as signalling molecules: mechanisms that generate specificity in ROS homeostasis. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v.8, p.813-824, 2007.

- DĄBROWSKA, G.; KATA, A.; GOC, A.; SZECZYŃSKA-HEBDA, M.; SKRZYPEK, E. Characteristics of the plant ascorbate peroxidase family. **Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica**, v. 49, n. 1, p. 7-17, 2007.
- DAVENPORT, T. L. NUNEZ-ELISEA, R. **Reproductive Physiology**, In: R.E. Litz (ed.). The mango—botany, production and uses. CAB International, Oxon, UK. p. 69–146, 1997.
- DAVENPORT, T. L. Processes influencing floral initiation and bloom: the role of phytohormones in a conceptual flowerin model. **HortTechnology** 10, 733–739, 2000.
- DAVENPORT, T.L. **Reproductive physiology**, In: Litz, R.E. (ed.). The mango: Botany, production and uses. CAB International, Wallington Oxon, UK. p. 97-169, 2009.
- DI STASIO, E.; VAN, OOSTEN, M. J.; SILLETTI, S.; RAIMONDI, G.; DELL'AVERSANA, E.; CARILLO, P.; MAGGIO, A. *Ascophyllum nodosum*-based algal extracts act as enhancers of growth, fruit quality, and adaptation to stress in salinized tomato plants. **Journal of Applied Phycology**, v. 30, p. 1-12, 2018.
- EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. 2014. Disponível em: <
<http://www.sct.embrapa.br/novosite/embrapa/acs/emb30an/areasdegr.html> >. Acesso em: 08 de julho de 2018.
- FARIA, L. N. **Manejo da irrigação na indução floral e na fase produtiva da mangueira Tommy Atkins em condições semiáridas**. 2014. 101 f. Tese (Doutorado em Construções rurais e ambiência; Energia na agricultura; Mecanização agrícola; Processamento de produção) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.
- FATH, A.; BETHKE, P.; BELIGNI, V.; JONES, R. Active oxygen and cell death in cereal aleurone cells. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 372, p. 1273-1282, 2002.
- FERNANDES, A. L.; SILVA, R.O. Avaliação do Extrato de Algas (*Ascophyllum nodosum*) no Desenvolvimento Vegetativo e Produtivo do Cafeeiro Irrigado Silvapor Gotejamento e Cultivado em Condições de Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.13, 2011.
- FRIONI, T.; SABBATINI, P.; TOMBESI, S.; NORRIE, J.; PONI, S.; GATTI, M.; PALLIOTTI, A. Effects of a biostimulant derived from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* on ripening dynamics and fruit quality of grapevines. **Scientia Horticulturae**, v. 232, p. 97-106, 2018.
- GALÁN-SAÚCO, V. **El Cultivo del Mango**. Ediciones Mundi-Prensa, Barcelona. 1999.
- GOSBEE, M. J.; JOYCE, D. C.; JOYCE, P. A.; JOHNSON, G. I. Proline Does Not Accumulate in Water-stressed 'Kensington' Mango Leaves. In: **Aciaar Proceedings**. Australian Centre for International Agricultural Research. 81, p. 142-144, 1998.

- GUIRY, M.D.; GUIRY, G.M. 2014. **Alga e Base**. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em <<http://www.algaebase.org>>. Acesso em 02 novembro de 2017.
- HARE, P. D.; CRESS, W. A. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. **Plant Growth Regulation**, v. 21, p. 79-102, 1997.
- HAYAT, S.; HAYAT, Q.; ALYEMENI, M. N.; WANI, A. S.; PICHTEL, J.; AHMAD, A. Role of proline under changing environments: a review. **Plant signaling & Behavior**, v. 7, n. 11, p. 1456-1466, 2012.
- HEUER, B. Influence of exogenous application of proline and glycinebetaine on growth of salt-stressed tomato plants. **Plant Science**, v. 165, n. 4, p. 693-699, 2003.
- HU, C. A.; LIN, W. W.; VALLE, D. Cloning, characterization and expression of cDNAs encoding human D1-pyrroline-5-carboxylate dehydrogenase. **Journal of Biological Chemistry**, v. 271, p. 9795-9800, 1996.
- IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – **SIDRA**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>>. Acesso em: 03 de jul. 2018.
- IQBAL, H.; YANING, C.; WAQAS, M.; REHMAN, H.; SHAREEF, M.; IQBAL, S. Hydrogen peroxide application improves quinoa performance by affecting physiological and biochemical mechanisms under water-deficit conditions. **Journal of Agronomy and Crop Science**. v. 204, n. 6, p. 541-553, 2018.
- ISSARAKRAISILA, M.; CONSIDINE, J. A. Effects of temperature on pollen viability in mango cv. 'Kensington'. **Annals of Botany**, v. 73, p. 231-240, 1994.
- KANAYAMA, Y. KOCHETOV, A. **Abiotic stress biology in horticultural plants**. Ed, 1. Japan. Springer, 219p, 2015.
- KASEKER, J. F.; BASTOS, M. C.; CONSALTER, R.; MÓGOR, A. F. Change in growth and nutrient content in carrots with the use of biofertilizer. **Revista Ceres**, v. 61, p. 964-969. 2014.
- KULKARNI, V. J. The tri-factor hypothesis of flowering in mango. In: **VII International Mango Symposium 645**. p. 61-70, 2002.
- LEITE, A. A. M.; ALVES, P. L. **A modernização da agricultura no semiárido brasileiro: o caso da fruticultura irrigada do vale do São Francisco**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, v. 30, 2010.
- LIMA FILHO, J. M.; ASSIS, J. S.; TEIXEIRA, A. H. C.; CUNHA, G. A. P.; CASTRO NETO, M. T. **Ecofisiologia**, in: Genu, P. J. C.; Pinto, C. A. Q. (Eds.), A Cultura da Mangueira. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, pp. 243-257, 2002.
- LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M.; RAHMAN, I. M. M. **Water stress in plants: causes, effects and responses**. In: RAHMAN, I. M. M. (Ed.). Water Stress. Rijeka: Intech, cap. 1, v. 1, p. 1-14, 2012.

- LOCKWOOD, R. Tropical Fruits. Volume 1. PAUL, R.; DUARTE, O. WALLINGFORD, UK: CABI (2011), pp. 400, ISBN 978-1-84593-672-3. **Experimental Agriculture**, v. 47, n. 4, p. 734-734, 2011.
- MAKHEMALE, S.; BHUTADA, P.; YADAV, L.; YADAV, B. K. Impact of climate change on phenology of mango—the case study. **Ecol Environment Conserv**, v. 22, p. S127-S132, 2016.
- MANCUSO, S.; AZZARELLO, E.; MUGNAI, S. BRIAN, X. Marine bioactive substances (IPA extract) improve foliar ion uptake and water stress tolerance in potted *Vitis vinifera* plants. **Advances in Horticultural Science**, v. 20, p.156–161. 2006.
- MAPA. **AGROSTAT – Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso em: 05 de julho de 2018.
- MARIJUAN, M. P.; BOSCH, S. M. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, v.18, ed. 12, p.660-666, 2013.
- MATTNER, S. W.; MILINKOVIC, M.; ARIOLI, T. Increased growth response of strawberry roots to a commercial extract from *Durvillaea potatorum* and *Ascophyllum nodosum*. **Journal of applied phycology**, v. 30, n. 5, p. 2943-2951, 2018.
- MINOCHA, R.; MAJUMDAR, R.; MINOCHA, S. C. Polyamines and abiotic stress in plants: a complex relationship¹. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 175, 2014.
- MITTLER, R.; VANDERAUWERA, S.; SUZUKI, N.; MILLER, G.; TOGNETTI, V. B.; VAND EPOELE, K.; GOLLERY, M.; SHULAEV, V.; VAN BREUSEGEM, F. ROS signaling: the new wave? **Trends in Plant Science**. v. 16, p. 300-309, 2011.
- MURTI, G. S. R.; UPRETI, K. K. Plant hormones. In: Hemantaranjan, A. (Ed.), **Advances in Plant Physiology**, vol. 3. **Scientific Publishers**, p. 109-148, 2000.
- NAIR, P.; KANDASAMY, S.; ZHANG, J.; JI, X.; KIRBY, C.; BENKEL, B.; HODGES, M.D.; CRITCHLEY, A.T.; HILTZ, D.; PRITHIVIRAJ, B. Transcriptional and metabolomic analysis of *Ascophyllum nodosum* mediated freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **BMC genomics**. v. 13, p. 643- 666, 2012.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.
- NORRIE, J. 2008. **Advances in the use of Ascophyllum nodosum seaweed extracts for crop production**. Laboratory and Field Research. Disponível em: <<http://www.fluidfertilizer.com/>>. Acesso em: 29 de novembro de 2017.
- NUNES JÚNIOR, F. H.; GONDIM, F. A.; FREITAS, V. S.; BRAGA, B. B.; BRITO, P. O. B.; MARTINS, K. Crescimento foliar e atividades das enzimas antioxidativas em plântulas de girassol suplementadas com percolado de aterro

sanitário e submetidas a estresse hídrico. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 1, p. 71, 2017.

PAULA JÚNIOR, T. J. **101 culturas: Manual de tecnologias agrícolas**. EPAMIG, 2007.

PEREIRA, J. W. L.; MELO FILHO, P. A.; ALBUQUERQUE, M. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 766-773, 2012.

PHANG, J. M. The regulatory functions of proline and pyrroline-5-carboxylic acid. **Current Topics in Cellular Regulation**, v. 25, p. 91-132, 1985.

PINTO, A. C. Q. A produção, o consumo e a qualidade da manga no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 597, 2002.

PONGSOMBOON, W. **Effects of temperature and water stress on tree growth, flowering, fruit growth and retention of mango (*Mangifera indica* L.)**. Ph.D. Dissertation. Kesetsart University, Bangkok, Thailand. 1991.

QAYYUM, A.; RAZZAQ, A.; BIBI, Y.; KHAN, S. U.; ABBASI, K. S.; SHER, A.; MEHMOOD, A.; AHMED, W.; MAHMOOD, I.; MANAF, A.; KHAN, A.; FARID, A.; JENKS, M. A. Water stress effects on biochemical traits and antioxidant activities of wheat (*Triticum aestivum* L.) under In vitro conditions. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science**, v. 68, n. 4, p. 283-290, 2018.

RAJAN, S.; TIWARI, D.; SINGH, V. K.; SAXENA, P.; SINGH, S.; REDDY, Y. T. N.; UPRETI, K.; K.; BURONDKAR, M. M.; BHAGWAN, A.; KENNEDY, R. Application of extended BBCH scale for phenological studies in mango (*Mangifera indica* L.). **Journal of Applied Horticulture**, v.13, n. 2, p. 108-114, 2011.

RAMÍREZ, F.; DAVENPORT, T. L. Mango (*Mangifera indica* L.) flowering physiology. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 126, n. 2, p. 65-72, 2010.

REJEB, I. B.; PASTOR, V.; MAUCH-MANI, B. Plant Responses to Simultaneous Biotic and Abiotic Stress: Molecular Mechanisms. **Plants**, v. 3, p. 458-475, 2014.

RIBEIRO, R. F.; LOBO, J. T.; CAVALCANTE, Í. H. L.; TENREIRO, I. G. P.; LIMA, D. D. Bioestimulante na produção de mudas de videira cv. Crimson Seedless. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 4, p. 36-42, 2017.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia das Plantas**. 4ª Ed., São Paulo: Cengage Learning, p. 792, 2013.

SANTANIELLO, A.; SCARTAZZA, A.; GRESTA, F.; LORETI, E.; BIASONE, A.; DI TOMMASO, D.; PIAGGESI, A.; PERATA, P. *Ascophyllum nodosum* seaweed extract alleviates drought stress in Arabidopsis by affecting photosynthetic performance and related gene expression. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1362, 2017.

- SANTOS, M. R. **Irrigação com déficit controlado na cultura da mangueira (*Mangifera indica* L.) no semiárido baiano**. 2012. 92f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- SANZ-CORTÉS, F.; MARTINEZ-CALVO, J.; BADENES, M. L.; BLEIHOLDER, H.; HACK, H.; LLACER, G.; MEIER, U. Phenological growth stages of olive trees (*Olea europaea*). **Annals of Applied Biology**. v. 140, n. 2, p. 151-157, 2002.
- SHAHBAZ, M.; MUSHTAQ, Z.; ANDAZ, F.; MASOOD, A. Does proline application ameliorate adverse effects of salt stress on growth, ions and photosynthetic ability of eggplant (*Solanum melongena* L.)?. **Scientia Horticulturae**, v. 164, p. 507–511, 2013.
- SILVA, C. C.; ARRAIS, I. G.; ALMEIDA, J. P. N.; DANTAS, L. L. G. R.; SILVA, F. S. O.; MENDONÇA, V. Extrato da alga *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis na produção de porta-enxertos de *Annona glabra* L. **Revista de Ciências Agrárias**, v.39, n.2, p.234-241, 2016.
- SILVA, L. D. S. **Avaliação do potencial dos extratos de algas marinhas *Sargassum muticum* e *Ascophyllum nodosum* (Phaeophyceae) como fertilizante agrícola**. 2015. 75 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Biotecnologia Vegetal). Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2015.
- SOUZA, M. A. **Caracterização fisiológica e produção da mangueira em função da aplicação de paclobutrazol via sistema de irrigação**. 2016. 61f. Dissertação (Mestrado em Horticultura Irrigada) - Universidade do Estado da Bahia. Juazeiro, Bahia, 2016.
- SPANN, T. M.; LITTLE, H. A. Applications of a commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* increases drought tolerance in container-grown Hamlin sweet orange nursery trees. **HortScience**. Florida, v. 46, n. 4, p. 1471-1474, 2011.
- SZEPESI, Á; SZOLLOSI, R. Mechanism of Proline Biosynthesis and Role of Proline Metabolism Enzymes Under Environmental Stress in Plants. In: **Plant Metabolites and Regulation Under Environmental Stress**. p. 337-353, 2018.
- SZOKE, A.; MIAO, G.H.; HONG, Z.; VERMA, D.P.S. Subcellular location of D1-pyrroline-5-carboxylate reductase in root/nodule and leaf of soybean. **Plant Physiol**, v. 99, p.1642-1649, 1992.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017, 888p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ª ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2013. 918p.
- VIDOTTI, E.C.; ROLLEMBERG M.C. Algae: from aquatic environment economy to bioremediation and analytical chemistry. **Química Nova**, v. 27, n. 1, p. 139-145, 2004.
- WANI, A. S.; AHMAD, A.; HAYAT, S.; TAHIR, I. Is foliar spray of proline sufficient for mitigation of salt stress in *Brassica juncea* cultivars?.

Environmental Science and Pollution Research, v. 23, ed. 13, p. 13413–13423, 2016.

WHILEY, A. W.; RASMUSSEN, T. S.; SARANAH, J.B. AND WOLSTENHOLME, B.N. Effect of temperature on growth, dry matter production and starch accumulation in ten mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. **Journal of Horticultural Science**, v. 64, p. 753-765, 1989.

YOSHIBA, Y.; KIYOSUE, T.; NAKASHIMA, K.; YAMAGUCHISHINOZAKI, Y.; SHINOZAKI, K. Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. **Plant Cell Physiology**, v. 138, n. 10, p.1095-102.1997.

ZAHARAH, S.; S. RAZI, I.; M. Growth, stomata aperture, biochemical changes and branch anatomy in mango (*Mangifera indica*) cv. Chokanan in response to root restriction and water stress. **Scientia Horticulturae**, v. 123, ed. 1, p. 58–67, 2009.

ZALI, A. G.; EHSANZADEH, P. Exogenous proline improves osmoregulation, physiological functions, essential oil, and seed yield of fennel. **Industrial Crops and Products**, v. 111, p. 133-140, 2018.

CAPÍTULO 2

RESPOSTAS BIOQUÍMICAS E ENZIMÁTICAS EM FUNÇÃO DO FORNECIMENTO DE PROLINA E EXTRATOS DE ALGAS EM MANGUEIRA 'TOMMY ATKINS' CULTIVADA NO SEMIÁRIDO¹

RESUMO

O acúmulo de prolina em resposta a tensões abióticas é bastante estudado, no entanto, o modo de atuação desse aminoácido atrelado ao uso do extrato de algas marinhas na cultura da mangueira, ainda constitui-se como uma lacuna da literatura científica. Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos do fornecimento de prolina e extrato de algas nas respostas bioquímicas e enzimáticas de mangueira 'Tommy Atkins' cultivada no semiárido. Foram realizados cinco experimentos consecutivos individuais na fazenda FRUTAVI/ARGO BRASIL em Petrolina-PE. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 2, correspondente à: i); concentrações de prolina (Pro): 0,0% (sem prolina), 0,287; 0,575; e 1,150%; e ii) Extrato de algas (EA) (com e sem). Avaliou-se os teores foliares de prolina livre, aminoácidos totais, proteínas solúveis totais, e atividade das enzimas catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e superóxido dismutase (SOD). Os dados foram submetidos a ANOVA pelo teste 'F' e submetidos a ajustamento do modelo de regressão. Os teores foliares de prolina apresentaram um comportamento linear com incrementos significativos desse aminoácido nos experimentos 2, 3, 4 e 5, na qual os teores de aminoácidos totais e proteínas totais oscilaram durante o período de avaliação dos experimentos em função da atuação dos fatores EA x Pro. A atividade da CAT, APX e SOD demonstrou ser mais efetiva em plantas tratadas somente com prolina, comprovando a capacidade de proteção exercida pela prolina durante a fase de estresse hídrico. A associação entre prolina e extrato de algas marinha a base de *Ascophyllum nodosum* promove incrementos significativos nas respostas bioquímicas e enzimáticas das plantas de mangueira 'Tommy Atkins' na fase de maturação de ramos. A prolina aplicada por via foliar é absorvida pela mangueira 'Tommy Atkins' até a concentração de 1,150% de calda, sendo recomendado o fornecimento a partir dos 21 dias após a redução da lâmina hídrica.

Palavras chave: Solutos orgânicos. Atividade enzimática. Osmorregulador.

ABSTRACT

The proline accumulation in response to abiotic stresses is well studied, however, the way of action of this amino acid associated to the use of seaweed extract in mango tree still constitutes a gap in the scientific literature. In this context, the objective of this work was to evaluate the effects of proline and algal extract on the biochemical and enzymatic responses of 'Tommy Atkins' mangoes cultivated in the semiarid region. Five consecutive individual experiments were carried out at the FRUTAVI/ARGO BRASIL farm in Petrolina-PE City. The experimental

¹ Artigo a ser submetido para publicação

design adopted was randomized blocks in a 4 x 2 factorial scheme, corresponding to: i); Proline concentrations (Pro): 0.0% (without proline), 0.287; 0.575; and 1.150%; and ii) Extract of algal (EA) (with and without). The foliar contents of free proline, total amino acids, total soluble proteins, and activity of catalase (CAT), ascorbate peroxidase (APX) and superoxide dismutase (SOD) were evaluated. Data were submitted to ANOVA by the 'F' test and, posteriorly, submitted to adjustment of the regression model. Proline leaf contents showed a linear behavior with significant increases of this amino acid in experiments 2, 3, 4 and 5, in which the total amino acid and total protein contents fluctuated during the evaluation period of the experiments as a function of the factors EA x Pro. The activity of CAT, APX and SOD were shown to be more effective in plants treated with proline alone, proving the proline protection capacity during the water stress phase. The association between proline and seaweed extract compound by *Ascophyllum nodosum* promotes significant increases in the biochemical and enzymatic responses of 'Tommy Atkins' mango plants in the shoot maturation stage. Proline applied by foliar route is absorbed by the 'Tommy Atkins' mango until the syrup concentration of 1.150%, being recommended the supply from 21 days after the reduction of the water table.

Key words: Organic solutes. Enzymatic activity. Osmoregulator.

1.0. INTRODUÇÃO

A região do Vale do São Francisco possui clima semiárido tropical caracterizado por elevadas temperaturas e baixos índices pluviométricos, o que demanda práticas culturais específicas para as espécies cultivadas comercialmente, inclusive para a mangueira que demanda especificamente redução do estresse vegetal causado tanto pelas elevadas temperaturas, e pela redução de lâmina de irrigação que é necessária antes do período de indução floral, visando à uniformidade da floração (GENÚ; PINTO, 2002; RAMIREZ; DAVENPORT, 2010).

Como forma de amenizar o estresse abiótico, estudos foram desenvolvidos sobre a dinâmica do conteúdo de prolina em plantas, quando submetidas a situações adversas, e revelaram que este aminoácido possui um potencial efeito mitigador das reações provocadas por agentes estressores (ZOUARI et al., 2016; AKSAKAL et al., 2017; FREITAS et al., 2018; JÚ et al., 2018). Nesse segmento, outra alternativa que pode ser adotada é o uso de extratos de algas marinhas, que são capazes de promover efeitos positivos sobre a germinação de sementes, atividade enzimática, floração, rendimento e qualidade de frutos (BATTACHARYYA et al., 2015), sendo o extrato de algas a

base de *A. nodosum* (L), um dos mais utilizadas no setor agrícola (UGARTE et al., 2006).

A prolina e os extratos a base de algas marinhas são responsáveis por elevar a atividade de enzimas de defesa do sistema antioxidante (HOQUE et al., 2007; MANSORI et al., 2016). Enzimas como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX), atuam na eliminação de radicais livres como: oxigênio singlete ($^1\text{O}_2$), íon superóxido (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radical hidroxila (OH^\cdot) impedindo a ocorrência de um processo denominado estresse oxidativo, por consequente oxidação das membranas celulares (peroxidação lipídica), proteínas, RNA e moléculas de DNA (MITTLER, 2002; CHOUDHURY et al., 2017).

Destacam-se ainda, com função na regulação do balanço hídrico dos vegetais, os aminoácidos, responsáveis pela manutenção e estimulação do crescimento celular, pois além de serem constituintes de proteínas, promovem efeitos antiestresse e antisenescência, participando ativamente da síntese de outros aminoácidos e clorofilas, atuando como reservas de nitrogênio orgânico (TAIZ et al., 2017).

Diante dessas informações, para a cultura da mangueira cultivada em regiões semiárida, as informações são ainda incipientes sobre os possíveis efeitos fisiológicos e bioquímicos causados as plantas, em função do fornecimento exógeno de prolina e extrato de algas, principalmente durante o período de redução da lâmina hídrica que é realizado na fase de maturação de ramos.

Sobre esse tema Cavalcante et al. (2018) avaliaram a maturação da parte aérea de mangueira cv. Palmer tratadas com bioestimulante contendo *A. nodosum*, e observaram incrementos significativos nos teores de carboidratos e nutrientes minerais como também na produção de frutos, destacando a importância de induzir a maturação dos ramos para mangueiras em crescimento e fins comerciais no ambiente semiárido.

Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar respostas bioquímicas e enzimáticas em função do fornecimento de prolina e extratos de algas em mangueira 'Tommy Atkins' cultivada no semiárido.

2.0. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados cinco experimentos consecutivos em um pomar comercial de mangueira cv. Tommy Atkins na fazenda FRUTAVI/ARGO BRASIL, localizada no Perímetro irrigado Senador Nilo Coelho, no município de Petrolina – PE ($9^{\circ}18'19.2''$ S de latitude, $40^{\circ}33'55.9''$ O de longitude, a uma altitude 365,5 m acima do nível do mar), no período de outubro a novembro de 2017.

O clima da região é classificado como BSh, segundo a classificação de Alvares et al., (2013), que pertence a uma região semiárida, com temperatura média anual de $26,0^{\circ}\text{C}$ e precipitação média anual de $481,7\text{ mm}$. Durante a execução dos experimentos, os dados meteorológicos referentes à precipitação pluviométrica, temperatura (máxima, mínima e média), umidade relativa do ar e radiação solar global foram registrados a partir da estação meteorológica automática da UNIVASF, instalada no Campus de Ciências Agrárias (Figura 1).

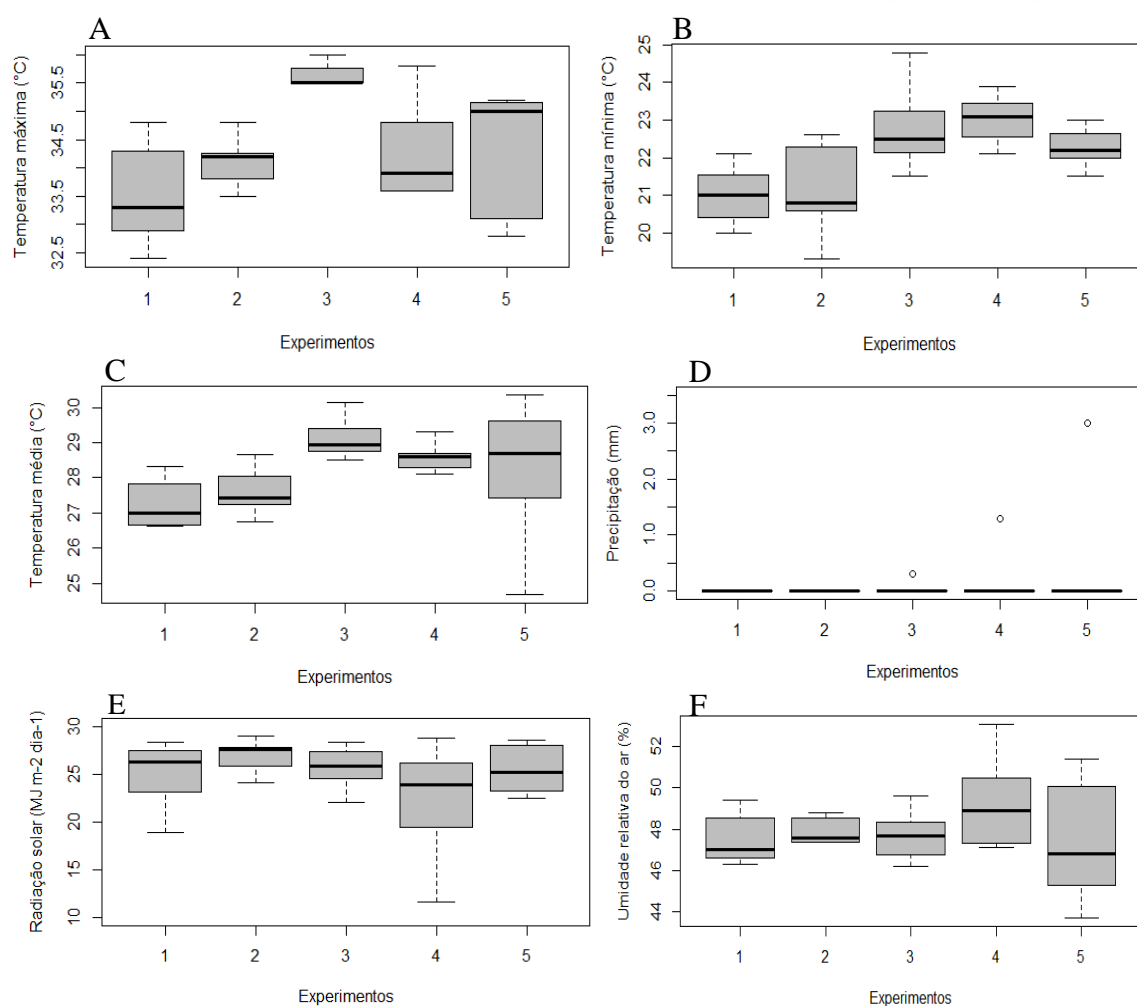


Figura 1. Temperatura máxima (A), mínima (B) e média do ar (C), precipitação (D), radiação solar global (E) e umidade relativa do ar (F) registradas durante a condução dos experimentos. Petrolina-PE. —: Mediana; \square : 25% - 75%; \perp : Dispersão.

Para caracterização inicial da área foram coletadas amostras de solo e folhas, para fins de fertilidade e determinação do estado nutricional das plantas, assim como para os teores de prolina livre, aminoácidos totais, proteínas totais, e atividade das enzimas catalase, ascorbato peroxidase e superóxido dismutase, cujos resultados encontram-se nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1: Análise química do solo, profundidade de 0-40 cm, da área experimental cultivada com mangueira 'Tommy Atkins' antes da aplicação dos tratamentos.

pH	M.O	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	V
H ₂ O	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	cmol/dm ³							%
6,6	8,9	114	0,24	0,05	4,9	1,7	0,0	1,12	6,89	86

Métodos de extração: M.O: método volumétrico; P, K, Na, Cu, Fe, Mn e Zn: Mehlich (HCl + H₂SO₄); Ca, Mg e Al: KCl 1 mol L⁻¹.

Tabela 2: Análise foliar da área experimental cultivada com mangueira 'Tommy Atkins' antes da aplicação dos tratamentos.

N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹							
16,8	1,03	7,50	26,0	3,3	198	198	183	520	113	130

N: Kjeldahl; P: Espectrometria com amarelo de vanadato; K: Fotometria de chama; Mg, Ca, Fe, Zn e Mn: Espectrofotometria de absorção atômica; B: Espectrofotometria com azometina-H.

Tabela 3. Teores foliares aminoácidos totais, prolina livre, proteínas totais, e atividade das enzimas ascorbato peroxidase, catalase e superóxido dismutase antes da aplicação dos tratamentos.

Aminoácidos totais	Prolina livre	Proteínas totais
μmol g ⁻¹ MF		
1,84	0,11	1,16
Ascorbato peroxidase	Catalase	Superóxido dismutase
μM.H ₂ O ₂ min ⁻¹ g ⁻¹ MF		U.mg ⁻¹ proteína min ⁻¹
87,47	5,82	26,66

As plantas do pomar possuíam 22 anos de idade produtiva, estando estas dispostas no espaçamento 8x8 m. A poda de produção foi realizada dia 24 de abril de 2017, e a irrigação realizada diariamente por sistema localizado de microaspersão, com um aspersor por planta de vazão de 50 L h⁻¹ com raio de 1,5 m. A aplicação do paclobutrazol (PBZ) foi realizada no dia 10 de agosto de 2017, na dosagem média de 25 ml de Cultar 250 SC[®] por planta, o equivalente a 6,25 g de i.a. aplicado via solo na projeção da copa.

As práticas culturais referentes a poda, controle de plantas invasoras, combate a pragas e doenças, seguiram as normas técnicas da produção Integrada de Manga definidas por Lopes et al. (2003) e o manejo nutricional foi realizado através do sistema de fertirrigação, através da análise do solo, foliar e demanda da cultura (SILVA et al., 2002).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições e três plantas por parcela, com tratamentos distribuídos em esquema fatorial 4 x 2, correspondente à: i) concentrações de prolina: 0,0% (sem prolina), 0,287; 0,575; e 1,150%; e ii) extrato de algas a base de *A. nodosum* (presença e ausência), concentrado a 1,5%. A lâmina de irrigação foi reduzida para 75 L planta⁻¹, correspondendo a 37,5% do total utilizado (200 L planta⁻¹), no dia 06/10/2017, a exatos 57 dias após a aplicação do PBZ.

A definição dos tratamentos foi feita considerando as demandas e alterações fisiológicas que ocorrem durante a fase de maturação de ramos, quando há redução de lâmina hídrica durante 60 dias, antecedendo à indução ao florescimento com nitrato (cálcio e/ou potássio), conforme manejo preconizado por Genú e Pinto (2002). Vale ressaltar que o manejo realizado para a maturação de ramos das plantas deste respectivo estudo, foi unicamente com a aplicação de prolina e extrato de algas (*A. nodosum*) correspondente aos 5 experimentos.

A aplicação dos tratamentos foi realizada via foliar, e as concentrações de prolina e extrato de algas foram determinadas seguindo as referências de Abdelhamid et al. (2013), Carvalho e Castro (2014), respectivamente, sendo que o volume de calda foi padronizado em 20 L parcela⁻¹ (6,66 L planta⁻¹), quantidade suficiente para fazer uma boa cobertura foliar. Para aplicação utilizou-se pulverizador autopropelido Jacto Arbus[®] com capacidade para 1000 litros. O cronograma de atividades referente a poda, paralização do crescimento, aplicação dos tratamentos e avaliação dos experimentos está contido na tabela 4.

Tabela 4. Manejo de paralização de crescimento, aplicação dos tratamentos e avaliação dos experimentos durante a fase de maturação de ramos em mangueira 'Tommy Atkins'.

Manejo	Data	Dias após a redução da lâmina hídrica	Aplicações
Poda	24/04/2017	-	-
PBZ	10/08/2017	-	Cultar (25 ml/planta)
Redução da lâmina de irrigação	06/10/2017	0	-
Aplicação dos tratamentos e avaliação do experimento 1	13/10/2017 20/10/2017	7 14	Prolina + <i>Ascophyllum nodosum</i>
Aplicação dos tratamentos e avaliação do experimento 2	20/10/2017 27/10/2017	14 21	Prolina + <i>Ascophyllum nodosum</i>
Aplicação dos tratamentos	27/10/2017	21	Prolina + <i>Ascophyllum nodosum</i>
Reajuste da lâmina hídrica	02/11/2018	27	-
Avaliação do experimento 3	03/11/2017	28	
Aplicação dos tratamentos e avaliação do experimento 4	03/11/2017 10/11/2017	28 35	Prolina + <i>Ascophyllum nodosum</i>
Aplicação dos tratamentos e avaliação do experimento 5	10/11/2017 17/11/2017	35 42	Prolina + <i>Ascophyllum nodosum</i>

As coletas das amostras de folhas foram realizadas momentos antes de cada aplicação, no qual a primeira coleta foi realizada antes de começar as aplicações dos tratamentos, para se ter o controle. Coletaram-se por tratamento quatro amostras compostas por doze folhas recém maduras do último fluxo vegetativo nos quatro quadrantes (TEDESCO et al., 1995) e em altura mediana da copa, as quais foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em caixas térmicas com gelo para as variáveis: prolina, aminoácidos e proteínas. Para a atividade enzimática o material vegetal foi coletado e envolto em papel alumínio e acondicionado em nitrogênio líquido para posteriormente ser armazenado em freezer -20 °C até o momento da análise.

O material vegetal foi conduzido para o Laboratório de Fisiologia Vegetal da UNIVASF, para determinação dos teores foliares de prolina livre, seguido a metodologia descrita por Bates (1973); aminoácidos livres, seguindo a metodologia descrita por Yemm e Cocking, (1955); proteínas solúveis totais segundo Bradford (1976). A atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT), seguindo a metodologia descrita

por Giannopolitis e Ries (1997), Nakano e Asada (1981) e Beers e Sizer (1952), respectivamente.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias. Posteriormente, foi realizada a análise de variância pelo teste 'F', e, a partir da significância, os tratamentos com *A. nodosum* foram comparados entre si, tendo as concentrações de prolina submetidas à análise de regressão. Todas as análises estatísticas seguiram as recomendações de Banzatto e Kronka (1995) usando os softwares R versão 3.5.2 (R CORE TEAM, 2018) e Sigma Plot versão 10.0.

3.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de prolina livre foram influenciados apenas pelo fator isolado prolina (Pro) quando as concentrações foram fornecidas nos experimentos 2, 3, 4 e 5 (Tabela 5).

Tabela 5: Síntese da análise de variância para prolina livre, aminoácidos totais e proteínas totais em folhas de mangueira 'Tommy Atkins' em função do fornecimento de prolina e extrato de algas na fase maturação de ramos.

Fontes de variação	Valor 'F'		
	Prolina livre	Aminoácidos totais	Proteínas totais
	-----µmol g ⁻¹ MF-----		
Experimento 1			
E. de Algas (EA)	0,89 ^{ns}	3,85 ^{ns}	0,15 ^{ns}
Ausência	1,27	1,34	1,18
Presença	1,09	1,17	1,20
Prolina (Pro)	2,45 ^{ns}	15,91 ^{ns}	0,39 ^{ns}
EA x Pro	0,25 ^{ns}	3,94*	0,06 ^{ns}
CV (%)	45,6	24,01	12,52
Experimento 2			
E. de Algas (EA)	1,33 ^{ns}	3,27 ^{ns}	2,35 ^{ns}
Ausência	0,42	1,77	1,23
Presença	0,34	3,04	1,37
Prolina (Pro)	9,11**	2,66 ^{ns}	1,50 ^{ns}
EA x Pro	0,35 ^{ns}	1,83 ^{ns}	1,14 ^{ns}
CV (%)	47,9	82,33	18,71
Experimento 3			
E. de Algas (EA)	2,22 ^{ns}	2,66 ^{ns}	9,25**
Ausência	0,45	4,32	1,09 b
Presença	0,61	3,08	1,32 a
Prolina (Pro)	3,89*	0,57 ^{ns}	2,01 ^{ns}
EA x Pro	0,92 ^{ns}	1,50 ^{ns}	0,48 ^{ns}
CV (%)	57,83	57,82	18,04
Experimento 4			
E. de Algas (EA)	0,62 ^{ns}	7,09*	0,27 ^{ns}
Ausência	0,73	1,69 b	1,16
Presença	0,66	2,18 a	1,20
Prolina (Pro)	18,11**	0,30 ^{ns}	0,51 ^{ns}
EA x Pro	2,28 ^{ns}	3,43*	0,53 ^{ns}
CV (%)	34,09	26,79	20,09
Experimento 5			
E. de Algas (EA)	1,28 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Ausência	0,25	3,78	1,32
Presença	0,20	4,07	1,34
Prolina (Pro)	4,30*	1,13 ^{ns}	0,55 ^{ns}
EA x Pro	0,30 ^{ns}	0,83 ^{ns}	3,28**
CV (%)	63,07	26,9	12,62

CV: Coeficiente de variação; ns = não significativo; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * = significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Considerando o fator extrato de algas, os teores foliares de prolina não foram influenciados significativamente na presença ou ausência do mesmo, entretanto, as plantas não tratadas com extrato de algas a base de *A. nodosum* apresentaram médias superiores nos experimentos 1, 2, 4 e 5 (Tabela 5). Embora considerados estatisticamente iguais, convém ressaltar que os valores de prolina no experimento 1 já evidenciaram superioridade numérica em relação aos resultados obtidos em condições normais de irrigação (Tabela 3), o incremento nesta avaliação correspondeu a 11 e 10 vezes os valores verificados na ausência e presença do extrato de algas, respectivamente (Tabela 5).

No experimento 3 foram observadas médias superiores de prolina nas plantas tratadas com extrato de algas, resultado contrário aos obtidos nos demais experimentos, nos quais só foi verificada superioridade para os teores de prolina em plantas tratadas apenas com prolina. Tal fato provavelmente se deu em função do reajuste da lâmina hídrica de 75 L planta⁻¹ para 100 L planta⁻¹, 27 dias após a mesma ter sido reduzida, coincidindo com a semana de condução do experimento 3 (Tabela 5).

Comportamento semelhante foi verificado por Elsheery e Cao (2008) ao estudarem as cultivares de manga Choke Anand e Khieo Sawoei, perceberam que os teores de prolina aumentavam progressivamente durante um período de 15 dias com restrição hídrica obtendo valores de aproximadamente 4 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS, sendo que após o retorno da irrigação esses teores diminuíram consideravelmente. Zaharah e Razi (2009) também observaram que plantas de mangueira cv. Chokanan submetidas a restrição hídrica, apresentavam valores de prolina de aproximadamente 79 $\mu\text{g g}^{-1}$ MF aos 10 dias após imposição do estresse, sendo que em seguida houve a retomada da água e os teores reduziram mais de 50%.

Uma maior influência do extrato de algas se deve a componentes lipofílicos dos extratos de algas a base de *A. nodosum* capazes de promover uma cascata de reações fisiológicas, bioquímicas e genéticas que implicam em respostas diretas ou indiretas nos organismos vegetais (KHAN et al., 2009). Ao se tratar de estresse abiótico, uma possível explicação para os resultados obtidos no experimento 3, foi relatada por Nair et al. (2012), na qual o fornecimento do extrato de algas a base de *A. nodosum* é capaz de proporcionar um aumento nos teores de prolina, em função da expressão dos genes Δ^1 -

pirrolina-5-carboxilato sintetase 1 e 2 (P5CS1 e P5CS2), responsáveis pela indução da síntese de prolina, e, em parte, devido à diminuição da prolina desidrogenase (PRODH) enzima que atua na degradação das moléculas de prolina a glutamato.

Os resultados do presente estudo (Tabela 5) corroboram com os encontrados por Goñi et al. (2018), que, avaliando plantas de tomate submetidas ao déficit hídrico e tratadas com extrato de algas verificaram superioridade nos teores de prolina em relação as plantas não tratadas. Da mesma forma, Carvalho et al. (2018) avaliando os efeitos do extrato de algas (*A. nodosum*) na cultura do feijoeiro sob estresse hídrico também verificaram incrementos em plantas com a presença do extrato, pois o mesmo é capaz de tornar as plantas mais responsivas aos primeiros sinais de restrição hídrica.

De forma geral, pôde-se perceber que as plantas de mangueira são capazes de absorver a prolina fornecida, e essas respostas podem ser melhor visualizadas quando analisado o fator prolina para os experimentos 2, 3, 4 e 5, na qual os dados se ajustaram ao modelo de regressão linear com alto coeficiente de determinação (Figura 2).

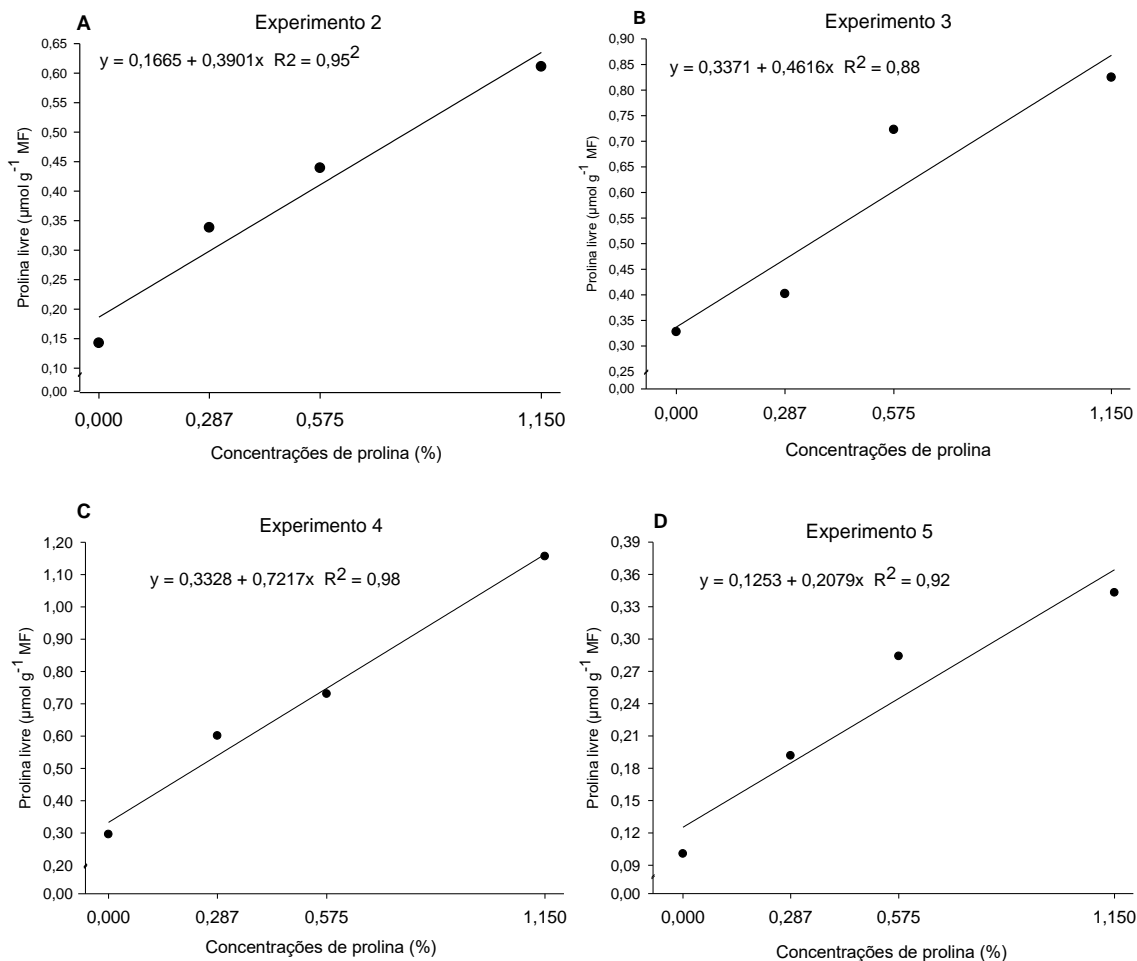


Figura 2: Teores foliares de prolina livre em função do fornecimento de prolina em mangueira 'Tommy Atkins' na fase de maturação de ramos.

Para o experimento 1, sugere-se que o tempo no qual as plantas estavam sob déficit hídrico (14 dias), mesmo atrelado as temperaturas elevadas presentes na região semiárida, foi insuficiente para que o fornecimento de prolina promovesse incrementos significativos nos teores de prolina livre. Por outro lado, para os demais experimentos observa-se que os incrementos eram significativamente aumentados à medida que se fornecia prolina em concentrações mais elevadas (Figura 2).

O comportamento similar, mesmo com a progressão do estresse, demonstra a efetividade na absorção de prolina, uma vez que as plantas estavam submetidas ao estresse hídrico (déficit), sendo este aminoácido um dos principais solutos compatíveis capazes de conferir resistência as células, mantendo o equilíbrio entre o potencial osmótico celular e o potencial hídrico do

solo com posterior manutenção do conteúdo de água intracelular (VERSLUES; SHARMA, 2010).

O ajustamento osmótico ocorre devido às características químicas básicas da prolina, pois este é o aminoácido mais solúvel em água, existindo em grande parte do tempo em um estado com cargas negativas e positivas fracas (íon dipolar), ou seja, possui cargas opostas em diferentes átomos. Estas propriedades permitem que a prolina se acumule a níveis elevados preferencialmente no citosol sem causar perturbação, pois quando o conteúdo de água diminui, a prolina pode atuar como “substitutos da água” para estabilizar a estrutura celular através de interações hidrofílicas e pontes de hidrogênio (YANCEY, 2005; VERSLUES; SHARMA, 2010).

Destaca-se que as plantas tratadas com prolina no experimento 5 apresentaram os menores teores médios observados de prolina livre em relação aos demais experimentos para todas as concentrações fornecidas (Figura 2). O reajuste da lâmina de irrigação durante a semana do experimento 3 possivelmente influenciou neste resultado culminando na aclimatação das plantas de mangueira, corroborando com uma estabilidade nos teores de prolina nos experimentos 3 e 4, seguido de um decréscimo significativo no experimento 5.

Uma possível explicação para este resultado, é que durante um período de déficit hídrico, as enzimas PRODH e P5CDH (catabolismo de prolina) têm a sua atividade reduzida, e após o retorno da água, estas enzimas tendem a aumentar sua atividade e conseqüentemente a degradação de prolina (REN et al. 2018; BATISTA-SILVA et al., 2019), que vem a ser benéfica por servir como fonte de energia através do seu catabolismo (NANJO et al., 2003). Contudo, aos 42 dias após a redução da lâmina hídrica, os valores da concentração de 1,150% ainda eram 3 vezes superiores a testemunha absoluta bem como a caracterização inicial da área, evidenciando assim a importância do fornecimento de prolina em plantas de mangueira para assegurar maiores teores durante o período de estresse induzido.

Os benefícios proporcionados vão além do ajustamento osmótico durante o período de estresse, pois a prolina também atua como um dos principais constituintes de proteínas da parede celular, conferindo resistência, pelo fato de possuir uma estrutura única e cíclica distinta, tendo o seu grupo α -amino como

uma amina secundária que causa excepcional rigidez conformacional à estrutura das proteínas, fundamentais no processo de lignificação de ramos (KISHOR et al., 2015).

Como demonstrado neste estudo e reportado por Balestro et al. (2017), o acúmulo de prolina é mais visível em plantas que enfrentam estresse por desidratação, como por exemplo, restrição na disponibilidade de água. Dessa forma, destaca-se que diante do período crítico que é o déficit hídrico para a cultura da mangueira, esses resultados são de fundamental importância para a manutenção das atividades metabólicas celulares.

Para os teores de aminoácidos do presente estudo, observou-se efeito isolado dos fatores prolina e extrato de alga nos experimentos 1 e 4, respectivamente (Tabela 5), sendo que aos 35 dias após a redução da lâmina hídrica, as plantas tratadas com extrato de algas apresentaram resultados 29% superiores em comparação as plantas não tratadas. Para a variável em questão, o efeito positivo após o fornecimento de extrato de algas marinhas pode ser atribuído aos teores de aminoácidos presentes na composição do extrato de algas a base de *A. nodosum* (WALLY et al., 2013), que conseqüentemente promoveu incrementos nos teores dessas substâncias orgânicas.

Ao analisarmos a figura 3A podemos perceber que houve interação significativa entre os fatores extrato de algas e prolina para o experimento 1, porém, as concentrações fornecidas tanto na presença quanto na ausência do extrato de algas promoveram os maiores teores médios observados de aminoácidos totais na concentração de 0,287% tendo os dados de uma forma geral se ajustado ao modelo de regressão quadrática com valor máximo estimado de 1,51 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF na concentração de 0,459% (presença de EA) e 1,65 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF na concentração de 0,054% (ausência do EA).

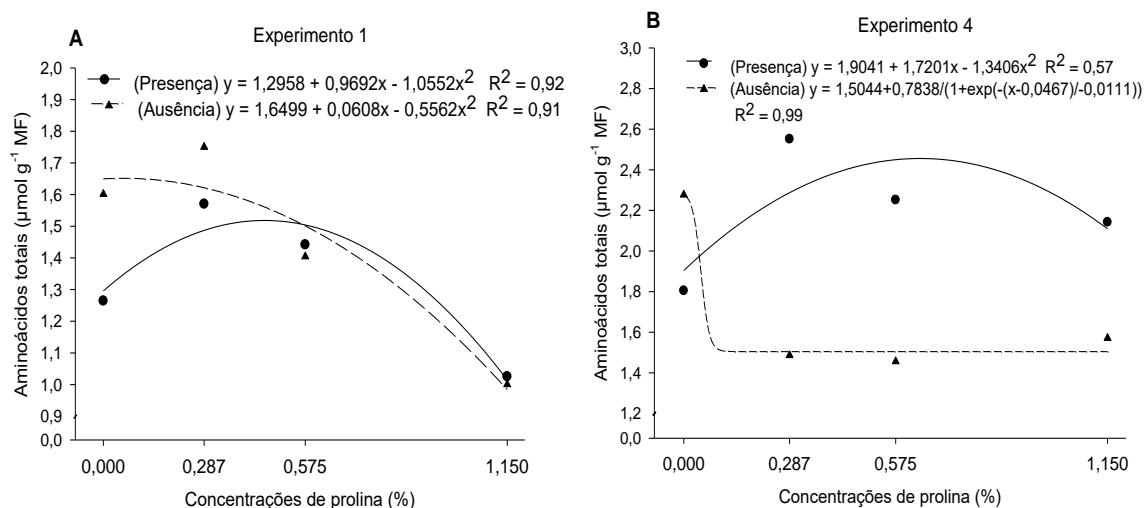


Figura 3: Teores foliares de aminoácidos totais em função do fornecimento de prolina e extrato de algas em mangueira ‘Tommy Atkins’ na fase de maturação de ramos.

Os teores médios observados na concentração de 1,150% fornecida no experimento 1, independentemente do nível do fator extrato de algas, ocorreu uma queda significativa nos teores de aminoácidos totais. O fornecimento de prolina provavelmente tenha ocasionado toxidez as células (HAYAT et al., 2012), pois a elevação dos teores de prolina endógena observados aos 14 dias após a redução da lâmina hídrica em função do fornecimento da maior concentração, possivelmente implicou em respostas negativas como uma possível redução na síntese de aminoácidos.

Essas respostas ficam melhor evidenciadas quando observada a superioridade de 78% dos teores de aminoácidos obtidos na caracterização inicial da área em relação ao primeiro experimento, sendo que este resultado também pode estar atrelado ao fato de que o acúmulo de prolina em excesso reprime a expressão de vários genes envolvidos na síntese de outros aminoácidos (NANJO et al., 2003).

Nesse sentido, Dawood et al. (2014) observaram que a aplicação exógena de prolina nas concentrações de 25 e 50 mM provocaram decréscimos nos teores de aminoácidos, todavia, os teores obtidos no presente estudo com plantas de mangueira, foram consideravelmente reduzidos após o fornecimento de uma concentração de 20 mM de prolina correspondendo a 1,150%.

Aos 35 dias após a redução da lâmina hídrica na avaliação do experimento 4, os teores de aminoácidos se comportaram de maneira distinta na

presença e ausência do extrato de algas, sendo que os dados referentes as plantas tratadas se ajustaram ao modelo de regressão quadrática com um valor máximo estimado de 2,45 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF a uma concentração de 0,645% (Figura 3B). A presença do extrato de algas assegurou os maiores teores de aminoácidos quando comparado com a sua ausência, exceto para a testemunha absoluta que foi significativamente superior as demais, logo, sob fornecimento de prolina as plantas tenderam a manter os teores de aminoácidos estabilizados independente da elevação na concentração de prolina.

Os maiores teores de aminoácidos obtidos nas plantas tratadas com extrato de algas no experimento 4 (Tabela 5) pode ser explicado pela atuação dos compostos presentes no extrato de algas (minerais, hormônios, solutos orgânicos) na qual promovem a divisão celular como também a síntese de aminoácidos e conseqüentemente de proteínas, conferindo as plantas tolerância durante o acometimento de agentes estressores (ALLEN et al., 2001).

Os teores de proteínas totais foram influenciados significativamente apenas pelo fator EA e a interação EA x Pro nos experimentos 3 e 5, respectivamente. Em ambos os experimentos, a presença extrato de algas assegurou maiores teores de proteínas sendo que no experimento 5 os dados apresentaram comportamento linear em função das concentrações de prolina, porém, quando na ausência do extrato de algas um comportamento quadrático foi observado (Figura 4A).

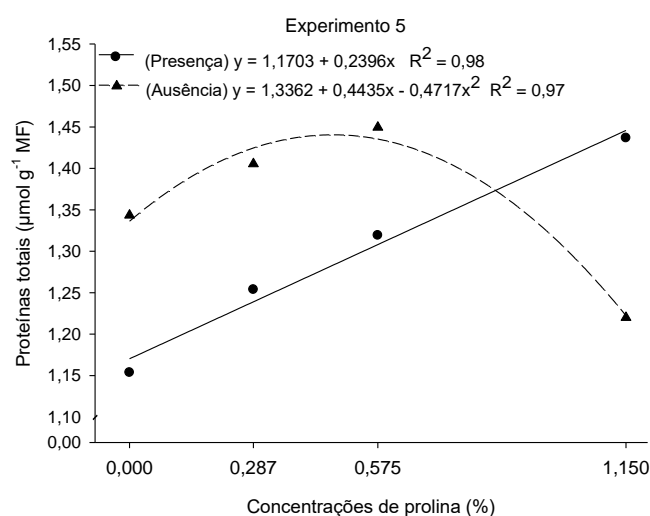


Figura 4: Teores foliares de proteínas totais em função do fornecimento de prolina e extrato de algas em mangueira 'Tommy Atkins' cultivada no semiárido durante a fase de maturação de ramos.

Assim como para os teores de aminoácidos nos experimentos 1 e 4 a concentração de 1,150% proporcionou valores médios observados de proteínas inferiores a testemunha absoluta quando na ausência do extrato de algas, e isso, remete-se ao fato de que nem sempre o fornecimento em maiores quantidades tornará a plantas mais resistentes, pois as respostas produzidas são dependentes da concentração de prolina endógena uma vez que quantidades excessivas de prolina livre tem efeitos negativos ou colaterais nas funções das proteínas como também dos aminoácidos, e por fim no crescimento celular (ASHRAF; FOOLAD, 2007).

Plantas tratadas com extrato de algas no decorrer das avaliações dos experimentos, para o fator extrato de algas avaliado isoladamente, já apresentavam teores de proteínas superiores às plantas não tratadas (Tabela 5), fato que provavelmente possa ter favorecido a influência conjunta dos fatores extrato de algas e prolina aos 42 dias de redução de lâmina hídrica (Figura 4A). Gerszberg e Hnatuszko-Konka (2017) destacam que os efeitos positivos atribuídos ao *A. nodosum* se dá em função da atuação de compostos orgânicos e inorgânicos presentes em sua constituição, logo, o fornecimento dos mesmos tende a potencializar a capacidade de respostas das plantas ao estresse hídrico através da síntese de proteínas específicas induzidas pelo estresse, sendo parte do mecanismo de defesa e tolerância a períodos não ideais de cultivo.

A atividade das enzimas catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e superóxido dismutase (SOD) foi influenciada significativamente pelo fator EA no experimento 1, no entanto, a CAT e APX apresentaram uma maior atividade quando na presença do extrato de algas, ocorrendo o contrário para a atividade da SOD no mesmo experimento (Tabela 6).

Tabela 6: Síntese da análise de variância para catalase, ascorbato peroxidase e superóxido dismutase, em folhas de mangueira 'Tommy Atkins' em função do fornecimento de prolina e extrato de algas na fase de maturação de ramos.

Fontes de variação	Valor 'F'		
	Catalase	Ascorbato peroxidase	Superóxido dismutase
	----- $\mu\text{M.H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ -----		$\text{U mg}^{-1} \text{ proteína min}^{-1}$
Experimento 1			
E. de Algas (EA)	5,55*	22,16**	16,75**
Ausência	7,95 b	70,11 b	33,80 a
Presença	9,82 a	87,57 a	27,78 b
Prolina (Pro)	2,98 ^{ns}	10,70**	0,49 ^{ns}
EA x Pro	2,08 ^{ns}	3,99*	0,16 ^{ns}
CV (%)	25,3	13,31	13,51
Experimento 2			
E. de Algas (EA)	2,42 ^{ns}	0,15 ^{ns}	13,46**
Ausência	10,58	126,43	38,66 a
Presença	9,08	120,45	28,99 b
Prolina (Pro)	1,93 ^{ns}	0,47 ^{ns}	1,13 ^{ns}
EA x Pro	0,12 ^{ns}	2,46 ^{ns}	0,92 ^{ns}
CV (%)	27,64	34,6	22,03
Experimento 3			
E. de Algas (EA)	0,14 ^{ns}	0,28 ^{ns}	6,92*
Ausência	15,06	136,00	43,05 a
Presença	14,67	130,59	31,28 b
Prolina (Pro)	6,57**	0,72 ^{ns}	1,06 ^{ns}
EA x Pro	0,49 ^{ns}	1,26 ^{ns}	0,82 ^{ns}
CV (%)	21,69	21,5	34,04
Experimento 4			
E. de Algas (EA)	0,05 ^{ns}	8,59**	3,41 ^{ns}
Ausência	18,27	179,87 a	35,87
Presença	17,94	134,98 b	30,09
Prolina (Pro)	1,03 ^{ns}	2,57 ^{ns}	0,46 ^{ns}
EA x Pro	0,88 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,29 ^{ns}
CV (%)	21,66	27,51	26,8
Experimento 5			
E. de Algas (EA)	0,47 ^{ns}	15,12**	11,65**
Ausência	19,78	202,47 a	34,33 a
Presença	18,51	143,80 b	25,65 b
Prolina (Pro)	0,40 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,84 ^{ns}
EA x Pro	0,50 ^{ns}	0,63 ^{ns}	2,55 ^{ns}
CV (%)	27,3	24,64	23,96

Coefficiente de variação; ns = não significativo; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * = significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Nas avaliações dos experimentos 2, 3, 4 e 5 foi possível perceber que mesmo as médias sendo consideradas estatisticamente iguais, a atividade da CAT foi superior em plantas tratadas somente com a prolina exógena na qual proporcionou um aumento gradativo ao longo da progressão do estresse. Para Alves et al. (2010) quando o estresse hídrico não é tão severo, a atividade da

CAT é aumentada progressivamente, caso contrário essa atividade é diminuída podendo ocasionar um acúmulo excessivo de H_2O_2 .

Dessa forma, ressalta-se que no presente estudo, a atividade da CAT foi avaliada até os 42 dias após a redução da lâmina hídrica, entretanto, os efeitos nocivos produzidos pela disponibilidade de água abaixo do requerido, provavelmente foram mitigados devido ao fornecimento de prolina exógena, conferindo proteção a CAT e favorecendo a sua atividade. A atividade da CAT nas plantas de mangueira em função do fornecimento de prolina ficou mais evidente no experimento 3 quando a referida variável resposta sofreu influência significativa do fator prolina, com os dados se ajustando ao modelo sigmoidal (Figura 5A), logo as concentrações de 0,287%, 0,575% e 1,150% foram respectivamente 49,76%, 55,78% e 63,12% superiores em comparação com a testemunha absoluta.

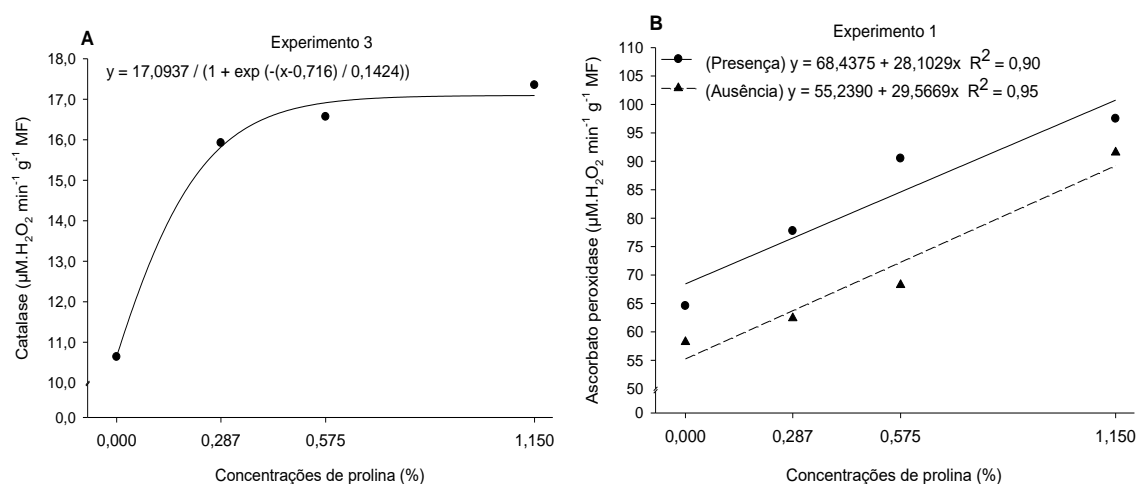


Figura 5: Atividade da enzima catalase em função do fornecimento exógeno de prolina, e da ascorbato peroxidase em função do fornecimento de prolina e extrato de algas em folhas de mangueira ‘Tommy Atkins’ na fase de maturação de ramo.

Srivastav et al. (2010) em um estudo realizado com plantas de mangueira cv. Olour submetidas a estresse salino, observaram uma atividade da catalase de até $4,8 \mu\text{M H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ na concentração de 25 g NaCl, valor este 37,14% superior à testemunha ($3,5 \mu\text{M H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$). Contudo, este resultado foi 3,5 vezes inferior ao encontrado no experimento 3 do presente estudo quando fornecido a concentração de 1,150% de prolina.

HARE et al. (2002) reportam que a prolina quando fornecida exogenamente e acumulada em quantidades ideais, tende a induzir sua degradação nas mitocôndrias, provavelmente na tentativa de manter os teores intracelulares necessários, ativando a cadeia de transporte de elétrons, e isso faz com que haja um excesso de liberação de poder redutor que leva à geração de EROs, havendo conseqüente necessidade de ativação de enzimas antioxidantes, como a CAT.

A atividade da APX, foi influenciada significativamente pelo fator extrato de algas nos experimentos 4 e 5 com aumento da sua atividade nas plantas com ausência do extrato de algas, sugerindo que a prolina foi capaz de assegurar a integridade destas enzimas (Tabela 6).

A APX é considerada um regulador eficiente de EROs, contribuindo de maneira efetiva para a desintoxicação do H_2O_2 , possuindo alta afinidade com essa molécula, estando presente em vários compartimentos subcelulares como cloroplastos, mitocôndrias, citosol e peroxissomos (MIYAKE; ASADA, 1996; SAXENA et al., 2011). Os experimentos 4 e 5 foram respectivamente avaliados aos 35 e 42 dias após a redução da lâmina hídrica, e devido a progressão do estresse os níveis de H_2O_2 possivelmente encontravam-se elevados, porém, principalmente nas plantas tratadas somente com prolina a atuação da APX estava sendo eficiente.

A atividade da APX é dependente da disponibilidade do ascorbato utilizado como fonte de redução de energia, e dessa forma acredita-se que no presente estudo a prolina fornecida as plantas de mangueira possa ter induzido a elevação dos teores de ascorbato e conseqüentemente a atividade da APX, fato observado por Ali et al. (2015) os quais estudaram plantas de arroz submetidas a estresse salino e observaram que o fornecimento de prolina exógena resultou em aumento de ascorbato intracelular, que também é um antioxidante não enzimático bem conhecido em plantas, e está diretamente envolvido nos processos de eliminação de EROs (GALLIE, 2013; EINALI, 2018).

De forma contrária aos resultados demonstrados anteriormente para CAT e APX, Zali e Ehsanzadeh (2018) em um estudo com plantas de erva-doce, relatam que o prolongamento do estresse hídrico (3 a 4 semanas) reduz e modifica a atividade de algumas enzimas e isoenzimas atuantes na eliminação

de EROS, diminuindo a eficácia do sistema de defesa antioxidante. Em contrapartida Diaz-Vivancos et al. (2016) estudando a cultura da ameixeira sob estresse hídrico, verificaram uma alta atividade não só da enzima APX como também da CAT e SOD.

Comportamento semelhante foi verificado por Wani et al. (2017) em plantas de *Brassica juncea* cv. Varuna, na qual sob aplicação de 10, 20 e 30 mM de prolina, eles observaram uma elevação dos teores de prolina endógena como também uma maior atividade da CAT e SOD à medida que se fornecia prolina em maiores quantidades. Sivakumar (2014) relatam que em plantas de tomate a alta atividade foi observada apenas para a CAT e SOD durante todas as fases de crescimento.

Especificamente para a cultura da mangueira, Helaly et al. (2017) estudando as cultivares Ewaise, Hindy, Misk Ewaise e Fagri Kalan durante três ciclos consecutivos notaram atividade elevada de SOD, CAT e APX em plantas submetidas ao déficit hídrico, e que em virtude desse resultado as mesmas poderiam suportar o estresse ambiental em regiões de clima quente, semelhante a região do Vale do São Francisco.

A interação EA x Pro proporcionou incremento linear significativo na atividade da APX no experimento 1, sendo que os maiores valores médios observados foram na presença de *A. nodosum* (Figura 6B), resultado este possivelmente ligado as respostas ocasionadas pelo extrato de algas quando avaliado isoladamente.

Na ausência do extrato de algas em função das concentrações de prolina (experimento 1) a atividade da APX foi inferior, mas, os valores seguem um padrão de distribuição da prolina no qual exerce uma função protetora sob as enzimas, e dessa forma, sob tensões abióticas a atividade da APX tende a apresentar um comportamento similar aos teores de prolina (KHEDR et al., 2003). Entretanto, aos 14 dias após a redução da lâmina hídrica o fornecimento de extrato de algas associado a concentração de 1,150% demonstrou ser eficiente na elevação da atividade da APX.

Assim como verificado para as enzimas CAT e APX, a SOD apresentou valores superiores à medida que se avaliava cada um dos experimentos, entretanto, a SOD sofreu influência significativa apenas do fator extrato de

algas, exceto no experimento 4 (Tabela 6). De qualquer forma, para todos os experimentos de uma maneira geral, as plantas tratadas somente com prolina foram responsáveis por apresentar uma maior atividade da SOD. Elevação na atividade da SOD também pôde ser verificado por Srivastav et al. (2010) em plantas de mangueira cv. Olour submetidas a estresse salino obtendo valores de aproximadamente $2,5 \text{ U mg}^{-1} \text{ proteína min}^{-1}$, onde tal fato ocorreu de forma proporcional ao aumento nos teores de prolina endógena.

A SOD catalisa a dismutação de $\text{O}_2^{\cdot-}$ para H_2O_2 e O_2 em todos os compartimentos subcelulares, como cloroplastos, mitocôndrias, núcleos, peroxissomos, citoplasma e apoplastos (GILL; TUTEJA, 2010) se destacando como umas das primeiras e eficientes barreiras de defesa das células sob altos níveis de EROs. Conforme Paleg et al. (1981) a prolina age como um protetor enzimático pelo fato da estrutura 3-D das proteínas (enzimas) ser governada pela interação hidrofóbica / hidrofílica, interação iônica e interação entre as cadeias laterais dos aminoácidos constituinte, logo a prolina interfere nestas cadeias laterais e, conferindo a proteção das enzimas bem como a sua atividade.

Diante do exposto, após análise das variáveis estudadas, fica evidente os efeitos causados pelo déficit hídrico na cultura da mangueira cultivada em regiões semiáridas, sendo definidas estratégias que minimizem as consequências sofridas pelas plantas durante a fase de redução da lâmina hídrica, caracterizada por ser um período crítico, porém necessário.

4.0. CONCLUSÕES

A associação entre prolina e extrato de algas marinha a base de *Ascophyllum nodosum* promove incrementos significativos nas respostas bioquímicas e enzimáticas das plantas de mangueira 'Tommy Atkins' na fase de maturação de ramos.

A prolina aplicada por via foliar é absorvida pela mangueira 'Tommy Atkins' até a concentração de 1,150% de calda, sendo recomendado o fornecimento a partir dos 21 dias após a redução da lâmina hídrica.

5.0. REFERÊNCIAS

- ABDELHAMID, M. T.; RADY, M. M.; OSMAN, A. S.; ABDALLA, M. A. Exogenous application of proline alleviates salt induced oxidative stress in *Phaseolus vulgaris* L. **Plants. Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v. 88, n. 4, p. 439-446, 2013.
- AKSAKAL, O.; TABAY, D.; ESRINGU, A.; AKSAKAL, F. I.; ESIM, N. Effect of proline on biochemical and molecular mechanisms in lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to UV-B radiation. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 16, n. 2, p. 246-254, 2017.
- ALI, M. A.; KUMAR, D. P.; MURATA, Y.; HOQUE, M. A. Effect of soil salinity and exogenous proline application on rice growth, yield, biochemical and antioxidant enzyme activities. **EC Agriculture**, v. 2, p. 229-240, 2015.
- ALLEN, V. G.; POND, K. R.; SAKER, K. E.; FONTENOT, J. P.; BAGLEY, C. P.; IVY, R. L.; EVANS, R.; SCHMIDT, R. E.; FIKE, J. H.; ZHANG, X.; AYAD, J. Y.; BROWN, C. P.; MILLER, M. F.; MONTGOMERY, J. L.; MAHAN, J.; WESTER, D. B.; MELTON, C. Tasco: Influence of a brown seaweed on antioxidants in forages and livestock—A review 1. **Journal of Animal Science**, v. 79, n. E-Suppl, p. 21-31, 2001.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711–728, 2013.
- ASHRAF, M. F. M. R.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress. Resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, n. 2, p. 206-216, 2007.
- BALESTRO, G. C.; HIGASHI, B.; LOPES, S. M. S.; GONÇALVES, J. E.; VIEIRA, L. G. E.; OLIVEIRA, A. J. B.; GONÇALVES, R. A. C. Biochemical composition of symplastic sap from sugarcane genetically modified to overproduce proline. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 113, p. 133-140, 2017.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 3ª ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 247p.
- BATES, L. S. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v.39, ed.1, p.205-207, 1973.
- BATISTA-SILVA, W.; HEINEMANN, B.; RUGEN, N.; NUNES-NESE, A.; ARAÚJO, W. L.; BRAUN, H. P.; HILDEBRANDT, T. M. The role of amino acid metabolism during abiotic stress release. **Plant, Cell & Environment**, 2019.
- BATTACHARYYA, D.; BABGOHARI, M. Z.; RATHOR, P.; PRITHIVIRAJ, B. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p.39–48, 2015.
- BEERS JÚNIOR, R. F.; SIZER, I. W. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. **Journal of Biological Chemistry**, v.195, 1ª Ed, p.133-140, 1952.

- BHUSAN, D.; DAS, D. K.; HOSSAIN, M.; MURATA, Y.; HOQUE, M. A. Improvement of salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by increasing antioxidant defense systems using exogenous application of proline. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 1, p. 50, 2016.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.
- CARVALHO, M. E. A.; CAMARGO, P. R.; GAZIOLA, S. A.; AZEVEDO, R. A. Is seaweed extract an elicitor compound? Changing proline content in drought-stressed bean plants. **Comunicata Scientiae**, v. 9, n. 2, p. 292-297, 2018.
- CARVALHO, M. E. A.; CASTRO, P. R. C. **Extratos de algas e suas aplicações na agricultura**. Série Produtor Rural, v.56, 58p, 2014.
- CAVALCANTE, Í. H. L.; SANTOS, G. N. F.; SILVA, M. A.; MARTINS, R. S.; LIMA, A. M. N.; MODESTO, P. I. R.; ALCOBIA, A. M.; SILVA, T. R. S.; AMARIZ, R. A.; BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z. A new approach to induce mango shoot maturation in Brazilian semi-arid environment. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 91, p. 281-286, 2018.
- CHOUDHURY, F. K.; RIVERO, R. M.; BLUMWALD, E.; MITTLER, R. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. **The Plant Journal**, v. 90, n. 5, p. 856-867, 2017.
- DAWOOD, M. G.; TAIE, H. A. A.; NASSAR, R. M. A.; ABDELHAMID, M. T.; SCHMIDHALTER, U. The changes induced in the physiological, biochemical and anatomical characteristics of *Vicia faba* by the exogenous application of proline under seawater stress. **South African Journal of Botany**, v. 93, p. 54-63, 2014.
- DIAZ-VIVANCOS, P.; FAIZE, L.; NICOLÁS, E.; CLEMENTE-MORENO, M. J.; BRU-MARTINEZ, R.; BURGOS, L.; HERNÁNDEZ, J. A. Transformation of plum plants with a cytosolic ascorbate peroxidase transgene leads to enhanced water stress tolerance. **Annals of botany**, v. 117, n. 7, p. 1121-1131, 2016.
- EINALI, A. The induction of salt stress tolerance by propyl gallate treatment in green microalga *Dunaliella bardawil*, through enhancing ascorbate pool and antioxidant enzymes activity. **Protoplasma**, v. 255, n. 2, p. 601-611, 2018.
- ELSHEERY, N. I.; CAO, K. F. Gas exchange, chlorophyll fluorescence, and osmotic adjustment in two mango cultivars under drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 30, n. 6, p. 769-777, 2008.
- FREITAS, P. A. F.; MIRANDA, R. S.; MARQUES, E. C.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Salt Tolerance Induced by Exogenous Proline in Maize Is Related to Low Oxidative Damage and Favorable Ionic Homeostasis. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.37, n.3, p.911-924, 2018.
- 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.

- GENÚ, P. J. C.; PINTO, A. C. Q. (Ed.) **A cultura da mangueira**. Brasília: EMBRAPA, p. 452, 2002.
- GERSZBERG, A; HNATUSZKO-KONKA, K. Tomato tolerance to abiotic stress: a review of most often engineered target sequences. **Plant Growth Regulation**, v. 83, n. 2, p. 175-198, 2017.
- GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v.59, n.2, p.309-314, 1977.
- GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.
- GOMES, M. A. C.; SUZUKI, M. S.; CUNHA, M.; TULLII, C. F. Effect of salt stress on nutrient concentration, photosynthetic pigments, proline and foliar morphology of *Salvinia auriculata* Aubl, **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 23, n. 2, p. 164-176, 2011.
- GOÑI, O.; QUILLE, P.; O'CONNELL, S. *Ascophyllum nodosum* extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 126, p. 63-73, 2018.
- HARE, P. D.; CRESS, W. A.; VAN STADEN, J.; BOTHA, C. E. J. Disruptive effects of exogenous proline on chloroplast and mitochondrial ultrastructure in Arabidopsis leaves. **South African Journal of Botany**, v. 68, n. 3, p. 393-396, 2002.
- HAYAT, S.; HAYAT, Q.; ALYEMENI, M. N.; WANI, A. S.; PICHTEL, J.; AHMAD, A. Role of proline under changing environments: a review. **Plant Signaling & Behavior**, v. 7, n. 11, p. 1456-1466, 2012.
- HELALY, M. N.; EL-HOSEINY, H.; EL-SHEERY, N. I.; RASTOGI, A.; KALAJI, H. M. Regulation and physiological role of silicon in alleviating drought stress of mango. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 118, p. 31-44, 2017.
- HOQUE, M. A.; OKUMA, E.; BANU, M. N. A.; NAKAMURA, Y.; SHIMOISHI, Y.; MURATA, Y. Exogenous proline mitigates the detrimental effects of salt stress more than exogenous betaine by increasing antioxidant enzyme activities. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, n. 5, p. 553-561, 2007.
- JU, Y. L.; YUE, X. F.; ZHAO, X. F.; ZHAO, H.; FANG, Y. L. Physiological, micro-morphological and metabolomic analysis of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaf of plants under water stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 130, p. 501-510, 2018.
- KHAN, W.; RAYIRATH, U. P.; SUBRAMANIAN, S.; JITHESH, M. N.; RAYORATH, P.; HODGES, D. M.; CRITCHLEY, A. T.; CRAIGIE, J. S.; NORRIE, J.; PRITHIVIRAJ, B. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 4, p. 386-399, 2009.
- KHEDR, A. H. A.; ABBAS, M. A.; WAHID, A. A. A.; QUICK, W. P.; ABOGADALLAH, G. M. Proline induces the expression of salt-stress-responsive proteins and may improve the adaptation of *Pancratium maritimum*

L. to salt-stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, n. 392, p. 2553-2562, 2003.

KISHOR, K.; POLAVARAPU, B.; HIMA KUMARI, P.; SUNITA, M. S. L.; SREENIVASULU, N. Role of proline in cell wall synthesis and plant development and its implications in plant ontogeny. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 544, 2015.

LOPES, P. R. C.; HAJI, F. N. P.; MOREIRA, A. N.; MATTOS, M. A. A. Normas técnicas e documentos de acompanhamento da Produção Integrada de Manga. **Embrapa Semi-Árido**. Petrolina, v.183, 72p. 2003.

MANSORI, M.; CHERNANE, H.; LATIQUE, S.; BENALIAT, A.; HSISSOU, D.; EL KAOUA, M. Effect of seaweed extract (*Ulva rigida*) on the water deficit tolerance of *Salvia officinalis* L. **Journal of Applied Phycology**, v. 28, n. 2, p. 1363-1370, 2016.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 7, n. 9, p. 405-410, 2002.

MIYAKE, C.; ASADA, K. Inactivation mechanism of ascorbate peroxidase at low concentrations of ascorbate; hydrogen peroxide decomposes compound I of ascorbate peroxidase. **Plant and Cell Physiology**, v. 37, n. 4, p. 423-430, 1996.

NAIR, P.; KANDASAMY, S.; ZHANG, J.; XIUHONG, J.; KIRBY, C., BENKEL, B., HODGES, M. D.; CRITCHLEY, A. T.; HILTZ, D.; PRITHIVIRAJ, B. Transcriptional and metabolomic analysis of *Ascophyllum nodosum* mediated freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **BMC genomics**, v. 13, n. 1, p. 643, 2012.

NANJO, T.; FUJITA, M.; SEKI, M.; KATO, T.; TABATA, S.; SHINOZAKI, K. Toxicity of free proline revealed in an *Arabidopsis* T-DNA-tagged mutant deficient in proline dehydrogenase. **Plant and Cell Physiology**, v. 44, n. 5, p. 541-548, 2003.

PALEG, L. G.; DOUGLAS, T. J.; VAN DAAL, A.; KEECH, D. B. Proline, betaine and other organic solutes protect enzymes against heat inactivation. **Functional Plant Biology**, v. 8, n. 1, p. 107-114, 1981.

R CORE TEAM. 2018. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em : <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 3 de maio de 2018.

REN, Y.; MIAO, M.; MENG, Y.; CAO, J.; FAN, T.; YUE, J.; XIAO, F.; LIU, Y.; CAO, S. DFR1-Mediated inhibition of proline degradation pathway regulates drought and freezing tolerance in *Arabidopsis*. **Cell Reports**, v. 23, n. 13, p. 3960-3974, 2018.

SAXENA, S. C.; JOSHI, P. K.; GRIMM, B.; ARORA, S. Alleviation of ultraviolet-C-induced oxidative damage through overexpression of cytosolic ascorbate peroxidase. **Biologia**, v. 66, n. 6, p. 1052, 2011.

SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, v. 2012, 2012.

SILVA, D. J.; QUAGGIO, J. A.; PINTO, P. A. C.; PINTO, A. C. Q.; MAGALHÃES, A. F. J. Nutrição e adubação. In: GENU, P. J. C.; PINTO, C. A. Q. (Ed.). **A cultura da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p.191-222, 2002.

SILVA, V. A.; PRADO, F. M.; ANTUNES, W. C.; PAIVA, R. M. C.; FERRÃO, M. A. G.; ANDRADE, A. C.; DI MASCIO, P.; LOUREIRO, M.E.; MATTA, F.M. ALMEIDA, A. M. Reciprocal grafting between clones with contrasting drought tolerance suggests a key role of abscisic acid in coffee acclimation to drought stress. **Plant Growth Regulation**, v. 85, n. 2, p. 221-229, 2018.

SIVAKUMAR, R. Effect of drought on plant water status, gas exchange and yield parameters in contrasting genotypes of tomato (*Solanum lycopersicum*). **American International Journal of Research in Formal, Applied & Natural Sciences**, v. 8, n. 1, p. 57-62, 2014.

SRIVASTAV, M.; KISHOR, A.; DAHUJA, A.; SHARMA, R. R. Effect of paclobutrazol and salinity on ion leakage, proline content and activities of antioxidant enzymes in mango (*Mangifera indica* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 125, n. 4, p. 785-788, 2010.

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

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2ª ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 174, 1995.

UGARTE, R. A.; SHARP, G.; MOORE, B. Changes in the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. Plant morphology and biomass produced by cutter rake harvests in southern New Brunswick, Canada. In: **Eighteenth International Seaweed Symposium**. Springer, Dordrecht, p. 125-133, 2006.

VERSLUES, P. E.; KIM, Y; ZHU, J. Altered ABA, proline and hydrogen peroxide in an *Arabidopsis* glutamate: glyoxylate aminotransferase mutant. **Plant Molecular Biology**, v. 64, n. 1-2, p. 205-217, 2007.

VERSLUES, P. E.; SHARMA, S. Proline metabolism and its implications for plant-environment interaction. **The Arabidopsis Book/American Society of Plant Biologists**, v. 8, 2010.

WALLY, O. S. D.; CRITCHLEY, A. T.; HILTZ, D.; CRAIGIE, J. S.; HAN, X.; ZAHARIA, L. I.; ABRAMS, S. R.; PRITHIVIRAJ, B. Regulation of phytohormone biosynthesis and accumulation in *arabidopsis* following treatment with commercial extract from the marine macroalga *Ascophyllum nodosum*. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.32, n.2, p.324–339. 2013.

WANI, A. S.; FARAZ, A.; FAIZAN, M.; AHMAD, A.; HAYAT, S.; TAHIR, I. Foliar Spray of Proline Enhanced the Photosynthetic Efficiency and Antioxidant System in *Brassica juncea*. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 45, n. 1, p. 112-119, 2017.

YANCEY, P. H. Organic osmolytes as compatible, metabolic and counteracting cytoprotectants in high osmolarity and other stresses. **Journal of Experimental Biology**, v. 208, n. 15, p. 2819-2830, 2005

YEMM, E. W.; COCKING, E. C. Determination of amino acids with ninhydrin. **Analyst**, v.80, n.948, p.209-213, 1955.

ZALI, A. G.; EHSANZADEH, P. Exogenous proline improves osmoregulation, physiological functions, essential oil, and seed yield of fennel. **Industrial Crops and Products**, v. 111, p. 133-140, 2018.

ZOUARI, M.; AHMED, C. B.; ZORRIG, W.; ELLOUMI, N.; RABHI, M.; DELMAIL, D.; ROUINA, B. B.; P. LABROUSSE, P.; ABDALLAH, F. B. Exogenous proline mediates alleviation of cadmium stress by promoting photosynthetic activity, water status and antioxidative enzymes activities of young date palm (*Phoenix dactylifera* L.). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 128, p. 100-108, 2016.

CAPÍTULO 3

EXTRATO DE ALGAS E PROLINA NA FISIOLOGIA E PRODUTIVIDADE DE MANGUEIRA 'TOMMY ATKINS' CULTIVADA NO SEMIÁRIDO¹

RESUMO

O conhecimento sobre fisiologia da mangueira permite uma tomada de decisões ao longo de sua cadeia produtiva com maior acurácia, principalmente durante o período crítico de redução da lâmina hídrica. Diante disso, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar os efeitos do fornecimento de prolina e extrato de algas nos pigmentos fotossintéticos, trocas gasosas, acúmulo de carboidratos, florescimento e produtividade de mangueira 'Tommy Atkins' cultivada no semiárido tropical. Foram realizados cinco experimentos consecutivos individuais na fazenda FRUTAVI/ARGO BRASIL em Petrolina-PE. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 2, correspondente à: i) concentrações de prolina (Pro): 0,0% (sem prolina), 0,287; 0,575; e 1,150%; e ii) Extrato de algas (EA) (com e sem). Avaliou-se os pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, *b*, total e carotenóides), carboidratos solúveis totais, trocas gasosas (fotossíntese líquida, transpiração e condutância estomática), concentração interna de CO₂ (Ci), eficiência instantânea de carboxilação (Eic), *quenching* fotoquímico (*qP*), coeficiente de inibição não fotoquímica (*qN*); uniformidade de floração, número de frutos panícula⁻¹, produção e produtividade. Dentre os pigmentos fotossintéticos, o extrato de alga influenciou significativamente a clorofila *a* no experimento 5 bem como os carboidratos solúveis totais, que por sua vez foram afetados pela interação entre EA x Pro no experimento 1. A concentração de 0,286% de prolina proporcionou os maiores teores de fotossíntese líquida (*A*), transpiração (*E*) e condutância estomática (*gs*), na qual avaliando-se de uma forma geral a ausência do extrato de algas proporcionou uma maior concentração interna de CO₂; as plantas tratadas com extrato de algas apresentaram maior uniformidade de florada. Diante das condições nas quais os experimentos foram realizados, pode-se concluir que o fornecimento de prolina e extrato de algas a base de *Ascophyllum nodosum* promove respostas distintas nas variáveis fisiológicas e produtivas da mangueira 'Tommy Atkins'.

Palavras-chave: *Ascophyllum nodosum*. Carboidratos solúveis totais. Pigmentos fotoprotetores. Trocas gasosas. Uniformidade de florada.

ABSTRACT

The knowledge about mango physiology allows to take decisions making along its production chain with greater accuracy, especially during the critical period of reduction of water supply. Therefore, the present work was carried out to evaluate the effects of proline and algal extract on photosynthetic pigments, gas exchange, carbohydrate accumulation, flowering and yield of 'Tommy Atkins' mangoes cultivated in the tropical semiarid region. Five consecutive individual experiments were carried out at the FRUTAVI/ARGO BRASIL farm in Petrolina-PE City. The

¹Artigo a ser submetido para publicação

experimental design utilized was randomized blocks in a 4 x 2 factorial scheme, corresponding to: i) Proline concentrations (Pro): 0.0% (without proline), 0.287; 0.575; and 1.150%; and ii) Extract of algal (EA) (with and without). (Photosynthesis, transpiration and stomatal conductance), internal CO₂ concentration (C_i), instantaneous carboxylation efficiency (E_c), quenching photochemical inhibition (qP), non-photochemical inhibition coefficient (qN); flowering uniformity, number of panicle-1 fruits, yield and productivity. Among the photosynthetic pigments, the algal extract significantly influenced the chlorophyll in experiment 5 as well as the total soluble carbohydrates, which also were affected by the interaction between EA x Pro in experiment 1. The proline concentration of 0.286% showed the largest liquid photosynthesis (A), transpiration (E) and stomatal conductance (g_s), in which the overall absence of algal extract gave a higher internal CO₂ concentration; the plants treated with algal extract presented greater flowering uniformity. Given the conditions under which the experiments were carried out, it can be concluded that the proline supply and algal extract based on *Ascophyllum nodosum* promotes different responses in the physiological and productive variables of the Tommy Atkins mango.

Key words: *Ascophyllum nodosum*. Total soluble carbohydrates. Photoprotective pigments. Gas exchange. Flowering uniformity.

1.0. INTRODUÇÃO

A mangicultura na região do Vale do São Francisco destaca-se nacional e internacionalmente, não apenas pela qualidade dos frutos produzidos, mas também pelo desenvolvimento de tecnologias específicas no manejo da floração (SIQUEIRA et al., 2008). Esse procedimento permite a indução ao florescimento e o escalonamento da produção através do uso de reguladores de crescimento, que inibem a biossíntese de giberelina, restringindo assim o crescimento vegetativo associado às demais práticas agronômicas (UPRETI et al., 2013).

Dentre as técnicas utilizadas está a redução da lâmina hídrica na fase de maturação de ramos (CAVALCANTE et al., 2018) que antecede a indução floral, tendo como um dos principais objetivos estimular a produção de etileno e melhorar a floração da mangueira (RAMIREZ; DAVENPORT, 2016). Durante a fase de maturação de ramos teores ótimos de carboidratos são requeridos, pois as plantas passam por um processo chamado “esforço reprodutivo”, onde há o gasto de fotoassimilados para que haja a formação de estruturas reprodutivas (LARCHER, 2000). Entretanto, esse acúmulo tende a ser comprometido quando as plantas entram em níveis severos de estresse, especialmente o abiótico

durante a fase de maturação, usando assim suas reservas como um dos mecanismos primários de defesa.

Outra resposta produzida pelas plantas sob condições de estresse, é o acúmulo de prolina (BHASKARA et al., 2015). A prolina é responsável pela diminuição do potencial hídrico celular visando a manutenção do conteúdo de água (KAUR; ASTHIR, 2015) assegurando suas atividades metabólicas, garantindo assim a manutenção das trocas gasosas e conseqüentemente a produção de carboidratos na fase que antecede a indução floral.

O uso de extrato de algas marinhas principalmente de *Ascophyllum nodosum*, também se destaca com potenciais efeitos mitigadores do estresse sofrido pelas plantas de mangueira, conforme verificaram Cavalcante et al. (2018) na mangueira cv. Palmer em estudo realizado na região do Vale do São Francisco, na qual o fornecimento de *A. nodosum* proporcionou maiores teores de carboidratos bem como incrementos de produtividade. Em adição, incrementos também foram observados nos teores de clorofila das cultivares Palmer e Parvin (MORALES-PAYAN, 2013).

Diante dos efeitos supracitados, promovidos pela prolina e extrato de algas, surge a necessidade do conhecimento mais aprofundado sobre o modo de atuação dessas substâncias sobre a fisiologia dos vegetais, principalmente em plantas de mangueira durante o período de redução da lâmina hídrica quando a planta fica mais suscetível aos efeitos adversos do estresse abiótico.

Nesse contexto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar os efeitos do fornecimento de prolina e extrato de algas nos pigmentos fotossintéticos, trocas gasosas, acúmulo de carboidratos, florescimento e produtividade de mangueira 'Tommy Atkins' cultivada no semiárido tropical.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados cinco experimentos em um pomar comercial de mangueira 'Tommy Atkins' na fazenda FRUTAVI/ARGO BRASIL, localizada no Perímetro irrigado Senador Nilo Coelho, no município de Petrolina – PE (9°18'19.2" S de latitude, 40°33'55.9" O de longitude, a uma altitude 365,5 m acima do nível do mar), no período de outubro a novembro de 2017.

O clima da região é classificado como BSh, segundo a classificação de Alvares et al., (2013), que pertence a uma região semiárida, com temperatura média anual de 26,0 °C e precipitação média anual de 481,7 mm. Durante a execução dos experimentos e fases posteriores, os dados meteorológicos referentes à precipitação pluviométrica, temperatura, umidade relativa do ar, evapotranspiração e radiação solar global foram registrados a partir da estação meteorológica automática da UNIVASF, instalada no Campus de Ciências Agrárias (Figura 1).

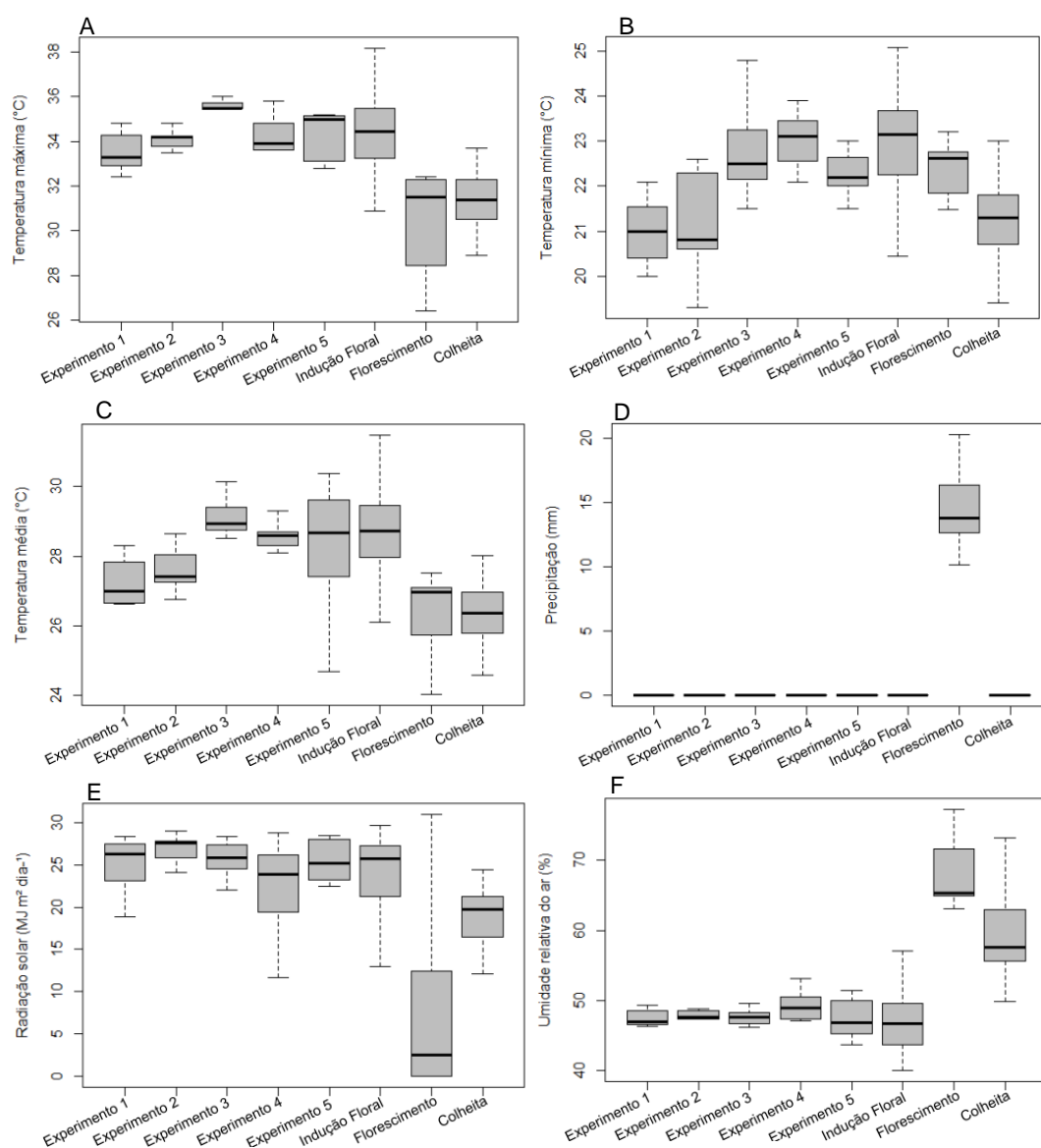


Figura 1. Temperatura máxima (A), mínima (B) e média do ar (C), precipitação (D), radiação solar global (E) e umidade relativa do ar (F) registradas durante a condução dos experimentos, indução floral, florescimento e colheita. Petrolina-PE. — : Mediana; \square : 25% - 75%; \perp : Dispersão.

Para construção de cada boxplot referente aos dados meteorológicos, considerou-se um período de sete dias para cada um dos cinco experimentos e o florescimento. A indução floral e a colheita correspondem a um período de 57 e 19 dias respectivamente. Para caracterização inicial da área foram coletadas amostras de solo e folhas, para fins de fertilidade e determinação do estado nutricional das plantas, assim como para os teores de clorofila *a*, *b*, total, carotenóides e carboidratos solúveis totais, cujos resultados encontram-se nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1: Análise química do solo, profundidade de 0-40 cm, da área experimental cultivada com mangueira 'Tommy Atkins' antes da aplicação dos tratamentos.

pH	M.O	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	V	
H ₂ O	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	cmol _c /dm ³								%
6,6	8,9	114	0,24	0,05	4,9	1,7	0,0	1,12	6,89	86	

Métodos de extração: M.O: método volumétrico; P, K, Na, Cu, Fe, Mn e Zn: Mehlich (HCl + H₂SO₄); Ca, Mg e Al: KCl 1 mol L⁻¹.

Tabela 2: Análise foliar da área experimental cultivada com mangueira 'Tommy Atkins' antes da aplicação dos tratamentos.

N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹					
16,8	1,03	7,50	26,0	3,3	198	198	183	520	113	130

Tabela 3. Teores foliares de clorofila *a*, *b*, total, carotenóides e carboidratos solúveis totais (CST) antes da aplicação dos tratamentos.

Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila total	Carotenóides	CST
mg g ⁻¹ MF				μmo g ⁻¹ MF
1,06	0,97	2,03	0,69	127,21

As plantas do pomar possuíam 22 anos de idade produtiva, estando estas dispostas no espaçamento 8x8 m. A poda de produção foi realizada dia 24 de abril de 2017, e a irrigação realizada diariamente por sistema localizado de microaspersão, com um aspersor por planta de vazão de 50 L h⁻¹ com raio de 1,5 m. A aplicação do paclobutrazol (PBZ) foi realizada no dia 10 de agosto de 2017, na dosagem média de 25 ml de Cultar 250 SC[®] por planta, o equivalente a 6,25 g de i.a. aplicado via solo na projeção da copa.

As práticas culturais referentes a poda, controle de plantas invasoras, combate a pragas e doenças, seguiram as normas técnicas da produção

Integrada de Manga definidas por Lopes et al. (2003) e o manejo nutricional foi realizado através do sistema de fertirrigação, através da análise do solo e demanda da cultura (SILVA et al., 2002).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições e três plantas por parcela, com tratamentos distribuídos em esquema fatorial 4 x 2, correspondente à: concentrações de prolina: 0,0% (sem prolina), 0,287; 0,575; e 1,150%; e ii) extrato de algas a base de *A. nodosum* (presença e ausência), concentrado a 1,5%. A lâmina de irrigação foi reduzida para 75 L planta⁻¹, correspondendo a 37,5% do total utilizado (200 L planta⁻¹), no dia 06/10/2017, a exatos 57 dias após a aplicação do PBZ.

A definição dos tratamentos foi feita considerando as demandas e alterações fisiológicas que ocorrem durante a fase de maturação de ramos, quando há redução de lâmina hídrica durante 60 dias, antecedendo à indução ao florescimento com nitrato (cálcio e/ou potássio), conforme manejo preconizado por Genú e Pinto (2002). Vale ressaltar que o manejo realizado para a maturação de ramos das plantas deste respectivo estudo, foi unicamente com a aplicação de prolina e extrato de algas (*A. nodosum*) correspondente aos 5 experimentos.

A aplicação dos tratamentos foi realizada via foliar, e as concentrações de prolina e extrato de algas foram determinadas seguindo as referências de Abdelhamid et al. (2013), Carvalho e Castro (2014), respectivamente, sendo que o volume de calda foi padronizado em 20 L parcela⁻¹ (6,66 L planta⁻¹), quantidade suficiente para fazer uma boa cobertura foliar. Para aplicação utilizou-se pulverizador autopropelido Jacto Arbus® com capacidade para 1000 litros. O cronograma de atividades referente a poda, PBZ, coleta e aplicação dos tratamentos, indução floral e colheita está contido na tabela 4.

Tabela 4. Atividades referente ao manejo de paralização do crescimento, aplicação dos tratamentos, avaliação dos experimentos, indução floral e colheita de mangueira ‘Tommy Atkins’ durante o ciclo de produção de 2017/2018.

Manejo	Data	Dias após a redução da lâmina hídrica	Aplicações
Poda	24/04/2017	-	-
PBZ	10/08/2017	-	Cultar (25 ml/planta)
Redução da lâmina de irrigação	06/10/2017	0	-
Aplicação dos tratamentos e avaliação do experimento 1	13/10/2017 20/10/2017	7 14	Prolina + <i>Ascophyllum nodosum</i>
Aplicação dos tratamentos e avaliação do experimento 2	20/10/2017 27/10/2017	14 21	Prolina + <i>Ascophyllum nodosum</i>
Aplicação dos tratamentos no experimento 3	27/10/2017	21	Prolina + <i>Ascophyllum nodosum</i>
Reajuste da lâmina hídrica	02/11/2017	27	-
Avaliação do experimento 3	03/11/2017	28	
Aplicação dos tratamentos e avaliação do experimento 4	03/11/2017 10/11/2017	28 35	Prolina + <i>Ascophyllum nodosum</i>
Aplicação dos tratamentos no experimento 5	10/11/2017	35	Prolina + <i>Ascophyllum nodosum</i>
Determinação das trocas gasosas	14/11/2017	39	-
Avaliação do experimento 5	17/11/2017	42	-
1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª e 6ª indução floral	17 e 24/11; 01, 08, 15 e 22/12/2017	-	Nitrato de potássio (KNO ₃) 2,5%
7ª indução floral	29/12/2017		Nitrato de cálcio (Ca(NO ₃) ₂) 2,5%
8ª indução floral	05/01/2018		Nitrato de potássio (KNO ₃) 2,5%
9ª indução floral	12/01/2018	-	Nitrato de potássio (KNO ₃) 2,5%
Quantificação da uniformidade de florada	08/02/2018	-	-
Quantificação do número de frutos panícula ¹	06/04/2018	-	-
Colheita	12, 19 e 30/04/2018	-	

As coletas das amostras de folhas foram realizadas momentos antes de cada aplicação, no qual a primeira coleta foi realizada antes de começar as aplicações dos tratamentos, para se ter o controle. Coletaram-se por tratamento quatro amostras compostas por doze folhas recém maduras do último fluxo vegetativo nos quatro quadrantes (TEDESCO et al., 1995) e em altura mediana

da copa, as quais foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em caixas térmicas com gelo para determinação das variáveis: clorofila *a*, *b*, total e carotenóides seguindo a metodologia descrita por Lichtenthaler e Buschmann (2001), e carboidratos solúveis totais segundo Dubois et al. (1956).

No período de condução do experimento 5 (quatro dias após aplicação dos tratamentos), foram realizadas leituras para determinação das taxas de fotossíntese líquida (*A*), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*) concentração interna de CO₂ (*Ci*), *quenching* fotoquímico (*qP*), coeficiente de inibição não fotoquímica (*qN*) e eficiência instantânea de carboxilação (*Eic*) obtida através da relação fotossíntese líquida/Concentração interna de CO₂ (*A/Ci*), utilizando um analisador de gás por radiação infravermelho-IRGA (Mod. Li-COR® 6400 XT), acoplado com fluorímetro portátil de luz de frequência modulada. As leituras foram realizadas no dia 14/11/2017 em folhas maduras do último fluxo vegetativo, na altura mediana da copa, entre as 9:00 e 11:00 horas da manhã, 1500 μmol fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (fonte de luz artificial).

Para avaliar os efeitos dos tratamentos nas variáveis fitotécnicas, após o término dos 5 experimentos, no período de floração plena foi realizada a contagem de todas as panículas das plantas para a quantificação da uniformidade de floração, e uma semana antes da colheita foi determinado o número de frutos por panícula. A colheita foi realizada em três etapas, nos dias 12, 19 e 30/04/2018, quando os frutos se encontravam no estágio 2 de maturação, caracterizado pela coloração da polpa creme-amarelada (FILGUEIRAS et al., 2000), pesando-os para obtenção da produção (kg planta^{-1}) e da produtividade estimada (t ha^{-1}).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias. Posteriormente, foi realizada a análise de variância pelo teste 'F', e, a partir da significância, os níveis do fator extrato de algas foram comparados entre si. As concentrações de prolina e período de avaliação foram submetidas a análise de regressão. Todas as análises estatísticas seguiram as recomendações de Banzatto e Kronka (1995) usando os softwares R, versão 3.5.2 (R CORE TEAM, 2018) e Sigma Plot versão 10.0.

3.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Tabela 4, houve efeito aditivo do fator extrato de algas (EA) apenas para os teores de clorofila *a* no experimento 5, e carboidratos solúveis totais (CST) no experimento 1, na qual, os CST também foram positivamente afetados pela interação dos fatores extrato de algas e prolina (EA x Pro) no experimento 1.

Tabela 5: Síntese da análise de variância para os teores foliares de clorofila *a*, *b*, total, carotenóides e carboidrato solúveis totais em mangueira ‘Tommy Atkins’ em função do fornecimento de prolina e extrato de algas na fase de maturação de ramos.

Fontes de variação	Valor ‘F’				
	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila total	Carotenóides	Carboidratos solúveis totais
	-----mg g ⁻¹ MF-----			mg g ⁻¹ MF	μmol g ⁻¹ MF
Experimento 1					
E. de Algas (EA)	1,05 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,04 ^{ns}	5,68*
Ausência	1,41	0,51	1,92	0,59	134,14 a
Presença	1,28	0,56	1,84	0,60	127,69 b
Prolina (Pro)	2,12 ^{ns}	1,93 ^{ns}	2,92 ^{ns}	4,20*	154,99**
EA x Pro	2,22 ^{ns}	0,97 ^{ns}	2,25 ^{ns}	3,10*	88,20**
CV (%)	26,91	48,77	26,28	20,42	5,85
Experimento 2					
E. de Algas (EA)	2,82 ^{ns}	1,58 ^{ns}	3,84 ^{ns}	3,63 ^{ns}	1,12 ^{ns}
Ausência	1,41	0,49	1,90	0,59	133,59
Presença	1,61	0,54	2,16	0,66	121,36
Prolina (Pro)	1,12 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,16 ^{ns}
EA x Pro	0,18 ^{ns}	4,60 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,26 ^{ns}
CV (%)	22,02	23,79	17,99	0,0702	25,62
Experimento 3					
E. de Algas (EA)	0,06 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,20 ^{ns}	1,45 ^{ns}	2,44 ^{ns}
Ausência	1,61	0,61	2,12	0,61	159,69
Presença	1,62	0,57	2,20	0,66	134,59
Prolina (Pro)	1,08 ^{ns}	0,75 ^{ns}	1,65 ^{ns}	2,28 ^{ns}	1,65 ^{ns}
EA x Pro	1,69 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,60 ^{ns}	2,25 ^{ns}	0,85 ^{ns}
CV (%)	18,49	30,44	24,49	18,17	30,88
Experimento 4					
E. de Algas (EA)	3,06 ^{ns}	3,33 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Ausência	1,15	0,61	2,16	0,60	166,50
Presença	1,46	0,57	2,04	0,63	160,08
Prolina (Pro)	0,46 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,69 ^{ns}
EA x Pro	0,50 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,66 ^{ns}	2,01 ^{ns}
CV (%)	38,61	84,69	31,43	27,64	27,27
Experimento 5					
E. de Algas (EA)	7,03*	0,68 ^{ns}	0,27 ^{ns}	2,20 ^{ns}	3,85*
Ausência	1,43 b	0,61	2,04	0,47	211,91 a
Presença	1,74 a	0,69	2,43	0,55	185,02 b
Prolina (Pro)	1,24 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,46 ^{ns}	1,70 ^{ns}
EA x Pro	0,61 ^{ns}	1,49 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,33 ^{ns}
CV (%)	38,61	84,69	31,43	29,58	19,52

Coefficiente de variação; ns = não significativo; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * = significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Ao se analisar o experimento 1, o fornecimento de prolina e extrato de algas não promoveu efeitos significativos nos teores das clorofilas *a* e *b*, tendo estas apresentando comportamento inverso (Tabela 5), quando observados os teores obtidos na caracterização inicial da área (Tabela 3). Essa inversão refletiu de forma direta nos teores de clorofila total que também apresentaram decréscimo aos 14 dias após a redução da lâmina hídrica, o que pode ser atribuído ao impacto ocasionado pela imposição da redução de lâmina hídrica, uma vez que a lâmina utilizada era de 200 L planta⁻¹ e a mesma foi reduzida para 75 L planta⁻¹, correspondendo a uma redução de 62,5% do valor até então fornecido.

Segundo Tabot e Adams (2013) a redução nos níveis dos pigmentos fotossintéticos quando sob atuação de agentes estressores pode ser interpretada como uma resposta de aclimatação adotada por parte dos vegetais, na tentativa de conservar energia e, conseqüentemente, captar menos energia luminosa, evitando, dessa forma, eventuais estresses fotooxidativos.

Ao longo dos experimentos houve oscilações nos teores de clorofila, e uma explicação para esse resultado, se deve à conversão da clorofila *b* em clorofila *a* através de uma reação da enzima clorofila *a* oxigenase, que catalisa a conversão do grupo metil ao grupo aldeído, e de forma contrária, também ocorria a oxidação do grupo metil da clorofila *a* para um grupo aldeído, havendo a síntese de clorofila *b* (STREIT et al., 2005; SAWICKI et al., 2019).

Além disso, essas reações estão diretamente ligadas aos mecanismos de defesa das plantas como uma tentativa de manter um controle sobre a taxa de absorção da energia luminosa pela clorofila *b*, e posterior transferência para o centro de reação da clorofila *a*, mantendo o funcionamento regular da fase fotoquímica, etapa inicial do processo fotossintético (TAIZ et al., 2017).

Comparando-se os teores de clorofila *a* no experimento 5, a presença do extrato de algas foi responsável por promover respostas significativamente superior a ausência do mesmo, possivelmente pelo fato de que o extrato de algas marinhas possui em sua composição metabólitos secundários que quando fornecidos as plantas há um incremento dos seus níveis endógenos influenciando positivamente na síntese e proteção da clorofila (CARVALHO; CASTRO, 2014), como também das relações hídricas, fotossíntese, sistema de

defesa antioxidante, assimilação e particionamento de nutrientes e solutos orgânicos, melhorando o desempenho das culturas sob estresses abióticos (FAROOQ et al., 2009; FAROOQ et al., 2018).

Para os carotenóides, analisando a interação EA x Pro no experimento 1 (Figura 4B) é possível observar uma oscilação nos valores médios, ajustando-se ao modelo quadrático de regressão com resposta máxima estimada de 0,71 mg g⁻¹ MF na concentração de 0,484% (Presença de EA) e 0,72 mg g⁻¹ MF na concentração de 0,629% (Ausência de EA) (Figura 2).

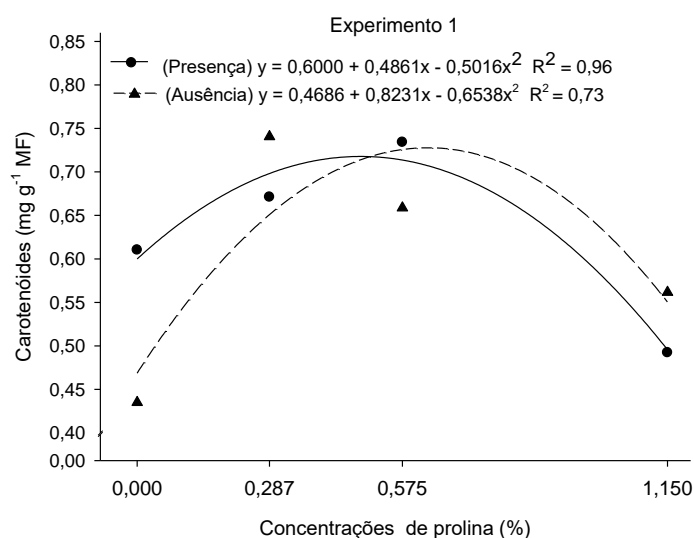


Figura 2: Teores foliares de carotenóides em função do fornecimento de prolina e extrato de algas em mangueira 'Tommy Atkins' na fase de maturação de ramos.

A partir das equações derivadas pôde-se perceber que as respostas obtidas foram bem próximas, no entanto, com o uso do extrato de algas a concentração de prolina requerida para tal cenário, foi menor. O valor médio observado para as plantas tratadas somente com o extrato de algas, sem associação com prolina, foi 41,86% superior em comparação com a testemunha absoluta (Figura 2). Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que as plantas se encontravam a 14 dias sob redução de lâmina hídrica, e o estresse hídrico tende a provocar a desaceleração na produção de pigmentos fotossintéticos, induzida pela degradação de β - caroteno, refletindo assim, na redução dos teores de carotenóides (GOMES et al., 2011).

Os teores de CST sofreram influência significativa do fator EA com médias superiores obtidas em plantas tratadas somente com prolina (Tabela 5), especialmente porque a prolina está envolvida na proteção de estruturas celulares e cloroplastos (MOUSTAKAS et al., 2011), e conseqüentemente na manutenção dos pigmentos fotossintéticos, como os carotenoides, durante a fase de estresse. A proteção concedida aos pigmentos fotossintéticos reflete diretamente na produção de açúcares bem como seu acúmulo nas folhas, de onde posteriormente serão transportados para as regiões de crescimento (ZHEN-HUA et al., 2012).

A influência da prolina nos teores CST, experimento 1, fica melhor evidenciada quando analisada a interação entre os fatores EA x Pro (Tabela 1). As concentrações de 0,287% e 1,150% de prolina na presença do extrato de algas apresentaram valores médios superiores e estatisticamente diferentes das demais, variando de 115,36 a 138,47 $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF (Figura 3). Adicionalmente, na ausência do extrato de algas a concentração de 1,150% de prolina diferiu das demais, apresentando uma diferença percentual de 144% em relação a testemunha absoluta.

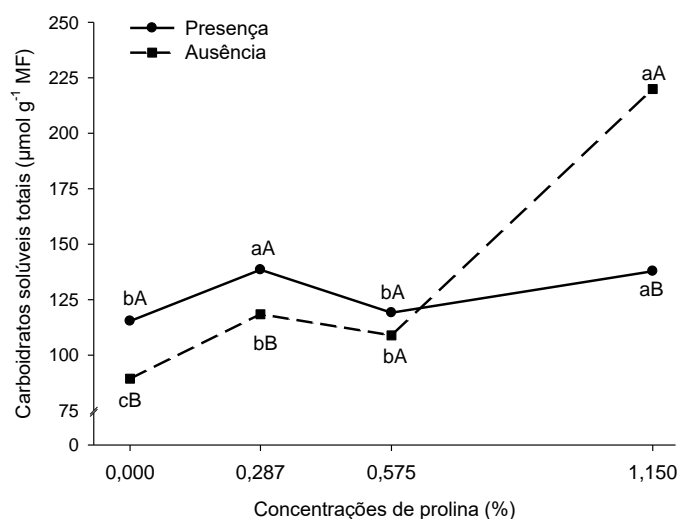


Figura 3: Teores foliares de carboidratos solúveis totais, no experimento 1, em função do fornecimento de prolina em mangueira ‘Tommy Atkins’ na fase de maturação de ramos.

Letras minúsculas, comparam a presença e ausência de *Ascophyllum nodosum*, individualmente, em função das concentrações de prolina. Letras maiúsculas comparam presença e ausência do extrato de algas dentro de cada concentração de prolina, de forma isolada. Letras iguais não diferem entre si pelo teste ‘F’.

Ao se comparar a presença e ausência do extrato de algas dentro de cada concentração de prolina, todas as concentrações, exceto a de 0,575%, apresentaram diferença significativa, destacando-se que o fornecimento de 1,150% para as plantas não tratadas incrementou em 60% os teores de CST em relação às plantas tratadas, na mesma concentração, decorridos 14 dias após a redução da lâmina hídrica (Figura 3).

Os carboidratos solúveis são essenciais para mitigar o estresse sofrido pelas plantas, promovendo o ajustamento osmótico e conferindo resistência à dessecação das células, mantendo o turgor das mesmas, que estão em baixo potencial hídrico (HASSANEIN et al., 2009). Nessas condições, os níveis de prolina endógena são acompanhados por um aumento na concentração de carboidratos solúveis, açúcares que assumem a função de regular a síntese e a degradação da prolina controlando a sua homeostase (BALIBREA et al., 1997; KAVI KISHOR; SREENIVASULU, 2014), e conseqüentemente favorecendo a produção de mais carboidratos, fundamentais na manutenção e formação de estruturas vegetativas e reprodutivas das plantas de mangueira.

Conforme se pode verificar na Figura 3 os menores teores de CST obtidos na testemunha absoluta foram 42,35% inferiores em relação a caracterização inicial da área (Tabela 3), sendo este um dos efeitos nocivos provocado pela imposição do estresse hídrico, na qual sob tais condições as plantas tendem a diminuir a produção de fotoassimilados e por fim consumir o que já tem armazenado (ALMEIDA et al., 2015). Redução nos teores de CST em plantas de manga sob estresse hídrico, também foi verificado por Helaly et al. (2017) nas cultivares Ewaise, Hindy, Misk Ewaise e Fagri Kalan.

Diante disso, fica evidenciada a importância do fornecimento de prolina no período inicial da redução de lâmina hídrica, tendo em vista a mitigação do estresse hídrico e o acúmulo de CST. É primordial que os teores de CST se mantenham em níveis ideais, pois mesmo que a prolina em situações de estresse contribua mais substancialmente para o ajustamento osmótico, é provável que a soma destes solutos compatíveis acumulados nas células tenda a exercer uma proteção mais efetiva a estrutura celular, do que qualquer um deles sozinho (VERSLUES; SHARMA, 2010). Todavia, resultados que demonstram a influência dos teores de CST no ajustamento osmótico,

beneficiados pelo fornecimento de prolina em plantas de mangueira quando em condições de estresse hídrico, ainda são escassos na literatura.

Apesar disso, em estudo realizado com a cultura do sorgo sob estresse salino, Freitas et al. (2019) observaram que o fornecimento de 30 mM de prolina foi responsável pela elevação dos teores de CST em comparação com o tratamento controle, e tal resultado se deve a atuação da prolina como esqueleto de carbono favorecendo a síntese de outras moléculas osmoticamente ativas e compostos nitrogenados resultando no acúmulo de CST e mitigando os efeitos nocivos da exposição ao estresse.

Para o fator extrato de algas, verificou-se uma leve redução nos teores de CST quando observadas as avaliações dos experimentos 1 e 2, no entanto, posteriormente esses teores aumentaram gradativamente com a progressão do estresse, sendo afetados significativamente no experimento 5 (Tabela 5). Destaca-se a influência positiva da prolina exógena aos 42 dias após a redução da lâmina hídrica (Experimento 5), que de uma forma geral proporcionou os maiores teores de CST antecedendo uma semana do início da indução floral, como consta na Tabela 4. Em contraposição, Prasad et al. (2014) avaliando as mangueiras cv. Totapuri e Royal Special, registraram uma redução nos teores foliares de carboidratos em ambas as cultivares próximo ao período de indução floral, no entanto, as plantas se encontravam sob condições de chuva.

Conforme Davenport (2007), os carboidratos quando acumulados em quantidades ideais nas folhas podem fornecer a energia necessária para o desenvolvimento reprodutivo, principalmente na formação das inflorescências. Em adição, Phavaphutanon (2000) relata que o metabolismo dos carboidratos fornece energia na forma de ATP, além de agentes redutores e compostos intermediários que auxiliam na assimilação do NO_3^- , desta forma, possuem funções importantes no desenvolvimento da mangueira, especialmente no período de floração.

A imposição do estresse hídrico aliado as elevadas temperaturas registradas na região semiárida, bem como o uso de PBZ como um inibidor da biossíntese de giberelina, promovem a redução da emissão de fluxos vegetativos e uma maturação de ramos mais uniforme com conseqüente aumento no acúmulo de carboidratos (ALBUQUERQUE et al., 2002). Com base nos resultados do presente estudo, sugere-se que, atrelado às práticas supracitadas,

o fornecimento de prolina surge como uma alternativa para promover uma maior estabilidade e concentração de CST.

Por outro lado, Cavalcante et al. (2018) observaram maiores concentrações de CST em plantas de mangueira cv. Palmer tratadas com *A. nodosum* no período de indução floral e na região do Vale do São Francisco, sendo este um resultado contrário aos obtidos no presente estudo em que plantas tratadas apenas com prolina apresentaram teores de CST significativamente superior, indicando que as respostas produzidas pelo fornecimento de prolina e extrato de algas variam de cultivar para cultivar.

Conforme se pode observar na Tabela 6, houve interação significativa entre os fatores EA x Pro para as variáveis fotossíntese líquida (*A*), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*) e coeficiente de inibição não fotoquímica (*qN*). A fotossíntese líquida (*A*), condutância estomática (*B*) e a transpiração (*C*), na ausência EA ajustaram-se ao modelo de regressão 'peak', apresentando um padrão de distribuição de dados diretamente proporcional (Figura 4); em contrapartida, na presença do EA os dados não se ajustaram a nenhum modelo de regressão, porém apresentaram variação entre 2,32 e 4,54 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; 0,01 e 0,04 $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; 0,95 e 2,51 $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente.

Tabela 6: Síntese da análise de variância para fotossíntese líquida instantânea (*A*), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), concentração interna de CO_2 (*Ci*), eficiência instantânea de carboxilação (*Eic*), quenching fotoquímico (*qP*) e coeficiente de inibição não fotoquímica (*qN*) em plantas de mangueira 'Tommy Atkins' em função do fornecimento de prolina e extrato de algas na fase de maturação de ramos.

F.V	Valor 'F'						
	<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>Ci</i>	<i>Eic</i>	<i>qP</i>	<i>qN</i>
E. Algas (EA)	0,18 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,04 ^{ns}	4,57*	4,74 ^{ns}	0,004 ^{ns}	1,43 ^{ns}
Ausência	3,46	0,02	1,63	170,64 a	0,027	0,22	1,85
Presença	3,62	0,02	1,65	132,33 b	0,020	0,22	1,75
Prolina (Pro)	3,76*	1,55 ^{ns}	4,39*	1,42 ^{ns}	3,49 ^{ns}	0,29 ^{ns}	1,28 ^{ns}
EA x Pro	16,51**	5,94**	15,04**	0,97 ^{ns}	1,90 ^{ns}	0,51 ^{ns}	4,92*
CV %	29,82	47,52	29,46	33,45	47,47	33,44	12,46

Coeficiente de variação; ns = não significativo; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * = significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$). *A* – $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; *gs* - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; *E* - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. *Ci* - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; *Eic* [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})$]⁻¹.

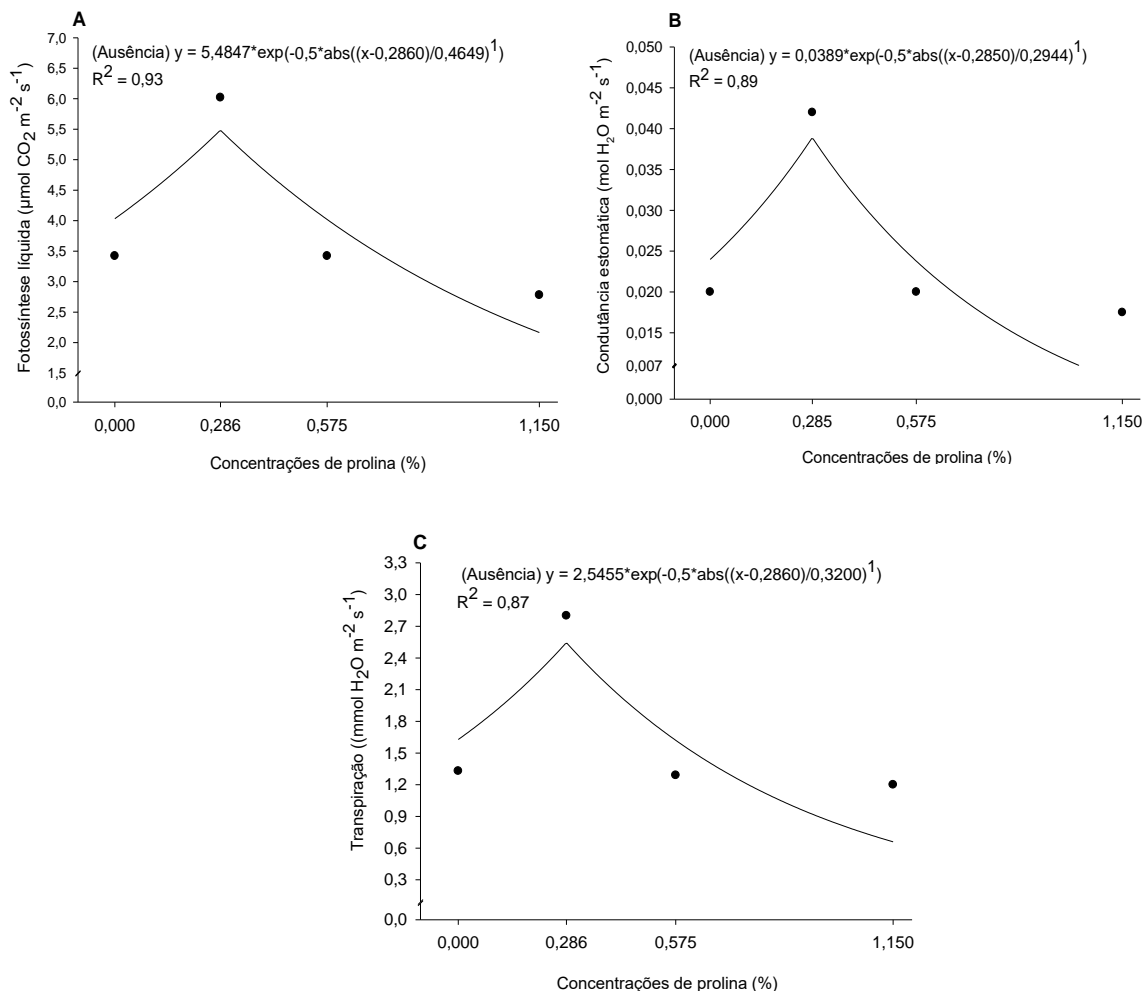


Figura 4: Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (B) e transpiração (C) em plantas de mangueira ‘Tommy Atkins’ em função do fornecimento de prolina e extrato de algas na fase de maturação de ramos.

Independentemente da variável, os valores médios observados foram superiores para a concentração de 0,287% de prolina (Figura 4), e esse resultado demonstra a eficiência do fornecimento de prolina, que é capaz de promover a estabilidade da cadeia transportadora de elétrons nas mitocôndrias (HAMILTON; HECKANTHON, 2001), aumentando as atividades de enzimas, como a Rubisco (KAUSHAL et al., 2011) proporcionando incrementos nos atributos fotossintéticos. Estes incrementos estão relacionados com a manutenção do turgor celular através do acúmulo de prolina no citosol, promovendo a manutenção do balanço hídrico dentro da planta, sob condições de estresse hídrico (KHAN et al., 2015).

THAKUR et al. (1988) reportam que a prolina desestabiliza a ligação do ácido abscísico com proteínas específicas nas membranas das células guarda,

assim, em quantidades ideais favorece o conteúdo de potássio nas membranas das células guarda, o que é essencial para manter os estômatos abertos levando ao aumento da condutância estomática bem como da fotossíntese líquida e da transpiração (ASHRAF; FOOLAD, 2007).

Entretanto no presente estudo, as concentrações de prolina de 0,575% e 1,150% provocaram efeito contrário quando comparadas às plantas submetidas ao fornecimento da concentração de 0,287%. Em virtude disso, salienta-se que teores endógenos de prolina que ultrapassem uma concentração máxima necessária, que difere de espécie para espécie, podem ocasionar um efeito disruptivo nas membranas dos cloroplastos, e conseqüentemente as trocas gasosas também são afetadas (HARE et al., 2002).

Nesse segmento, Silva et al. (2018) relatam que a aplicação de altas concentrações de prolina pode resultar em efeitos diferentes dos níveis endógenos desse aminoácido. Segundo Hare et al. (2002) o fornecimento de prolina em excesso, compromete a integridade das organelas, mitocôndrias e cloroplastos, resultando em incrementos significativos das EROs, e tais efeitos destrutivos são atribuídos à inibição por feedback da biossíntese de prolina, causando considerável redução nos pools de receptores de elétrons fotossintéticos.

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) é uma EROs nociva aos componentes celulares, desempenhando papel importante como mensageiro em plantas sob estresse hídrico induzindo o fechamento estomático (VANLERBERGHE et al., 2016). Embora reduza a perda de água foliar, há uma restrição na difusão de CO_2 na folha, afetando diretamente a atividade da Rubisco e conseqüentemente o ciclo de Calvin Benson, diminuindo a demanda por NADPH e ATP, causando um aumento potencial de desequilíbrios energéticos no cloroplasto (VANLERBERGHE et al., 2016).

Contudo, diante dos resultados presentes na Tabela 6 plantas tratadas somente com prolina exógena foram afetadas significativamente e apresentaram uma maior concentração interna de CO_2 , no qual este aminoácido tende a manter o turgor celular adequado facilitando a assimilação de CO_2 em função da condutância estomática. Como citado anteriormente, no presente estudo, a concentração de 0,287%, aproximadamente 10 mM de prolina, proporcionou uma condutância estomática superior as demais avaliadas, corroborando com

ALYEMENI et al. (2014) onde o fornecimento de 10 mM de prolina em plantas de Grão-de-bico, manteve um suprimento constante de CO₂ aumentando a condutância estomática como também a capacidade fotossintética e eficiência das plantas.

Em virtude dos resultados, uma vez que as plantas de mangueira apresentam metabolismo respiratório C₃ (KERBAUY, 2004) necessitando de uma constante captação de CO₂ presente no mesófilo foliar através da ação da Rubisco, avaliando de maneira geral as plantas tratadas apenas com prolina, sugere-se que a aplicação desse aminoácido, principalmente em concentrações mais baixas (0,287%) favorece a manutenção da abertura estomática e uma consequente concentração interna de CO₂.

As moléculas de CO₂ fixadas entram diretamente no ciclo de Calvin Benson ocorrendo uma posterior rede de reações bioquímicas resultando na geração de carboidratos (KERBAUY, 2004; TAIZ et al., 2017). Além disso, uma adequada concentração interna de CO₂ em plantas metabolismo respiratório C₃ evita que ocorra o processo de fotorrespiração através do consumo de O₂ e a perda de CO₂ já fixado (TAIZ et al., 2017) impedindo um gasto razoável de energia e nutrientes, em um momento crucial do acúmulo de reservas, precedente ao florescimento. Mesmo possuindo uma relação próxima com a concentração interna de CO₂, a eficiência instantânea de carboxilação (Eic) não foi influenciada pelos fatores Pro e EA (Tabela 6).

O *quenching* fotoquímico (qP) não sofreu influência aditiva nem conjunta de ambos os fatores avaliados, e dessa forma foram observadas médias iguais (0,22) para ambos os níveis do fator EA (Tabela 6). Esta variável refere-se a proporção de centros de reação do PSII que estão abertos, ou seja, é a dissipação (extinção) causada pelo processo fotoquímico, no uso da energia para a redução do NADP (MAXWELL; JOHNSON 2000), e os resultados do presente estudo indicam que os centros de reação estavam fechados na mesma proporção, ou seja, a redução da Qa (quinona a) estava ocorrendo de forma similar para todas as plantas durante a fase fotoquímica (BOLHÀR-NORDENKAMPF; ÖQUIST, 1993).

Urban et al. (2008) avaliando plantas de mangueira cv. Cogshal submetidas a iluminações constantes na fase de floração, obtiveram valores de qP entre 0,20 a 0,72. De forma semelhante, Jutamanee e Onom. (2016)

avaliando plantas de mangueira cv. Nam Dok Mai também na fase de floração e expostas a condições de alta radiação solar encontraram valores que variaram de 0,20 a 0,70.

Para URBAN et al. (2008), valores mais baixos de qP são atribuídos a danos ocorridos nos centros de reação de PSII provocando a fotoinibição, comum em plantas sob estresse hídrico, ou a redução na taxa de consumo de redutores e ATP produzidos por transporte de elétrons não cíclicos em relação à taxa de excitação de centros abertos de PSII. Em contraposição, um valor de qP mais alto é vantajoso para a separação da carga elétrica no centro de reação e é benéfico para o transporte de elétrons e rendimento de PSII (JUTAMANEE; ONOM, 2016).

De forma contrária ao qP, o qN (coeficiente de inibição não fotoquímica) foi influenciado pela interação dos fatores EA x Pro, porém, os dados obtidos na presença do EA em função das concentrações de prolina apresentaram comportamento quadrático com resposta máxima de 1,96 na concentração de 0,604% de prolina, enquanto na ausência do EA os dados foram influenciados de forma linear (Figura 5). O qN é um dos principais processos que regulam a distribuição da energia de excitação no centro de reação do PSII em um nível aceitável, dependendo da intensidade luminosa e de outras condições, logo, uma grande fração das excitações no sistema de antenas é eliminada por sua conversão em calor (TAIZ et al., 2017).

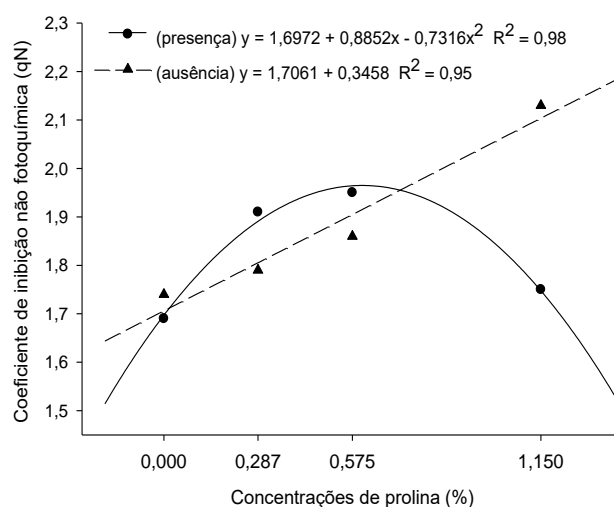


Figura 5: Coeficiente de inibição não fotoquímica (qN) em plantas de mangueira 'Tommy Atkins' em função do fornecimento de prolina e extrato de algas.

Nas plantas tratadas somente com prolina (sem extrato de alga) a dissipação de energia por processos não fotoquímicos (qN) se tornou mais eficiente à medida que se aumentou as concentrações de prolina, na qual a concentração de 1,150% apresentou valor médio observado de 2,1 sendo 26% superior a testemunha absoluta. CAO et al. (2018) relatam que uma maior qN, é benéfico para a liberação de energia extra, fortalecendo a resistência das membranas tilacóides à lesão como as provocadas pela restrição de água para as plantas, condicionando também uma alta proteção da clorofila através da dissipação térmica, suprimindo ativamente a fotoinibição.

Ao se observar a síntese da análise de variância para as variáveis fitotécnicas (Tabela 7), o fator extrato de algas exerceu efeito significativo individual somente para a uniformidade de floração. As plantas que foram submetidas ao fornecimento do extrato de algas a base de *A. nodosum* apresentaram melhor uniformidade de floração, com superioridade de 81,96%. As demais variáveis não sofreram influência de nenhum dos fatores estudados.

Tabela 7: Síntese da análise de variância para uniformidade de floração, frutos panícula⁻¹, produção e produtividade em plantas de mangueira 'Tommy Atkins' em função do fornecimento de prolina e extrato de algas.

Fonte de Variação	Valor 'F'			
	Uniformidade de floração %	Frutos panícula ⁻¹	Produção Kg planta ⁻¹	Produtividade t ha ⁻¹
E. Algas (EA)	58,57**	3,39 ^{ns}	1,89 ^{ns}	1,89 ^{ns}
Ausência	26,67 b	1,56	65,15	10,16
Presença	48,53 a	1,91	78,96	12,31
Prolina (P)	1,98 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,39 ^{ns}
EA x P	2,72 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,52 ^{ns}
CV%	21,54	29,53	39,43	39,43

Coeficiente de variação; ns = não significativo; ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * = significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Para Avilan e Alvarez (1990), os hormônios presentes no extrato de algas como auxinas, giberelinas, citocininas e etileno influenciam diretamente na indução floral da mangueira. Segundo Mouco (2008), esses hormônios exercem a função de integrar fatores ambientais e intrínsecos as plantas, tais como assimilados, nutrientes e disponibilidade de água, inibindo ou estimulando sinais que influenciam a floração de forma quantitativa.

Além disso, o extrato de algas (*Ascophyllum nodosum*) apresenta em sua constituição componentes orgânicos e inorgânicos essenciais para a manutenção das atividades metabólicas das células, principalmente em períodos de condições adversas (SILVA et al., 2016), podendo ainda influenciar no aumento dos teores de metionina que é um aminoácido precursor do etileno que por sua vez atua diretamente no processo de florescimento (SILVA, 2007). Outro ponto a ser destacado é que possivelmente em virtude da precipitação acumulada durante o período de florescimento os teores de prolina livre reduziram, e a atuação conjunta dos componentes do extrato de algas (citados anteriormente) foi mais efetiva.

A superioridade na uniformidade de floração proporcionada pelo extrato de alga não se refletiu em um incremento significativo de produtividade, o que pode ser atribuído aos mesmos tratos culturais realizados nas plantas do experimento, independentemente dos tratamentos. Destaca-se a necessidade de realização de manejo hídrico e nutricional proporcional ao florescimento registrado no tratamento.

Mesmo sem apresentar diferença significativa, convém ressaltar que a produtividade das plantas tratadas com extrato de algas foi 21,16% superior quando comparada as plantas não tratadas, além de que as 12,31 t ha⁻¹ obtidas foram 33,08% superior ao tratamento realizado pela fazenda (9,25 t ha⁻¹) no mesmo talhão da área experimental.

Mohamed et al. (2013) avaliando os benefícios do uso de extrato de algas a base de *A. nodosum* durante os anos de 2010 e 2011 em mangueira Hindy Bisinnara, identificaram uma maior retenção de frutos com consequente produtividade média de 39,71 e 40,8 t ha⁻¹, respectivamente, sendo estes valores 23,22 e 23,68% superiores em comparação as plantas do tratamento controle.

Diante dos resultados do presente trabalho, fica evidenciado que o fornecimento de prolina, em concentrações adequadas, assim como o extrato de algas a base de *A. nodosum*, são potenciais moléculas capazes de promoverem respostas satisfatórias com incrementos no florescimento e produtividade da cultura da mangueira cultivada no semiárido.

4.0. CONCLUSÃO

Diante das condições nas quais os experimentos foram realizados, pode-se concluir que o fornecimento de prolina e extrato de algas a base de *Ascophyllum nodosum* promove respostas distintas nas variáveis fisiológicas e produtivas da mangueira 'Tommy Atkins', obtendo-se incrementos significativos principalmente nos teores de carboidratos solúveis totais, fotossíntese líquida, condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO₂, eficiência instantânea de carboxilação, coeficiente de inibição não fotoquímica e florescimento. Recomenda-se o uso de prolina e extrato de algas durante a fase de maturação de ramos com vista no aumento da tolerância aos efeitos depressivos do déficit hídrico sobre as características produtivas da mangueira cultivada em regiões semiáridas.

5.0. REFERÊNCIAS

- ABDELHAMID, M. T.; RADY, M. M.; OSMAN, A. S.; ABDALLA, M. A. Exogenous application of proline alleviates salt induced oxidative stress in *Phaseolus vulgaris* L. Plants, **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v. 88, n. 4, p. 439–446, 2013.
- ALBUQUERQUE, J. A. S.; MEDINA, V. D.; MOUCO, M. A. C. Indução floral. In: GENÚ, P. J. C.; PINTO, C. A. Q. (Ed.). **A cultura da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 259-276, 2002.
- ALMEIDA, E. I. B.; CELIN, E. F.; FREIRE, A. G.; LACERDA, C. F.; BEZERRA, M. A. MESQUITA, R. O. Ecofisiologia de mangueiras "Tommy Atkins" submetidas a diferentes regimes hídricos e disponibilidade de luz, **Revista Agro@mbiente Online**, v. 9, n. 3, p.251-260, 2015.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALYEMENI, M. N.; HAYAT, S.; HAYAT, Q. Changes of photosynthesis and nitrogen metabolism in *Cicer arietinum* L. grown in the presence of foliar-applied proline. **Agrochimica**, v. 58, n. 4, p. 321-334, 2014.
- ASHRAF, M. F. M. R.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress, resistance, **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, n. 2, p. 206-216, 2007.
- AVILAN, L. A. R.; ALVAREZ, C. R. **El mango** (*Mangifera Indica* L.), 1990, 410p.
- BALIBREA, M. E.; RUS-ALVAREZ, A. M.; BOLARIN, M. C.; PEREZ-ALFOCEA, F. Fast changes in soluble carbohydrates and proline contents in tomato

seedlings in response to ionic and non-ionic iso-osmotic stresses. **Journal of Plant Physiology**, v. 151, n. 2, p. 221-226, 1997.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**, 3ª ed, Jaboticabal: FUNEP, 1995, 247p.

BHASKARA, G. B.; YANG, T. H.; VERSLUES, P. E. Dynamic proline metabolism: importance and regulation in water limited environments, **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 484, 2015.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; ÖQUIST, G. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: HALL, D. O.; SCURLOCK, J. M. O.; BOLHÀR NORDENKAMPF, H. R.; LEEGOOD, R.C.; LONG, S. P. (Eds.), **Photosynthesis and Production in a Changing Environment: a Field and Laboratory Manual**. Chapman and Hall, London, p. 193–206, 1993.

CAO, X.; ZHU, C.; ZHONG, C.; HUSSAIN, S.; ZHU, L.; WU, L.; JIN, Q. Mixed-nitrogen nutrition-mediated enhancement of drought tolerance of rice seedlings associated with photosynthesis, hormone balance and carbohydrate partitioning. **Plant Growth Regulation**, v. 84, n. 3, p. 451-465, 2018.

CARVALHO, M. E. A.; CASTRO, P. R. C. **Extratos de algas e suas aplicações na agricultura**, Série Produtor Rural, v. 56, p. 58p, 2014.

CAVALCANTE, Í. H. L.; SANTOS, G. N. F.; SILVA, M. A.; MARTINS, R. S.; LIMA, A. M. N.; MODESTO, P. I. R.; ALCOBIA, A. M.; SILVA, T. R. S.; AMARIZ, R. A.; BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z. A new approach to induce mango shoot maturation in Brazilian semi-arid environment. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 91, p. 281-286, 2018.

DAVENPORT, T. L. Reproductive physiology of mango. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, n. 4, p. 363-376, 2007.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances, **Analytical Chemistry**, v. 28, ed. 3, p. 350-356, 1956.

FAROOQ, M.; NADEEM, F.; ARFAT, M. Y.; NABEEL, M.; MUSADAQ, S.; CHEEMA, S. A.; NAWAZ, A. Exogenous application of allelopathic water extracts helps improving tolerance against terminal heat and drought stresses in bread wheat (*Triticum aestivum* L. Em. Thell.). **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 204, n. 3, p. 298-312, 2018.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In: **Sustainable agriculture**, Springer, Dordrecht, p. 153-188. 2009.

FILGUEIRAS, H. A. C. Colheita e manuseio pós-colheita, In: FILGUEIRAS, H. A. C.; CUNHA, A. (Org), **Frutas do Brasil: Manga Pós-colheita**, Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, p. 22-25, 2000.

FREITAS, P. A. F.; CARVALHO, H. H.; COSTA, J. H.; MIRANDA, R. S.; SARAIVA, K. D. C.; OLIVEIRA, F. D. B.; COELHO, D. G.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Salt acclimation in sorghum plants by exogenous proline: physiological and biochemical changes and regulation of proline metabolism. **Plant Cell Reports**, p. 1-14, 2019.

- GENÚ, P. J. C.; PINTO, A. C. Q. (Ed.) **A cultura da mangueira**, Brasília: EMBRAPA, p. 452, 2002.
- HAMILTON, E. W.; HECKATHORN, S. A. Mitochondrial adaptation to NaCl, Complex I is protected by anti oxidants and small heat shock proteins, where as complex II is protected by proline and betaine. **Plant Physiology**, v. 126, p. 1266–1274, 2001.
- HARE, P. D.; CRESS, W. A.; VAN STADEN, J.; BOTHA, C. E. J. Disruptive effects of exogenous proline on chloroplast and mitochondrial ultrastructure in *Arabidopsis* leaves. **South African journal of botany**, v. 68, n. 3, p. 393-396, 2002.
- HASSANEIN, R. A.; BASSUONY, F. M.; BARAKA, D. M.; KHALIL, R. R. Physiological effects of nicotinamide and ascorbic acid on *Zea mays* plant grown under salinity stress, 1-Changes in growth, some relevant metabolic activities and oxidative defense systems. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 5, n. 1, p. 72-81, 2009.
- HELALY, M. N.; EL-HOSEINY, H.; EL-SHEERY, N. I.; RASTOGI, A.; KALAJI, H. M. Regulation and physiological role of silicon in alleviating drought stress of mango. **Plant physiology and biochemistry**, v. 118, p. 31-44, 2017.
- JUTAMANEE, K.; ONNOM, S. Improving photosynthetic performance and some fruit quality traits in mango trees by shading. **Photosynthetica**, v. 54, n. 4, p. 542-550, 2016.
- KAUR, G.; ASTHIR, B. Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance. **Biologia plantarum**, v. 59, n. 4, p. 609-619, 2015.
- KAUSHAL, N.; GUPTA, K.; BHANDHARI, K.; KUMAR, S.; THAKUR, P.; NAYYAR, H. Proline induces heat tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) plants by protecting vital enzymes of carbono and antioxidative metabolism. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 17, p. 203–213, 2011.
- KAVI KISHOR, P. B.; SREENIVASULU, N. Is proline accumulation per se correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue? **Plant, cell & environment**, v. 37, n. 2, p. 300-311, 2014.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.
- KHAN, A.; SHAHEEN, F.; AHMAD, K.; KHAN, Z. I.; SHAH, A.; NAWAZ, H. Amelioration of adverse effects of salt stress in okra (*Hibiscus esculentus* L.) by foliar application of proline. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v. 15, n. 11, p. 2170-2179, 2015.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**, São Carlos: Rima, p, 531, 2000.
- LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy, **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, v.11, p. 431-438, 2001.
- LOPES, P. R. C.; HAJI, F. N. P.; MOREIRA, A. N.; MATTOS, M. A. A. Normas técnicas e documentos de acompanhamento da Produção Integrada de Manga. **Embrapa Semi-Árido**, Petrolina, v. 183, p. 72, 2003.

- MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. **Journal of experimental botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.
- MOHAMED, A. Y.; EL-SEHRAWY, O. A. M. Effect of seaweed extract on fruiting of Hindy Bisinnara mango trees. **Journal of American Science**, v. 9, n. 6, p. 537-544, 2013.
- MORALES-PAYAN, J. P. Effects of an agricultural extract of the brown alga, *Ascophyllum nodosum* (Phaeophyceae), on mango, *Mangifera indica* (Anacardiaceae), grown for transplants in the nursery1. **Life: The Excitement of Biology**, v. 1, n. 2, p.111-117, 2013.
- MOUCO, M. A. C. **Manejo da floração de mangueiras no semi-árido do nordeste brasileiro com inibidores da síntese de giberelinas**. 2008. 107f, Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu, SP, 2008.
- MOUSTAKAS, M.; SPERDOULI, I.; KOUNA, T.; ANTONOPOULOU, C. I.; THERIOS, I. Exogenous proline induces soluble sugar accumulation and alleviates drought stress effects on photosystem II functioning of Arabidopsis thaliana leaves. **Plant Growth Regulation**, v. 65, n. 2, p. 315, 2011.
- PHAVAPHUTANON, L.; KRISANAPOOK, K.; PICHAKUM, A.; JUTAMANEE, K. Changes of total non-structural carbohydrates within shoots of 'Nam Dok Mai'mango after paclobutrazol application, In: **VI International Symposium on Mango 509**, 1999, p. 559-566.
- PRASAD, S. R. S.; REDDY, Y. T. N.; UPRETI, K. K.; RAJESHWARA, A. N. Studies on changes in carbohydrate metabolism in regular bearing and "off" season bearing cultivars of mango (*Mangifera indica* L.) during flowering. **International Journal of Fruit Science**, v.14, p.437-459, 2014.
- R CORE TEAM. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 3 de maio de 2018.
- RAMIREZ, F.; DAVENPORT, T. L. Mango (*Mangifera indica* L.) pollination: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 203. p.158-168, 2016.
- SAWICKI, A.; WILLOWS, R. D.; CHEN, M. Spectral signatures of five hydroxymethyl chlorophyll *a* derivatives chemically derived from chlorophyll *b* or chlorophyll *f*. **Photosynthesis Research**, p. 1-13, 2019.
- SILVA, C. C.; ARRAIS, I. G.; ALMEIDA, J. P. N.; DANTAS, L. L. G. R.; SILVA, F. S. O.; MENDONÇA, V. Extrato da alga *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis na produção de porta-enxertos de *Annona glabra* L. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39. n. 2, p. 234-241, 2016.
- SILVA, C. M. G.; REBOUÇAS, S. J. A.; SILVEIRA, V. A. E.; MATSUMOTO, S. N.; HOJO, R. N. T. Florescimento e frutificação de mangueira (*Mangifera indica* L.) cv. Rosa promovidos por diferentes doses de Paclobutrazol. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, p. 209-212, 2007.
- SILVA, D. J.; QUAGGIO, J. A.; PINTO, P. A. C.; PINTO, A. C. Q.; MAGALHÃES, A. F. J. Nutrição e adubação. In: GENU. P. J. C.; PINTO. C. A.

Q. (Ed.). **A cultura da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. p.191-222, 2002.

SILVA, F. L. B.; VIEIRA, L. G. E.; RIBAS, A. F.; MORO, A. L.; NERIS, D. M.; PACHECO, A. C. Proline accumulation induces the production of total phenolics in transgenic tobacco plants under water deficit without increasing the G6PDH activity. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 30, n. 3, p. 251-260, 2018.

SIQUEIRA, K. M. M.; KIILL, L. H. P.; MARTINS, C. P.; LEMOS, I. B.; MONTEIRO, S. P.; FEITOZA, E. D. Estudo comparativo da polinização de *Mangifera indica* L. em cultivo convencional e orgânico na região do Vale do Submédio do São Francisco. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 303-310, 2008.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W. D.; HECKTHEUER, L. H. H. The chlorophylls. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

TABOT, P. T.; ADAMS, J. B. Ecophysiology of salt marsh plants and predicted responses to climate change in South Africa. **Ocean & coastal management**, v. 80, p. 89-99, 2013.

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

THAKUR, P. S.; THAKUR, A.; RAI, V. K. Reversal of stomatal closure in *Commelina communis* L. by exogenous amino acids and their interaction with stress and abscisic acid. **Biochemie und Physiologie der Pflanzen**, v. 183, n. 1, p. 37-43, 1988.

UPRETI, K. K.; REDDY, Y. T. N.; PRASAD, S. R. S.; BINDU, G. V.; JAYARAM. H. L.; RAJAN, S. Hormonal changes in response to Paclobutrazol induced early flowering in mango cv. Totapuri. **Scientia Horticulturae**, v. 150, p. 414-418, 2013.

URBAN, L.; JEGOUZO, L.; DAMOUR, G.; VANDAME, M.; FRANÇOIS, C. Interpreting the decrease in leaf photosynthesis during flowering in mango. **Tree physiology**, v. 28, n. 7, p. 1025-1036, 2008.

VANLERBERGHE, G. C.; MARTYN, G. D.; DAHAL, K. Alternative oxidase: a respiratory electron transport chain pathway essential for maintaining photosynthetic performance during drought stress. **Physiologia plantarum**, v. 157, n. 3, p. 322-337, 2016.

VERSLUES, P. E.; SHARM, S. Proline metabolism and its implications for plant-environment interaction. **The Arabidopsis Book/American Society of Plant Biologists**, v. 8, 2010.

ZHEN-HUA, Z. H. A. N. G.; QIANG, L. I. U.; HAI-XING, S. O. N. G.; XIANG-MIN, R. O. N. G.; ISMAIL, A. M. Responses of different rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to salt stress and relation to carbohydrate metabolism and chlorophyll content. **African Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 1, p. 19-27, 2012.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fornecimento de prolina associada ao extrato de algas a base de *Ascophyllum nodosum* afetaram de forma distinta as variáveis fisiológicas e bioquímicas avaliadas no presente estudo, porém o impacto positivo deve ser ressaltado uma vez que incrementos significativos foram obtidos em função da atuação de ambos os fatores, em conjunto ou de forma isolada. Mesmo assim, faz-se necessário a realização de mais estudos para a confirmação da importância do uso dessas moléculas no ciclo produtivo da mangueira cultivada no semiárido, durante a fase de redução da lâmina hídrica.