



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE
SANTANA**



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS
VEGETAIS – PPGRGV**

ROBSON DE JESUS SANTOS

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE *Talinum fruticosum* (L.) Juss.
EM DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

ROBSON DE JESUS SANTOS

**ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE *Talinum fruticosum* (L.) Juss.
EM DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Estadual de Feira de Santana como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Genéticos Vegetais.

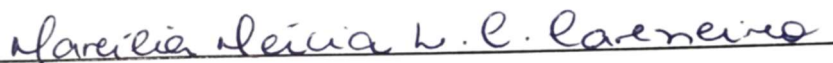
Orientadora: Dra. Marilza Neves do Nascimento Ribeiro
Coorientadora: Dra. Geany Peruch Camilloto

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a. Dr.^a. Felizarda Viana Bebé

(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano)



Prof.^a. Dr.^a. Marília Mércia Lima Carvalho Carneiro

(Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia)



Prof.^a. Dr.^a. Marilza Neves do Nascimento Ribeiro

(Universidade Estadual de Feira de Santana)

Orientadora e Presidente da Banca

Ficha Catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado - UEFS

Santos, Robson de Jesus

S238a Aspectos fisiológicos de *Talinum fruticosum* (L.) Juss. em diferentes regimes hídricos. / Robson de Jesus Santos, 2022.

70 f.: il.

Orientadora: Marilza Neves do Nascimento Ribeiro

Coorientadora: Geany Peruch Camilloto

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Feira de Santana, 2022.

1.Estresse abiótico. 2.Fisiologia de plantas. 3.PANC. 4.Recursos genéticos. 5.Osmorregulação 6.Semiárido. 7.Trocas gasosas. 8.Estresse oxidativo I. Ribeiro, Marilza Neves do Nascimento, orient. II.Camilloto, Geany Peruch, coorient. III.Universidade Estadual de Feira de Santana. IV. Título.

CDU: 581.1

Maria de Fátima de Jesus Moreira - Bibliotecária - CRB-5/1120

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, eterna complacência e por esse momento permitir.

A Universidade Estadual de Feira de Santana pelo caminho trilhado e oportunidades concedidas.

Aos meus pais Antonia de Jesus Santos e Rudval Rodrigues dos Santos, meus irmãos Rones, Rudnes e Gabriel, além dos demais parentes, família é a base de tudo.

As minhas orientadoras Prof^a Dr.^a Marilza Ribeiro e Dr.^a Geany Camilloto, certamente eu não poderia ter escolhido outras pessoas para trilhar essa jornada comigo, obrigado pela confiança, solicitude, entendimento e pela disposição em compartilhar o conhecimento de vocês comigo.

Ao professor Flávio e a professora Efigênia, pela parceria durante parte da minha vida acadêmica, foram fundamentais nessa trajetória.

A Uasley pelos ensinamentos e apoio durante o desenvolvimento desta dissertação, “fui um Padawan”, o qual também teve ajuda indispensável dos meus amigos Flávio, Jhonatan e Iana.

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, representado pelos professores que contribuíram com o processo de aprendizagem (Raniere, Claudinéia, Alone, Luíz, Adriana, Ronaldo, Manoel, Rita, Lígia e Mauricio), além dos funcionários administrativos Lia e Alberto.

Aos amigos Hiago, Lúcio e Carlos, de turma, Iêda, Vanessa, Isabela, Fernanda e Mayane, do LAGER, David, Romeu, Alismário e Aritana.

Aos funcionários e amigos do Horto Florestal, Cláudia, Sandra, André, Val, Tõe, Marivaldo e Carlos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

E a todos que a sua maneira contribuíram para realização deste trabalho.

A todos vocês meu sincero OBRIGADO!!!

Hoje eu desejo aprender mais do que ontem. E
anseio, ainda que, seja todos os dias um aprendiz,
ensinar!

Autor: Robson de Jesus Santos

RESUMO

Talinum fruticosum (L.) Juss. é uma planta alimentícia não convencional de ocorrência no semiárido, com elevado teor de proteínas e propriedades medicinais. Porém, a região é marcada pelo déficit hídrico, exigindo das plantas mecanismos regulatórios. Assim, objetivou-se avaliar o impacto do déficit hídrico nos aspectos fisiológico de *T. fruticosum*. Para tanto as plantas foram submetidas aos tratamentos de déficit hídrico que derivaram da máxima capacidade de retenção de água do solo e corresponderam a 0, 20, 40, 60, 80 e 100% da capacidade de campo (CC), com reposição de água em intervalo de sete dias. Aos 21 dias, após imposição dos tratamentos, foram avaliados a composição centesimal, relações hídricas, trocas gasosas, bem como, os aspectos bioquímicos, enzimáticos e morfológicos. Contudo, as enzimas foram avaliadas em três períodos 0, 14 e 21 dias de imposição dos tratamentos. Foi verificado que o déficit hídrico influenciou na alocação de conteúdo energético da biomassa seca das folhas, nas relações hídricas e trocas gasosas das plantas, com limitação para o ganho de carbono. Promoveram ajustes bioquímicos os solutos compatíveis, proteínas, açúcares e aminoácidos. A atividade enzimática da SOD, APX e CAT foi influenciada pelo déficit hídrico, com incremento das enzimas APX e CAT até 14 dias de déficit hídrico e decréscimo com o déficit prolongado. Os aspectos morfológicos apresentaram decréscimo com aumento da restrição hídrica. Assim, a limitação do recurso hídrico no solo implica em mudanças nos aspectos fisiológicos de *T. fruticosum*, sendo utilizado mecanismos distintos para manutenção da espécie em condições de seca temporária.

Palavras-chave: Estresse abiótico. Fisiologia de plantas. PANC. Recursos genéticos.

ABSTRACT

Talinum fruticosum (L.) Juss. is an unconventional food plant that occurs in the semiarid, with high protein content and medicinal properties. However, the region is marked by water deficit, demanding regulatory mechanisms in the plants. Thus, the objective of this work was to evaluate the impact of water deficit on the physiological aspects of *T. fruticosum*. Plants were subjected to water deficit treatments that derived from the maximum water holding capacity of the soil and corresponded to 0, 20, 40, 60, 80 and 100% of field capacity (FC), irrigation occurred at seven days intervals. At 21 days, after imposition of the treatments, the centesimal composition, water relations, gas exchange, as well as biochemical, enzymatic and morphological aspects were evaluated, however, enzymes were evaluated in 3 periods 0, 14 and 21 days. Water deficit was found to influence the energy content allocation of leaf dry biomass, water relations and gas exchange of plants, with limitation for carbon gain. Promoting biochemical adjustments were the compatible solutes, proteins, sugars, and amino acids. The enzymatic activity of SOD, APX and CAT was influenced by water deficit, with an increase in APX and CAT enzymes up to 14 days of water deficit and decrease with prolonged deficit. The morphological aspects showed a decrease with increasing water restriction. Thus, the limitation of the water resource in the soil implies changes in the physiological aspects of *T. fruticosum*, and distinct mechanisms are used to maintain the species under temporary drought conditions.

Keywords: Abiotic stress. Plant physiology. PANC. Genetic resources

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Figura 1. *Talinum fruticosum* (A), flor (B), fruto (C) e sementes (D).....15

Figura 2. Dinâmica do acúmulo das espécies reativas de oxigênio na célula vegetal e possíveis implicações.....22

Capítulo I

Figura 1. Microclima formado no interior da casa de vegetação.....33

Figura 2. Composição centesimal na biomassa seca das folhas de *Talinum fruticosum*, cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo. Proteínas (A), lipídios (B), carboidratos (C), cinzas (D) e umidade (E). Médias seguidas pela mesma letra entre tratamentos não diferem entre si pelo teste *Scott-Knott* ao nível de significância de 5%. Valores apresentados pela média \pm erro padrão.....36

Figura 3. Relações hídricas em plantas de *Talinum fruticosum*, cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo. Conteúdo relativo de água (A) e grau de suculência (B). Valores apresentados pela média \pm erro padrão.....37

Figura 4. Trocas gasosas em *Talinum fruticosum*, cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo. Assimilação de CO₂ (A), condutância estomática (B), transpiração (C) e eficiência no uso da água (D). Valores apresentados pela média \pm erro padrão.....39

Figura 5. Acúmulo de solutos compatíveis em folhas de *Talinum fruticosum*, cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo. Açúcares solúveis totais (A), açúcares redutores (B), proteína solúveis (C), aminoácido (D) e prolina (E). Valores apresentados pela média \pm erro padrão.....41

Capítulo II

Figura 1. Microclima formado no interior da casa de vegetação.....55

Figura 2. Influência do tempo de exposição ao déficit hídrico na atividade da superóxido dismutase em *Talinum fruticosum*, cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo. Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada tratamento não diferem entre si pelo teste de *Tukey* a 5% de significância. Valores apresentados pela média \pm erro padrão.....57

Figura 3. Influência do tempo de exposição ao déficit hídrico na atividade da ascorbato peroxidase em *Talinum fruticosum*, cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo. Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada tratamento não diferem entre si pelo teste de *Tukey* a 5% de significância. Valores apresentados pela média \pm erro padrão.....58

Figura 4. Influência do tempo de exposição ao déficit hídrico na atividade da catalase em *Talinum fruticosum*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de *Tukey* a 5% de significância. Valores apresentados pela média \pm erro padrão.....59

Figura 5. Atividade da superóxido dismutase em *Talinum fruticosum* cultivado em diferentes

níveis da capacidade de campo e tempos de avaliação. Atividade enzimática aos 14 dias de déficit hídrico (A) e aos 21 dias de déficit hídrico (B). Valores apresentados pela média \pm erro padrão.....60

Figura 6. Atividade da ascorbato peroxidase em *Talinum fruticosum* cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo e tempo de avaliação. Atividade enzimática aos 21 dias de déficit hídrico. Valores apresentados pela média \pm erro padrão.....61

Figura 7. Influência do déficit hídrico, nos aspectos morfológicos de *T. fruticosum*.....62

Figura 8. Influência do déficit hídrico nos aspectos morfológicos de *Talinum fruticosum*, cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo. Diâmetro do caule (A), altura da planta (B), número de folhas (C), área foliar (D) e massa da matéria fresca das folhas (E). Valores apresentados pela média \pm erro padrão.....63

Figura 9. Influência do déficit hídrico na massa da matéria seca de *Talinum fruticosum*, cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo. Massa da matéria seca das folhas (A); massa da matéria seca da parte aérea (B) e massa da matéria seca total (C). Valores apresentados pela média \pm erro padrão.....64

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	
1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Aspectos botânicos de <i>Talinum fruticosum</i>	15
2.2 Plantas alimentícias não convencionais (PANC)	16
2.3 Relações hídricas	17
2.3.1 Déficit hídrico e o semiárido	17
2.3.2 <i>Talinum fruticosum</i> em condições de déficit hídrico	19
2.4 Danos oxidativos e atividade antioxidante	20
REFERÊNCIAS	23
CAPÍTULO 1	28
RESTRIÇÃO HÍDRICA COMO ESTRATÉGIA NO CULTIVO DE <i>Talinum fruticosum</i> (L.) Juss.	28
1 INTRODUÇÃO	31
2 MATERIAL E MÉTODOS	32
2.1 Caracterização da área de estudos	32
2.2 Implantação e condução experimental	32
2.3 Variáveis avaliadas	34
2.3.1 Composição centesimal.....	34
2.3.2 Conteúdo relativo de água e grau de succulência das folhas	34
2.3.3 Trocas gasosas.....	34
2.3.4 Determinações bioquímicas	34
2.3.5 Análise estatística.....	35
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.1 Composição centesimal	35
3.2 Conteúdo relativo de água e grau de succulência das folhas	37
3.3 Trocas gasosas	38
3.3 Determinações bioquímicas	40
4 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	43
CAPÍTULO 2	49
ATIVIDADE ENZIMÁTICA E ASPECTOS MORFOLÓGICOS EM <i>Talinum fruticosum</i> (L.) Juss. SUBMETIDO AO DÉFICIT HÍDRICO	49
1 INTRODUÇÃO	52
2 MATERIAL E MÉTODOS	53
2.1 Caracterização da área de estudos	53

2.2	Implantação e condução experimental	53
2.3	Coleta do material e preparo dos extratos.....	55
2.4	Atividade enzimática	55
2.5	Aspectos morfológicos	56
2.6	Análise estatística	56
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
3.1	Atividade enzimática	56
3.2	Aspectos morfológicos	61
4	CONCLUSÃO.....	65
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

Diante da emergência do conceito de sustentabilidade e preocupação com a saúde, os alimentos não convencionais têm recebido notoriedade (BORGES; SILVA, 2018). Segundo Kinupp e Lorenzi (2014), denomina-se plantas “daninhas” as espécies que permeiam entre as plantas cultivadas, podendo ainda, ser comestível e o mesmo se aplica para espécies silvestres, ambos recursos genéticos pouco explorados ou negligenciados.

Nessa perspectiva, caracteriza-se as Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC), como espécies que possuem uma ou mais aplicabilidades, a exemplo da utilização das folhas, talos, sementes e/ou quaisquer parte aproveitável, ainda que, não sejam de uso comum, o que as torna uma alternativa saudável para alimentação (KINUPP; LORENZI, 2014).

O gênero *Talinum* Adanson, pertence à família Talinaceae (NYFFELER; EGGLI, 2010), no qual está inserido *Talinum fruticosum* (L.) Juss., homótipo de *Talinum triangulare* (Jacq.) Willd. nome mais difundido (HASSEMER, 2020). É uma PANC, consumida em distintas regiões brasileiras (KINUPP; LORENZI, 2014). Na Bahia é conhecida em diferentes municípios como língua de vaca, recebendo outras denominações em função da região. Apresenta uma gama de atributos, como proteínas e distintos nutrientes minerais (ALEXANDRE et al., 2018), além de propriedades medicinais (LIAO et al., 2015; IKEWUCHI; IKEWUCHI; IFEANACHO, 2016; OLUBA et al., 2018).

Considerando a distribuição no semiárido, a espécie demonstra ter potencial alimentício. Contudo, a região é marcada por longos períodos de seca, resultando em déficit hídrico diário igual ou superior a 60% (BRASIL, 2021). Segundo González-Chavira et al. (2018), a seca é o fator de estresse ambiental mais impactante. Cenário que limita a produtividade, principalmente para os agricultores familiares que vivem no semiárido. Assim, a identificação dos recursos genéticos potenciais da região é importante (LEITE et al., 2021), isso porque contribuem para manutenção da segurança alimentar e nutricional da população.

As respostas das plantas ao estresse abiótico variam com a intensidade, frequência e duração (GONZÁLEZ-CHAVIRA et al., 2018), além da capacidade da espécie em tolerar situações de estresse (BHATLA; LAL, 2018). O impacto do déficit hídrico no desempenho vegetal é evidenciado nas características morfológicas (SOARES et al., 2019) e nas trocas gasosas (LEITE et al., 2018; SILVA et al., 2020; SOUZA et al., 2020). O que demanda ajustes metabólicos, possíveis pelo acúmulo de solutos compatíveis (PEREIRA et al., 2012; SANCHES et al., 2019) e pela ação das enzimas antioxidantes.

O aparato enzimático e não enzimático é necessário para eliminação das espécies reativas de oxigênio (EROs), subprodutos tóxicos do metabolismo aeróbico, (APEL; HIRT,

2004; TRIPATHY; OELMÜLLER, 2012). Dentre as enzimas antioxidantes demandada na célula vegetal é possível destacar à superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT), já os de caráter não enzimáticos destacam-se o ácido ascórbico (AA), os carotenoides e os flavonoides (BARBOSA et al., 2014, DAS; ROYCHOUDHURY, 2014).

Embora estudos realizados no Brasil com *T. fruticosum* sejam limitados, outros trabalhos demonstram o potencial de uso da mesma, em condição de limitação de água no solo (HERRERA; DELGADO; PARAGUATEY, 1991; HERRERA, 2009; WINTER; HOLTUM, 2014; HERREIRA et al., 2015). Permitindo inferir que na região *T. fruticosum* pode despontar como uma planta requisitada em maior frequência no futuro.

Nesse contexto, verificar o desempenho da espécie em condições de déficit hídrico é importante, principalmente para região semiárida à qual apresenta carência de estudos relacionados a espécie e suas possíveis aplicabilidades, além de despertar um olhar mais holístico para essa planta, por vezes negligenciada, enfatizando o caráter alimentício de forma acessível, em local onde se observa corriqueiramente, situações de desigualdade social.

Portanto, o impacto da seca no desempenho vegetal é dotado de vasta complexidade e exige múltiplos conhecimentos para o entendimento, principalmente numa região marcada pelas chuvas irregulares e períodos desfavoráveis ao estabelecimento das espécies, como no semiárido. Assim, objetivou-se com esse trabalho avaliar o impacto do déficit hídrico nos aspectos fisiológico de *T. fruticosum*.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos botânicos de *Talinum fruticosum*

O gênero *Talinum* Adanson, outrora agrupado na família Portulacaceae, atualmente encontra-se inserido em Talinaceae (NYFFELER; EGGLI, 2010). As espécies que compõe este gênero possuem hábito de crescimento ereto ou ascendente, folhas alternas por vezes verticiladas, frutos do tipo cápsula deiscentes, contando com numerosas sementes de coloração que variam de marrom-escuro a preta, sendo que essa última é atingida quando se tem maturação fisiológica (NYFFELER; EGGLI, 2010; HASSEMER, 2020).

No Brasil é de ocorrência confirmada duas espécies do gênero, *Talinum fruticosum* (L.) Juss. (Figura 1) e *Talinum paniculatum* (Jacq.) Gaertn (HASSEMER, 2020), sendo que 16 espécies são verificadas no mundo segundo *The Plant List* (2013). *Talinum fruticosum*, tem ocorrência confirmada no estado da Bahia, no entanto pode ser encontrado na literatura como um dos seus vários sinônimos *Portulaca racemosa* L., *Portulaca triangularis* Jacq., *Talinum racemosum* Rohrb. e *Talinum triangulare* (Jacq.) Willd, nativa do Brasil, porém não é endêmica (HASSEMER, 2020).

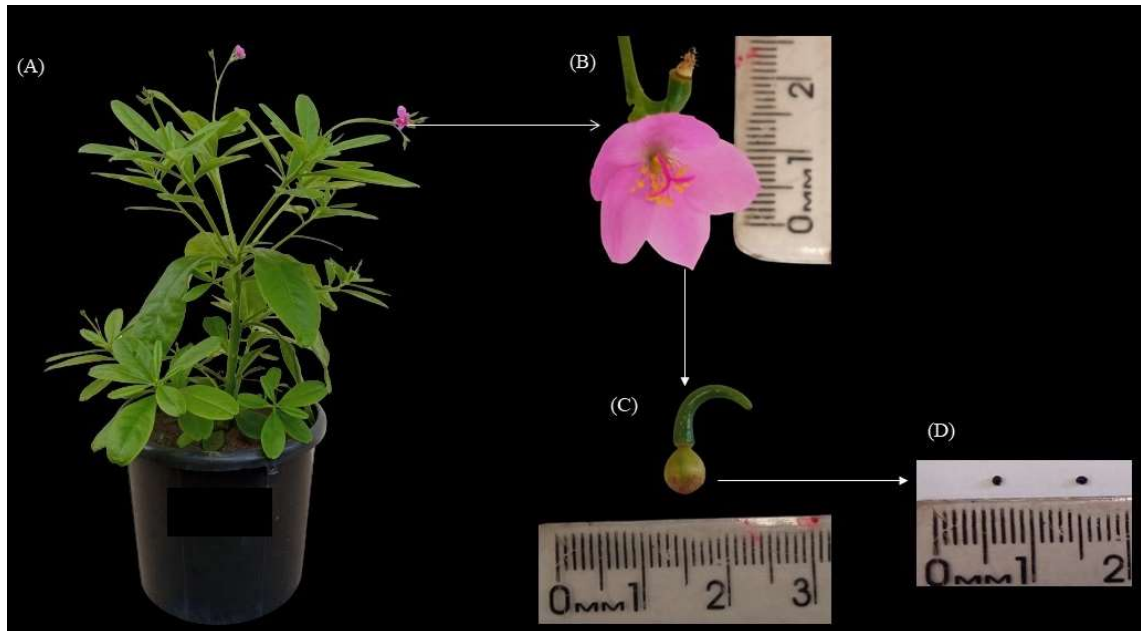


Figura 1. *Talinum fruticosum* (A), flor (B), fruto (C) e sementes (D)

Planta herbácea que segundo Winter e Holtum (2014), pode promover auto cruzamento. A propagação da espécie dar-se por via tanto sexuada (sementes), quanto assexuada (estacas) (KINUPP; LORENZI, 2014). Conhecida popularmente como língua de vaca na região Nordeste, mas outras variações podem ser verificadas na literatura, um fator cultural. Segundo

Kinupp e Lorenzi (2014) recebe outras denominações como cariru, beldroega-graúda, lustrosa-grande, erva-gorda e maria gorda. Na Nigéria e Índia é conhecida como *Waterleaf* (ENETE; OKON, 2010; SWARNA et al., 2013).

2.2 Plantas alimentícias não convencionais (PANC)

A concentração do número limitado de espécies utilizadas na alimentação, contribuiu ao longo da história para estigmatização dos demais vegetais, frequentemente denominados de “mato” isso pelo simples fato de estarem associados a plantas infestantes e competindo por substrato nos cultivos de interesse econômico, o que contribui para a negligência de muitas espécies de uso potencial (KINUPP; LORENZI, 2014).

Evidentemente as hortaliças convencionais obtiveram ganhos advindos do melhoramento em função da crescente demanda, em contrapartida, observou-se o afastamento de hábitos alimentícios plurais, dificultando a difusão de informações e utilização dessas espécies pelas gerações futuras (SILVA et al., 2018). Assim, o consumo dessas plantas tem se tornado mais restrito (LEAL; ALVES; HANAZAKI, 2018).

Nessa perspectiva, os alimentos utilizados de forma restrita, sem adesão massiva, recebeu ao longo do tempo diferentes denominações dentre às quais, Alimentos da Fome (BHANDARI, 1974), Plantas Silvestres Comestíveis (GEMEDO-DALLE; MAASS; ISSELSTEIN, 2005), Plantas Alimentícias Alternativas, Plantas Alimentícias Silvestres, Plantas Alimentícias Regionais, Plantas Alimentícias Espontâneas e Hortaliças Não Convencionais, sem contudo, englobar a totalidade dos recursos utilizados, o que contribui para não estabelecimento (KINUPP; LORENZI, 2014).

Em 2008, o termo Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) foi utilizado em um documentário promovido pela CONAB/PNUD (Campanha Nacional de Abastecimento/Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento), sendo este acrônimo mais amplo, oferecendo possibilidade de incorporação dos mais distintos vegetais, desse modo, utilizado em referência às plantas que possuem uma ou várias categorias de uso alimentar, ainda que, não sejam de amplo espectro (KINUPP; LORENZI, 2014).

A inserção dessas espécies no cardápio alimentar foi provocada pela mudança de comportamento do consumidor moderno, causada pela preocupação com saúde e manutenção da longevidade (BORGES; SILVA, 2018). O que permite depreender que realizar estudos com tais espécies é um meio de validar seu potencial, além fomentar o uso e conservação do recurso, devendo-se atentar para locais em transformação socioeconômica pela proximidade ao urbano (LEAL; ALVES; HANAZAKI, 2018).

Em comparação com as espécies cultivadas, as PANC são de forma geral de fácil manejo e pouco exigentes em condições especiais de cultivo, o que na prática demonstra grande potencial para regiões de limitada assistência técnica, como observado no semiárido baiano.

T. fruticosum é uma PANC (KINUPP; LORENZI, 2014), utilizada para fins alimentícios em diferentes países (FASUY, 2007; AGBONON et al., 2010). No Brasil destaca-se nas regiões Norte e Nordeste, sendo requerida em várias receitas, com destaque para o consumo refogado, em farofas, omeletes, feijão (BRASIL, 2002), saladas, ensopados, utilizada na fabricação de pães caseiros e patês (KINUPP; LORENZI, 2014).

Dentre os elementos já verificados que a torna atraente para inserção de forma mais corriqueira no cardápio alimentar é possível elencar, conteúdo de minerais, (ALEXANDRE et al., 2018) e o teor de proteína (IFONT; BASSIR, 1980; FASUYI, 2006). Em solo brasileiro, Alexandre et al. (2018), verificaram teor de proteína total nas folhas de (16,63%). Tais características enfatizam a importância de estudos com a espécie em regiões como semiárido, onde muitos produtores chegam a perder safras inteiras em função da estiagem e animais pela ausência de pastagem.

De uso medicinal no Norte da Nigéria, as folhas cortadas e maceradas são aplicadas diretamente em cortes, feridas e no combate à sarna (EGHAREVBA; KHATUA, 2008), diabetes (OLUBA et al., 2018), doença hepáticas e câncer na medicina popular (LIAO et al., 2015), apresentando substâncias antioxidantes (ANDARWULAN et al., 2010).

Os compostos fitoquímicos evidenciados nas folha foram alcaloides, saponinas, flavonoides e taninos tanto em folhas frescas quanto secas, todavia observou-se que as amostras de folhas secas apresentou valores superiores de todos os elementos (AJA et al., 2010), sendo detectados os seguintes flavonoides: quercetina, kaempferol, apigenina, isorhamnetina e luteolina, para os carotenoides verificou-se: caroteno, licopeno, malvidina e asta-xantina, já as saponinas identificadas foram avenacina-B1 e avenacina-A1, também foram encontrados alcaloides, que resultou majoritariamente no conteúdo de indicina-N-óxido (IKEWUCHI; IKEWUCHI; IFEANACHO, 2016).

2.3 Relações hídricas

2.3.1 Déficit hídrico e o semiárido

A água é um recurso indispensável para manutenção da vida, sendo que, a utilização planejada na agricultura resulta em ganhos de produtividade (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000). Historicamente o ter ou não acesso ao recurso hídrico definiu hábitos e culturas,

ocupação de territórios e extinção de espécies (BACCI; PATACA, 2008). Não obstante, a seca é considerada um dos fatores de estresse vegetal mais impactante (GONZÁLEZ-CHAVIRA et al., 2018).

O total de 1.427 municípios brasileiros fazem parte do semiárido, onde predomina a baixa pluviosidade, com precipitação igual ou inferior à 800 mm anual e déficit hídrico diário igual ou superior a 60% (BRASIL, 2021), exigindo políticas para convivência com essa realidade, a exemplo da Articulação Semiárido Brasileiro (ASA, 2022). Além do dano socioeconômico, os longos períodos de seca ameaçam à segurança alimentar, principalmente da população mais vulnerável (ALVALÁ et al., 2019).

Segundo Andrade e Nunes (2014), os problemas da seca na região são correlatos e resultam em situações de calamidade. Podendo afetar a agricultura sustentável, o que demanda conhecimento da engenharia genética, tendo como possibilidade a obtenção de indivíduos tolerantes, todavia, este é o principal gargalo nos programas de melhoramento (YU, 2008). Aumentar a produtividade mesmo em condição de déficit é um desafio que necessita do uso de tecnologias aplicáveis (NAOE et al., 2020).

Assim, os produtores necessitam organizar seus projetos produtivos de forma temporal para aproveitar os meses chuvoso e realizar os conhecidos “cultivo de sequeiro”, elevando a possibilidade de sucesso no ciclo produtivo, principalmente no período de maior precipitação pluviométrica.

O fornecimento de água para planta é complexo e obedece a uma série de relações que são estabelecidas ao longo do sistema solo, planta e atmosfera, em função do potencial hídrico (Ψ_w) que ocorre de forma dinâmica e conjunta, pois a manutenção do fornecimento de água ao nível adequado, dependerá da interação entre estes três fatores (SANTOS; CARLESSO 1998). A chave para o movimento de água do solo à folha da planta é o estabelecimento de pressões negativas dentro do xilema (TAIZ et al., 2017).

É conhecido que na ocorrência de déficit hídrico pode-se observar interferência no crescimento e desenvolvimento vegetal, sendo que muitos pesquisadores tem buscado o entendimento das respostas inerente a esta condição, caracterizando a necessidade de atuações multidisciplinares (SANTOS; CARLESSO, 1998). Quando os vegetais são submetidos ao ambiente cujo conteúdo de água é abaixo do adequado para manutenção do seu metabolismo, observa-se o estabelecimento do estresse hídrico. Segundo Taiz et al. (2017), pode ser entendido como qualquer adversidade ambiental que resulte no impedimento das plantas em apresentarem seu máximo potencial.

A restrição hídrica, interfere nos processos fisiológicos, sendo que os impactos negativos causados pelo déficit hídrico são superiores aos impactos relacionados às demais interferências abióticas como estresse salino e luminoso (BHATLA; LAL, 2018).

As respostas das espécies a tal condição têm influência direta da intensidade, frequência e duração, além da capacidade da espécie em tolerar o estresse (ZONTA et al., 2017; BHATLA; LAL, 2018; GONZÁLEZ-CHAVIRA et al., 2018), podendo resultar em diminuição do crescimento e taxa fotossintética, fechamento estomático, redução da área foliar, perda de turgor, danos as membranas, desnaturação proteica e até mesmo morte da célula (TAIZ et al., 2017; BHATLA; LAL, 2018).

Nessa condição as plantas utilizam um conjunto de mecanismos fisiológicos que possibilitam sua manutenção em condições de estresse, razão pela qual observa-se acúmulo de solutos orgânicos, com finalidade osmoprotetora (TAIZ et al., 2017; BHATLA; LAL, 2018). O acréscimo de solutos compatíveis como prolina, amido (PEREIRA et al., 2012), açúcares redutores, sacarose (LEITE et al., 2018; LIMA 2020), açúcares solúveis e frutanos (SANCHES et al., 2019) foram observados em resposta a restrição hídrica. O resultado do incremento destes solutos orgânicos na célula vegetal é a redução do potencial osmótico e em consequência do potencial hídrico (mais negativo) demandando maior aporte de água para planta pela formação do gradiente de potencial, contudo o suprimento hídrico dependerá da disponibilidade de água no solo.

As trocas gasosas, fundamentais no processo fotossintético, também são afetadas pelo baixo conteúdo de água no solo, no qual verificou-se mudanças na taxa fotossintética, condutância estomática, concentração interna de carbono, transpiração e eficiência no uso da água (LEITE et al., 2018; SILVA et al., 2020; SOUZA et al., 2020), além dos impactos nas características morfológicas (SOARES et al., 2019, LIMA 2020). Portanto, o déficit hídrico em nível e condições específicas para cada espécie poderá torna-se um fator de estresse, exigindo mecanismos regulatórios que permitam a sobrevivência das plantas a períodos temporários de seca.

2.3.2 *Talinum fruticosum* em condições de déficit hídrico

O estabelecimento da espécie *Talinum fruticosum* na região semiárida é marcado principalmente de forma temporal, uma vez que, observa-se um número maior da população de indivíduos da espécie coincidindo com os períodos chuvosos. Contudo, propágulos em diferentes estádios de desenvolvimento são encontrados permeando em distintos ambientes,

como rochosos, cultivos comerciais, locais sombreados e sob ações antrópica, permitindo inferir que a espécie apresenta potencialidade para cultivo em situações contrastantes.

Embora dados sobre o desempenho dessa espécie em condições de deficiência hídrica sejam faltosos no Brasil, outras pesquisas despontam com resultados de interesse, possibilitando inferir que uma atenção maior deve ser creditada para tal estudo (HERRERA; DELGADO; PARAGUATEY, 1991; HERRERA 1999; TAISMA; HERREIRA, 2003; HERREIRA et al., 2015).

Talinum fruticosum apresenta rota fotossintética de fixação do Carbono C₃, mas que, em condições de estresse, pode assumir o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) de forma facultativa (HERRERA; DELGADO; PARAGUATEY, 1991; WINTER; HOLTUM, 2014). Nessa condição de metabolismo (CAM) a enzima aceptora do CO₂, é a fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase), produzindo o oxaloacetato como composto estável que é armazenado no vacúolo da célula na forma de malato (ácido málico), durante o dia é descarboxilado no citoplasma celular, fornecendo substrato para ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (HERRERA, 2009).

Nas condições de restrições hídricas, Herrera (1999) observou acúmulo de ácidos nas plantas de *Talinum triangulare* (Jacq.) Willd.), além de mudanças no conteúdo relativo de água e fotossíntese. Foi possível verificar ainda, períodos de ociosidade em função da duração do estresse, superado com reidratação (HERRERA, 2009). Além disso, a limitação da disponibilidade de água no solo elevou a fecundidade das sementes de *T. fruticosum*, sendo que as plantas submetidas a restrição produziram um quantitativo superior de sementes quando comparada com plantas bem hidratadas (TAISMA; HERREIRA 1998; 2003).

2.4 Danos oxidativos e atividade antioxidante

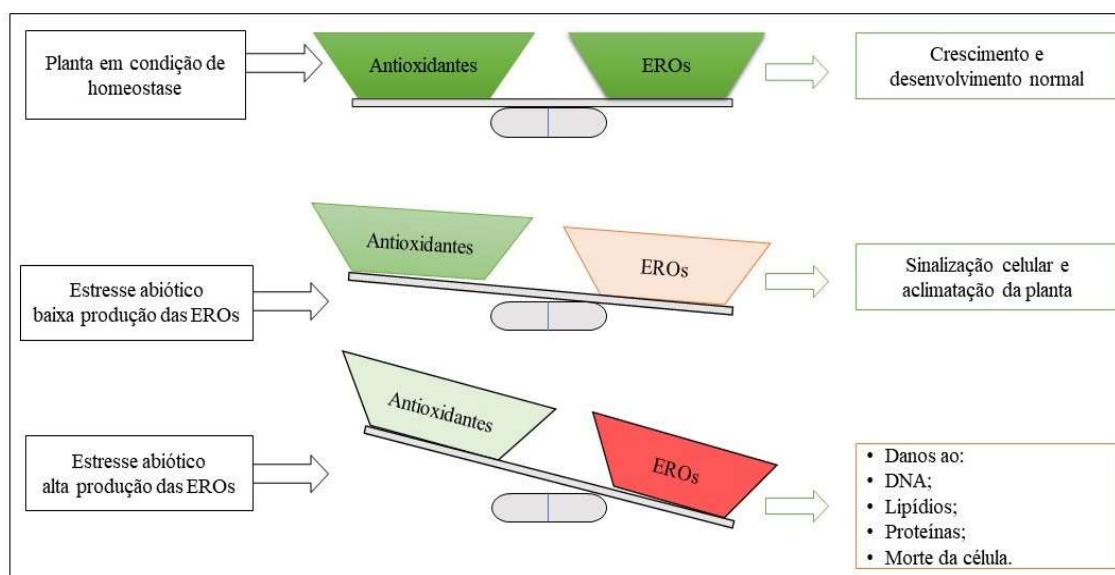
A fotossíntese está diretamente relacionada com a evolução dos processos metabólicos aeróbicos, sendo inevitável durante o metabolismo, a produção das espécies reativas de oxigênio (EROs) (APEL; HIRT, 2004; TRIPATHY; OELMÜLLER, 2012), além disso, a respiração e fotorrespiração podem resultar na formação das EROs (FOYER; NOCTOR, 2003). As EROs mais frequentes são oxigênio singleto (¹O₂), radical superóxido (O₂^{•-}), peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e radical hidroxila (OH[•]) (TRIPATHY; OELMÜLLER, 2012; DEMIDCHIK, 2015; TAIZ et al., 2017; BHATLA; LAL, 2018).

O oxigênio no estado fundamental é um tripleto com dois eletros desemparelhado spin paralelo, portanto paramagnético (DEMIDCHIK, 2015; BHATLA; LAL, 2018). A excitação

da molécula pode ativá-lo, resultando na formação do $^1\text{O}_2$, o que poderá ocorrer por dois mecanismos, o primeiro pela reversão do spin de um dos elétrons desemparelhados e a segunda pela redução monovalente de forma gradativa (SHARMA et al., 2012). A adição de um único elétron ao oxigênio, leva a formação do $\text{O}_2^{\bullet -}$, em pH fisiológico a dismutação é inevitável e outro elétron é cedido ao $\text{O}_2^{\bullet -}$ acompanhado de protonação, formando H_2O_2 , quando a protonação ocorre diretamente no $\text{O}_2^{\bullet -}$, têm-se a formação de hidroperoxila (HO_2^{\bullet}) (GIL; TUTEJA, 2010). Já o radical hidroxila é extremamente danoso a célula podendo ser formada pela reação de Haber-Weiss (LOCATO et al., 2010). Na presença de metais de transição como ferro Fe^{3+} , o OH^{\bullet} poderá ser obtido por meio do $\text{O}_2^{\bullet -}$ e H_2O_2 pela reação de Fenton (GIL; TUTEJA, 2010; SHARMA et al., 2012; BHATLA; LAL, 2018).

A formação desses subprodutos ocorre em estruturas com alto fluxo de elétrons (CHOUDHURY et al., 2013) como nos cloroplastos, mitocôndrias, peroxissomos, retículo endoplasmático e parede celular (DAS; ROYCHOUDHURY, 2014), além do apoplasto (JUBANY-MARÍ et al., 2009). As EROs podem desempenhar duplo papel nas espécies vegetais, estando diretamente influenciada pelo conteúdo quantitativo, tendo como respostas as altas concentrações (estresse oxidativo), danos a biomoléculas e no oposto atuando como sinalizador e na aclimação das plantas (MILLER, 2010; SHARMA et al., 2012; FOYER; NOCTOR, 2016; TAIZ et al., 2017), isso porque a manutenção do metabolismo é garantido em níveis baixos de concentração das EROS (NOCTOR; FOYER, 2016), o equilíbrio entre a formação e eliminação destas moléculas é influenciado pelas condições abióticas (DAS; ROYCHOUDHURY, 2014).

Segundo Demidchik (2015), o termo estresse oxidativo apresenta entendimento distintos, sendo que o primeiro é relacionado com o “estado fisiológico”, no qual a perda de eletro excede o ganho, resultando no dano oxidativo em função do desequilíbrio redox, já a segunda assemelha-se a outros estresses abióticos, podendo comprometer a integridade da célula e induzir mecanismos de sinalização. Neste sentido um esquema que relaciona a produção das EROs e a capacidade de eliminação destes subprodutos citotóxicos é apresentado (Figura 2).



Fonte: Robson de Jesus Santos

Figura 2. Dinâmica do acúmulo das espécies reativas de oxigênio na célula vegetal e possíveis implicações

O aumento na produção das EROs, é resultado de condições desfavoráveis ao estabelecimento das espécies, bem como frio, temperatura, seca e ataques de patógenos (NOCTOR; MHAMDI; FOYER, 2014), além da salinidade (DAS; ROYCHOUDHURY, 2014). Colocando em risco a integridade da mesma, por apresentar propriedades citotóxicas capazes de promover danos as biomoléculas como as proteínas, o DNA e os lipídios, exigindo assim mecanismos de controle enzimáticos e não enzimáticos para manutenção do metabolismo vegetal (APEL; HIRT, 2004).

As enzimas são biomoléculas capazes de catalisar uma reação e contribuir na manutenção da homeostase celular (BARBOSA et al., 2014). Dentre as enzimas antioxidantes de ocorrência nas organelas da célula vegetal é possível destacar a superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.), ascorbato peroxidase (APX, EC 1.11.1.1), glutathione redutase (GR, EC 1.6.4.2), peroxidases (POD, EC 1.11.1.7), catalase (CAT, EC 1.11.1.6) e polifenoloxidase (PPO, EC 1.14.18.1) (BARBOSA et al., 2014, DAS; ROYCHOUDHURY, 2014).

Em adição, os antioxidantes não enzimáticos, também são utilizados no processo, como ácido ascórbico (AA), glutathione reduzida (GSH) α -tocoferol, carotenoides e flavonoides (BARBOSA et al., 2014, DAS; ROYCHOUDHURY, 2014).

REFERÊNCIAS

- AGBONON, A.; EKLUGA-DEGBEKU, K.; AKLIKOKOU, K.; GBEASSOR, M.; AKPAGANA, K.; TAM, T. W.; ARNASON, J. T.; FOSTER, B. C. *In vitro* inhibitory effect of West African medicinal and food plants on human cytochrome P450 3A subfamily. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 128, n. 2, p. 390-394, 2010.
- AJA, P. M.; OKAKA, A. N. C.; ONU, P. N.; IBIAM, U.; URAKO, A. J. Phytochemical composition of *Talinum triangulare* (water leaf) leaves. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 9, p. 527-530, 2010.
- ALEXANDRE, E. C. F.; ANDRADE, J. W. S.; JAKELAITIS, A.; PEREIRA, L. S.; SOUSA, G. D.; OLIVEIRA, G. S. Composição mineral e bromatológica de *Talinum triangulare* (Jacq.) Willd cultivada sob sombreamento. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 8, n. 2, p. 40-51, 2018.
- ALVALÁ, R. C. S.; CUNHA, A. P. M. A.; BRITO, S. S. B.; SELUCHI, M. E.; MARENGO, J. A.; MORAES, M. O. L. L.; CARVALHO, M. A. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 91, p. 1-15, 2019.
- ANDARWULAN, N.; BATARI, R.; SANDRASARI, D. A.; BOLLING, B.; WIJAYA, H. Flavonoid content and antioxidant activity of vegetables from Indonesia. **Food Chemistry**, v. 121, p. 1231-1235, 2010.
- ANDRADE, J. A.; NUNES, M. A. Acesso à água no Semiárido Brasileiro: uma análise das políticas públicas implementadas na região. **Revista Espinhaço**, v. 3, n. 2, p. 28-39, 2014.
- APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55: p. 373-399, 2004.
- ASA. **A Articulação Semiárido Brasileiro**. 2022. Disponível em: <<https://www.asabrasil.org.br/>>. Acesso em 22 de outubro de 2021.
- BACCI, D. C.; PATACA, E. M. Educação para a água. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22 n. 63, p. 2011-226, 2008.
- BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.
- BHANDARI, M. M. Famine foods in the Rajasthan desert. **Economic Botany**. v. 28, p. 73-81, 1974.
- BHATLA, S. C.; LAL, M. A. **Plant physiology, development and metabolism**. Singapura: Springer, 2018, 1.252 p.
- BORGES, C. K. G; SILVA, C, C. Plantas alimentícias não convencionais (PANC): a divulgação científica das espécies na cidade de Manaus, AM. **Revista Eletrônica Científica Ensino Interdisciplinar**, v. 4, n. 11, p. 466-477, 2018.

BRASIL. **Alimentos Regionais brasileiros**. 1ª edição. Brasília: Ministério da Saúde, 2002, 141 p.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONDEL/SUDENE Nº 150**. Ministério do Desenvolvimento Regional/Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste/Conselho Deliberativo, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-condel/sudene-n-150-de-13-de-dezembro-de-2021-370970623>> Acesso em: 02 de janeiro de 2022.

CHOUDHURY, S.; PANDA, P.; SAHOO, L.; PANDA, S. K. Reactive oxygen species signaling in plants under abiotic stress. **Plant Signaling & Behavior**, v. 8, e23681, p. 1-7, 2013.

DAS, K.; ROYCHOUDHURY, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. **Environmental Science**, v. 2, p. 1-13, 2014.

DEMIDCHIK, V. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology. *Environmental and Experimental Botany*, v. 109, p. 212-228, 2015.

EGHAREVBA, R. K. A.; IKHATUA, M. I. Ethno-medical uses of plants in the treatment of various skin diseases in Ovia North East Edo State, Nigeria. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 4, n. 1, p. 58-64, 2008.

ENETE, A. A.; OKON, U. E. Economics of Waterleaf (*Talinum triangulare*) Production in Akwa Ibom State, Nigeria. **The journal of field actions**, v. 4 p. 1-6, 2010.

FASUYI, A. O. Bio-nutritional evaluations of three tropical leaf vegetables (*Telfairia occidentalis*, *Amaranthus cruentus* and *Talinum triangulare*) as sole dietary protein sources in rat assay. **Food Chemistry**, v. 103, p. 757-765, 2007.

FASUYI, A. O. Nutritional potentials of some tropical vegetable leaf meals: chemical characterization and functional properties. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, p. 49-53, 2006.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. **Physiologia Plantarum**, v. 119, p. 355–364, 2003.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Stress-triggered redox signalling: what's in pROSpect? **Plant, Cell and Environment**, n. 39, p. 951–964, 2016.

GEMEDO-DALLE, T.; MAASS, B. L.; ISSELSTEIN, J. Plant biodiversity and ethnobotany of Borana pastoralists in southern Oromia, Ethiopia. **Economic Botany**, n. 59, p.43–65, 2005.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p. 909-930, 2010.

GONZÁLEZ-CHAVIRA, M. M.; HERRERA-HERNÁNDEZ, M. G.; GUZMÁN-MALDONADO, H.; PONS-HERNÁNDEZ, J. L. Controlled water deficit as abiotic stress

factor for enhancing the phytochemical content and adding-value of crops. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 354–360, 2018.

HASSEMER, G. 2020. **Talinaceae in Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB20628>>. Acesso em: 29 de novembro de 2021.

HERRERA A. Effects of photoperiod and drought on the induction of CAM and the reproduction of plants of *Talinum triangulare*. **Canadian Journal of Botany**, v. 77, p. 404–409, 1999.

HERRERA A.; DELGADO J.; PARAGUATEY I. Occurrence of Crassulacean acid metabolism in *Talinum triangulare* (Portulacaceae). **Journal of Experimental Botany**, v. 42, n. 237, p. 493-499, 1991.

HERRERA, A. Crassulacean acid metabolism and fitness under water deficit stress: if not for carbon gain, what is facultative CAM good for? **Annals of Botany**, v. 103, p. 645–653, 2009.

HERRERA, A.; BALLESTRINI, C.; MONTES, E. What is the potential for dark CO₂ fixation in the facultative crassulacean acid metabolism species *Talinum triangulare*. **Journal of Plant Physiology**, v. 174, p. 55–61, 2015.

IFON, E. T.; BASSIR, O. The nutritive value of some Nigerian leafy green vegetables - Part 2: The distribution of protein, carbohydrates (including ethanol-soluble simple sugars), crude fat, fibre and ash. **Food Chemistry**, v. 5, p. 231-235, 1980.

IKEWUCHI, C. C.; IKEWUCHI, J. C.; IFEANACHO, M. O. Bioactive phytochemicals in an aqueous extract of the leaves of *Talinum triangulare*. **Food Science & Nutrition**, v. 5, p. 696-701, 2016.

JUBANY-MARÍ, T.; MUNNE´-BOSCH, S.; PEZ-CARBONELL, M.; ALEGRE, L. Hydrogen peroxide is involved in the acclimation of the Mediterranean shrub, *Cistus albidus* L., to summer drought. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 1, p. 107–120, 2009.

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. **Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014. 768 p.

LEAL, M. L.; ALVES, R. P.; HANAZAKI, N. Knowledge, use, and disuse of unconventional food plants. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 14, n. 6, p. 1-9, 2018.

LEITE, R. S.; NASCIMENTO, M. N.; SILVA, A. L.; SANTOS, R. J. Chemical priming agents controlling drought stress in *Physalis angulata* plants. **Scientia Horticulturae**, v. 275, 109670, 2021.

LEITE, R. S.; NASCIMENTO, M. N.; TANAN, T. T.; RAMOS, C. A. S.; NETO, L. P. G.; GUIMARÃES, D. S. Physiological responses of *Physalis angulata* plants to water deficit. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 10, p. 287-297, 2018.

LIAO, D. Y.; CHAI, Y. C.; WANG, S. H.; CHEN, C. W.; TSAI, M. S. Antioxidant activities

and contents of flavonoids and phenolic acids of *Talinum triangulare* extracts and their immunomodulatory effects. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 23 p. 294-302, 2015.

LIMA, I. K. F. **Efeito atenuante do óxido nítrico em plantas de *Physalis peruviana* L. sob estresse hídrico**. 2020. 79 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2020.

LOCATO, M.; PINTO, M. C.; PARADISO, A.; GARA, L. Reactive oxygen species and ascorbate-glutathione interplay in signaling and stress responses. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Science Publishers, 2010, p. 333

MILLER, G.; SUZUKI, N.; CIFTCI-YILMAZ, S.; MITTLER, R. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell and Environment**, 33, p. 453–467, 2010.

NAOE, A. M. L.; PELUZIO, J. M.; CAMPOS, L. J. M.; NAOE, L. K.; SILVA, R. A. Co-inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean cultivars subjected to water deficit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 89-94, 2020.

NOCTOR, G.; MHAMDI, A.; FOYER, C. H. The roles of reactive oxygen metabolism in drought: not so cut and dried. **Plant Physiology**, v. 164, p. 1636–1648, 2014.

NYFFELER, R.; EGGLI, U. Disintegrating Portulacaceae: A new familial classification of the suborder Portulacineae (Caryophyllales) based on molecular and morphological data. **Taxon**, n. 59, p.227–240. 2010.

OLUBA, O. M.; ADEBIYI, F. D.; DADA, A. A.; AJAYI, A. A.; ADEBISI, K. E.; JOSIAH, S. J.; ODUTUGA, A. A. Effects of *Talinum triangulare* leaf flavonoid extract on streptozotocin-induced hyperglycemia and associated complications in rats. **Food Science & Nutrition**, v. 7, p. 385-394, 2018.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

PEREIRA, J. W. L.; FILHO, P. A. M.; 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, n. 4, p. 766-773, 2012.

SANCHES, R. F. E.; SILVA, A. P. O.; COSTA, V. P.; CARVALHO, M. A. M.; SILVA, E. A. Changes in carbohydrates accumulation in *Viguiera discolor* Baker in response to water deficit. **Hoehnea**, v. 4, e382019, 2019.

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

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, ID 217037, P. 26, 2012.

SILVA, J. A.; SANTOS, P. A. B.; CARVALHO, L. G.; MOURA, E. G.; ANDRADE, F. R. Gas exchanges and growth of soybean cultivars submitted to water deficiency. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v 50, e58854, 2020.

SILVA, L. F. L.; SOUZA, D. C.; REZENDE, L. V.; NASSUR, R. C. M. R.; SAMARTINI, C. Q.; GONÇALVES, W. M. Nutritional Evaluation of Non-Conventional Vegetables in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90 p. 1775-1787, 2018.

SOARES, M. M.; FREITAS, C. D. M.; OLIVEIRA, F. S.; MESQUITA, H. C.; SILVA, T. S.; SILVA, D. V. Effects of competition and water deficiency on sunflower and weed growth. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 318 -328, 2019.

SOUZA, P. J. O. P.; FERREIRA, D. P.; SOUSA, D. P.; NUNES, H. G. G. C.; BARBOSA, A. V. C. Trocas gasosas do feijão-caupi cultivado no nordeste paraense em resposta à deficiência hídrica forçada durante a fase reprodutiva. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 13-22, 2020.

SWARNA, J.; LOKESWARI, T. S.; SMITA, A.; RAVINDHRAN, R. Characterisation and determination of *in vitro* antioxidant potential of betalains from *Talinum triangulare* (Jacq.) Willd. **Food Chemistry**, v. 141 p. 4382–4390, 2013.

TAISMA M. A.; HERRERA. A relationship between fecundity, survival and the operation of CAM in *T. triangulare*. **Canadian Journal of Botany**, v. 76, n. 11, p. 1908-1915, 1998.

TAISMA, M. A.; HERRERA, A. Drought under natural conditions affects leaf properties, induces cam and promotes reproduction in plants of *Talinum triangulare*. **Interciencia**, v. 28 n. 5, P. 1-13, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 857 p.

The Plant List (2013). Version 1.1. Published on the Internet. Disponível em: <<http://www.theplantlist.org/>>. Acesso em: 09 de novembro de 2021.

TRIPATHY, B. C.; OELMÜLLER, R. Reactive oxygen species generation and signaling in plants. **Plant Signaling & Behavior**, v. 7, p. 1621-1633, 2012.

WINTER, K.; HOLTUM, J. A. M. Facultative crassulacean acid metabolism (CAM) plants: powerful tools for unravelling the functional elements of CAM photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 13, p. 3425–3441, 2014.

ZONTA, J. H.; BRANDÃO, Z. N.; RODRIGUES, J. I. S.; SOFIATTI, V. Cotton response to water deficits at different growth Stages. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 980 – 990, 2017.

CAPÍTULO 1

RESTRIÇÃO HÍDRICA COMO ESTRATÉGIA NO CULTIVO DE *Talinum fruticosum* (L.) Juss.

RESUMO

Talinum fruticosum é uma espécie de ocorrência confirmada na região semiárida com vários atributos e verificada em distintos ambientes, incluindo os de seca. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o déficit hídrico como estratégia no cultivo de *Talinum fruticosum*, aspectos fisiológicos e bioquímicos. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, utilizando 6 tratamentos e 8 repetições, sendo os tratamentos definidos em níveis da capacidade de campo (CC) 0, 20, 40, 60, 80 e 100%, conduzidos em casa de vegetação. A reposição de água ocorreu a cada 7 dias e após 21 dias, avaliou-se a composição centesimal, relações hídricas, trocas gasosas e aspectos bioquímicos. O valor energético da biomassa seca das folhas de *T. fruticosum* foi diretamente influenciado pelo conteúdo de água no solo, sendo que, o déficit hídrico promoveu incremento de proteínas. A restrição hídrica comprometeu o status hídrico e desempenho da espécie, limitando principalmente as trocas gasosas com a redução do conteúdo de água no solo, comprometendo o ganho de CO₂. Nas condições de déficit hídrico, as biomoléculas desempenham função osmoprotetora, garantindo a formação do gradiente de potencial, com a finalidade de preservar o conteúdo celular da perda excessiva de água, sendo os maiores conteúdos verificados nos tratamentos, sem reposição hídrica 0% e irrigação para 20% da CC. Portanto, o déficit hídrico pode ser uma estratégia adotada para elevar o conteúdo de proteínas nas folhas de *T. fruticosum* e exerce influência na composição centesimal, relações hídricas, trocas gasosas e acúmulo de moléculas osmoprotetoras.

Palavras-chaves: Osmorregulação. Semiárido. Trocas gasosas.

ABSTRACT

Talinum fruticosum is a species of confirmed occurrence in the semiarid region with several attributes, found in various environments, including those of drought. Thus, the objective of the work was to evaluate water deficit as a strategy in the cultivation of *Talinum fruticosum*, physiological and biochemical aspects. The experimental design used was entirely randomized, using 6 treatments and 8 repetitions, the treatments were defined in levels of field capacity (FC) 0, 20, 40, 60, 80 and 100% and conducted in a greenhouse. Irrigation occurred every 7 days, and after 21 days, the centesimal composition, water relations, gas exchange and biochemical aspects were evaluated. The energy value of the dry biomass of *T. fruticosum* leaves was directly influenced by the water content in the soil, and water deficit promoted an increase in protein. Water restriction compromised the water status and development of the plant, mainly limiting gas exchange with reduced soil water content, compromising CO₂ gain. Under water deficit conditions, biomolecules play an osmoprotective role, allowing the formation of a potential gradient, with the aim of preserving the cellular content from excessive water loss, with the highest contents verified in the treatments whose irrigation corresponded to 0% and 20% of FC. Therefore, water deficit may be a strategy to increase the protein content of *T. fruticosum* leaves and exerts influence, on centesimal composition, water relations, gas exchange and the accumulation of osmoprotectant molecules.

Keywords: Osmoregulation. Semiarid. Gas exchange.

1 INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro contempla 1.427 municípios, local onde predomina a baixa pluviosidade, sendo essa igual ou inferior a 800 mm e déficit hídrico diário igual ou superior a 60% (BRASIL, 2021). Além do dano socioeconômico, os longos períodos de seca ameaçam a segurança alimentar, principalmente da população mais vulnerável (ALVALÁ et al., 2019).

A seca nessa região e os problemas decorrentes, principalmente no estabelecimento dos sistemas de cultivos, tem como resultado situações de calamidade (ANDRADE; NUNES, 2014). Condição essa, que exige conhecimento da engenharia genética para identificação de genes que possam conferir tolerância ao estresse (YU, 2008). Segundo Leite et al. (2021), estratégias para conviver com essa situação envolve a seleção de germoplasmas tolerantes e aproveitamento das espécies de uso potencial. Não obstante, aumentar a produtividade, ainda que, em condição de déficit hídrico é um desafio (NAOE et al., 2020).

Para superar períodos de estresse, as plantas utilizam uma série de mecanismos fisiológicos que possibilitam ajustes metabólicos (TAIZ et al., 2017; BHATLA; LAL, 2018; GONZÁLEZ-CHAVIRA et al., 2018), possíveis pelo acúmulo dos solutos compatíveis (PEREIRA et al., 2012; LEITE et al., 2018; SANCHES et al., 2019). Em adição os impactos do estresse abiótico no desempenho vegetal podem ser observados nas trocas gasosas (LEITE et al., 2018; SILVA et al., 2020; SOUZA et al., 2020), comprometendo assim, o ganho de carbono.

Ainda que, o impacto do déficit hídrico esteja bem documentado para diferentes espécies (PEREIRA et al., 2012; LEITE et al., 2018; SANCHES et al., 2019; SILVA et al., 2020; SOUZA et al., 2020), limitando principalmente o ganho de carbono e provendo ajustes metabólicos pelo acúmulo de solutos orgânicos como os açúcares, proteínas e aminoácidos na célula vegetal. Estudos que verifiquem o resultado final do déficit hídrico temporário na composição centesimal são importantes, possibilitando avaliar o conteúdo energético e utilização estratégica do manejo de irrigação.

Nessa perspectiva, *Talinum fruticosum* desponta como uma planta alimentícia não convencional com possibilidade de maior aproveitamento, sendo subexplorada, permeia os mais distintos ambientes incluindo os de secas, possibilitando inferir que esse é um recurso genético importante para região, principalmente em cenários de déficit hídrico.

T. fruticosum pertence à família Talinaceae (NYFFELER; EGGLI, 2010), dicotiledônea herbácea que pode promover autocruzamento (WINTER; HOLTUM 2014) e metabolismo ácido das crassuláceas de forma facultativa (HERRERA; DELGADO; PARAGUATEY, 1991). Embora, dados que verifiquem o desempenho da mesma no semiárido sejam escassos, outros

trabalhos apontam para uso potencial em condição de limitação hídrica (HERRERA; DELGADO; PARAGUATEY, 1991; HERRERA 1999; TAISMA; HERREIRA, 2003; HERREIRA et al., 2015).

Dentre os atrativos para estímulo ao uso do recurso, destaca-se o teor de proteínas (IFON; BASSIR, 1980; FASUYI, 2006; ALEXANDRE et al., 2018) e as diferentes formas de aproveitamento (FASUY, 2007; AGBONON et al., 2010 KINUPP; LORENZI, 2014), propriedades medicinais, tendo uso atribuído ao tratamento de feridas e combate à sarna (EGHAREVBA; KHATUA, 2008), diabetes (OLUBA et al., 2018), doenças hepáticas e câncer (LIAO et al., 2015), propriedades antioxidantes (ANDARWULAN et al., 2010) e uma gama de compostos fitoquímicos, flavonoides, carotenoides, saponinas e alcaloides (IKEWUCHI; IKEWUCHI; IFEANACHO, 2016).

Sabendo da importância do aproveitamento do potencial genético das espécies capazes de se estabelecerem no semiárido brasileiro, é necessário o melhor entendimento do desempenho de *T. fruticosum* em condições de déficit hídrico. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o déficit hídrico como estratégia no cultivo de *Talinum fruticosum*, aspectos fisiológicos e bioquímicos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudos

O trabalho foi desenvolvido na Unidade Experimental do Horto Florestal, pertencente à Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), 12° 16' 7,2" S e 38° 56' 21,6" W e altitude de 258 m.

2.2 Implantação e condução experimental

O experimento foi conduzido em casa vegetação, com sombreamento de 50%, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), contando com 6 tratamentos e 8 repetições. As sementes utilizadas foram obtidas por meio de coleta no *campus* da UEFS (12° 12' 12,1" S e 38° 58' 11,1" W e altitude de 237 metros). Uma amostra da espécie foi depositada no herbário da instituição (HUEFS), voucher (254825). A formação das mudas ocorreu em copos de 0,2 dm³ tendo como substrato o mesmo solo que foi utilizado posteriormente no local definitivo (vasos), já o transplante para o local permanente ocorreu após 25 dias.

O local definitivo constou de unidades individuais (vasos) dispostos em espaçamento de 1,0 m entre filas e 0,5 m entre plantas, com capacidade de 8 dm³, contendo 8 kg, de solo seco ao ar, sendo conhecido seu teor elementar. O solo utilizado foi coletado na camada

subsuperficial (0 à 20 cm), apresentando as seguintes características químicas, pH= 7,1 em H₂O, P= 56; K= 230; S= 5; Fe= 104; Zn= 8,4; Cu= 0,4; Mn= 26; B= 0,25 mg dm⁻³, Ca= 5,0; Mg= 1,2; H+Al= 1,3 cmol dm⁻³, M.O= 24 g kg⁻¹ e saturação de bases de 84,1%, além dos componentes físicos (granulometria), areia grossa= 586; areia fina= 174; silte= 60; argila= 180 g kg⁻¹, tendo classificação textural de franco argiloso. Assim, considerando a rusticidade da planta e os níveis dos elementos minerais no solo, bem como saturação de bases, não houve correção de acidez e adubação mineral.

As condições de irrigação aplicadas foram de 0, 20, 40, 60, 80 e 100% da capacidade de campo do solo do vaso, obtidas conforme Bonfim-Silva et al. (2011). Para determinação desses tratamentos, foram utilizados 3 vasos preenchidos com solo seco ao ar (peso conhecido), saturados e vedados na parte superior (PVC), dispostos de forma suspensa para drenagem, transcorridas 24, 48 e 72h foram pesados novamente e por diferença de peso obteve-se a capacidade de campo (CC). Após o transplante, as mudas foram mantidas em 80% da CC, durante 10 dias, sendo aplicados os tratamentos após este período.

A reposição de água para o nível da capacidade de campo de cada tratamento ocorreu em intervalos de 7 dias, desconsiderando o incremento de massa da matéria fresca, sendo que, a escolha desse intervalo ocorreu em função de testes preliminares, no qual foi possível observar com base no fenótipo que após esse período, plantas bem hidratadas inicialmente começavam a apresentar sinais de desidratação como enrolamento foliar e reorientação das folhas.

Os dados do microclima formado no local do experimento foram obtidos por meio de um termo-higrômetro digital posicionado no interior do ambiente, do qual foram coletadas informações de temperatura e umidade diariamente (Figura 1). As avaliações foram realizadas aos 21 dias, após imposição dos tratamentos.

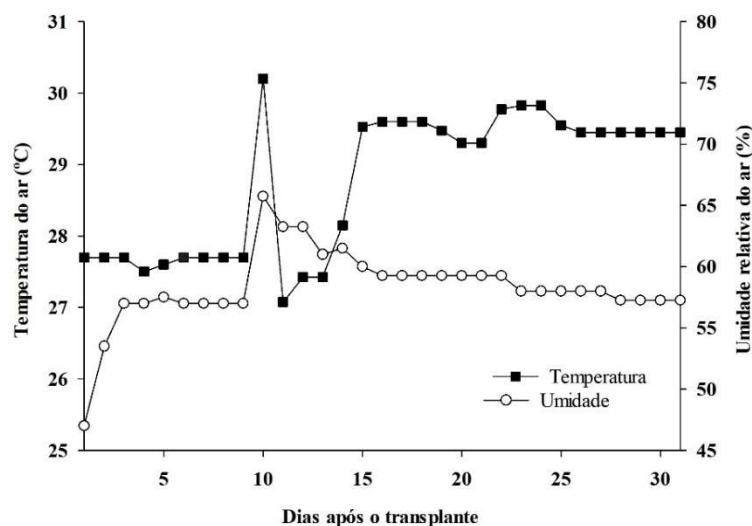


Figura 1. Microclima formado no interior da casa de vegetação

2.3 Variáveis avaliadas

2.3.1 Composição centesimal

Determinou-se na massa da matéria seca das folhas a umidade (U, %), em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 105 °C durante 30 h, já o conteúdo de cinzas (C, %), foi determinado por incineração do material em cápsulas de porcelana após 5 h em mufla (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2004). O teor de lipídios (L, %), foi obtido por meio do tratamento das amostras a mistura de clorofórmio, metanol e água na proporção 1:2:0,8 (BLYGH-DRYER, 1959) e proteínas (P, %), por meio dos processos sequenciais de digestão, destilação e titulação, sendo adotado o fator de 6,25 para conversão do nitrogênio em proteína (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2004). O conteúdo de carboidratos (CB, %), foi obtido pela diferença entre os respectivos elementos pela seguinte equação $CB = [100 - (U + C + L + P)]$.

2.3.2 Conteúdo relativo de água e grau de suculência das folhas

Avaliou-se o conteúdo relativo de água (CRA) das folhas completamente expandidas do terço médio das plantas, no qual, utilizou-se 5 discos foliares (5 mm) para cada repetição, por meio dos seguintes dados: massa da matéria fresca (MMF, g), massa da matéria túrgida (MMT, g) e massa da matéria seca (MMS, g) (WEATHERLEY, 1950). A massa túrgida foi obtida colocando os discos em placa de petri com água destilada durante 5 h e a seca pela secagem em estufa de circulação forçada de ar à 60 °C, até peso constante, considerando a equação $CRA = [(MMF - MMS) / (MMT - MMS)] \times 100$. Já a suculência foliar foi determinada com base na massa da matéria fresca, seca e área foliar (A, cm²) (MANTOVANI, 1999), conforme $suculência = [(MMF - MMS) / A]$, resultado expresso em g H₂O cm⁻².

2.3.3 Trocas gasosas

A eficiência do processo fotossintético foi avaliada com utilização do equipamento portátil IRGA (Infra-Red Gas Analyser, PP Systems, Amesbury, USA), entre as 9:00 e 12:00 h, fluxo de fótons de 800 μmol m⁻² s⁻¹ e CO₂ de referência 400 μmol mol⁻¹. Avaliou-se a assimilação de CO₂ expresso em mmol CO₂ m⁻² s⁻¹, eficiência no uso da água (EUA) em mmol CO₂ mmol⁻¹ H₂O, condutância estomática em mmol H₂O cm⁻² s⁻¹ e transpiração em mmol H₂O m⁻² s⁻¹. As leituras foram obtidas em duplicatas, durante 60 segundos para cada repetição.

2.3.4 Determinações bioquímicas

As determinações bioquímicas ocorreram em triplicatas, para isso os extratos foram obtidos por meio da maceração de 0,5 g da massa da matéria fresca das folhas, em graal adicionando 10 ml de tampão fosfato pH 7,0 posteriormente centrifugados a 11.000 rpm durante

15 minutos a 4 °C, sendo utilizado o sobrenadante nas avaliações.

Determinou-se o conteúdo de aminoácidos (mg g^{-1} MF), baseado no método da ninhidrina, utilizando-se L-leucina pura como padrão, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro $\lambda = 570$ nm (YEMM; COCKING, 1955), os açúcares solúveis totais (mg g^{-1} MF), pelo método da antrona $\lambda = 620$ nm (YEMM; WILLIS, 1954), açúcares redutores (mg g^{-1} MF), como disposto no método do dinitrosalicílico (DNS), $\lambda = 540$ nm (MILLER, 1959) e proteínas solúveis (mg g^{-1} MF), $\lambda = 595$ nm (BRADFORD, 1976). Também foi determinado os teores de prolina livre (mmol g^{-1} MS), $\lambda = 520$ nm, com uso da massa da matéria seca (0,1 g), macerados em 10 ml de ácido sulfosalicílico (3%), centrifugados, por 15 minutos a 11.000 rpm, baseado no disposto em Bates et al. (1973).

2.3.5 Análise estatística

Os dados obtidos nesse experimento foram submetidos a análise de variância pelo teste F, quando verificou-se diferença significativa as médias foram agrupadas pelo teste de *Scott-Knott* ao nível de significância de 5% para análise da composição centesimal, as demais variáveis foram submetidas a análise de regressão, sendo utilizado o Software R no tratamento dos dados (R development core team, 2021).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição centesimal

Foram observadas mudanças significativas na alocação de conteúdo energético na massa da matéria seca das folhas de *T. fruticosum* submetidos ao déficit hídrico, sendo que, os valores de proteínas, lipídios e carboidratos, apresentaram sensibilidade quanto ao nível de irrigação. Houve diferença estatística no conteúdo de proteínas (Figura 2A), plantas cultivadas sem reposição hídrica apresentaram maior conteúdo (28,87%), diferindo dos tratamentos que corresponderam a 20, 40, 60, 80 e 100% de reposição hídrica, plantas cultivadas ao nível da CC apresentaram menor conteúdo proteico (18,31%), redução de 36,57%, em relação às mantidas sem reposição. Contudo, plantas cultivadas ao nível de reposição hídrica para 20 e 40% da CC, apresentaram conteúdo elevado de proteínas 27,18% e 27,03% respectivamente, cujo fenótipo evidenciou maior potencial de mercado para plantas cultivadas a 40% da CC.

O conteúdo de lipídios (Figura 2B) também apresentou diferença estatística, assim, foi verificado maior teor nos tratamentos mais restritivo 0, 20 e 40% de reposição hídrica, sem diferença entre estes tratamentos. Porém, esses tratamentos apresentaram diferença estatística para os de maiores reposição hídrica 60, 80 e 100% da CC. Para os carboidratos (Figura 2C)

foi observado incremento significativo de 22,56% em plantas irrigadas para capacidade de campo, que apresentou conteúdo de carboidratos de 42,64%, em relação às mantidas sem reposição hídrica 33,02%. Verificou-se ainda, que o conteúdo de cinzas (Figura 2D) e umidade (Figura 2E) entre os tratamentos não foram significativos.

Assim, o resultado da restrição hídrica em plantas de *T. fruticosum*, foi alteração no armazenamento de energia, observados na composição centesimal (Figura 2), principalmente dos teores de proteínas e lipídios nos tratamentos mais restritivos. Segundo Pimentel (1988), em condições de estresse ambiental o incremento de carboidratos, proteínas e lipídios podem garantir a manutenção do fornecimento de energia. No entanto, nesse trabalho o maior conteúdo de carboidratos foi para plantas irrigadas para CC.

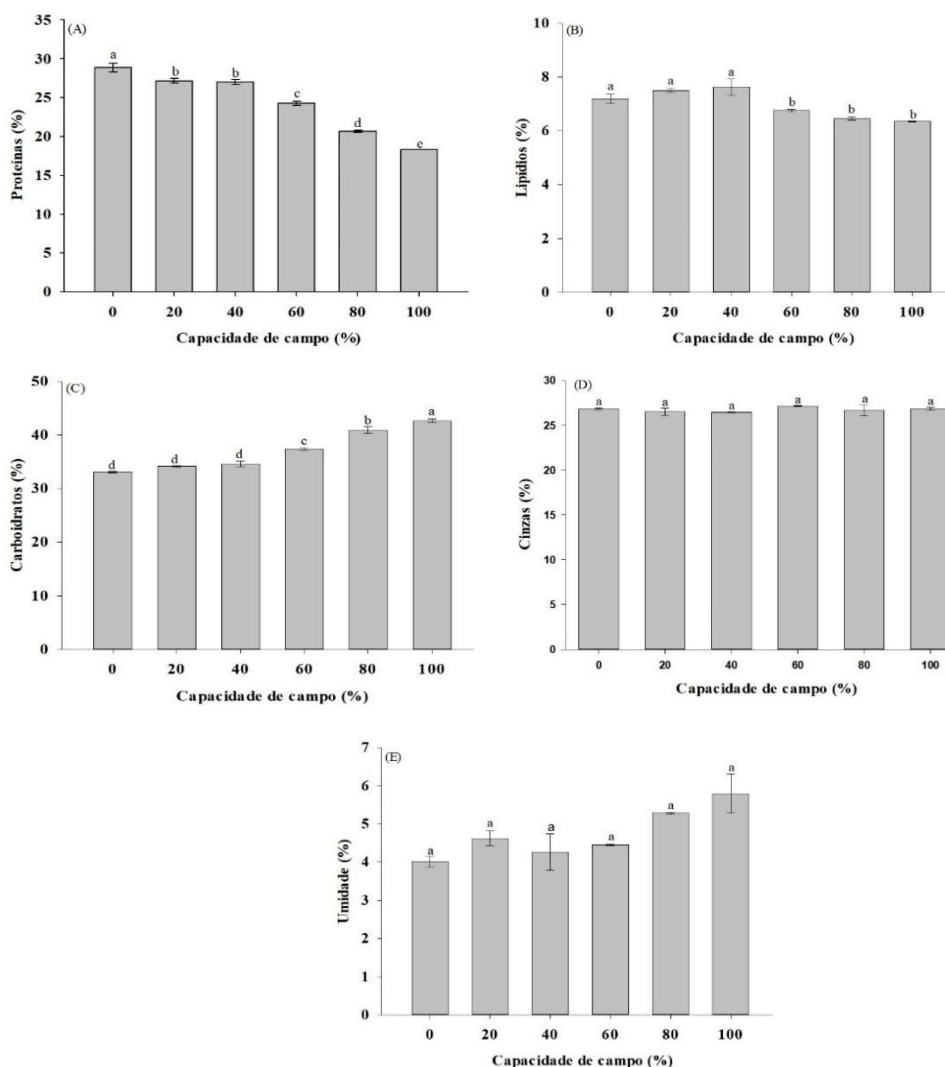


Figura 2. Composição centesimal na biomassa seca das folhas de *Talinum fruticosum*, cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo. Proteínas (A), lipídios (B), carboidratos (C), cinzas (D) e umidade (E). Médias seguidas pela mesma letra entre tratamentos não diferem entre si pelo teste *Scott-Knott* ao nível de significância de 5%. Valores apresentados pela média \pm erro padrão.

Os teores de proteínas e lipídios verificados para espécie foram 22,5 e 5,4%, na massa da matéria seca, bem como 53,5 % de carboidratos e cinzas de 18,6% (IFONT; BASSIR, 1980). Fasuyi (2006) verificou conteúdo de proteínas de 19,9%, gordura de 29,2% e cinzas de 19,4% na farinha das folhas de *T. fruticosum* secas ao sol. Alexandre et al. (2018), verificaram teor de proteína bruta nas folhas de 16,63%, resultado inferior ao menor conteúdo apresentado no presente trabalho.

3.2 Conteúdo relativo de água e grau de suculência das folhas

A redução do conteúdo de água no solo influenciou o nível de hidratação dos tecidos foliares em plantas de *T. fruticosum*, evidenciando que o status hídrico da planta é alterado em condição de déficit. O CRA e o grau de suculência apresentaram desempenho quadrático conforme análise de regressão (Figura 3). Nesse sentido, houve incremento no CRA à medida que se aumentava a irrigação (Figura 3A), sendo que, plantas irrigadas para 80% da capacidade de campo apresentaram maior CRA.

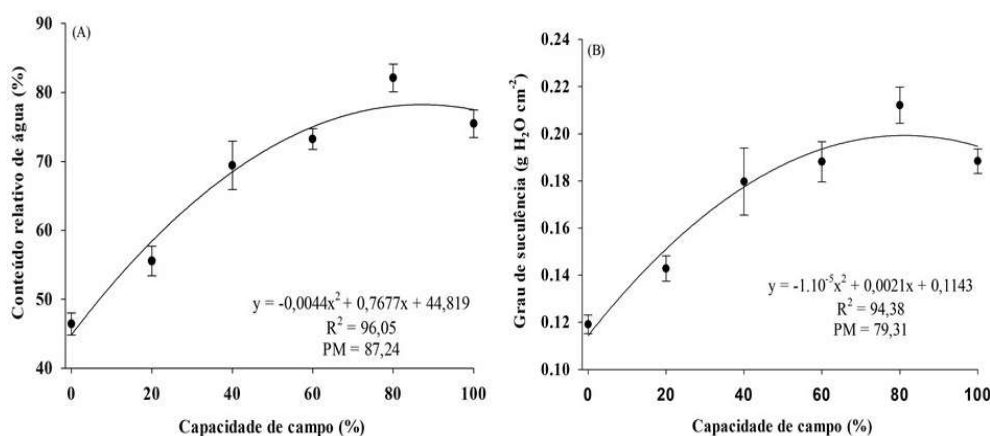


Figura 3. Relações hídricas em plantas de *Talinum fruticosum*, cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo. Conteúdo relativo de água (A) e grau de suculência (B). Valores apresentados pela média \pm erro padrão.

Trabalhos com déficit hídrico apontam para relação entre o potencial hídrico foliar (Ψ_w) e o conteúdo relativo de água das folhas, pois quanto menor o (CRA), observou-se uma tendência para redução do potencial hídrico (LEITE et al., 2018; 2019; 2021; LIMA 2020). Decréscimo no CRA, com imposição da restrição hídrica é relatado em *T. fruticosum* (PIETERS; TEZARA; HERREIRA, 2003). Contudo, os percentuais obtidos a partir dos dados fornecido no estudo indicam redução de aproximadamente 6% com restrição de 7 dias e de 17% após 26 dias de seca. Carvalho et al. (2021) estudando *Acanthostachys strobilacea* (Schult. e Schult.f.) Klotzsch, que também apresenta o metabolismo CAM Em condições de seca, verificaram redução significativa no conteúdo relativo de água com 72 h de limitação hídrica.

Em adição também houve incremento no grau de suculência das folhas (Figura 3B), para os tratamentos que receberam maior conteúdo de água, plantas cultivadas em nível de reposição hídrica para 80% da CC, apresentaram maior grau de suculência das folhas ($0,2121 \text{ g H}_2\text{O cm}^{-2}$). Embora a suculência tenha decaído nas condições de limitação de água no solo, após imposição dos tratamentos, a manutenção da sobrevivência das unidades experimentais até o fim do experimento teve influência da capacidade da espécie, ainda que, em menor quantidade, armazenar água nos tecidos.

Segundo Eggli e Nyffeler (2009), essa é uma estratégia utilizada principalmente pelas espécies de regiões semiáridas, caracterizada pela locação de água em tecidos vivos, possibilitando independência temporária do suprimento externo. Herreira et al (2015), trabalhando com *T. fruticosum*, também observou acúmulo de água nas folhas em condição de cultivo de 30% da capacidade de campo.

3.3 Trocas gasosas

Houve interferência significativa do déficit hídrico nas trocas gasosas e por consequência no desempenho da espécie. Foi verificado ajuste linear positivo para assimilação de CO_2 (Figura 4A), condutância estomática (Figura 4B) e transpiração (Figura 4C), nos quais verificou-se incremento com aumento do nível de irrigação. Em contrapartida a eficiência no uso da água (Figura 4D), apresentou ajuste linear negativo, sendo que neste verificou-se decréscimo para os tratamentos que receberam maior reposição hídrica. Assim, verificou-se que plantas irrigadas para 80% da capacidade de campo apresentaram maior desempenho para assimilação de CO_2 ($5,6833 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática ($17,50 \text{ mmol H}_2\text{O cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e transpiração ($0,9617 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-2}$).

A manutenção das trocas gasosas, mesmo que reduzidas nas condições de déficit hídrico demonstram plasticidade da planta em prover ajustes, isso porque *T. fruticosum* é uma planta C_3 , podendo apresentar metabolismo ácido das crassuláceas (CAM-facultativo) quando submetida a condições de estresse, no qual também apresentou redução na assimilação de CO_2 (HERRERA; DELGADO; PARAGUATEY, 1991). Contudo, neste trabalho as plantas cultivadas com reposição de água superior a 60% da capacidade de campo, apresentaram valores superiores. Sugere-se que o aumento da restrição hídrica induziu o acúmulo de ácidos orgânicos, provavelmente no vacúolo da célula vegetal em resposta à captura de carbono durante à noite em ação da enzima fosfoenolpiruvato carboxilase, durante o dia o malato foi descarboxilado no citoplasma e utilizado como substrato pela ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase na rota fotossintética C_3 , com respaldo em análise de Herreira et al.

(2009). Mudanças nos padrões de trocas gasosas são relatadas em outras espécies do gênero em condições de déficit hídrico, como observado em *T. paniculatum* (Jacq.) Gaertn. (GUERERE et al., 1996) e *T. calycinum* Engelm. (MARTIN; ZEE, 1983).

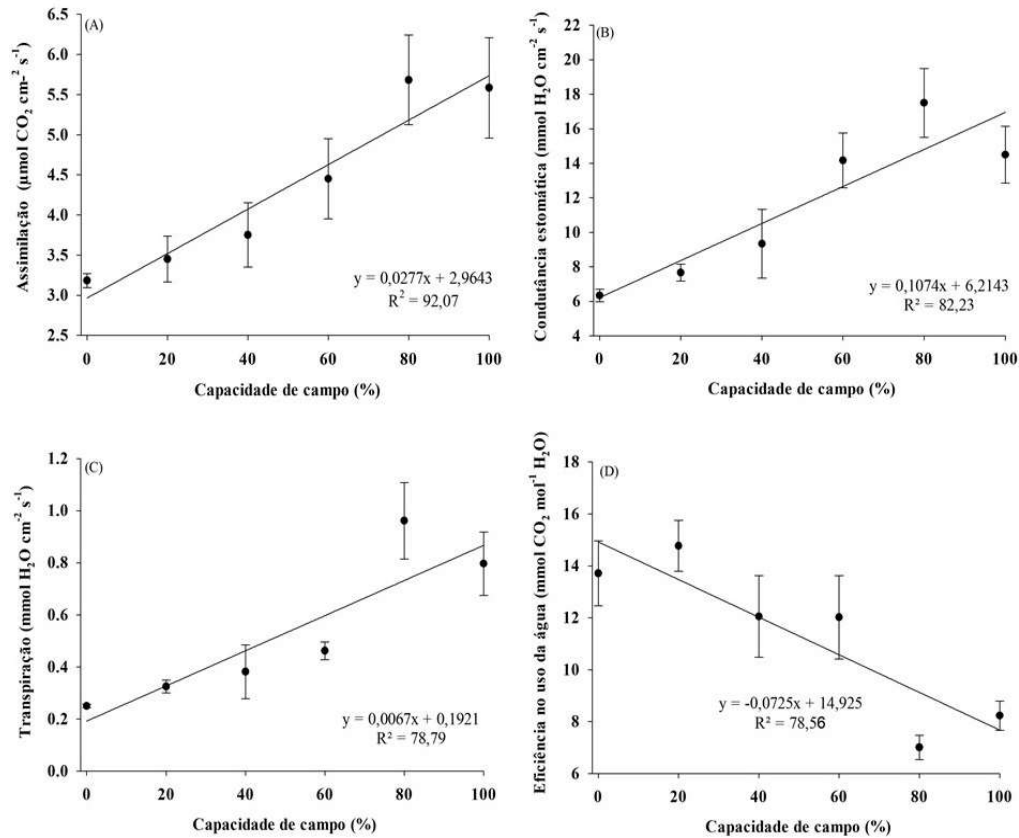


Figura 4. Trocas gasosas em *Talinum fruticosum*, cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo. Assimilação de CO_2 (A), condutância estomática (B), transpiração (C) e eficiência no uso da água (D). Valores apresentados pela média \pm erro padrão.

Influência nas trocas gasosas, diante de situações de estresse são relatadas em diferentes espécies como, tomate (PAZZAGLI et al., 2016), fisális (LEITE et al., 2018), feijão-caupi (SOUZA et al., 2020) e soja (SILVA et al., 2020). Porém, nas espécies de metabolismo CAM, o impacto da seca na fotossíntese são complexos, envolvendo estratégias para economia de água e ganho de carbono (HERRERA, 2009).

Ocorreu decréscimo na eficiência no uso da água (Figura 4D), à medida que se aumentava o nível de irrigação, nesse cenário plantas irrigadas para 20% da capacidade de campo apresentaram maior desempenho ($14,77 \text{ mmol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$). Plantas mantidas em condição de estresse tendem a otimizar a utilização deste recurso (SANTOS; CARLESSO, 1998), o que foi observado neste trabalho. Em conformidade Herrera et al. (2015), reportaram aumento da EUA na espécie em condições de restrição hídrica. Segundo Nobel (2002) a utilização eficiente do recurso hídrico é estratégia primordial nas espécies capazes de fixar carbono durante a noite. O desempenho dessas espécies é superior às plantas cuja captura de

carbono ocorre pela via C_3 (HERRERA, 2009).

Em suma, os impactos do déficit hídrico no desempenho fotossintético de *T. fruticosum* evidenciam ser complexos e dependentes da condição hídrica do solo, sendo a plasticidade da espécie mecanismo fundamental para contornar os períodos temporários de seca. Foi observado o estabelecimento de uma condição de tolerância ao déficit hídrico, tendo como estratégia o aumento da eficiência no uso do recurso hídrico à medida que o conteúdo de água no solo se tornava cada vez mais limitante.

3.4 Determinações bioquímicas

Verificou-se um conjunto de ajustes metabólicos significativos, que possibilitaram a manutenção da espécie nas condições desfavoráveis imposta pela limitação hídrica no solo. Foi observado desempenho quadrático para análise dos açúcares solúveis e linear para açúcares redutores, proteínas solúveis, aminoácidos e prolina livre.

O acúmulo de açúcares solúveis (Figura 5A), apresentou desempenho quadrático, nesse verificou-se que a limitação do conteúdo de água no solo resultou em maior incremento ($3,1 \text{ mg g}^{-1} \text{ MF}$) para plantas cultivadas sem reposição hídrica. Já o conteúdo de açúcares redutores (Figura 5B), apresentou ajuste linear negativo, sendo constatado decréscimo à medida que os níveis de irrigação se aproximavam da capacidade de campo, nesse sentido plantas cultivadas sem reposição hídrica apresentaram maior conteúdo ($0,013 \text{ mg g}^{-1} \text{ MF}$).

De acordo com o Kramer e Boyer (1995), em condições de estresse abiótico, o acúmulo de açúcares solúveis, pode ser resultado da quebra da molécula de amido (insolúvel), em moléculas menores e solúveis permitindo rápido ajuste osmótico e preservação do conteúdo celular. Além disso, o acúmulo de solutos orgânicos possibilita tolerância ao estresse abiótico (MA et al., 2017), já a redução pode ser indicativo da baixa atividade osmorreguladora (MELO, 2007). O aumento no conteúdo de açúcares solúveis totais, também foi observado em genótipos de *Jatropha curcas* L. CAM-facultativa no estresse hídrico (SILVA 2019).

Estes mecanismos estão em acordos com estudos realizados em condição de estresse em espécies do gênero *Physalis* (LEITE et al., 2018; 2019; LIMA, 2020), espécies da família Poaceae (MELO, 2007) e genótipos de amendoim (PEREIRA et al., 2012). Adicionalmente a imposição da limitação do conteúdo de água no solo também resultou em incremento dos açúcares redutores em *Physalis*, estando atrelado ao ajuste metabólico (LEITE et al., 2018 LIMA, 2020).

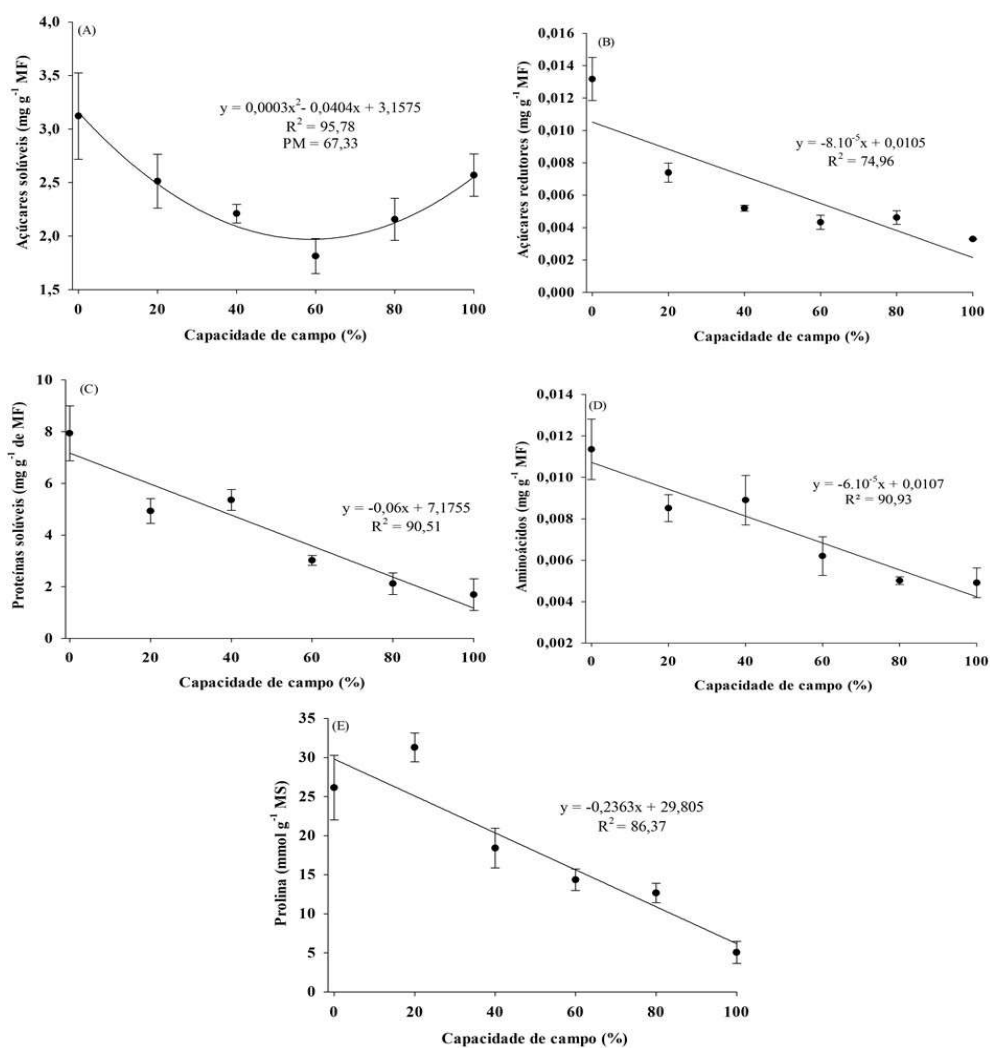


Figura 5. Acúmulo de solutos compatíveis em folhas de *Talinum fruticosum*, cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo. Açúcares solúveis totais (A), açúcares redutores (B), proteína solúveis (C), aminoácido (D) e prolina (E). Valores apresentados pela média \pm erro padrão.

Outras biomoléculas também apresentaram desempenho significativo, podendo ter a função de redução do potencial osmótico e em consequência do potencial hídrico foliar. Este acúmulo foi observado de forma pronunciada nas plantas cultivadas sem reposição hídrica, para proteínas solúveis (Figura 5C), correspondendo a ($7,934 \text{ mg g}^{-1}$ MF) e aminoácidos (Figura 5D), que além de contribuir na osmorregulação, são unidades fundamentais para formação de proteínas, resultando ($0,011 \text{ mg g}^{-1}$ MF), em ambos os casos com ajuste linear negativo, sendo o conteúdo reduzido com o aumento dos níveis de irrigação.

Trabalhando com déficit hídrico Lima (2020), observou incremento de proteínas em *Physalis* cultivada em 20% da capacidade de campo em relação aos tratamentos de maior reposição de água. Na condição de estresse é comum que proteases intensifiquem a degradação das proteínas resultando em aumento no conteúdo de aminoácidos (HUANG; JANDER, 2017), como disposto em estudo com *Tectona grandis* L. f. (LECHINOSKI et al., 2007). Os

aminoácidos por sua vez, também podem ser degradados e fornecer substrato como CO₂ para ser utilizado nos processos metabólicos (HILDEBRANDT et al., 2015), desempenho esse não observado para espécie estudada.

Ademais, a prolina também apresentou decréscimo à medida que se aumentava o fornecimento de água (Figura 5E), porém o maior conteúdo observado foi para plantas cuja reposição hídrica ocorreu para 20% da capacidade de campo (31,29 mmol g⁻¹ MS), podendo ter finalidade osmoprotetora (LIU; BUSH, 2006; KRASENSKY; JONAK, 2012). Segundo Verbruggen e Hermans (2008), é possível observar aumento de 100 vezes para plantas em condições de estresse abiótico. O acréscimo dessa biomolécula também foi observado em plântulas feijão cultivado sob limitação hídrica (ARAÚJO et al., 2021). Além disso a prolina também tem demonstrado papel importante como antioxidante não enzimático (NA et al., 2013).

Assim, o deslocamento de água entre o sistema solo, planta foi garantido pela formação do gradiente de potencial (TAIZ et al., 2017; BHATLA; LAL, 2018). Pois à medida que o conteúdo de água no solo decresceu a espécie necessitou prover a redução do potencial hídrico foliar, que se deu principalmente em função da redução do potencial osmótico e pressão. Segundo Krasensky e Jonak (2012), a remoção da condição limitante, resulta em redução dos solutos compatíveis, o que permite inferir em aumento do potencial hídrico.

4 CONCLUSÃO

O déficit hídrico resulta em mudanças no conteúdo energético da biomassa seca das folhas de *T. fruticosum* e pode ser utilizado de forma estratégica para o incremento de proteínas.

A restrição hídrica reduz as trocas gasosas em *T. fruticosum*, com limitação para o ganho de carbono e aumento da eficiência no uso da água.

As biomoléculas desempenham papel osmoprotetor em *T. fruticosum* nas condições de déficit hídrico.

REFERÊNCIAS

- AGBONON, A.; EKLUGA-DEGBEKE, K.; AKLIKOKOU, K.; GBEASSOR, M.; AKPAGANA, K.; TAM, T. W.; ARNASON, J. T.; FOSTER, B. C. *In vitro* inhibitory effect of West African medicinal and food plants on human cytochrome P450 3A subfamily. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 128, n. 2, p. 390-394, 2010.
- ALEXANDRE, E. C. F.; ANDRADE, J. W. S.; JAKELAITIS, A.; PEREIRA, L. S.; SOUSA, G. D.; OLIVEIRA, G. S. Composição mineral e bromatológica de *Talinum triangulare* (Jacq.) Willd cultivada sob sombreamento. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 8, n. 2, p. 40-51, 2018.
- ALVALÁ, R. C. S.; CUNHA, A. P. M. A.; BRITO, S. S. B.; SELUCHI, M. E.; MARENGO, J. A.; MORAES, M. O. L. L.; CARVALHO, M. A. Drought monitoring in the Brazilian semiarid region. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 91, p. 1-15, 2019.
- ANDARWULAN, N.; BATARI, R.; SANDRASARI, D. A.; BOLLING, B.; WIJAYA, H. Flavonoid content and antioxidant activity of vegetables from Indonesia. **Food Chemistry**, v. 121, p. 1231-1235, 2010.
- ANDRADE, J. A.; NUNES, M. A. Acesso à água no semiárido brasileiro: uma análise das políticas públicas implementadas na região. **Revista Espinhaço**, v. 3, n. 2, p. 28-39, 2014.
- ARAÚJO, B. O. N.; MONTEIRO, M. A.; MARTINS, A. C.; FONSECA, L. L.; ULIANA, A. S.; OLIVEIRA, V. D.; PEDÓ, T.; AUMONDE, T. Z. Desempenho bioquímico de plântulas de feijão sob restrição hídrica no início do desenvolvimento. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 20, p. 1-9, 2021.
- BATES, L. WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.
- BHATLA, S. C.; LAL, M. A. **Plant physiology, development and metabolism**. Singapura: Springer, 2018, 1.252 p.
- BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian Journal Biochemistry Physiological**, v. 37, p. 911-917, 1959.
- BONFIM-SILVA, E. D.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 180-186, 2011.
- 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, p. 248-54, 1976.
- BRASIL. **RESOLUÇÃO CONDEL/SUDENE N° 150**. Ministério do Desenvolvimento Regional/Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste/Conselho Deliberativo, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-condel/sudene-n-150-de-13-de-dezembro-de-2021-370970623>> Acesso em: 02 de janeiro de 2022.

CARVALHO, V.; GASPAR, M.; NIEVOLA, C. C. Short-term drought triggers defence mechanisms faster than ABA accumulation in the epiphytic bromeliad *Acanthostachys strobilacea*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 160, p. 62-72, 2021.

EGGLI, U.; NYFFELER, R. Living under temporarily arid conditions - succulence as a adaptive strategy. **Bradleya**, v. 27, p.13-36, 2009.

EGHAREVBA, R. K. A; IKHATUA, M. I. Ethno-medical uses of plants in the treatment of various skin diseases in Ovia North East Edo State, Nigeria. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 4, p. 58-64, 2008.

FASUYI, A. O. Bio-nutritional evaluations of three tropical leaf vegetables (*Telfairia occidentalis*, *Amaranthus cruentus* and *Talinum triangulare*) as sole dietary protein sources in rat assay. **Food Chemistry**, v. 103, p. 757-765, 2007.

FASUYI, A. O. Nutritional potentials of some tropical vegetable leaf meals: chemical characterization and functional properties. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, p. 49-53, 2006.

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

GUERERE, I.; TEZARA, W.; HERRERA, C.; FERNANDEZ, M. D.; HERRERA, A. 1996. Recycling of CO₂ during induction of CAM by drought in *Talinum paniculatum* (Portulacaceae). **Physiologia Plantarum**, v. 98, p. 471–476, 1996.

HERRERA A. Effects of photoperiod and drought on the induction of CAM and the reproduction of plants of *Talinum triangulare*. **Canadian Journal of Botany**, v. 77, p. 404–409, 1999.

HERRERA A.; DELGADO J.; PARAGUATEY I. Occurrence of crassulacean acid metabolism in *Talinum triangulare* (Portulacaceae). **Journal of Experimental Botany**, v. 42, n. 237, p. 493-499, 1991.

HERRERA, A. Crassulacean acid metabolism and fitness under water deficit stress: if not for carbon gain, what is facultative CAM good for? **Annals of Botany**, v. 103, p. 645–653, 2009.

HERRERA, A.; BALLESTRINI, C.; MONTES, E. What is the potential for dark CO₂ fixation in the facultative crassulacean acid metabolism species *Talinum triangulare*. **Journal of Plant Physiology**, v. 174, p. 55–61, 2015.

HILDEBRANDT, T. M.; NESI, A. N.; ARAÚJO, W. L.; BRAUN, H. P. Amino acid catabolism in plants. **Molecular Plant**, v. 8, p. 1563-1579, 2015.

HUANG, T.; JANDER, G. Abscisic acid-regulated protein degradation causes osmotic stress-induced accumulation of branched-chain amino acids in *Arabidopsis thaliana*. **Planta**, v. 246, p. 737-747, 2017.

IFON, E. T.; BASSIR, O. The nutritive value of some Nigerian leafy green vegetables - Part 2: The distribution of protein, carbohydrates (including ethanol-soluble simple sugars), crude fat, fibre and ash. **Food Chemistry**, v. 5, p. 231-235, 1980.

IKEWUCHI, C. C.; IKEWUCHI, J. C.; IFEANACHO, M. O. Bioactive phytochemicals in an aqueous extract of the leaves of *Talinum triangulare*. **Food Science & Nutrition**, v. 5, p. 696-701, 2016.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2004, 1004 p.

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. **Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014. 768 p.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. New York: Academic Press 1995. 495 p.

KRASENSKY, J.; JONAK, C. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 4, p. 1593–1608, 2012.

LECHINOSKI, A.; FREITAS, J. M. N.; CASTRO, D. S.; LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; CUNHA, R. L. M. Influência do Estresse Hídrico nos Teores de Proteínas e Aminoácidos Solúveis Totais em Folhas de Teca (*Tectona grandis* L. f.). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 927-929, 2007.

LEITE, R. S.; NASCIMENTO, M. N.; SILVA, A. L.; SANTOS, R. J. Chemical priming agents controlling drought stress in *Physalis angulata* plants. **Scientia Horticulturae**, v. 275, 109670, 2021.

LEITE, R. S.; NASCIMENTO, M. N.; TANAN, T. T.; GONÇALVES NETO, L. P.; RAMOS, C. A. S.; SILVA, A. L. Alleviation of water déficit in *Physalis angulata* plants by nitric oxide exogenous donor. **Agricultural Water Management**, v. 216, p. 98–104, 2019.

LEITE, R. S.; NASCIMENTO, M. N.; TANAN, T. T.; RAMOS, C. A. S.; NETO, L. P. G.; GUIMARÃES, D. S. Physiological responses of *Physalis angulata* plants to water déficit. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 10, p. 287-297, 2018.

LIAO, D. Y.; CHAI, Y. C.; WANG, S. H.; CHEN, C. W.; TSAI, M. S. Antioxidant activities and contents of flavonoids and phenolic acids of *Talinum triangulare* extracts and their immunomodulatory effects. **Journal of Food And Drug Analysis**, v. 23 p. 294-302, 2015.

LIMA, I. K. F. **Efeito atenuante do óxido nítrico em plantas de *Physalis peruviana* L. sob estresse hídrico**. 2020. 79 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2020.

LIU, X.; BUSH, D. R. Expression and transcriptional regulation of amino acid transporters in plants. **Amino acids**, v. 30, p. 113–120, 2006.

MA, QI-JUN.; SUN, MEI-HONG.; LU, J.; LIU, YA-JING.; HU, DA-GANG.; HAO, YU-JIN. Transcription factor AREB2 is involved in soluble sugar accumulation by activating sugar transporter and amylase genes. **Plant Physiology**, v. 174, p. 2348-2362, 2017.

MANTOVANI, A. A. method to improve leaf succulence quantification. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 42, p. 9-14, 1999.

MARTIN, C. E.; ZEE, A. K. C3 Photosynthesis and crassulacean acid metabolism in a Kansas Rock Outcrop Succulent, *Talinum calycinum* Engelm. (Portulacaceae). **Plant Physiology**, v. 73, p. 718-723, 1983.

MELO, H. C.; CASTRO, E. M.; SOARES, A. M.; MELO, L. A.; ALVES, J. D. Alterações anatômicas e fisiológicas em *Setaria anceps* Stapf ex Massey e *Paspalum paniculatum* L. sob condições de déficit hídrico. **Hoehnea**, v. 34, n. 2, p. 145-153, 2007.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Biochemistry**, v. 31, p. 426-428, 1959.

NA, Y.; ZHANG, M.; LIU, G.; HAN, R.; LIANG, Z. Proline accumulation in leaves of *Periploca sepium* via both biosynthesis up-regulation and transport during recovery from severe drought. **PLoS One**, v. 8, p. 1-10, 2013.

NAOE, A. M. L.; PELUZIO, J. M.; CAMPOS, L. J. M.; NAOE, L. K.; SILVA, R. A. Co-inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean cultivars subjected to water deficit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 89-94, 2020.

NOBEL, P. S. *Cacti: Biology and uses*. University of California Press; 2002, 280 p.

NYFFELER, R.; EGGLI, U. Disintegrating Portulacaceae: A new familial classification of the suborder Portulacineae (Caryophyllales) based on molecular and morphological data. **Taxon**, n. 59, p.227-240. 2010.

OLUBA, O. M.; ADEBIYI, F. D.; DADA, A. A.; AJAYI, A. A.; ADEBISI, K. E.; JOSIAH, S. J.; ODUTUGA, A. A. Effects of *Talinum triangulare* leaf flavonoid extract on streptozotocin-induced hyperglycemia and associated complications in rats. **Food Science & Nutrition**, v. 7, p. 385-394, 2018.

PAZZAGLI, P. T.; WEINER, J.; LIU, F. Effects of CO₂ elevation and irrigation regimes on leaf gas exchange, plant water relations, and water use efficiency of two tomato cultivars. **Agricultural Water Management**, v. 169, p. 26-33, 2016.

PEREIRA, J. W. L.; FILHO, P. A. M.; ALBUQUERQUE, M. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 4, p. 766-773, 2012.

PIETERS, A. J.; TEZARA, W.; HERRERA, A. Operation of the xanthophyll cycle and degradation of D1 protein in the inducible CAM plant, *Talinum triangulare*, under water deficit. **Annals of Botany**, v. 92, p. 393-399, 2003.

PIMENTEL, C., 1998. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Rio de Janeiro, Seropédica: EDUR, 1998, 150p.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SANCHES, R. F. E.; SILVA, A. P. O.; COSTA, V. P.; CARVALHO, M. A. M.; SILVA, E. A. Changes in carbohydrates accumulation in *Viguiera discolor* Baker in response to water déficit. **Hoehnea**, v. 4, e382019, 2019.

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

SILVA, J. A.; SANTOS, P. A. B.; CARVALHO, L. G.; MOURA, E. G.; ANDRADE, F. R. Gas exchanges and growth of soybean cultivars submitted to water deficiency. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v 50, e58854, 2020.

SILVA, L. D.; GOMES, F. P.; OLIVEIRA, P. S.; ALMEIDA, F. R.; PIROVANI, C. P.; LAVIOLA, B. G.; AMARAL, J. F. T. Plasticity of photosynthetic metabolism in *Jatropha curcas* genotypes under water déficit. **Genetics and Molecular Research**, 18 (2), p-1-17, 2019.

SOUZA, P. J. O. P.; FERREIRA, D. P.; SOUSA, D. P.; NUNES, H. G. G. C.; BARBOSA, A. V. C. Trocas gasosas do feijão-caupi cultivado no nordeste paraense em resposta à deficiência hídrica forçada durante a fase reprodutiva. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 13-22, 2020.

TAISMA M. A.; HERRERA. Drought under natural conditions affects leaf properties, induces cam and promotes reproduction in plants of *Talinum triangulare*. **Interciencia**, v. 28, n. 5, p. 292-297, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 857 p.

VERBRUGGEN, N.; HERMANS, C. Proline accumulation in plants: a review. **Amino Acids**, v. 35, p. 753–759, 2008.

WEATHERLEY, P. E. Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water déficits in leaves. **New Phytologist**, v.49, p.81-87, 1950.

WINTER, K.; HOLTUM, J. A. M. Facultative crassulacean acid metabolism (CAM) plants: powerful tools for unravelling the functional elements of CAM photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**. v. 65, n. 13, p. 3425–3441, 2014.

YEMM E W, A J WILLIS. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochemical Journal**. v. 57, p. 508-514. 1954.

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

YU, H.; CHEN, X.; HONG, Y-Y.; WANG, Y.; XU, P.; KE, S-D.; LIU, H-Y.; ZHU, J-K.; OLIVER, D. J.; XIANG, C-B. Activated expression of an *Arabidopsis* HD-START protein confers drought tolerance with improved root system and reduced stomatal density. **The Plant Cell**, v. 20, p. 1134–1151, 2008.

CAPÍTULO 2**ATIVIDADE ENZIMÁTICA E ASPECTOS MORFOLÓGICOS
EM *Talinum fruticosum* (L.) Juss. SUBMETIDO AO DÉFICIT
HÍDRICO**

RESUMO

A seca é o principal fator de estresse abiótico em plantas, pode resultar em danos oxidativos causados pelas espécies reativas de oxigênio com implicações no metabolismo, exigindo ação enzimática antioxidante para controle dos subprodutos capazes de causar citotoxicidade. Nessa perspectiva, espécie como *Talinum fruticosum* propensa para tolerar o déficit hídrico é de uso potencial. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência do déficit hídrico na atividade enzimática antioxidante e aspectos morfológicos de *Talinum fruticosum*. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, no qual foram utilizados 6 tratamentos e 8 repetições, sendo os tratamentos definidos em níveis da capacidade de campo (CC) 0, 20, 40, 60, 80 e 100%, o experimento foi conduzido em casa de vegetação e a reposição de água ocorreu a cada 7 dias. Foi avaliado a atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e catalase (CAT) em três períodos 0, 14 e 21 dias de imposição dos tratamentos, além dos aspectos morfológicos no último período. Os resultados evidenciam que a atividade enzimática antioxidante da CAT e APX em *T. fruticosum* teve incremento no período inicial de limitação hídrica no solo, até 14 dias. Porém, o déficit hídrico prolongado promoveu decréscimo na atividade das enzimas. Os aspectos morfológicos foram afetados pela limitação da água no solo, apresentando decréscimo em função do aumento do nível de restrição hídrica. Portanto, o déficit hídrico temporário exerce influência na atividade enzimática antioxidante e aspectos morfológicos em *Talinum fruticosum*.

Palavras-chaves: Citotoxicidade. Estresse oxidativo. EROs.

ABSTRACT

Drought is the main abiotic stressor in plants, can result in oxidative damage caused by reactive oxygen species with implications for metabolism, requiring antioxidant enzyme action to control by-products capable of causing cytotoxicity. From this perspective, specie such as *Talinum fruticosum* capable of tolerating water deficit is of potential use. Thus, the objective of the work was to evaluate the influence of water deficit on antioxidant enzyme activity and morphological aspects of *Talinum fruticosum*. The experimental design adopted was entirely randomized, using 6 treatments and 8 repetitions, with the treatments defined in levels of field capacity (FC) 0, 20, 40, 60, 80 and 100%. The experiment was conducted in a greenhouse, with water restitution every 7 days. The activity of the enzymes superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX) and catalase (CAT) was evaluated in three periods 0, 14 and 21 days after imposition of the treatments, besides the morphological aspects in the last period. The results evidence that the antioxidant enzymatic activity of the enzymes CAT and APX in *T. fruticosum* plants has increase in the initial period of water limitation, up to 14 days. However, prolonged water deficit promoted a decrease in enzyme activity. The morphological aspects were affected by the water limitation in the soil, showing a decrease as the level of water restriction increased. Therefore, temporary water deficit exerts influence on antioxidant enzyme activity and morphological aspects in *Talinum fruticosum*.

Keywords: Cytotoxicity. Oxidative stress. ROS.

1 INTRODUÇÃO

O oxigênio molecular presente na atmosfera está diretamente relacionado ao metabolismo aeróbico, que inevitavelmente resulta na formação das espécies reativas de oxigênio (EROs) (APEL; HIRT, 2004; TRIPATHY; OELMÜLLER, 2012). As EROs são moléculas reativas formadas pela redução parcial do oxigênio, sendo considerada subproduto do metabolismo (TAIZ et al., 2017). As mais frequentes são o oxigênio singlete (1O_2), radical superóxido ($O_2^{\cdot -}$), radical hidroxila ($OH\cdot$) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (TRIPATHY; OELMÜLLER, 2012; DEMIDCHIK, 2015; TAIZ et al., 2017; BHATLA; LAL, 2018), estima-se que entre 1 à 2% do consumo de oxigênio resulta na formação das EROs (DAS; ROYCHOUDHURY, 2014).

As EROs são formadas em estruturas com alto fluxo de elétrons (CHOUDHURY et al., 2013), como nos cloroplastos, mitocôndrias, peroxissomos, retículo endoplasmático, parede celular (DAS; ROYCHOUDHURY, 2014) e apoplasto (JUBANY-MARÍ et al., 2009). Contudo, desempenham duplo papel, estando diretamente influenciada pelo conteúdo quantitativo, tendo como respostas as altas concentrações, danos as biomoléculas e no oposto atuando na sinalização celular (MILLER, 2010; SHARMA et al., 2012; FOYER; NOCTOR, 2016; CZARNOCKA; KARPIŃSKI, 2018). Assim, a manutenção do metabolismo é assegurado pelo equilíbrio entre a formação e eliminação das EROs (DAS; ROYCHOUDHURY, 2014).

Nas plantas, o estresse possibilita a formação de uma cadeia de eventos fisiológicos cujo objetivo é a manutenção da vida. Fatores capazes de desencadear o estresse como frio, temperatura, seca, ataques de patógenos (NOCTOR; MHAMDI; FOYER, 2014), metais pesados (CHOUDHURY et al., 2013) e salinidade (DAS; ROYCHOUDHURY, 2014), potencializam a formação das espécies reativas de oxigênio. A dinâmica entre a formação e eliminação das EROs determina a capacidade de citotoxicidade, quando a formação das EROs excede a capacidade da célula eliminá-la, instaura-se uma condição de estresse, mas em nível controlado pelo metabolismo, atua na via de sinalização e aclimação da planta.

Em condições de estresse mecanismos enzimáticos são requeridos para manutenção da homeostase celular, sendo as enzimas superóxido dismutase (SOD), Ascorbato peroxidase (APX) e Catalase (CAT), importantes na eliminação das EROs. Essas enzimas atuam na eliminação dos subprodutos do metabolismo aeróbico, para evitar a formação H_2O_2 .

A seca no semiárido brasileiro implica em déficit hídrico igual ou superior a 60% diariamente (BRASIL, 2021). Permitindo inferir que esse estresse abiótico exige mecanismo de ajuste celular, para que as plantas tenham condições de sobreviver a períodos temporários

de escassez de água. Não obstante, a seca é considerada fator limitante para o crescimento vegetal (GONZÁLEZ-CHAVIRA et al., 2018). Segundo Taiz et al. (2017), é primário o impacto do estresse abiótico no alongamento e divisão celular.

Talinum fruticosum (L.) Juss. é uma planta alimentícia não convencional (KINUPP; LORENZI, 2014), inserida na família Talinaceae (NYFFELER; EGGLI, 2010), sendo verificada no semiárido brasileiro. Dentre as características que a torna um recurso genético importante, destaca-se o teor de proteína (IFONT; BASSIR, 1980; FASUY, 2006), aplicabilidade na culinária (FASUY, 2007; AGBONON et al., 2010; KINUPP; LORENZI, 2014) e propriedades medicinais (EGHAREVBA; KHATUA, 2008; ANDARWULAN et al., 2010; LIAO et al., 2015; IKEWUCHI et al., 2016; OLUBA et al., 2018).

Contudo, o desempenho da espécie em cenário de déficit hídrico ainda é pouco investigado, estando as análises voltada principalmente para ajuste do metabolismo fotossintético (HERRERA; DELGADO; PARAGUATEY, 1991; HERRERA, 1999; HERRERA et al., 2015). Assim, investigar como os mecanismos enzimáticos são requeridos pela espécie em condições de estresse, poderá fornecer informações relevantes.

Sabendo da importância das espécies propícias a se estabelecerem no semiárido brasileiro, o melhor entendimento dos mecanismos de tolerância ao principal estresse abiótico da região torna-se necessário. Desse modo, objetivou-se avaliar a influência do déficit hídrico na atividade enzimática antioxidante e aspectos morfológicos de *Talinum fruticosum*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudos

O trabalho foi desenvolvido na Unidade Experimental do Horto Florestal, pertencente à Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), 12° 16' 7,2" S e 38° 56' 21,6" W e altitude de 258 m.

2.2 Implantação e condução experimental

O experimento foi conduzido em casa vegetação, com sombreamento de 50%, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), contando com 6 tratamentos e 8 repetições. As sementes utilizadas foram obtidas por meio de coleta no campus da UEFS (12° 12' 12,1" S e 38° 58' 11,1" W, e altitude de 237 metros). Uma amostra da espécie está depositada no Herbário da instituição (HUEFS), voucher (254825). A formação das mudas ocorreu em copos de 0,2 dm³ tendo como substrato o mesmo solo que foi utilizado posteriormente no local definitivo

(vasos), já o transplante para o local permanente ocorreu após 25 dias.

O local definitivo constou de unidades individuais (vasos) dispostos em espaçamento de 1,0 m entre filas e 0,5 m entre plantas, com capacidade de 8 dm³, contendo 8 kg, de solo seco ao ar, sendo conhecido seu teor elementar. O solo utilizado foi coletado na camada subsuperficial (0 à 20 cm), apresentando as seguintes características químicas, pH= 7,1 em H₂O, P= 56; K= 230; S= 5; Fe= 104; Zn= 8,4; Cu= 0,4; Mn= 26; B= 0,25 mg dm⁻³, Ca= 5,0; Mg= 1,2; H+Al= 1,3 cmol dm⁻³, M.O= 24 g kg⁻¹ e saturação de bases de 84,1%, além dos componentes físicos (granulometria), areia grossa= 586; areia fina= 174; silte= 60; argila= 180 g kg⁻¹, tendo classificação textural de franco argiloso. Assim, considerando a rusticidade da planta e os níveis dos elementos minerais no solo, bem como saturação de bases, não houve correção de acidez e adubação mineral.

As condições irrigação aplicadas foram de (0, 20, 40, 60, 80 e 100%) da capacidade de campo do solo do vaso, obtidas conforme Bonfim-Silva et al. (2011). Para determinação desses tratamentos, foram utilizados 3 vasos preenchidos com solo seco ao ar (peso conhecido), saturados e vedados na parte superior (PVC), dispostos de forma suspensa para drenagem, transcorridas 24, 48 e 72h foram pesados novamente e por diferença de peso obteve-se a capacidade de campo (CC). Após o transplante as mudas foram mantidas em 80% da CC, durante 10 dias, sendo aplicados os tratamentos após este período.

A reposição de água para o nível da capacidade de campo de cada tratamento ocorreu em intervalos de 7 dias, desconsiderando o incremento de massa da matéria fresca, sendo que, a escolha desse intervalo ocorreu em função de testes preliminares, no qual foi possível observar com base no fenótipo que após esse período, plantas bem hidratadas inicialmente começavam a apresentar sinais de desidratação como enrolamento foliar e reorientação das folhas.

Os dados do microclima formado no local do experimento foram obtidos por meio de um termo-higrômetro digital posicionado no interior do ambiente, do qual foram coletadas informações de temperatura e umidade diária (Figura 1).

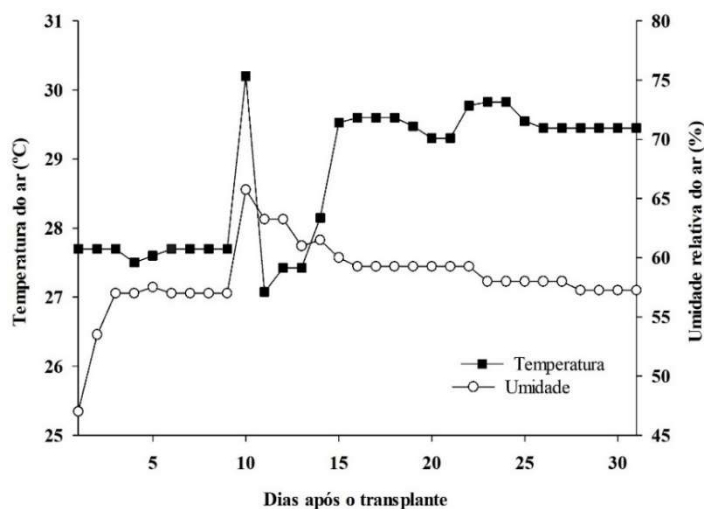


Figura 1. Microclima formado no interior da casa de vegetação

2.3 Coleta do material e preparo dos extratos

Foi utilizado 200 mg das folhas completamente expandidas do terço médio da planta de cada repetição aos 0, 14 e 21 dias de imposição dos tratamentos, sendo essas embaladas em papel alumínio e congeladas em nitrogênio líquido para avaliações posteriores. O preparo do extrato ocorreu por meio da maceração da matéria fresca das folhas em 6 ml de solução tampão composta de fosfato de potássio 100 mM, EDTA 0,1 mM e ácido ascórbico 10 mM (BIEMELT; KEETMAN; ALBRECHT, 1998). O extrato foi centrifugado a 11.000 rpm a 4 °C, durante 15 minutos, sendo utilizado o sobrenadante nas avaliações.

2.4 Atividade enzimática

Para avaliar a atividade específica das enzimas, quantificou-se as proteínas solúveis dos extratos conforme Bradford (1976), utilizando a albumina bovina como padrão. Determinou-se o conteúdo da ascorbato peroxidase (APX), baseado em Nakano e Asada (1981), para tanto foram incubados em banho-maria (30 °C), fosfato de potássio 50 mM, ácido ascórbico 0,5 mM e água, adicionados ao extrato enzimático. O peróxido de hidrogênio 0,1 mM, foi adicionado no momento da leitura, que ocorreu em espectrofotômetro $\lambda = 290$ nm em intervalos de 15 em 15 segundos durante 3 minutos (coeficiente de extinção molar $2,8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), os resultados foram expressos em (nmol de ASA $\text{min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína).

A catalase (CAT) foi determinada conforme Havir e McHale (1987), para isso foram incubados em banho-maria (30 °C), fosfato de potássio 50 mM e água acrescentados ao extrato enzimático, sendo adicionado o peróxido de hidrogênio 12,5 mM, no momento da leitura, que ocorreu em espectrofotômetro $\lambda = 240$ nm de 15 em 15 segundos por 3 minutos (Coeficiente de extinção molar $36 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), sendo os resultados expresso em (nmol de H_2O_2 $\text{min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína).

Superóxido dismutase (SOD) avaliada como disposto em Giannopolitis e Ries (1977), além da amostra enzimática utilizou-se o mix tampão de incubação, composto de fosfato de potássio 50 mM, metionina 14 mM, EDTA 0,1 mM, água, NBT 75 μ M e riboflavina 2 μ M (protegidos da luz), o tempo de incubação foi de 15 minutos. As amostras foram analisadas no claro (luz ambiente-bancada) e no escuro (ausência de luz direta), sendo as leituras realizadas em $\lambda = 560$ nm, baseado na quantidade de enzima necessária para inibir 50% da fotoredução do NBT, com resultado expresso em (U de SOD $\text{min}^{-1} \mu\text{g}^{-1}$ de proteína).

2.5 Aspectos morfológicos

Determinado no final do experimento aos 21 dias, no qual verificou-se o diâmetro do caule (mm), altura da planta (cm), número de folhas, massa da matéria fresca das folhas (g), massa da matéria seca das folhas (g) e total (g), resultantes do processo de secagem em estufa de circulação forçada de ar à 60 °C até peso constante, já a área foliar (AF, cm^2) foi determinada por meio dos discos (5 discos para cada repetição), utilizando a massa da matéria seca das folhas (MMSF, g), massa da matéria seca dos discos (MMSD, g), área do disco (AD, cm^2) conforme $[(\text{MMSF} \times \text{AD}) / \text{MMSD}]$.

2.6 Análise estatística

Os dados obtidos no experimento foram tratados no programa Software R (R development core team, 2021), submetidos a análise de variância pelo teste F e quando constatou-se diferença significativa, foram submetidos ao teste *Tukey* para desdobramento do fator tempo dentro de cada tratamento e análise de regressão para os tratamentos (nível significância de 5%), não existindo interação os fatores foram avaliados de forma independente, considerando o arranjo fatorial tempo (dias) e os tratamentos. Dados dos aspectos morfológicos analisado no final do experimento, foram submetidos a análise de variância pelo teste F, quando verificou-se diferença significativa, analisadas por regressão ao nível de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Atividade enzimática

Houve interação significativa entre os tempos de coleta e os tratamentos para atividade enzimática da SOD e APX. Considerando o desempenho da SOD, foi constatado influência na atividade da enzima em relação ao tempo de exposição ao déficit hídrico. Verificou-se que, para o tratamento no qual não houve reposição de água (0% da CC), a maior atividade da enzima ocorreu antes da imposição dos tratamentos (5,05 U de SOD $\text{min}^{-1} \mu\text{g}^{-1}$ de proteína), diferindo estatisticamente da atividade enzimática aos 21 dias, decréscimo de 65,32% (Figura 2). Ainda,

foi observado nos tratamentos que corresponderam a 20, 40, 60 e 80% da CC, incremento significativo da enzima aos 14 dias após imposição do déficit hídrico seguido de decréscimo aos 21 dias, a exceção ocorreu para plantas cultivadas a 100% da CC, onde ocorreu incremento não significativo da SOD aos 21 dias de imposição dos tratamentos em relação ao tempo intermediário (Figura 2).

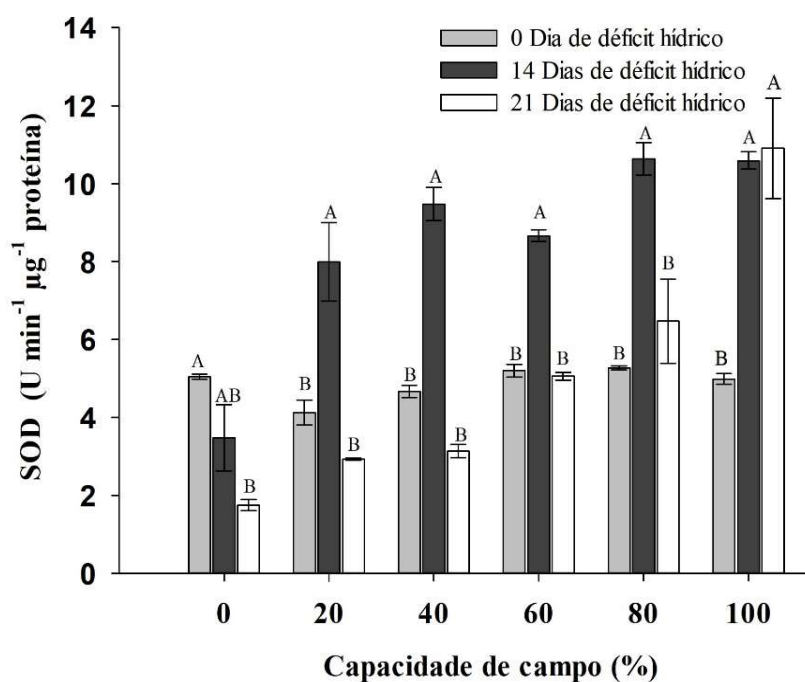


Figura 2. Influência do tempo de exposição ao déficit hídrico na atividade da superóxido dismutase em *Talinum fruticosum*, cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo. Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada tratamento não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Valores apresentados pela média \pm erro padrão.

A SOD é considerada enzima primária na resposta ao estresse oxidativo, resultante do acúmulo das EROs, pela dismutação do radical superóxido ($O_2^{\bullet-}$) em peróxido de hidrogênio e oxigênio (MITTLER, 2002; SHARMA et al., 2012), reação rápida que pode ocorrer tanto de forma espontânea ou catalisada pela enzima (BHATTACHARJEE, 2010).

O desempenho da espécie para atividade da APX, também evidenciou incremento da enzima aos 14 dias de imposição do déficit hídrico, nos tratamentos cuja reposição de água correspondeu a 20 e 40% da CC, não havendo diferenças significativas entre os maiores níveis de reposição hídrica (Figura 3). Contudo, para o tratamento 0% de reposição de água a atividade enzimática aos 14 dias não diferiu do primeiro tempo de coleta, mas apresentou decréscimo significativo de 70,24% em relação ao último tempo avaliado. Os tratamentos que receberam os maiores níveis de reposição hídrica (60; 80 e 100% da CC), apresentaram maior atividade da APX aos 14 dias de imposição dos tratamentos, contudo nenhum contraste significativo foi

verificado (Figura 3).

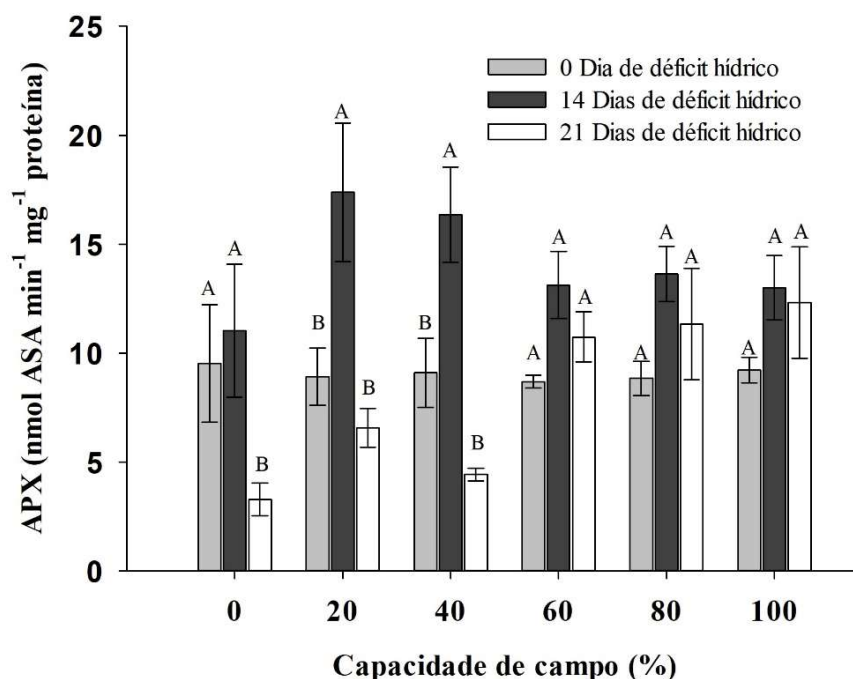


Figura 3. Influência do tempo de exposição ao déficit hídrico na atividade da ascorbato peroxidase em *Talinum fruticosum*, cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo. Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada tratamento não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Valores apresentados pela média \pm erro padrão.

A APX é a enzima que reduz H_2O_2 a água (SHARMA et al., 2012), e dehidroascorbato, utilizando como agente redutor o ácido ascórbico, apresentando maior afinidade com o substrato que a CAT, obtendo ainda, melhor desempenho com a aumento do nível de estresse (DAS, ROYCHOUDHURY, 2014).

Não houve interação significativa entre o tempo de avaliação e os tratamentos para atividade da catalase, sendo estes avaliados de forma independentes. Assim, verificou-se diferença significativa apenas para o fator tempo, nesse é possível observar que a atividade da enzima foi maior aos 14 dias após início dos tratamentos (Figura 4), apresentando incremento significativo de 54,74% em relação ao tempo de coleta inicial 0 dia de déficit hídrico e decréscimo de 28,14% aos 21 dias.

O controle do conteúdo de H_2O_2 também é realizado pela catalase, que apresenta alta afinidade com o substrato, assim a enzima catalisa a espécie reativa de oxigênio em H_2O e O_2 (MITTLER, 2002). Segundo Das e Roychoudhury (2014), o estresse demanda geração e gastos elevados de energia pela célula, resultando na formação do peróxido de hidrogênio, sendo a catalase enzima de alta eficiência na eliminação do subproduto metabólico.

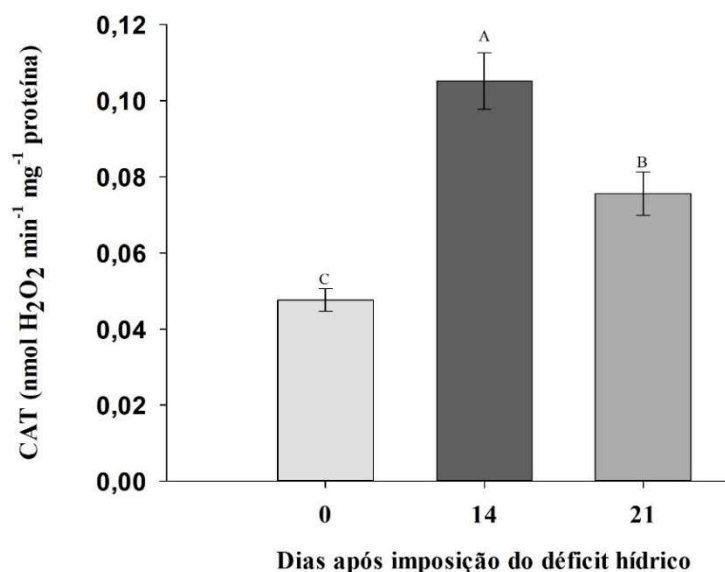


Figura 4. Influência do tempo de exposição ao déficit hídrico na atividade da catalase em *Talinum fruticosum*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Valores apresentados pela média \pm erro padrão.

Em suma a atividade enzimática antioxidante da SOD (MITTLER, 2002; BHATTACHARJEE, 2010; SHARMA et al., 2012), APX (SHARMA et al., 2012; DAS, ROYCHOUDHURY, 2014), e CAT (MITTLER, 2002; DAS; ROYCHOUDHURY, 2014), atuam na eliminação das EROs $O_2^{\bullet-}$ e H_2O_2 , sendo estes precursores para formação do radical hidroxila (OH^{\bullet}), a espécie reativa de oxigênio mais nociva aos sistemas biológicos. Isso porque não existe mecanismos antioxidantes que atuam de forma específica na remoção deste subproduto (DEMIDCHIK, 2015). Nessa perspectiva, a cascata de eventos fisiológicos das enzimas antioxidantes em condições de estresse, baseia-se na atividade da SOD como primeira linha de defesa na dismutação do $O_2^{\bullet-}$, gerando outra ERO H_2O_2 , que por sua vez é removida pela APX e CAT.

Em estudo realizado por Carvalho (2016) em *Guzmania monostachia* (L.) Rusby ex Mez, planta C_3 -CAM, foi constatado incremento da atividade enzimática com 1 dia de supressão da irrigação e posterior decréscimo com aumento do tempo de estresse aos 8 dias. Em *Acanthostachys strobilacea* (Schult. & Schult.f.) Klotzsch, a atividade enzimática da SOD decaiu num período de observação de 48 h de imposição do estresse em relação ao tempo inicial enquanto as enzimas APX e CAT tiveram incremento, sugerindo que esse foi um fator compensador (CARVALHO; GASPAR; NIEVOLA, 2021). Dados apresentados por Castillo (1996), mostram que em *Sedum album* L. houve acréscimo na atividade das enzimas SOD e APX, com posterior diminuição em função do estresse severo, já para CAT foi observado

decréscimo após os primeiros dias de limitação hídrica.

A redução da atividade enzimática na espécie *T. fruticosum* em resposta ao aumento do período de restrição hídrica pode estar associada a intensificação do metabolismo CAM-facultativo, caracterizado pela captura de carbono noturno e acúmulo de ácidos orgânicos. Isso porque o estresse hídrico pode induzir ao metabolismo CAM-facultativo (WINTER; GARCIA; HOLTUM, 2011), associado ao desempenho fotossintético (PANDHAIR; SEKHON, 2006; NOCTOR; MHAMDI; FOYER, 2014). Contudo a expressão do metabolismo ácido das crassuláceas é dependente da espécie, estágio de desenvolvimento e as condições impostas pelo ambiente (BORLAND et al., 2011). Carvalho (2016) sugere que a expressão do metabolismo CAM está associada a redução na produção de H_2O_2 , em consequência observou-se menor atividade das enzimas antioxidantes SOD, CAT e APX.

Quando se avaliou o desdobramento dos tratamentos dentro de cada tempo de coleta, houve diferença estatística para coleta aos 14 e 21 dias na atividade da SOD (Figura 5), sendo verificado desempenho quadrático, com aumento da atividade enzimática em função do acréscimo na reposição hídrica. Aos 14 dias (Figura 5A), plantas cultivadas ao nível de reposição hídrica para 80% da CC, apresentaram maior atividade enzimática da SOD ($10,63 U \text{ min}^{-1} \mu\text{g}^{-1} \text{ proteína}$). Para dados aos 21 dias (Figura 5B), o desempenho foi quadrático, no qual houve acréscimo da SOD com aumento do nível de reposição hídrica, plantas irrigadas para 100% da CC, apresentaram ($10,90 U \text{ min}^{-1} \mu\text{g}^{-1} \text{ proteína}$) da enzima.

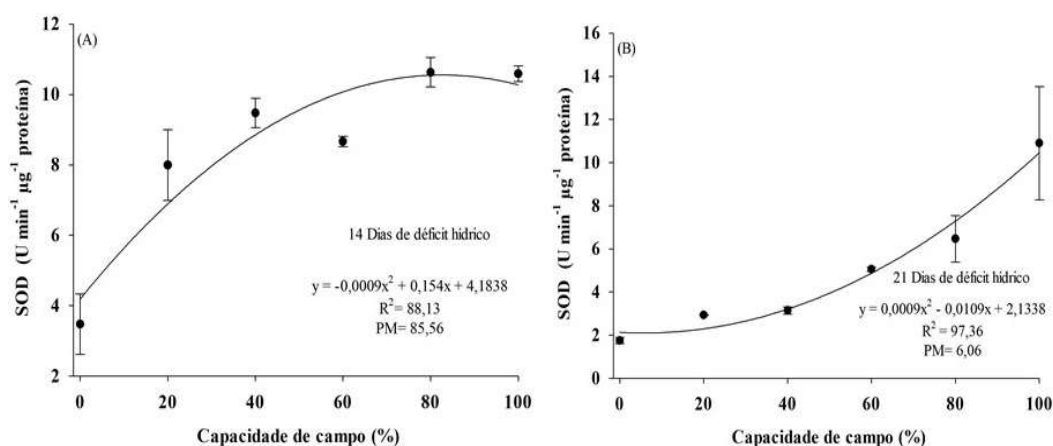


Figura 5. Atividade da superóxido dismutase em *Talinum fruticosum* cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo e tempos de avaliação. Atividade enzimática aos 14 dias de déficit hídrico (A) e aos 21 dias de déficit hídrico (B). Valores apresentados pela média \pm erro padrão.

Considerando a atividade da enzima APX (Figura 6), houve diferença estatística apenas aos 21 dias com ajuste linear, nesse foi possível observar incremento da enzima com aumento do nível de irrigação. Assim, plantas cultivadas ao nível de reposição hídrica para capacidade

de campo apresentaram maior desempenho, o que correspondeu a (12,3 nmol ASA min⁻¹ mg⁻¹ proteína).

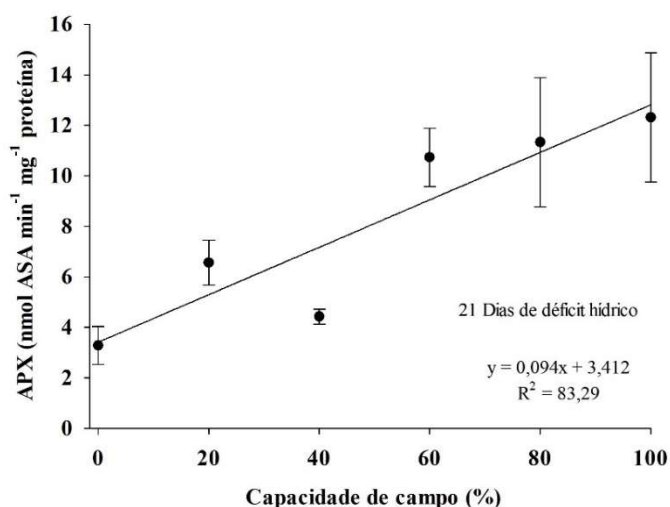


Figura 6. Atividade da ascorbato peroxidase em *Talinum fruticosum* cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo e tempo de avaliação. Atividade enzimática aos 21 dias de déficit hídrico. Valores apresentados pela média \pm erro padrão.

Assim, a redução do conteúdo de água no solo resultou em decréscimo na atividade enzimática em relação aos tratamentos (Figura 5 e 6) o que pode estar associada a atividade CAM, em plantas de *T. fruticosum*, induzida pelo déficit hídrico.

Nesse cenário, o déficit hídrico limita o ganho de carbono, tendo como resultado menor formação das EROs nos tratamentos com menor conteúdo de água. Isso porque no metabolismo CAM, ocorre limitação para acúmulo de elétrons, que atua como barreira na formação das EROs (GRIFFITHS et al., 1989), Delaplace et al. (2008), também apontam o metabolismo como inibidor da produção das EROs. hipótese conveniente com os resultados deste trabalho.

3.2 Aspectos morfológicos

Houve mudanças significativas nas características morfológicas de *T. fruticosum*, submetidos a diferentes níveis de déficit hídrico (Figura 7), sendo possível identificar contrastes marcantes, para diâmetro do caule, altura da planta, número de folhas e área foliar, além da massa da matéria fresca das folhas, massa da matéria seca das folhas, parte aérea e total.



Figura 7. Influência do déficit hídrico, nos aspectos morfológicos de *Talinum fruticosum*
CC= Capacidade de campo.

O desempenho da espécie para o diâmetro do caule (Figura 8A), foi quadrático, no qual verificou-se que plantas irrigadas para capacidade de campo resultaram em maior diâmetro (10,66 mm). A altura da planta (Figura 8B) e o número de folhas (Figura 8C), apresentaram desempenho linear positivo, sendo que as plantas que foram irrigadas para CC, tiveram os maiores valores o que correspondeu a 44,4 cm para altura da planta e 165 folhas nos tratamentos citados. Considerando a área foliar (Figura 8D), foi observado ajuste linear positivo, com acréscimo à medida que se aumentou o nível de irrigação, plantas cuja reposição hídrica ocorreu para 80% da CC, apresentaram maior área foliar (456,98 cm²). O acúmulo de biomassa fresca (Figura 8E) também apresentou desempenho linear com incremento para plantas que receberam maiores conteúdos hídricos, nesse sentido plantas irrigadas para CC teve (60,7 g) de biomassa fresca.

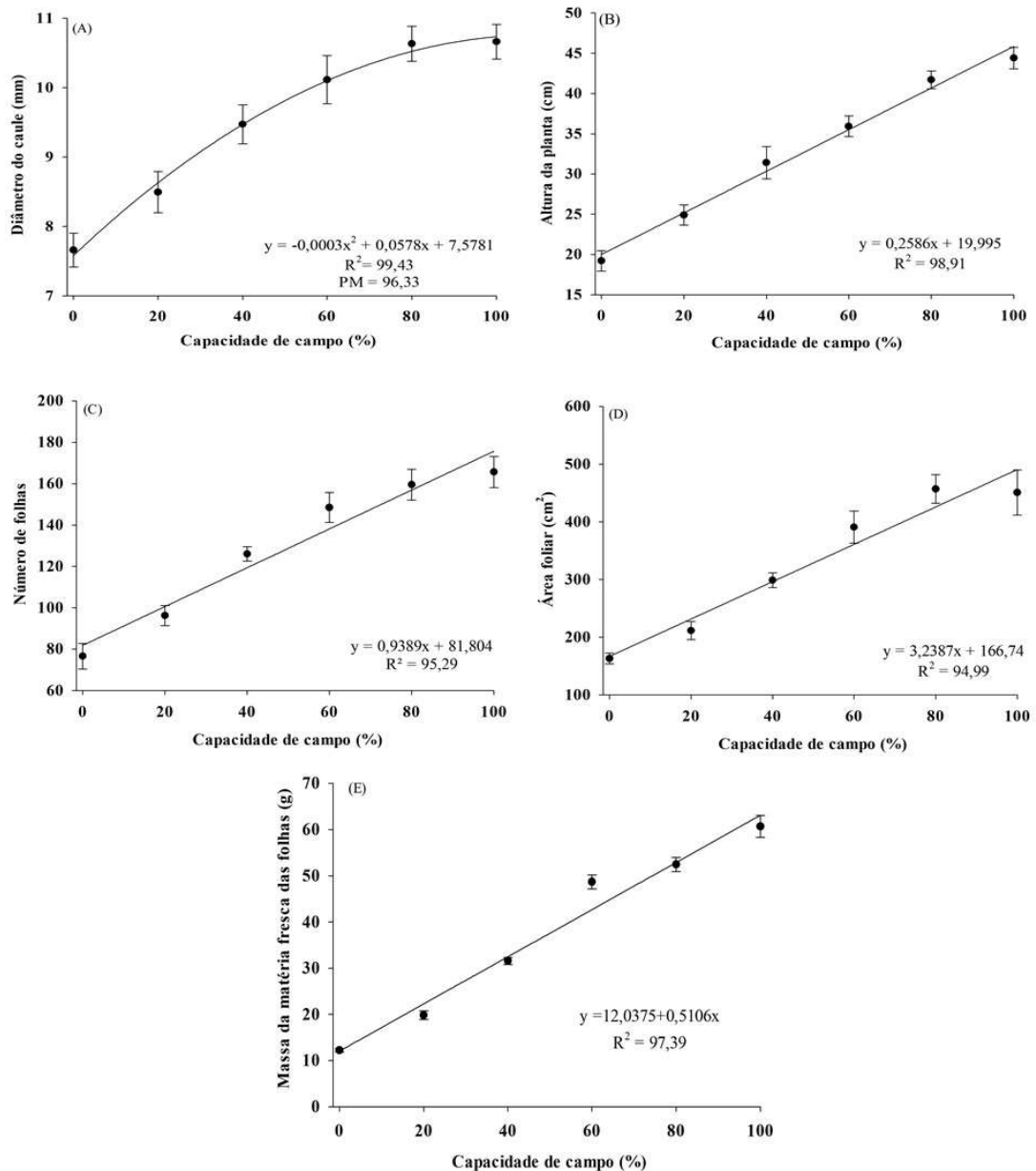


Figura 8. Influência do déficit hídrico nos aspectos morfológicos de *Talinum fruticosum*, cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo. Diâmetro do caule (A), altura da planta (B), número de folhas (C), área foliar (D) e massa da matéria fresca das folhas (E). Valores apresentados pela média \pm erro padrão.

Houve diferenças significativas para massa da matéria seca das folhas (Figura 9A), parte aérea (Figura 9B), e total (Figura 9C), sendo observado desempenho linear positivo. Verificou-se que as plantas que receberam maior conteúdo de água apresentaram maiores valores para massa da matéria seca das folhas (3,9 g), massa da matéria seca da parte aérea (8,5 g) e massa seca total (11,65 g).

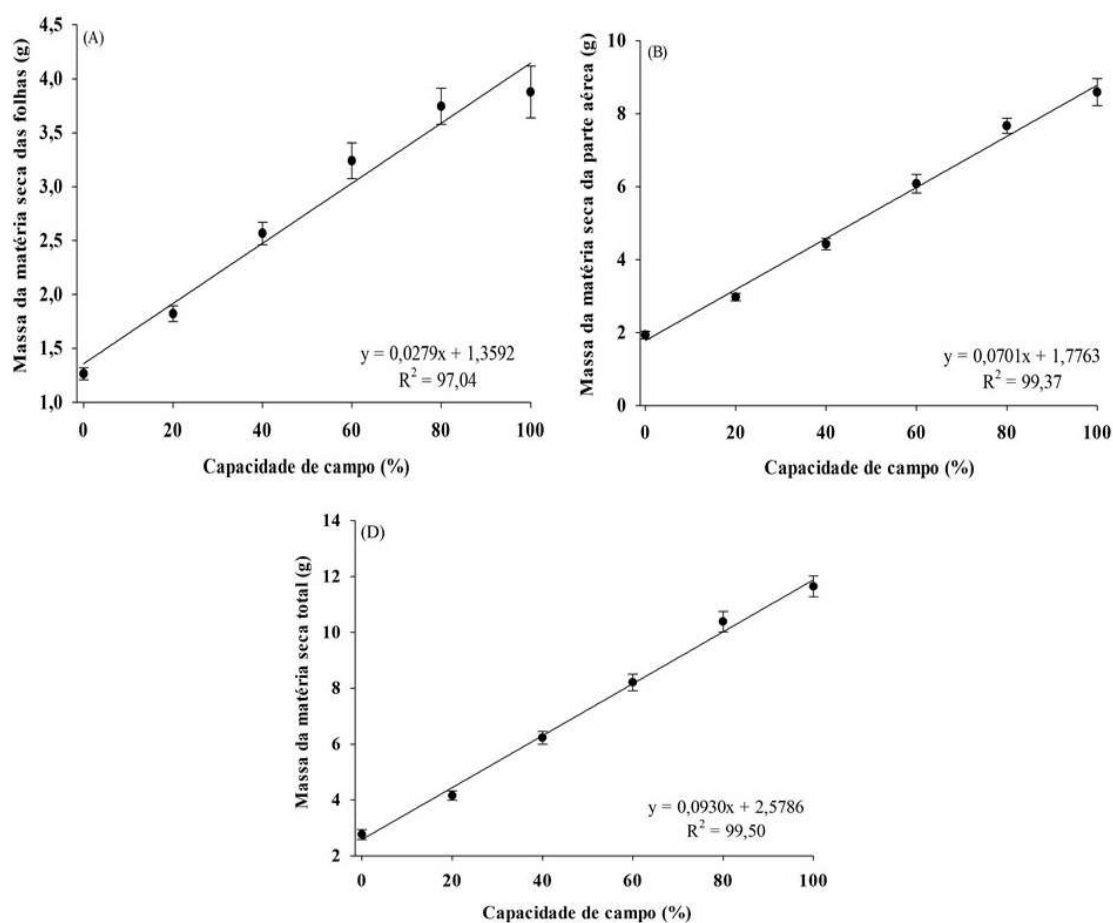


Figura 9. Influência do déficit hídrico na massa da matéria seca de *Talinum fruticosum*, cultivado em diferentes níveis da capacidade de campo. Massa da matéria seca das folhas (A), massa da matéria seca da parte aérea (B) e massa da matéria seca total (C). Valores apresentados pela média \pm erro padrão.

Em condições de déficit hídrico, o crescimento (alongamento e divisão celular) é comprometido (TAIZ et al. 2017), influenciado pela intensidade, duração e frequência de exposição aos eventos de déficit hídrico (GONZÁLEZ-CHAVIRA et al., 2018). Segundo Chaves et al. (2009), os impactos da seca na fotossíntese são complexos, alterando o crescimento celular com limitação da difusão de CO_2 para o cloroplasto, em consequência da abertura estomática. Em condições de severa limitação hídrica, a manutenção do vegetal é possível pelo metabolismo CAM, que atuará por meio do suprimento de carbono em detrimento do crescimento (HERREIRA, 2009).

A influência do estresse abiótico em aspectos morfológicos é relatada em outros trabalhos (LEITE et al; 2018; LIMA et al., 2020; SOARES 2019; SILVA et al., 2020). Contudo, conforme Zheng et al. (2010) o estabelecimento de respostas fisiológicas e estratégias ecológicas a condição de estresse permite que as plantas sobrevivam, podendo ainda, da continuidade ao processo de crescimento.

4 CONCLUSÃO

A atividade enzimática antioxidante em *T. fruticosum* é afetada pelo conteúdo de água no solo.

O período inicial de déficit hídrico em *T. fruticosum* (até 14 dias), resulta em maior atividade das enzimas CAT e APX, contudo o déficit prolongado promove redução da atividade enzimática.

O déficit hídrico implica em decréscimo dos aspectos morfológicos em plantas de *T. fruticosum*.

REFERÊNCIAS

AGBONON, A.; EKLU-GADEGBEKU, K.; AKLIKOKOU, K.; GBEASSOR, M.; AKPAGANA, K.; TAM, T. W.; ARNASON, J. T.; FOSTER, B. C. *In vitro* inhibitory effect of West African medicinal and food plants on human cytochrome P450 3A subfamily. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 128, n, 2, p. 390- 394, 2010.

ANDARWULAN, N.; BATARI, R.; SANDRASARI, D. A.; BOLLING, B.; WIJAYA, H. Flavonoid content and antioxidant activity of vegetables from Indonesia. **Food Chemistry**, v. 121, p. 1231–1235, 2010.

APEL, K.; HIRT, H. REACTIVE OXYGEN SPECIES: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, p. 373-399, 2004.

BHATLA, S. C.; LAL, M. A. **Plant physiology, development and metabolism**. Singapura: Springer, 2018, 1.252 p.

BHATTACHARJEE, S. Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell. In: GUPTA, S. D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfi eld: Science Publishers, 2010. p.1-30.

BIEMELT, S.; KEETMAN, U.; ALBRECHT, G. Re-aeration following hypoxia or anoxia leads to activation of the antioxidative defense system in roots of wheat seedlings. **Plant Physiology**, v.116, n.2, p.651-658, 1998.

BONFIM-SILVA, E. D.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 180-186, 2011.

BORLAND, A. M.; ZAMBRANO, A. B.; CEUSTERS, J.; SHORROCK, K. The photosynthetic plasticity of crassulacean acid metabolism: an evolutionary innovation for sustainable productivity in a changing world. **New Phytologist**, v. 191, p. 619–633, 2011.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgam quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-54, 1976.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONDEL/SUDENE Nº 150**. Ministério do Desenvolvimento Regional/Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste/Conselho Deliberativo, 2021. Disponível em:<https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-condel/sudene-n-150-de-13-de-dezembro-de-2021-370970623>> Acesso em: 02 de janeiro de 2022.

CARVALHO, V. **Estresse oxidativo na bromélia C3-CAM facultativa *Guzmania monostachia* (L.) Rusby ex Mez em resposta ao déficit hídrico**. 2016. 74 p. Dissertação (Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente) - Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, 2016.

CARVALHO, V.; GASPAR, M.; NIEVOLA, C. C. Short-term drought triggers defence mechanisms faster than ABA accumulation in the epiphytic bromeliad *Acanthostachys strobilacea*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 160, p. 62-72, 2021.

CASTILLO, F. J. Antioxidative protection in the inducible CAM plant *Sedum album* L. following the imposition of severe water stress and recovery. **Oecologia**, v. 107, p. 469–477, 1996.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, p. 551–560, 2009.

CHOUDHURY, S.; PANDA, P.; SAHOO, L.; PANDA, S. K. Reactive oxygen species signaling in plants under abiotic stress. **Plant Signaling & Behavior**, v. 8, e23681, p. 1-7, 2013.

CZARNOCKA, W.; KARPIŃSKI, S. Friend or foe? Reactive oxygen species production, scavenging and signaling in plant response to environmental stresses. **Free Radical Biology and medicine**, v. 122, p. 1-36, 2018.

DAS, K.; ROYCHOUDHURY, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. **Environmental Science**, v. 2, p. 1-13, 2014.

DELAPLACE, P.; FAUCONNIER, M. L.; JARDIN, P. Méthodes de mesure de l'âge physiologique des tubercules semences de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.). **Biotechnology, Agronomy, Society and Environment**, v. 12, p. 171-184, 2008.

DEMIDCHIK, V. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. **Environmental and Experimental Botany**, v. 109, p. 212-228, 2015.

EGHAREVBA, R. K. A.; IKHATUA, M. I. Ethno-medical uses of plants in the treatment of various skin diseases in Ovia North East Edo State, Nigeria. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 4, n. 1, p. 58-64, 2008.

FASUYI, A. O. Bio-nutritional evaluations of three tropical leaf vegetables (*Telfairia occidentalis*, *Amaranthus cruentus* and *Talinum triangulare*) as sole dietary protein sources in rat assay. **Food Chemistry**, v. 103, p. 757-765, 2007.

FASUYI, A. O. Nutritional potentials of some tropical vegetable leaf meals: chemical characterization and functional properties. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, p. 49-53, 2006.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Stress-triggered redox signalling: what's in pROspect? **Plant, Cell and Environment**, n. 39, p. 951–964, 2016.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant physiology**, v. 59, n. 2, p. 315-318, 1977.

GONZÁLEZ-CHAVIRA, M. M.; HERRERA-HERNÁNDEZ, M. G.; GUZMÁN-MALDONADO, H.; PONS-HERNÁNDEZ, J. L. Controlled water deficit as abiotic stress

factor for enhancing the phytochemical content and adding-value of crops. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 354–360, 2018.

GRIFFITHS, H.; ONG, B. L.; AVADHANI, P. N.; GOH, C. J. Recycling of respiratory CO₂ during Crassulacean acid metabolism: alleviation of photoinhibition in *Pyrrhosia piloselloides*. **Planta**, v. 179, p.115–122, 1989.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, v. 84, 450–455, 1987.

HERRERA A. Effects of photoperiod and drought on the induction of CAM and the reproduction of plants of *Talinum triangulare*. **Canadian Journal of Botany**, v. 77, p. 404–409, 1999.

HERRERA A.; DELGADO J.; PARAGUATEY I. Occurrence of Crassulacean acid metabolism in *Talinum triangulare* (Portulacaceae). **Journal of Experimental Botany**, v. 42, n. 237, p. 493–499, 1991.

HERRERA, A. Crassulacean acid metabolism and fitness under water deficit stress: if not for carbon gain, what is facultative CAM good for? **Annals of Botany**, v. 103, p. 645–653, 2009.

HERRERA, A.; BALLESTRINI, C.; MONTES, E. What is the potential for dark CO₂ fixation in the facultative crassulacean acid metabolism species *Talinum triangulare*. **Journal of Plant Physiology**, v. 174, p. 55–61, 2015.

IFON, E. T.; BASSIR, O. The nutritive value of some Nigerian leafy green vegetables - Part 2: The distribution of protein, carbohydrates (including ethanol-soluble simple sugars), crude fat, fibre and ash. **Food Chemistry**, v. 5, p. 231–235, 1980.

IKEWUCHI, C. C.; IKEWUCHI, J. C.; IFEANACHO, M. O. Bioactive phytochemicals in an aqueous extract of the leaves of *Talinum triangulare*. **Food Science & Nutrition**, v. 5, p. 696–701, 2016.

JUBANY-MARÍ, T.; MUNNE´-BOSCH, S.; PEZ-CARBONELL, M.; ALEGRE, L. Hydrogen peroxide is involved in the acclimation of the Mediterranean shrub, *Cistus albidus* L., to summer drought. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 1, p. 107–120, 2009.

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. **Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014. 768 p.

LEITE, R. S.; NASCIMENTO, M. N.; TANAN, T. T.; RAMOS, C. A. S.; NETO, L. P. G.; GUIMARÃES, D. S. Physiological responses of *Physalis angulata* plants to water deficit. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 10, p. 287–297, 2018.

LIAO, D. Y.; CHAI, Y. C.; WANG, S. H.; CHEN, C. W.; TSAI, M. S. Antioxidant activities and contents of flavonoids and phenolic acids of *Talinum triangulare* extracts and their immunomodulatory effects. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 23 p. 294–302, 2015.

- LIMA, I. K. F. **Efeito atenuante do óxido nítrico em plantas de *Physalis peruviana* L. sob estresse hídrico.** 2020. 79 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2020.
- MILLER, G.; SUZUKI, N.; CIFTCI-YILMAZ, S.; MITTLER, R. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell and Environment**, 33, p. 453–467, 2010.
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **TRENDS in Plant Science**, v. 7, p. 405-410, 2002.
- NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, p. 867-880, 1981.
- NOCTOR, G.; MHAMDI, A.; FOYER, C. H. The roles of reactive oxygen metabolism in drought: not so cut and dried. **Plant Physiology**, v. 164, p. 1636–1648, 2014.
- NYFFELER, R.; EGGLI, U. Disintegrating Portulacaceae: A new familial classification of the suborder Portulacineae (Caryophyllales) based on molecular and morphological data. **Taxon**, v. 59, p.227–240. 2010.
- OLUBA, O. M.; ADEBIYI, F. D.; DADA, A. A.; AJAYI, A. A.; ADEBISI, K. E.; JOSIAH, S. J.; ODUTUGA, A. A. Effects of *Talinum triangulare* leaf flavonoid extract on streptozotocin-induced hyperglycemia and associated complications in rats. **Food Science & Nutrition**, v. 7, p. 385-394, 2018.
- PANDHAIR, V.; SEKHON, B. S. Reactive oxygen species and antioxidants in plants: an overview. **Journal Plant Biochemistry & Biotechnology**, v. 15, 71-78, 2006.
- R Core Team (2021). R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 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, ID 217037, p1-26, 2012.
- SILVA, J. A.; SANTOS, P. A. B.; CARVALHO, L. G.; MOURA, E. G.; ANDRADE, F. R. Gas exchanges and growth of soybean cultivars submitted to water deficiency. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v 50, e58854, 2020.
- SOARES, M. M.; FREITAS, C. D. M.; OLIVEIRA, F, S.; MESQUITA, H. C.; SILVA, T. S.; SILVA, D. V. Effects of competition and water deficiency on sunflower and weed growth. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 2, p. 318 -328, 2019.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 857 p.
- TRIPATHY, B. C.; OELMÜLLER, R. Reactive oxygen species generation and signaling in plants. **Plant Signaling & Behavior**, v. 7, p. 1621-1633, 2012.

WINTER K, GARCIA M, HOLTUM J.A.M. Drought-stress-induced up-regulation of CAM in seedlings of a tropical cactus, *Opuntia elatior*, operating predominantly in the C3 mode. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, p. 4037–4042, 2011.

ZHENG, Y. X.; WU, J. C.; CAO, F. L.; ZHANG, Y. P. Effects of water stress on photosynthetic activity, dry mass partitioning and some associated metabolic changes in four provenances of neem (*Azadirachta indica* A. Juss). **Photosynthetica**, v. 48, p. 361-369, 2010.