

Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 17 (6)

Nov/Dec 2024

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/17620241987>

Article link: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/1987>



Estresse oxidativo em *Oenocarpus bacaba* e *Oenocarpus mapora*
submetidas à deficiência hídrica

Oxidative stress in *Oenocarpus bacaba* and *Oenocarpus mapora* submitted
to water deficit

Karollyne Renata Silva De Paula Baptista
Universidade Federal Rural da Amazônia

Milena Pantoja De Moraes
Universidade Federal Rural da Amazônia

Corresponding author
Tamirys Marcelina Da Silva
Universidade Federal Rural da Amazônia
tamirysmarcelina@gmail.com

Kamilla Melo De Jesus
Universidade Federal Rural da Amazônia

Glauco André Dos Santos Nogueira
Universidade Federal Rural da Amazônia

Antonia Benedita Da Silva Bronze
Universidade Federal Rural da Amazônia

Cândido Ferreira De Oliveira Neto
Universidade Federal Rural da Amazônia

Resumo. O trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do estresse oxidativo gerados pela deficiência hídrica e reidratação das espécies *Oenocarpus bacaba* Mart. e *Oenocarpus mapora* H. Karsten. Para isso, foram utilizadas mudas de seis meses de idade, provenientes do Banco de Germoplasma da Aimex transplantadas para vasos de 6,0 kg de substrato. Após isso, as plantas passaram por aclimação durante 85 dias, iniciando-se o tratamento de estresse hídrico. As coletas para análise bioquímica foram realizadas com 0, 15, 30, e 35 dias. Foi utilizado delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial $2 \times 2 \times 4$, sendo duas culturas (Bacaba e Bacabi), dois tratamentos (estresse e controle), quatro tempos e cinco repetições. O estresse hídrico reduziu os níveis de CRA e carotenóides e aumentou os níveis de vazamento de eletrólitos. De modo geral, a atividade das enzimas dismutase do superóxido (SOD), peroxidase do ascorbato (APX) e catalase (CAT) aumentou nas plantas durante o estresse e diminuiu após os 5 dias de reidratação. A *Oenocarpus mapora* foi mais sensível ao estresse, por ser pouco domesticada, diferente da *Oenocarpus bacaba* que é mais cultivada. Ambas se recuperaram após o período de reidratação.

Palavras-chave: estresse hídrico, atividade antioxidante, metabolismo.

Abstract. The objective of this work was to evaluate the effects of oxidative stress generated by water deficiency and rehydration of the species *Oenocarpus bacaba* Mart. and *Oenocarpus mapora* H. Karsten. For this, six-month-old seedlings from the Aimex Germplasm Bank were transplanted into 6.0 kg pots of substrate. After that, the plants underwent acclimatization for 85 days, starting the water stress treatment. Collections for biochemical analysis were performed at 0, 15, 30 and 35 days. A completely randomized design (DIC) was used in a $2 \times 2 \times 4$ factorial scheme, with two cultures (Bacaba and Bacabi), two treatments (stress and control), four periods and five replications. Water stress brought down CRA and carotenoid levels and increased levels of electrolyte leakage. In general, the activity of

superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX) and catalase (CAT) enzymes increased in plants during stress and experienced after 5 days of rehydration. *Oenocarpus mapora* was more sensitive to stress, as it is little domesticated, unlike *Oenocarpus bacaba*, which is more cultivated. Both recovered after the rehydration period.

Key-words:hydric stress, antioxidant activity, metabolism.

Introdução

As espécies do gênero *Oenocarpus* conhecidas por bacabeiras (*Oenocarpus* spp.), pertencem à família *Arecaceae* e são palmeiras nativas da Amazônia distribuídas com maior frequência na Bacia Amazônica, tendo como habitat a mata virgem alta de terra firme (Seixas et al., 2016). Os frutos dessas espécies têm usos similares aos do açaizeiro, também permitindo a extração de óleo semelhante ao óleo de oliva (Neves et al., 2015). No gênero *Oenocarpus* são aceitas seis espécies como nativas do Brasil, mas não endêmicas, dentre elas tem-se quatro popularmente denominadas de bacabeiras: *O. bacaba* Mart.; *O. distichus* Martius; *O. minor* Martius; *O. mapora* H. Karsten e Patauzeiro (*O. bataua* Mart.) (Leitman et al., 2013). A Família *Arecaceae* é de suma importância para as populações tradicionais e comunidade indígena da região Amazônica é constituída por muitas espécies com potencial para a produção de frutos e palmito (Silva et al., 2021).

No entanto, muitas dessas palmeiras necessitam de estudos principalmente relacionados aos aspectos fisiológicos das plantas, visto que, essas espécies ainda se encontram em processo de domesticação (Santos et al., 2017). Assim, elas defendem-se continuamente contra situações de estresse, como é o caso da suspensão hídrica, que desencadeia o estresse oxidativo (García-Caparrós et al., 2021), um distúrbio que acompanha diversos outros estresses bióticos e abióticos nas plantas superiores, sendo um fenômeno fisiológico complexo gerado pela superprodução e acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS) (Vandim, 2015). Ou seja, a deficiência hídrica e, conseqüente estresse oxidativo, pode afetar diretamente a capacidade de produção de fotoassimilados das plantas, interferindo nas reações bioquímicas e no funcionamento do mecanismo fotossintético (Campelo et al., 2015).

O aumento no nível de ROS afeta muitas funções fisiológicas, celulares e bioquímicas devido seu alto poder reativo que pode provocar diversos danos como ruptura da membrana plasmática por desoxidação de carboidratos, desnaturaçãõ de proteínas, peroxidação lipídica e destruição de DNA, RNA, enzimas e pigmentos (Xiulan et al., 2019).

Como forma de defesa, as plantas produzem diversos antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos para eliminar as ROS, conhecidos como reguladores redox (Raza Ali et al., 2022). Em formas ideais, a produção de ROS e a defesa antioxidante nas células vegetais estão em equilíbrio, visando manter os processos de

crescimento e desenvolvimento das plantas, entretanto, quando ocorre o estresse, a superprodução de ROS destrói o equilíbrio e provoca prejuízos celulares (Hasanuzzaman et al., 2020; Mittler et al., 2022). Deste modo, objetivou-se conhecer os mecanismos de respostas da *Oenocarpus bacaba* Mart. e da *Oenocarpus mapora* H. Karsten, mediante estudos de características fisiológicas e bioquímicas visando uma melhor compreensão das estratégias desenvolvidas por estas espécies quando submetidas à deficiência hídrica.

Material e métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém – PA, sendo as análises bioquímicas realizadas no Laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS). Foram utilizadas mudas de seis meses de idade, provenientes do Banco de Germoplasma da Aimex, e foram transplantadas para vasos de 6 kg contendo substrato. Após esse processo as plantas passaram por aclimação durante 85 dias, antes do início da aplicação dos tratamentos. Ademais, todas as plantas foram irrigadas diariamente, recebendo nutrientes e aplicando-se 600 ml de solução nutritiva completa de Hoagland e Arnon (1950). A partir do 86º dia iniciou-se o tratamento de estresse hídrico nas mudas das culturas de bacaba e bacabi.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 2 (espécies) x 2 (status hídricos- controle e deficiência hídrica) x 4 (tempos 0,15,30 e 35 dias) e cinco repetições, totalizando 80 unidades experimentais. Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística, utilizando-se análise de variância (ANOVA) no programa Assistat (versão 7.7 beta) e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. Com isso, a coleta de todas as amostras para análises bioquímicas foi realizada aos 0º, 15º, 30º, e 35º dias, entre 04:00 e 05:00h, sendo que no último dia (35º) correspondeu a reidratação. A determinação do conteúdo relativo de água (CRA) e vazamento de eletrólitos (VE) foram feitas instantaneamente na hora da coleta. As plantas foram, em seguida, separadas em raiz e folha e envolvidas em papel alumínio e armazenadas em freezer a -80°C e logo depois utilizadas para as análises de pigmentos fotossintéticos e do estresse oxidativo.

*Medidas e métodos para os cálculos
Conteúdo relativo de água (CRA)*

Para determinar o conteúdo relativo de água foram retirados de cada planta 30 discos foliares frescos de 10 mm de diâmetro ao acaso, utilizando-se para isso, um vazador de aço inoxidável. Logo em seguida, os discos foram pesados em balança analítica para a obtenção da massa fresca (MF). Para a obtenção da massa túrgida (MT), os discos foram transferidos para uma placa de petri contendo 35 mL de água destilada e deixados à temperatura ambiente (25 °C) por um período de 12 horas, e em constante iluminação (densidade do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa de aproximadamente 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Após esse período, os discos foliares foram removidos da placa de petri e colocados em folhas de papel de filtro para retirar o excesso de água. Imediatamente os discos foram pesados e a MT foi determinada. Para a determinação da massa seca (MS) os discos foram colocados em sacos de papel e levados à estufa de ventilação forçada de ar à 65 \pm 5 °C, por 24 h. Os resultados foram expressos em porcentagem, conforme fórmula abaixo:

$$CRA = (MF - MS) / (MT - MS) \times 100$$

Vazamento de eletrólitos (IDM)

Foram pesados, separadamente, 100 mg de parte aérea, em seguida realizado a tripla lavagem com água deionizada. Logo após, o material vegetal foi transferido para tubos de ensaio, os quais foram adicionados 10 mL de água deionizada. Os frascos fechados foram deixados em repouso sob temperatura ambiente (25 °C) durante 6 horas, sob agitação a cada 20 minutos. Após esse período, com o auxílio de um condutivímetro, foi mensurada a condutividade elétrica da solução determinando a primeira leitura (L1). Em seguida, os tubos foram novamente fechados e aquecidos em “banho-maria” a 100°C, por 1 hora. Após resfriamento dos tubos de ensaio à temperatura ambiente, a condutividade elétrica do extrato foi novamente medida obtendo-se a segunda leitura (L2). Sendo definido o vazamento de eletrólitos por essa equação:

$$IDM (\%) = (L1 / L2) \times 10$$

Extração do sistema antioxidante

O extrato para a determinação da atividade das enzimas SOD, APX e CAT foi obtido a partir da homogeneização em almofariz, a 4°C, de 0,1 g do pó liofilizado de folha e raiz com 5 mL de solução-tampão fosfato de potássio (a 4 °C) a 0,1 mM, pH 7,0, contendo EDTA a 0,1 mM, seguida de homogeneização por 4 min. As adições do tampão fosfato foram feitas de forma fragmentada, sendo 50% do volume total desta solução (2,5 mL) utilizada na homogeneização durante 2 min, após isto, imediatamente adicionaram-se os outros 50%, sendo a mistura homogeneizada em tempo equivalente ao anterior. O extrato foi filtrado em tecido de náilon e transferido para tubos de ensaio, sendo mantidos a 4 °C por duas horas, realizando-

se agitações ocasionais. Em seguida, foi centrifugado a 12.000 x g, durante 15 min, a 4°C. O sobrenadante, o extrato bruto, foi armazenado em freezer a -80 °C até serem utilizados nos ensaios de atividade enzimática.

Dismutase do superóxido (SOD)

A atividade da SOD foi determinada pela inibição da fotorredução do cloreto de azul de nitrotetrazólio (NBT), conforme Giannopolitis e Ries (1977). A mistura de reação (1,5 mL) foi composta por tampão fosfato de potássio a 50 mM (pH 7,8), EDTA a 1 μM , L-metionina a 13 mM e NBT a 75 μM e 50 μL do extrato, convenientemente diluído com o tampão de extração. A reação foi iniciada pela adição de riboflavina a 2 μM , seguida da iluminação do meio de reação com duas lâmpadas fluorescentes de 20W em caixa fechada. Após 15 min, a reação foi interrompida pelo desligamento das luzes e as leituras foram realizadas a 560 nm. Uma unidade de atividade (UA) foi considerada como a quantidade de enzima requerida para inibir 50% da fotorredução do NBT por 15 min em comparação com o meio de reação sem o extrato protéico. Cada extrato foi dosado em duplicata, sendo a atividade da SOD expressa em UA mg^{-1} de proteína.

Peroxidase do ascorbato (APX)

A atividade da APX foi determinada pelo método de Nakano e Asada (1981). A mistura de reação (1,5 mL) foi constituída de 50 μL de tampão fosfato de potássio (pH 6,0), EDTA a 0,1 μM , ascorbato a 0,5 mM, H₂O₂ a 1 mM e 300 μL do extrato, convenientemente diluído com tampão de extração. A reação foi iniciada pela adição de 300 μL do extrato enzimático e a atividade da APX foi determinada pela oxidação do H₂O₂ dependente do ascorbato, sendo a leitura realizada em espectrofotômetro a 290 nm durante 1 min. O coeficiente de extinção molar do ascorbato (2,8 mM cm^{-1}) foi usado para quantificar a atividade enzimática levando-se em consideração que dois moles de ascorbato são necessários para redução de 1,0 mol de H₂O₂ (MCKERSIE; LESHEM, 1994). Cada extrato foi dosado em duplicata, sendo a atividade da APX expressa em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína.

Catalase (CAT)

A atividade da CAT foi determinada pelo método de Beers Jr. e Sizer (1952), com modificações. A mistura de reação (1,5 mL) foi constituída de solução tampão fosfato de potássio a 100 mM (pH 7,0), EDTA a 0,1 μM , H₂O₂ a 20 mM e 150 μL do extrato. A reação foi iniciada pela adição de 150 μL do extrato enzimático ao meio de reação; e a atividade enzimática foi determinada pelo consumo de H₂O₂, sendo a redução monitorada por leituras de absorvância em 240 nm, por 5 min em que cada extrato foi dosado em duplicata. O coeficiente de extinção molar do H₂O₂ (36 M⁻¹ cm^{-1})

1) foi usado para determinar a atividade da CAT que foi expressa em $\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$.

Resultados e discussão

Conteúdo relativo de água- CRA

A suspensão hídrica nas plantas de bacaba ao longo dos 30 dias do experimento, promoveu uma redução no conteúdo relativo de água (CRA), conforme a figura 1-a. Onde é notório que no trigésimo dia ocorreu uma diminuição de aproximadamente 50% do CRA. O mesmo resultado obtivemos nas plantas de bacabi (figura 1-b), as quais estavam mantidas sob deficiência hídrica, gerando uma redução no CRA, próxima a valores de 59% em comparação as plantas controle. Quando as mudas de bacaba foram submetidas a cinco dias de reidratação, os valores de CRA elevaram significativamente, próximos a 84%, se aproximando aos resultados do controle (plantas irrigadas) com 89,8% a 93,8%. Já nas

plantas de bacabi essa reidratação durante os cinco dias não foi suficiente para elevar de maneira significativa o conteúdo relativo de água, pelo fato de que a condutância estomática pode demorar vários dias, para que se tenha uma recuperação dos valores similares às plantas controle (Rodrigues, 2013).

As plantas sob estresse hídrico, apresentam uma redução do conteúdo relativo de água, devido à baixa quantidade de água no solo, que impede a formação de um gradiente de concentração e resulta no desfavorecimento da absorção de água pela planta (Guerrini et al., 2011). Este comportamento está associado ao menor controle estomático das perdas de água, em resposta à diminuição da disponibilidade hídrica fornecida para a planta (Meher et al., 2018), buscando manter a turgescência, mecanismos que podem ser observados em ambas as espécies. (Freitas et al., 2021).

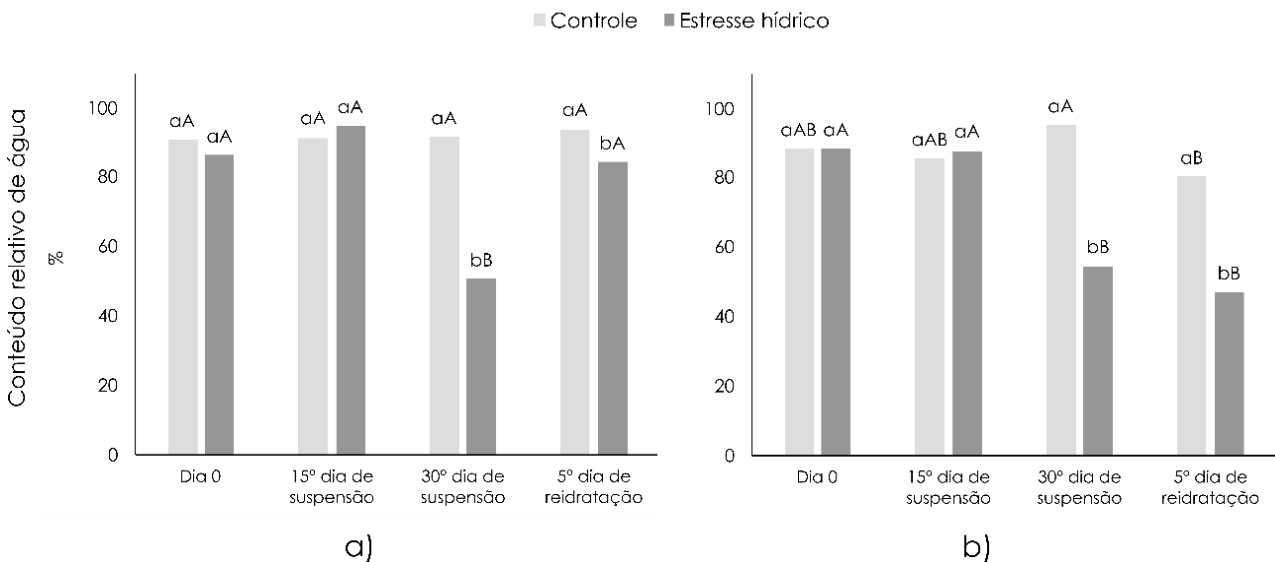


Figura 1. Conteúdo relativo de água para plantas de bacaba (a) e bacabi (b) submetidas à suspensão hídrica durante 30 dias e reidratação de 5 dias. As letras diferentes mostram diferença estatística, comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas representam diferença estatística entre os dias e letras minúsculas representam diferença estatística entre os tratamentos.

Vazamento de eletrólitos- VE

Foi observado um aumento no vazamento de eletrólitos (VE) após o intervalo de 30 dias de suspensão de água nas espécies de bacaba e bacabi, tanto nas folhas quanto nas raízes, conforme a figura 2. Sendo notório que após cinco dias de reidratação houve uma redução nas porcentagens de vazamento.

Nas plantas de bacaba obteve-se aumento nos valores de VE aproximados para as folhas (figura 2b) sob deficiência hídrica de 20%, 18% e 57% para os respectivos períodos de 0, 15 e 30 dias de estresse e uma redução de 12% correspondente aos cinco dias de reidratação. Nas raízes (figura 2a) os danos em membranas sob déficit hídrico foram

aproximadamente 25%, 21% e 29% para os respectivos períodos de 0, 15 e 30 dias de estresse e reduziu para 16% após os cinco dias de reidratação.

Já nas plantas de bacabi, o aumento nos valores de VE para as folhas (figura 2d) sob deficiência hídrica aproximam-se de 20%, 15% e 33% para os períodos 0, 15 e 30 de estresse, respectivamente, sendo que para os cinco dias de reidratação obteve-se um valor de apenas 13% de VE, em comparação com as plantas controle. Nas raízes (figura 2c) os danos em membranas nas plantas de bacabi sob déficit hídrico foram 19%, 20% e 32% para os intervalos de 0, 15 e 30 dias de

estresse, com redução do VE de 18% correspondente a reidratação.

O vazamento de eletrólitos funciona como indicador de danos na membrana plasmática provocados após estresses, sendo reconhecido como um teste válido e simples para avaliar a viabilidade das células (Said & Farag, 2015). Conforme a deficiência hídrica aumenta, as plantas começam a ser afetadas pela desidratação do protoplasma, ocorrendo distúrbios no metabolismo vegetal e aumento do VE, indicando maior permeabilidade da membrana e diminuição da tolerância das células às mudanças (Peloso et al, 2017), situação que justifica os danos causados

pela suspensão hídrica no aumento da permeabilidade das membranas celulares (Torabiam et al., 2018).

À medida que se analisa as perdas de eletrólitos nos tecidos vegetais pode-se ter uma base do nível de estabilidade das membranas, que está relacionado à geração das espécies reativas de oxigênio (ROS) responsáveis pelos danos causados às estruturas das células (Souza et al, 2020). Plantas encontradas sob déficit hídrico apresentam grande produção de O_2 e H_2O_2 , compostos extremamente tóxicos, que provocam peroxidação lipídica, danificando a célula e elevando o VE (Pereira et al., 2019).

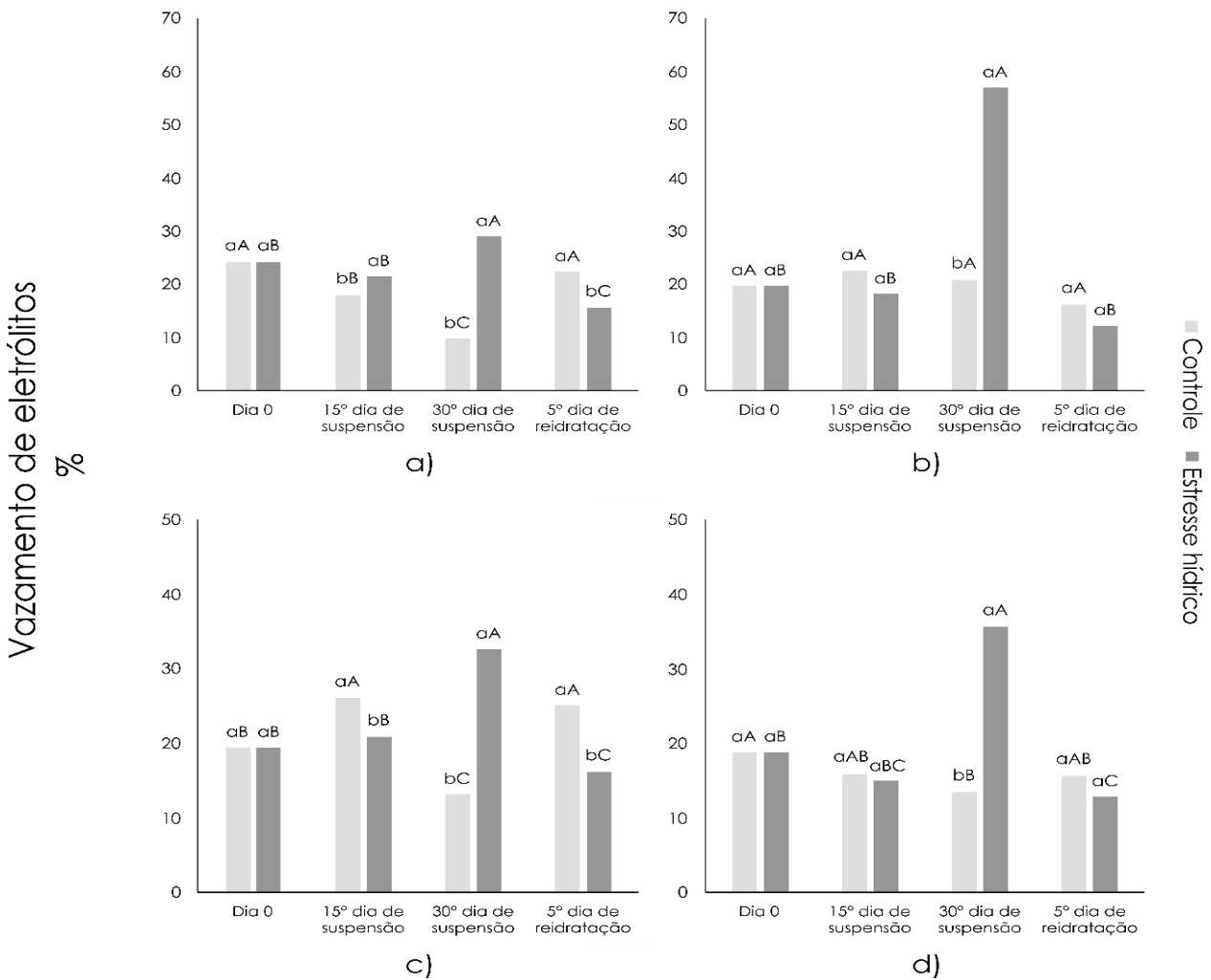


Figura 2. Integridade de membrana para raiz (a) e folha (b) de bacaba e raiz (c) e folha (d) de bacabi submetidas à suspensão hídrica durante 30 dias e reidratação de 5 dias. As letras diferentes mostram diferença estatística, comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas representam diferença estatística entre os dias e letras minúsculas representam diferença estatística entre os tratamentos.

Sistema antioxidante

Com relação ao sistema antioxidante, foi determinada a atividade das enzimas Superóxido Dismutase (SOD), Catalase (CAT) e Ascorbato Peroxidase (APX), em folhas e raízes de plantas de bacaba e bacabi submetidas à deficiência hídrica. De modo geral, o aumento da restrição hídrica

promoveu incrementos na atividade dessas enzimas.

Superóxido Dismutase

Houve um aumento na atividade de SOD tanto nas folhas quanto nas raízes de bacaba e bacabi submetidas a redução hídrica até os 30º dias de estresse (Figura 3). Contudo no período de cinco

dias de reidratação ocorreu uma redução nas atividades enzimáticas de ambas as espécies. Os valores para as folhas de bacaba (figura 3b) sob deficiência hídrica foram de 37; 44; 48 mg⁻¹ para os períodos 0, 15, 30 de estresse e 40mg⁻¹após os 5 dias correspondentes a reidratação, sendo observado que no 30º dia houve maior atividade desta enzima.

Nas raízes (figura 3a) as concentrações de SOD nas plantas de bacaba tiveram valores próximos a 42; 46; 51 mg⁻¹ para os tempos 0, 15, 30

dias, respectivamente, e 42mg⁻¹após cinco dias de reidratação. Os valores para as folhas de bacabi (figura 3d) sob deficiência hídrica foram em torno de 38; 50; 50mg⁻¹ de proteína para os períodos 0, 15, 30 de estresse e 49mg⁻¹com a reidratação, respectivamente. Já nas raízes (figura 3c) as concentrações de SOD nas plantas de bacabi sob restrição hídrica foram 43; 46; 52 e 50 mg⁻¹ de proteína para os tempos 0, 15, 30 de estresse e cinco dias correspondentes a reidratação, respectivamente.

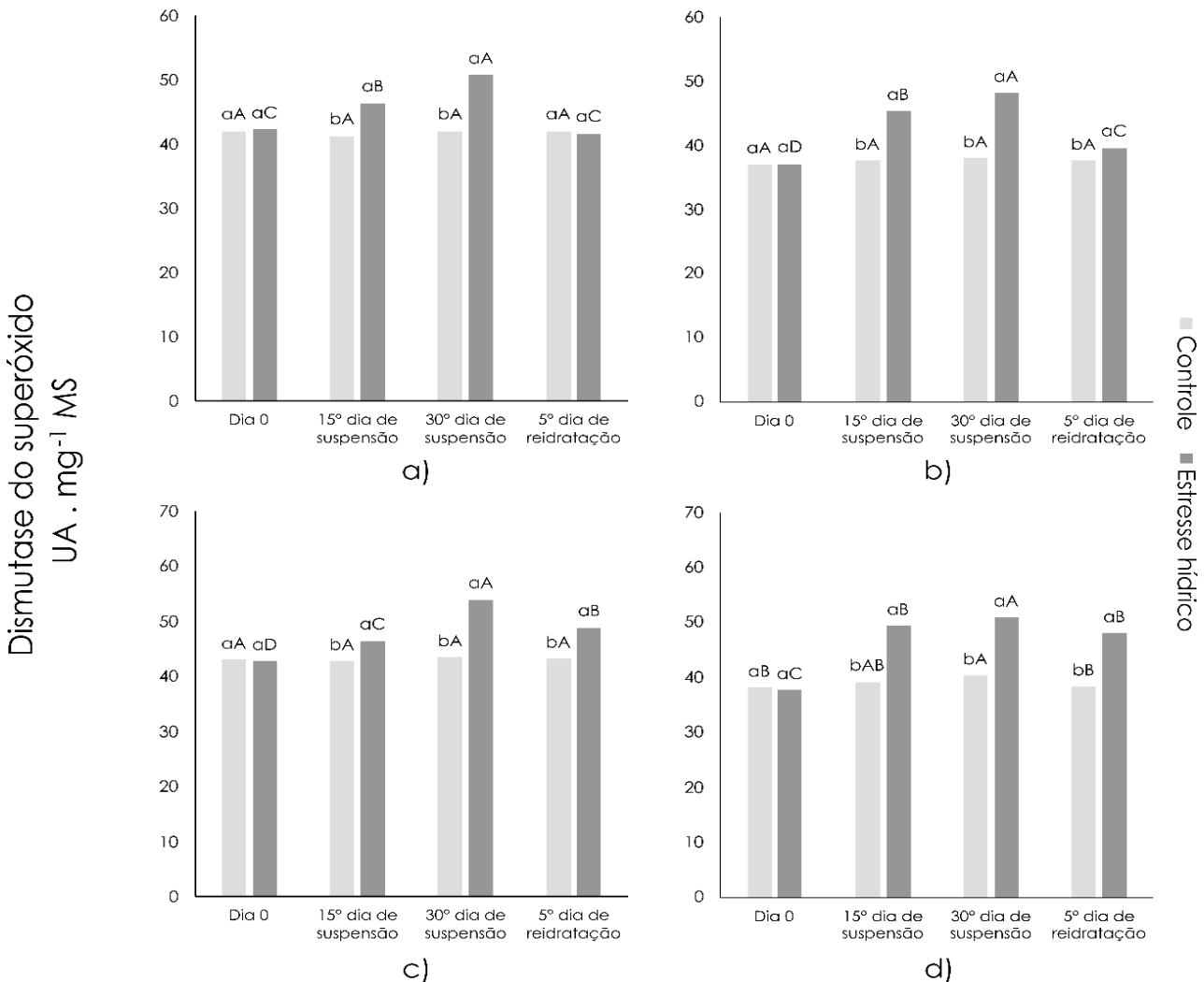


Figura 3. Dismutase do superóxido para raiz (a) e folha (b) de bacaba e raiz (c) e folha (d) de bacabi submetidas à suspensão hídrica durante 30 dias e reidratação de 5 dias. As letras diferentes mostram diferença estatística, comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas representam diferença estatística entre os dias e letras minúsculas representam diferença estatística entre os tratamentos.

Catalase

Com relação à enzima Catalase, observou-se um comportamento semelhante ao da enzima SOD havendo aumento na sua concentração à medida que a deficiência hídrica também aumentava até o 30º dias de estresse (Figura 4). No entanto, para o intervalo de cinco

dias de reidratação, pode-se observar decréscimo nas atividades enzimáticas de ambas as espécies.

Os valores para as folhas (figura 4b) de bacaba submetidas à deficiência hídrica foram 0,029; 0,038; 0,041 mmol de proteína para os períodos 0, 15, 30 de estresse e 0,029 mmol após

os cinco dias de reidratação, respectivamente. Em relação às raízes (figura 4a), as concentrações da enzima CAT foram de 0,027; 0,034; 0,038 mmol de proteína para os intervalos 0, 15, 30 de estresse e 0,029 mmol para os cinco dias correspondentes a reidratação.

Já para folhas das plantas de bacabi (figura 4d) submetidas ao déficit hídrico os resultados

foram 0,034; 0,048 e 0,051 mmol de proteína para os tempos 0, 15, 30 de estresse, com 0,044 mmol após os cinco dias de reidratação. Para as raízes (figura 4c) as concentrações da enzima CAT foram 0,034, 0,042 e 0,046 mmol de proteína para os tempos 0, 15, 30 de estresse, enquanto na reidratação teve-se 0,044 mmol.

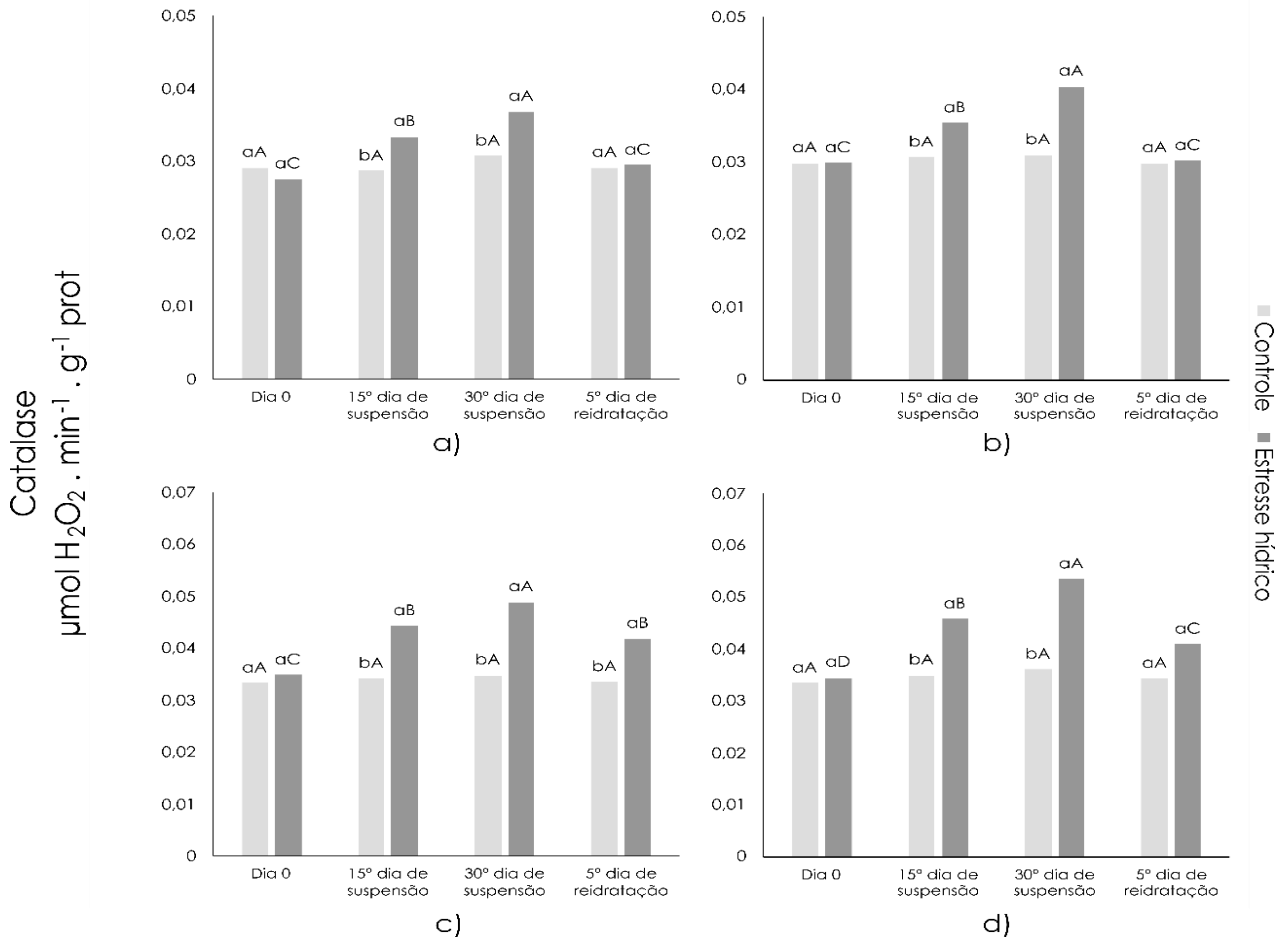


Figura 4. Catalase para raiz (a) e folha (b) de bacaba e raiz (c) e folha (d) de bacabi submetidas à suspensão hídrica durante 30 dias e reidratação de 5 dias. As letras diferentes mostram diferença estatística, comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas representam diferença estatística entre os dias e letras minúsculas representam diferença estatística entre os tratamentos.

Ascorbato Peroxidase – APX

Obteve um aumento significativo em suas concentrações tanto nas folhas quanto nas raízes de bacaba e bacabi entre os regimes hídricos e conforme os 30 dias de deficiência hídrica (Figura 5). Porém, no período de cinco dias de reidratação foi apresentada uma diminuição significativa na atividade da APX. Os valores para as folhas de bacaba (figura 5b) sob deficiência hídrica foram por volta de 3,1; 3,4 e 4,0 mg⁻¹ de proteína para os tempos 0, 15, 30 de estresse, com e 3,1 mg⁻¹ para os cinco dias correspondentes a reidratação. Ademais, para as raízes (figura 5a) as concentrações da enzima APX foram 3,0; 3,3 e 3,6 mg⁻¹ proteína para os períodos 0, 15, 30 de estresse

e 3,0 mg⁻¹ para a reidratação. Em relação aos valores para as folhas de bacabi (figura 5d) tem-se 4,1; 4,2 e 5,6 mg⁻¹ proteína para os tempos 0, 15, 30 de estresse, sendo 5,2 mg⁻¹ correspondentes a reidratação. Já nas raízes (figura 5c), as concentrações da enzima APX nas plantas submetidas à deficiência hídrica foram cerca de 4,1; 4,7; 5,6 e 5,5 mg⁻¹ de proteína nos períodos 0, 15, 30 de estresse e cinco dias de reidratação, respectivamente.

Discussão Sistema Antioxidantes:

A SOD é a primeira barreira em combate com a destruição de EROS que estão presentes em cada célula, fazendo a conversão ou dismutação de

O₂ tóxico para radicais de H₂O₂ e oxigênio molecular (O₂), que é a principal finalidade dessas enzimas antioxidantes (Chung, 2017). Sendo que nos resultados apresentados houve um aumento nos teores da proteína de SOD em função do aumento gradualmente do peróxido de hidrogênio (H₂O₂), sendo um oxigênio reativo muito importante, devido a prolongação do estresse hídrico (Wang et al., 2019).

Já a catalase (CAT) é responsável pela transformação do peróxido de hidrogênio (H₂O₂) em

água (H₂O) e oxigênio (O₂), atuando no reconhecimento de sinais no metabolismo da planta (Liu & C. He, 2016), juntamente com a ascorbato peroxidase (APX) que é responsável, também, pela redução do H₂O₂ e formação da água, fazendo o uso do ascorbato (AsA) como conector de elétrons. A APX atua contra os efeitos tóxicos causados pelas ROS, tendo como papel principal a eliminação dessas espécies reativas de oxigênio na defesa das plantas superiores (Maruta et al., 2016).

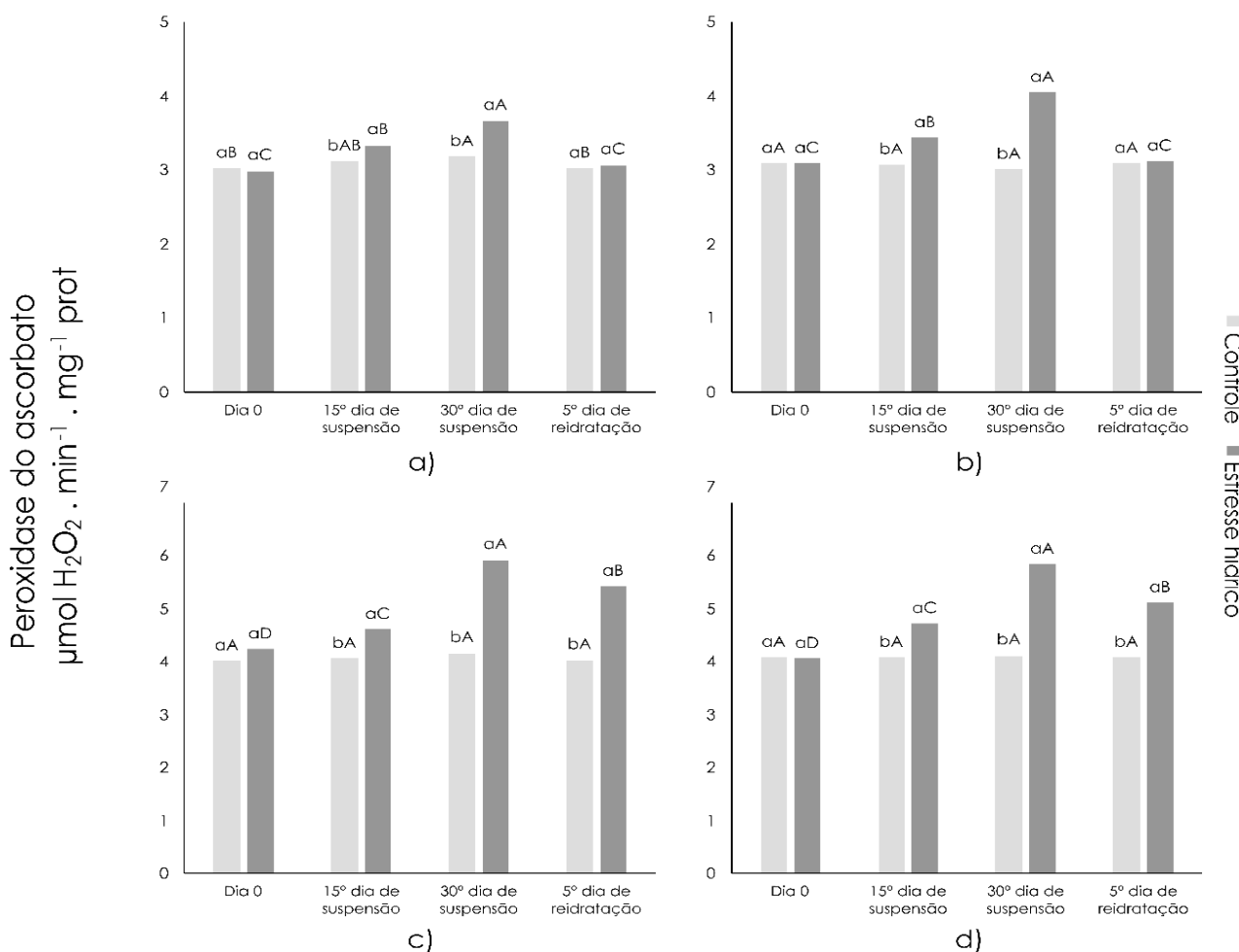


Figura 5. Peroxidase do ascorbato para raiz (a) e folha (b) de bacaba e raiz (c) e folha (d) de bacabi submetidas à suspensão hídrica durante 30 dias e reidratação de 5 dias. As letras diferentes mostram diferença estatística, comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas representam diferença estatística entre os dias e letras minúsculas representam diferença estatística entre os tratamentos.

Conclusão

O tempo de restrição hídrica de 30 dias e de reidratação por cinco dias, foram suficientes para alterar o metabolismo bioquímico das plantas de *Oenocarpus bacaba* e *Oenocarpus mapora*, mediante a redução do CRA e aumento dos teores de vazamento de eletrólitos. O déficit hídrico, durante o período estudado, comprometeu a atividade antioxidante das plantas de *O. bacaba* e *O. mapora*, visto que estas foram capazes de acionar

rapidamente o sistema de defesa enzimático (SOD, APX e CAT), mostrando que as plantas de *Oenocarpus mapora* são mais afetadas durante restrição hídrica. A espécie que se mostrou mais sensível ao estresse foi a *Oenocarpus mapora*, provavelmente pelo fato de ser uma planta ainda não domesticada em comparação a *Oenocarpus bacaba* já bem cultivada. Ambas as espécies recuperam bem após o período de reidratação.

Referências

- Campelo, D. de H.; Lacerda, C. F.; Sousa, J. A.; Correia, D.; Bezerra, A. M. E.; Araújo, J. D. M.; Neves, A. L. R. Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. *Revista Árvore*, v. 39, p. 973-983, 2015. <<https://doi.org/10.1590/0100-67622015000500020>>.
- Chung, W. Unraveling new functions of superoxide dismutase using yeast model system: Beyond its conventional role in superoxide radical scavenging. *The Journal of Microbiology*, v. 55, n. 6, p. 409, 2017. <<https://doi.org/10.1007/s12275-017-6647-5>>.
- Demidchik, Vadim. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology. *Environmental and experimental botany*, v. 109, p. 212-228, 2015. <<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.021>>.
- Freitas, M. A. M. de; Lins, H. A.; Souza, M. de F.; Carneiro, G. D. O. P.; Mendonça, V.; Silva, D. V. Water deficit on growth and physiological indicators of *Bidens pilosa* L. and *Bidens subalternans* DC. *Revista Caatinga*, v. 34, p. 388-397, 2021. <<https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n215rc>>.
- Garcia-Caparrós, P.; De Filippis, L.; Gul, A.; Hasanuzzaman, M.; Oztürk, M.; Altay, V.; Lao, M. T. Oxidative stress and antioxidant metabolism under adverse environmental conditions: a review. *The Botanical Review*, v. 87, p. 421-466, 2021. <<https://doi.org/10.1007/s12229-020-09231-1>>.
- Guerrini, I. A.; Silva, M. R. da; Saad, J. C. C. L.; Freitas, C. Estresse hídrico em plantio de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*, em função do solo, substrato e manejo hídrico de viveiro. *Revista Árvore*, v. 35, p. 31-39, 2011. <<https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000100004>>.
- Hasanuzzaman, M.; Bhuyan, M. B.; Zulfiqar, F.; Raza, A.; Mohsin, S. M.; Mahmud, J. A.; Fujita, M.; Fotopoulos, V. Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants*, v. 9, n. 8, p. 681, 2020. <<https://www.mdpi.com/2076-3921/9/8/681#>>.
- Leitman, P.; Judice, D.M.; Barros, F.S.M.; Prieto, P.V. *Arecaceae*. In: Martinelli, G.; Moraes, M.A. (Org.). *Livro Vermelho da Flora do Brasil*. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, v. 1, p. 187-195, 2013.
- Liu, Y.; He, C. Regulation of plant reactive oxygen species (ROS) in stress responses: learning from AtRBOHD. *Plant Cell Reports*, v. 35, p. 995-1007, 2016. <<https://doi.org/10.1007/s00299-016-1950-x>>.
- Maruta, T.; Sawa, Y.; Shigeoka, S.; Ishikawa, T. Diversity and evolution of ascorbate peroxidase functions in chloroplasts: more than just a classical antioxidant enzyme?. *Plant and Cell Physiology*, v. 57, n. 7, p. 1377-1386, 2016. <<https://doi.org/10.1093/pcp/pcv203>>.
- Mittler, R.; Zandalinas, S. I.; Fichman, Y.; Van Breusegem, F. Reactive oxygen species signalling in plant stress responses. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, v. 23, n. 10, p. 663-679, 2022. <<https://doi.org/10.1038/s41580-022-00499-2>>.
- Neves, L. T. B. C.; Campos, D. C. D. S.; Mendes, J. K. S.; Urnhani, C. O.; Araújo, K. G. M. de. Qualidade de frutos processados artesanalmente de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 37, p. 729-738, 2015. <<https://doi.org/10.1590/0100-2945-148/14>>.
- Peloso, A. F.; Tatagiba S. D.; Reis E.F.; Pezzopane J. E. M.; Amaral J. F. T. Photosynthetic limitations in leaves of arabic coffee promoted by the water deficit. *Coffee Science*, v. 12, n. 3, p. 389-399, 2017. <<https://doi.org/10.25186/cs.v12i3.1314>>.
- Pereira, Y. C.; Rodrigues, W. S.; Lima, E. J. A.; Santos, L. R.; Silva, M. H. L.; Lobato A. K. S. Brassinosteroids increase electron transport and photosynthesis in soybean plants under water deficit. *Photosynthetica*, v. 57, n. 1, p. 181-191, 2019. <<https://doi.org/10.32615/ps.2019.029>>.
- Raza, A.; Salehi, H.; Rahman, M. A.; Zahid, Z.; Madadkar Haghjou, M.; Najafi-Kakavand, S.; Charagh, S.; Osman, H. S.; Albaqami, M.; Zhuang, Y.; Siddique, K. H. M.; Zhuang, W. Plant hormones and neurotransmitter interactions mediate antioxidant defenses under induced oxidative stress in plants. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, 2022. <<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.961872>>.
- Rodrigues, A. L. Efeito da reidratação nos parâmetros ecofisiológicos da *Copaifera langsdorffii* DESF. São Paulo: Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", 2013. 85p. Dissertação Mestrado.
- Said Al Busaidi, K. T.; Farag, K. M. The use of electrolyte leakage procedure in assessing heat and salt tolerance of Ruzaiz date palm (*Phoenix dactylifera* L.) cultivar regenerated by tissue culture and offshoots and treatments to alleviate the stressful injury. *Journal of Horticulture and Forestry*, v. 7, n. 4, p. 104-111, 2015. <<https://doi.org/10.5897/JHF2014.0378>>.
- Santos, M. de F. G. D.; Alves, R. E.; Brito, E. S. de; Silva, S. de M.; Silveira, M. R. S. da. Características de qualidade de frutos e óleos de palmeiras nativas da Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de*

Fruticultura, v. 39, n. spe, 2017.
<<https://doi.org/10.1590/0100-29452017305>>.

Seixas, F. R. F.; Sesquim, E. A. R.; Raasch, G. S.; Cintra, D. E. Physicochemical characteristics and lipid profile of the bacaba occurring in the western Amazon. REBRAPA-Brazilian Journal of Food Research, v. 7, n. 3, p. 105-116, 2016.
<<http://dx.doi.org/10.3895/rebrapa.v7n3.3806>>.

Silva, A. J. B. da; Sevalho, E. de S.; Miranda, I. P. de A. Potencial das palmeiras nativas da Amazônia Brasileira para a bioeconomia: análise em rede da produção científica e tecnológica. Ciência Florestal, v. 31, p. 1020-1046, 2021.
<<https://doi.org/10.5902/1980509843595>>.

Souza, M. L. C. de; Starling, C. da S. A. Z.; Machuca, L. M. R.; Zuñiga, E. A.; Galvão, Í. M.; Guimarães, J. de J.; Broetto, F. Biochemical parameters and physiological changes in maize plants submitted to water deficiency. SN Applied Sciences, v. 2, p. 1-9, 2020.
<<https://doi.org/10.1007/s42452-020-2246-x>>.

Shivakrishna, P.; Reddy, K. A.; Rao, D. M. Effect of PEG-6000 imposed drought stress on RNA content,

relative water content (RWC), and chlorophyll content in peanut leaves and roots. Saudi journal of biological sciences, v. 25, n. 2, p. 285-289, 2018.<<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.04.008>>.

Torabian S.; Shakiba M. R.; Nasab M. A. D.; Toorchi M. Exogenous spermidine affected leaf characteristics and growth of common bean under water deficit conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 49, n. 11, p. 1289-1301, 2018.
<<https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1457157>>.

Wang, X.; Liu, H.; Yu, F.; Hu, B.; Jia, Y.; Sha, H.; Zhao, H. Differential activity of the antioxidant defence system and alterations in the accumulation of osmolyte and reactive oxygen species under drought stress and recovery in rice (*Oryza sativa* L.) tillering. Scientific reports, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2019.
<<https://doi.org/10.1038/s41598-019-44958-x>>.

Xie, X.; He, Z.; Chen, N.; Tang, Z.; Wang, Q.; Cai, Y. The roles of environmental factors in regulation of oxidative stress in plant. BioMed research international, v. 2019, 11p., 2019.
<<https://doi.org/10.1155/2019/9732325>>.