

DENNER RODRIGUES DOS SANTOS

**Aplicação de polímero superabsorvente de
poliacrilonitrila no fitotelma em plantas da
bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana*
(Baker) L. B. Smith**

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas Ambientais, da Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de MESTRE em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

SÃO PAULO

2023

DENNER RODRIGUES DOS SANTOS

**Aplicação de polímero superabsorvente de
poliacrilonitrila no fitotelma em plantas da
bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana*
(Baker) L. B. Smith**

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas Ambientais, da Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de MESTRE em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

ORIENTADORA: DRA. CATARINA CARVALHO NIEVOLA

Ficha Catalográfica elaborada pelo **NÚCLEO DE BIBLIOTECAS E MAPOTECAS**

Santos, Denner Rodrigues dos
S237a Aplicação de polímero superabsorvente de poliacrilonitrila no fitotelma em plantas da bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Smith / Denner Rodrigues dos Santos - - São Paulo, 2023.
91p.; il.

Dissertação (Mestrado) -- Instituto de Pesquisas Ambientais da Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística, 2023.
Bibliografia.

1. Bromeliaceae. 2. Tanque. 3. Polímero superabsorvente. I. Título.

CDU: 582.564

AGRADECIMENTOS

A Deus;

Ao Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA/SEMIL-SP) e Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente pela infraestrutura e suportes fornecidos para a realização deste trabalho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa que possibilitou a execução deste trabalho (Processo nº 88887.712438/2022-00);

Ao Instituto Granado de Tecnologia da Poliacrilonitrila (IGTPAN) pelo fornecimento do polímero utilizado nos experimentos;

À minha orientadora Dra. Catarina Carvalho Nievola por tudo que foi ensinado, pela paciência e compreensão e por ser uma inspiração e exemplo de dedicação à ciência;

Aos colaboradores Dr. Shoey Kanashiro e Dra. Marylene Brito Arduino pelo apoio e colaboração desde a elaboração do projeto do presente trabalho;

Ao meu parceiro de trabalho Leonardo Ganz, pela amizade e por ter sido essencial na realização deste trabalho;

À minha amiga, parceira, colega de trabalho, graduação e agora colega Mestre Isabella Bertoleti por todo o apoio no trabalho, emocional, e principalmente pela grande amizade de tanto tempo e em tantos momentos. Juntos chegamos aqui;

Aos meus colegas de grupo Gabriel, Maria Gessi, Gabriela, Beatriz e Barbara por todas as sugestões em nossas reuniões. Em especial Gabriela e Maria Gessi pelo treinamento em laboratório;

Ao Jorge Luiz Marx Young e Ivomar Medina pelo apoio técnico e valorosa ajuda na execução das análises;

A todos meus amigos e familiares que me deram suporte emocional e sempre acreditaram em mim, graças a vocês consegui chegar até aqui;

Aos meus pais Gilberto e Silvana e minha irmã Maria Eduarda por serem sempre meu Lar, meu Porto-Seguro e por tudo que me proporcionaram e proporcionam;

E, finalmente, ao Sr. Antônio Moreira, que sempre me apoiou, acreditou em mim em todos os momentos e principalmente por ter sido o melhor avô do mundo. Infelizmente não poderei abraçá-lo, mas tenho certeza que está orgulhoso, como sempre esteve. Te amarei eternamente.

Muito obrigado!

RESUMO

As bromélias são plantas ornamentais de grande valor econômico e ecológico. A disposição de suas folhas em roseta forma uma estrutura chamada tanque ou fitotelma, capaz de acumular água e nutrientes que podem ser utilizados pela planta e por pequenos organismos, realizando importante papel ecológico em ambiente natural. Contudo, em ambiente urbano, o tanque de bromélias pode abrigar larvas de mosquitos vetores de doenças. O uso de um polímero superabsorvente (SAP) para reter água nesses tanques, formando um hidrogel, pode ser uma estratégia para prevenir a proliferação desses mosquitos. O SAP produzido a partir da poliácridonitrila (SAP/PAN) é um produto já utilizado na agricultura, não sendo prejudicial ao meio ambiente nem a fitossanidade das plantas, quando utilizado no substrato. No entanto, não foram identificados trabalhos que verificassem se a aplicação de um SAP diretamente em contato com as folhas seria benéfica à planta, considerando a manutenção hídrica e nutricional que o fitotelma providencia. O objetivo deste trabalho é avaliar os efeitos da aplicação do SAP/PAN no tanque da bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Smith, investigando parâmetros relacionados à seca, déficit nutricional e estresse oxidativo nessa bromélia. Para isso, foram conduzidos dois experimentos: O primeiro avaliou a tolerância da bromélia *A. blanchetiana* ao uso de SAP/PAN em substituição à água no fitotelma, utilizando diferentes concentrações do polímero, enquanto o segundo testou a eficiência do SAP/PAN em prevenir sintomas de estresse hídrico em *A. blanchetiana* submetida a um período de 42 dias sem irrigação. Foram avaliadas três concentrações de SAP/PAN (5 g.L⁻¹, 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹). A presença do SAP/PAN no tanque não foi prejudicial para *A. blanchetiana*, uma vez que, após 42 dias, não induziu sintomas de estresse por seca ou de deficiência nutricional nas folhas, na região da base e no ápice, nas plantas que foram mantidas irrigadas. Quando submetidas a um período de 42 dias de restrição hídrica, as bromélias *A. blanchetiana* sobreviveram às condições, sendo que os tratamentos que receberam SAP/PAN no fitotelma apresentando menor ocorrência de sintomas de estresse hídrico em comparação com as plantas sem essa substância. A aplicação de SAP/PAN na concentração de 5 g.L⁻¹ no tanque possibilitou a manutenção do equilíbrio hídrico, preservando os valores de conteúdo relativo de água e potencial osmótico, enquanto as plantas sem SAP/PAN apresentaram reduções significativas nesses parâmetros. Na situação de suspensão da irrigação, os teores de clorofila e carotenoides aumentaram no ápice das folhas das plantas mantidas sem SAP/PAN e com SAP/PAN a 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹, indicando a resposta fisiológica à sobrevivência em condições de seca. Na ausência de rega, as atividades das enzimas antioxidantes SOD, CAT e APx foram mais elevadas nas plantas mantidas sem SAP/PAN, especialmente na região do ápice, sugerindo uma resposta de defesa antioxidante, enquanto o tratamento com SAP/PAN a 5 g.L⁻¹ preservou a atividade dessas enzimas. Esses resultados mostram a eficiência do uso de SAP/PAN no tanque de *A. blanchetiana* em mitigar os efeitos do estresse hídrico e proteger a planta de danos oxidativos. Este estudo aponta para o potencial uso do SAP/PAN no tanque de bromélias ornamentais com duas finalidades: como medida de controle de larvas de mosquitos e para prevenir sintomas de seca, com uma concentração eficaz de 5 g.L⁻¹ sendo necessárias pesquisas adicionais para aprimorar as técnicas de manejo e aplicação, criando subsídios para testar a viabilidade de aplicação do SAP/PAN em outras espécies de bromélias de valor ornamental, com vistas à redução da proliferação de mosquitos vetores de doenças.

Palavras-chave: Bromeliaceae; Tanque; Polímero Superabsorvente; Larva de Mosquito; Seca.

ABSTRACT

Bromeliads are ornamental plants of great economic and ecological value. The arrangement of their leaves in a rosette forms a structure called a tank or phytotelma, capable of accumulating water and nutrients that can be used by the plant and small organisms, playing an important ecological role in natural environments. However, in urban environments, bromeliad tanks can harbor mosquito larvae that are vectors of diseases. The use of a superabsorbent polymer (SAP) to retain water in these tanks, forming a hydrogel, may be a strategy to prevent the proliferation of these mosquitoes. The SAP produced from polyacrylonitrile (SAP/PAN) is a product already used in agriculture and is not harmful to the environment or the phytosanitary status of plants when used in the substrate. However, no studies have identified whether the application of SAP directly in contact with the leaves would benefit the plant, considering the water and nutritional maintenance that the phytotelma provides. The aim of this study is to evaluate the effects of SAP/PAN application in the tank of the ornamental bromeliad *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Smith, investigating parameters related to drought, nutritional deficiency, and oxidative stress in this bromeliad. To do this, two experiments were conducted: the first evaluated the tolerance of *A. blanchetiana* to the use of SAP/PAN in place of water in the phytotelma, using different concentrations of the polymer, while the second tested the efficiency of SAP/PAN in preventing drought stress symptoms in *A. blanchetiana* subjected to a 42-day period without irrigation. Three concentrations of SAP/PAN (5 g.L⁻¹, 10 g.L⁻¹, and 15 g.L⁻¹) were evaluated. The presence of SAP/PAN in the tank was not detrimental to *A. blanchetiana* since, after 42 days, it did not induce symptoms of drought stress or nutritional deficiency in the leaves, at the base, or at the apex, in the irrigated plants. When subjected to a 42-day period of water restriction, *A. blanchetiana* bromeliads survived the conditions, with treatments that received SAP/PAN in the phytotelma showing a lower occurrence of drought stress symptoms compared to plants without this substance. The application of SAP/PAN at a concentration of 5 g.L⁻¹ in the tank allowed for the maintenance of water balance, preserving the values of relative water content and osmotic potential, while plants without SAP/PAN showed significant reductions in these parameters. In the absence of irrigation, the levels of chlorophyll and carotenoids increased at the apex of the leaves of plants kept without SAP/PAN and with SAP/PAN at 10 g.L⁻¹ and 15 g.L⁻¹, indicating a physiological response to survival in drought conditions. In the absence of watering, the activities of the antioxidant enzymes SOD, CAT, and APx were higher in plants kept without SAP/PAN, especially at the apex, suggesting an antioxidant defense response, while treatment with SAP/PAN at 5 g.L⁻¹ preserved the activity of these enzymes. These results demonstrate the efficiency of using SAP/PAN in the tank of *A. blanchetiana* to mitigate the effects of drought stress and protect the plant from oxidative damage. This study points to the potential use of SAP/PAN in the tanks of ornamental bromeliads for two purposes: as a measure to control mosquito larvae and to prevent drought symptoms, with an effective concentration of 5 g.L⁻¹. Further research is needed to refine management and application techniques, providing insights for testing the feasibility of SAP/PAN application in other species of ornamental bromeliads, with the aim of reducing the proliferation of disease-carrying mosquitoes.

Keywords: Bromeliaceae; Tank; Superabsorbent polymer; Mosquito larvae; Drought.

LISTA DE ABREVIATURAS

°C – Graus Celsius

µg – Microgramas

µL – Microlitros

µM – Micromolar

µmol – Micromol

ANOVA – Análise de variância

APx – Ascorbato Peroxidase

BCA – Ácido Bicinconínico (*Bicinchoninic Acid*)

CAT – Catalase

CHS – Conteúdo hídrico do substrato

cm – Centímetros

CRA – Conteúdo relativo de água

e⁻ – Elétron

EDTA – Ácido Etilenodiamino Tetra-Acético (*Ethane Dyildinitrilo Tetraacetic Acid*)

g – Gramas

GPx – Glutathiona Peroxidase

GR – Glutathiona Redutase

GSH – Glutathiona (forma reduzida)

GSSG – Glutathiona (forma oxidada)

H⁺ – Próton de hidrogênio

H₂O – Água

H₂O₂ – Peróxido de hidrogênio

HCl – Ácido clorídrico

HO₂[•] – Hidroperoxila

HPCD – Hidroperóxido dieno-conjugado

IGTPAN – Instituto de Tecnologia da Poliacrilonitrila

IPCC – Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change*)

K – Potássio

kg - Quilograma

KH₂PO₄ – Fosfato de potássio

L – Litro

LPO – Peroxidação Lipídica

M – Molar

MF – Massa fresca

mg – Miligrama

MgCl₂ – Cloreto de magnésio

min. – Minutos

mL – Mililitro

mM – Milimolar

mmol – Milimol

MS – Massa seca

MT – Massa túrgida

mU – Miliunidade internacional de enzimas

N – Nitrogênio

NaCl – Cloreto de sódio

NADPH – Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Fosfato - Forma Reduzida

NBT – Nitro-blue tetrazolium

nm – Nanômetros

nmol – Nanomol

NORT – Normas, orientações e recomendações técnicas

N-P-K – Fertilizante de nitrogênio, fósforo e potássio

O₂ – Dioxigênio (Gás oxigênio)

O₂[•] – Radical superóxido

OH[•] – Radical hidroxil

P – Fósforo

PAN – Poliacrilonitrila

pH – Potencial hidrogeniônico

PSII – Fotossistema II

ROS – Espécies Reativas de Oxigênio (*Reactive Oxygen Species*)

RPM – Rotações por minuto

SAP – Polímero Superabsorvente (*Superabsorbent Polymer*)

SAP/PAN – Polímero Superabsorvente de Poliacrilonitrila

SEM – Erro padrão da média (*Standard Error of the Mean*)

SOD – Superóxido Dismutase

U – Unidade internacional de enzimas

v/v – volume/volume

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características biométricas das plantas de <i>Aechmea blanchetiana</i> pertencentes ao lote de estudo.....	12
--	----

CAPÍTULO 1

Tabela 1: Características biométricas das plantas de <i>Aechmea blanchetiana</i> pertencentes ao lote de estudo.....	28
--	----

Tabela 2: Variáveis biométricas de <i>Aechmea blanchetiana</i> no início do experimento e após 42 dias de aplicação de SAP/PAN no tanque.....	32
---	----

CAPÍTULO 2

Tabela 1: Variáveis biométricas de <i>Aechmea blanchetiana</i> sem irrigação após 42 dias de aplicação de SAP/PAN no tanque	59
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Formação de espécies reativas de oxigênio (ROS) no complexo IV da Cadeia Transportadora de Elétrons.	4
Figura 2: Processo de peroxidação lipídica.....	5
Figura 3: Sistema enzimático de defesa antioxidante	6
Figura 4: Bromélia <i>Aechmea blanchetiana</i> utilizada como planta ornamental	9
Figura 5: Espécime de <i>Aechmea blanchetiana</i> pertencente ao lote de estudo	12
Figura 6: : Plantas de <i>Aechmea blanchetiana</i> que receberam SAP/PAN no tanque.....	13

CAPÍTULO 1

Figura 1: Espécime de <i>Aechmea blanchetiana</i> pertencente ao lote de estudo.	27
Figura 2: Conteúdo hídrico do substrato (CHS) e conteúdo relativo de água (CRA) em <i>Aechmea blanchetiana</i> após 42 dias de aplicação de SAP/PAN no tanque.....	32
Figura 3: Teor de macronutrientes Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Enxofre, Magnésio e Cálcio em <i>Aechmea blanchetiana</i> após 42 dias da aplicação de SAP/PAN no tanque.....	33
Figura 4: Teor de micronutrientes Boro, Cobre, Zinco, Manganês e Ferro em <i>Aechmea blanchetiana</i> após 42 dias da aplicação de SAP/PAN no tanque.	34
Figura 5: Conteúdo de pigmentos fotossintetizantes clorofila a, clorofila b, clorofila a+b e carotenoides em <i>Aechmea blanchetiana</i> após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque .	35
Figura 6: Marcadores de eficiência fotoquímica do Fotossistema II F0, Fm e Fv/Fm em <i>Aechmea blanchetiana</i> após 42 dias de aplicação de SAP/PAN no tanque.....	35
Figura 7: Conteúdo de hidroperóxido dieno-conjugado (HPCD) em <i>Aechmea blanchetiana</i> após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque	36
Figura 8: Atividade de enzimas antioxidantes SOD, GR, CAT e APx de <i>Aechmea blanchetiana</i> após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque	37

CAPÍTULO 2

Figura 1: Conteúdo hídrico do substrato (CHS) no início do experimento e após 42 dias sem irrigação.....	58
--	----

Figura 2: Plantas de <i>Aechmea blanchetiana</i> sem irrigação após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque.....	59
Figura 3: Conteúdo relativo de água e Potencial Osmótico em <i>Aechmea blanchetiana</i> sem irrigação após 42 dias de aplicação de SAP/PAN no tanque.	60
Figura 4: Teor de macronutrientes Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Magnésio, Cálcio e Enxofre em plantas de <i>Aechmea blanchetiana</i> sem irrigação após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque	61
Figura 5: Teor de micronutrientes Boro, Cobre, Zinco, Manganês e Ferro em plantas de <i>Aechmea blanchetiana</i> sem irrigação após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque	62
Figura 6: Conteúdo de hidroperóxido dieno-conjugado (HPCD) em <i>Aechmea blanchetiana</i> sem irrigação após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque	63
Figura 7: Eficiência do Fotossistema II e conteúdo de pigmentos fotossintetizantes em <i>Aechmea blanchetiana</i> sem irrigação após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque	64
Figura 8: Atividade de enzimas antioxidantes SOD, CAT, GR e APx de <i>Aechmea blanchetiana</i> após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque	65

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
1. Bromélias: uso ornamental e importância do tanque	1
2. Polímeros Superabsorventes (SAP)	2
3. Efeitos da seca em bromélias	3
4. Efeitos do déficit nutricional	8
5. A bromélia <i>Aechmea blanchetiana</i>	8
JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE	10
OBJETIVOS.....	11
1. Objetivos Gerais.....	11
2. Objetivos Específicos.....	11
CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	12
1. Caracterização do lote	12
2. Delineamento experimental.....	13
3. Preparação do hidrogel.....	14
4. Análises estatísticas.....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
CAPÍTULO 1: A aplicação de hidrogel de polímero superabsorvente de poliacrilonitrila nas folhas da bromélia ornamental <i>Aechmea blanchetiana</i> (Baker) L. B. Smith não causa danos	22
CAPÍTULO 2: Aplicação de polímero superabsorvente de poliacrilonitrila no tanque da bromélia ornamental <i>Aechmea blanchetiana</i> (Baker) L. B. Smith pode minimizar os efeitos da restrição hídrica	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

INTRODUÇÃO GERAL

1. Bromélias: uso ornamental e importância do tanque

A família Bromeliaceae Juss. é conhecida por sua ampla utilização como planta ornamental. Em relatório elaborado pelo Instituto Brasileiro de Floricultura (IBRAFLOR) em parceria com o Centro de Estudo Avançados em Economia Aplicada - ESALQ/USP (CEPEA), esse mercado movimentou cerca de R\$7,16 a 10,925 bilhões, entre os anos de 2017 e 2021. Por conta disso, diversos estudos são publicados visando técnicas de cultivo e propagação dessas plantas, a fim de otimizar sua produção.

Muitas espécies de bromélias possuem grande importância ecológica, por formarem pequenos ecossistemas aquáticos, devido à sobreposição de suas folhas, dispostas em roseta, cuja estrutura recebe o nome de tanque ou fitotelma, capaz de acumular água da chuva ou de irrigação periódica (Frank e Lounibos, 2009), servindo tanto como abrigo de pequenos animais vertebrados, como anuros, como para diversos invertebrados, como culicídeos e outros insetos, servindo ainda como um importante ambiente para reprodução outros organismos que ocorrem no mesmo local dessas espécies vegetais, chegando a formar micro-ecossistemas essenciais para a manutenção do equilíbrio natural (Greeney, 2001; Killick et al., 2014). Além da importância ecológica, o acúmulo de água entre as folhas das bromélias pode ser importante para garantir a disponibilidade hídrica em eventuais períodos de escassez de água, principalmente quando se trata de espécies epífitas, as quais absorvem os nutrientes diretamente do tanque e cujas raízes servem na maioria das vezes apenas para fixação da planta à árvore hospedeira.

É conhecido que bromélias epífitas apresentam adaptações para a absorção de água e nutrientes, uma vez que suas raízes não estão em contato com o solo, sendo a principal adaptação a presença de tricomas absorventes nas folhas (Benzing, 2000). A dependência da água acumulada no tanque para a nutrição dessas plantas foi relatada em vários estudos, que revelam que a indisponibilidade de água no fitotelma poderia levar a injúrias causadas pela falta de nutrientes como Nitrogênio, Fósforo e Potássio, essenciais para o pleno desempenho de funções fotossintetizantes, metabólicas e manutenção do equilíbrio hídrico nas plantas.

A importante função de absorção de água e nutrientes via foliar pelas bromélias foi relatada em diversos trabalhos, dentre eles, recentemente está o de Leroy et al. (2019) que constataram para a bromélia epífita *Lutheria splendens* (Brongn.) Lem., que as raízes apresentam pouca importância na absorção de nutrientes, sendo que a maior parte dessa função é desempenhada pelos tricomas foliares. Do mesmo modo, Gomes et al. (2021), trabalhando com a bromélia ornamental *Aechmea fasciata* (Lindl.) Baker, observaram que, apesar da raiz

ser mais eficiente na absorção de nitrogênio inorgânico, a absorção foliar é fundamental, reforçando a ideia de que bromélias epífitas dependem da absorção via foliar.

Em ambiente urbano, o fitotelma das bromélias pode favorecer a proliferação de insetos de importância epidemiológica, como *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762), principal vetor de arboviroses como dengue e febre amarela, cujas larvas têm sido detectadas no tanque de bromélias ornamentais sendo que, nas últimas décadas, as bromélias têm se tornado um importante criadouro para a manutenção de populações desses mosquitos em ambientes urbanos, dificultando o controle vetorial (Wilke et al., 2018), sendo encontradas larvas de mosquitos no tanque de diversas espécies de bromélias utilizadas na ornamentação (Cunha et al., 2002; Marques et al., 2012; Lima-Camara et al., 2016). Uma possível solução para esse problema poderia ser a indisponibilização de água no fitotelma, através da aplicação de um hidrogel que impediria o desenvolvimento de larvas.

2. Polímeros Superabsorventes (SAP)

Os polímeros superabsorventes (SAP) são materiais hidrofílicos e biodegradáveis, apresentando uma capacidade de absorver até 1500 mL de líquido por grama de sólido (Buchholz e Graham, 1998), formando um hidrogel. Uma das possíveis aplicações desses polímeros é no campo da agricultura, onde têm se mostrado eficazes em serem utilizados em solos secos (AbdAllah et al., 2021) devido à sua capacidade de reter água. Estudos, como o realizado por Behera e Mahanwar (2019), destacam os benefícios que esses materiais podem trazer para o setor agrícola, mostrando que esses produtos apresentam um importante potencial de aplicação no cultivo de plantas.

Nnadi e Brave (2011) observaram que o uso de 3 g.L^{-1} de um SAP no substrato, próximo da raiz, causou aumento no crescimento de mudas de batata após 45 dias sem rega, quando comparadas às plantas mantidas em solo sem SAP, resultado atribuído ao fato de que a presença do SAP no solo disponibilizou água por mais tempo para as plantas daquele estudo. Além disso Woodhouse e Johnson (1991) verificaram também a eficiência da utilização de um SAP na concentração de 0,5% (v/v) por 16 dias na produção de plantas de alface (*Lactuca sativa* L.).

Um problema recorrente no cultivo de plantas é a escassez de água. Frente ao cenário atual de mudanças climáticas, o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021) alerta para a alta probabilidade de períodos de seca que podem afetar a produção agrícola. Frente a isso, possíveis alternativas para otimizar a utilização de água na produção de plantas vem sendo estudadas, sendo a utilização de SAP uma das principais propostas.

Entre os diversos tipos de SAP existentes no mercado, o SAP produzido a partir da poliacrilonitrila (SAP/PAN) é aplicável para uso agrícola, uma vez que, diferentemente daqueles utilizados em higiene pessoal e na fabricação de fraldas, não é instável a degradação pela luz solar e não apresenta compostos químicos tóxicos para as plantas terrestres (IGTPAN, 2013). Uma vez que o SAP/PAN é de utilização na agricultura, por esta razão é um produto que não oferece impacto negativo ao meio ambiente, não apresenta propriedades tóxicas para plantas e, portanto, se mostra uma opção potencial para ser aplicado no tanque de bromélias ornamentais.

Brito-Arduino et al. (2023) relataram que a adição de SAP/PAN hidratado em armadilhas ovopositoras mostrou-se eficiente em impedir o desenvolvimento larval, permitindo uma maior permanência desses equipamentos em campo sem desenvolvimento larval, uma vez que o mesmo estudo confirmou a presença de ovos de *Aedes aegypti* nas armadilhas com SAP/PAN, indicando uma potencial aplicação do hidrogel no controle entomológico no ambiente urbano.

Contudo, nunca foi testada a aplicação de um polímero superabsorvente diretamente em contato com a folha das bromélias, preenchendo o fitotelma. Considerando a importância fisiológica do tanque, devido a capacidade de absorção foliar dessas plantas, é importante investigar quais os possíveis efeitos que a aplicação de um SAP diretamente em contato com as folhas das bromélias, em substituição à água no tanque, poderia causar, evidenciando a possibilidade ou não de aplicação.

3. Efeitos da seca em bromélias

A seca é considerada como o principal fator de estresse abiótico que tem um impacto negativo significativo no crescimento e desenvolvimento das plantas. Esse fenômeno desafiador ocorre quando a quantidade de água disponível para a absorção pela planta é drasticamente reduzida, resultando em uma condição conhecida como déficit hídrico.

O déficit hídrico ocorre quando a perda de água através da transpiração das plantas excede a quantidade absorvida, criando um desequilíbrio hidrológico crucial para a sobrevivência e o bom funcionamento das plantas (Salehi-Lisar e Bakhshayeshan-Agdam, 2016). Essa falta de água pode comprometer atividades metabólicas das plantas, afetando negativamente sua capacidade de realizar processos vitais, como a fotossíntese e a síntese e transporte de nutrientes.

Em estudo realizado com a bromélia *Lutheria splendens*, Svenski et al. (2020) observaram que, após 42 dias de exposição a seca, essa planta apresentou uma drástica redução

no seu conteúdo hídrico, mostrando respostas bioquímicas e fisiológicas cruciais na resposta ao estresse, como redução na atividade fotossintética e ativação do sistema antioxidante.

Alterações na disponibilidade hídrica podem ativar mecanismos eficientes de resposta em plantas adaptadas a essas variações (Guo et al., 2018), como é o caso de certas bromélias (Carvalho et al. 2021). Nievola et al. (2017), citam vários trabalhos que mostram que essas respostas são consideradas rápidas em situação de estresses, produção excessiva de Espécies Reativas de Oxigênio (ROS), que pode ser causada devido à falta de água (Mittler, 2017), podendo ser utilizadas como importantes sinalizadores de tolerância.

Em condições fisiológicas normais, o oxigênio (O_2) sofre redução tetravalente nas mitocôndrias, resultando na formação de água (H_2O). Durante esse processo são formados intermediários reativos como radical superóxido ($O_2^{\bullet-}$), hidroperoxila ($HO_2^{\bullet}$) e radical hidroxil ($OH^{\bullet}$), e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (figura 1) (Ferreira e Matsubara, 1997). O estresse térmico por alta temperatura pode levar a uma redução nas atividades de fixação de carbono e captação de oxigênio, seguida pela interrupção do fluxo linear de elétrons, na cadeia transportadora de elétrons ou na fotossíntese, o que induz a geração de ROS como $O_2^{\bullet-}$, H_2O_2 ou $OH^{\bullet}$ (Allakhverdiev et al., 2008). Os principais locais de produção de ROS nas células vegetais são mitocôndrias e cloroplastos (Gill e Tuteja, 2010).

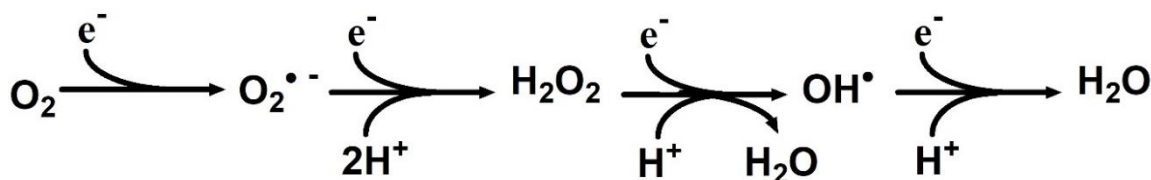


Figura 1: Formação de espécies reativas de oxigênio (ROS) no complexo IV da Cadeia Transportadora de Elétrons. O oxigênio (O_2) aceita um elétron (e^-), originando o radical superóxido ($O_2^{\bullet-}$) que ao se ligar a dois cátions de hidrogênio (H^+) e aceitar mais um elétron, origina peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Ao aceitar um elétron e um H^+ , o peróxido de hidrogênio origina radical hidroxil ($OH^{\bullet}$), formando ainda uma molécula de água (H_2O). O radical hidroxil é capaz de aceitar um H^+ e um elétron, sendo então reduzido à água.

No complexo IV da cadeia transportadora de elétrons, O_2 aceita um elétron, originando o $O_2^{\bullet-}$. A transferência de dois prótons de hidrogênio (H^+) e um elétron para o $O_2^{\bullet-}$ origina o H_2O_2 , que aceita um H^+ e um elétron, originando o radical hidroxil $OH^{\bullet}$, que finalmente é reduzido à água ao receber um H^+ e um elétron. Em condições normais, essas reações ocorrem no sítio ativo do complexo IV, que libera água após reduzir totalmente o oxigênio. Entretanto, pode ocorrer um escape de elétrons da cadeia transportadora de elétrons a partir da Coenzima Q nas mitocôndrias, bem como dos Fotossistemas I e II nos cloroplastos, quando o elétron é erroneamente transferido para o oxigênio molecular, originando $O_2^{\bullet-}$. Normalmente, menos de 1% do oxigênio consumido pelos organismos aeróbicos origina ROS, mas em condições de estresse, essa taxa pode ser elevada (Demidchik, 2015).

ROS podem funcionar como moléculas sinalizadoras benéficas para as células vegetais, viabilizando processos celulares de defesa ou ajudando em processos de crescimento, mas também são consideradas subprodutos tóxicos inevitáveis do metabolismo aeróbico (Mittler, 2017). São produzidas como um produto normal do metabolismo celular e, apesar de serem descritas como segundos mensageiros em uma variedade de processos celulares (Sharma et al., 2012), em excesso, as ROS podem ser destrutivas, sendo capazes de reagir com diversas biomoléculas, gerando danos oxidativos no interior das células, comprometendo sua estrutura e funcionamento (Mittova et al., 2003; Hussain et al., 2019). De modo a neutralizar os efeitos adversos, as células contam com diversas moléculas antioxidantes, bem como com um complexo sistema enzimático de defesa antioxidante.

. Vários estresses ambientais, como o estresse térmico e o estresse hídrico, levam à produção excessiva de ROS, o que pode vir a causar danos oxidativos em diversas moléculas orgânicas e, conseqüentemente, a morte celular (Mittova et al., 2003). O acúmulo de ROS é um processo que pode acontecer em curto prazo, quando plantas são submetidas a diferentes estresses abióticos, como o estresse térmico, estresse hídrico e estresse salino (Qu et al., 2013).

Entre os principais danos causados pelo excesso de ROS está a peroxidação lipídica (LPO) (figura 2), um processo complexo de oxidação de ácidos graxos insaturados presentes nas membranas biológicas que leva à formação e propagação de radicais lipídicos, rearranjo das ligações duplas nos lipídeos insaturados e a potencial destruição dos lipídeos de membrana (Hariyadi e Parkin, 1991). A oxidação de radicais lipídicos produz como subproduto hidroperóxidos dieno-conjugados (HPCD) que podem ser utilizados como marcadores de lesões oxidativas (Lima e Abdalla, 2001; Bhattacharjee et al., 2019), uma vez que são produzidos em condições de estresse oxidativo.

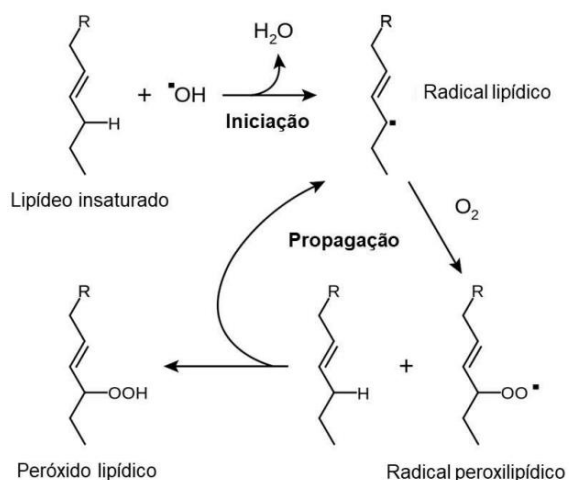


Figura 2: Processo de peroxidação lipídica. Adaptado de Young e McEneny (2001). Radicais livres, como o radical hidroxil ($\text{OH}^\bullet$), reagem com lipídeo insaturado subtraindo um elétron, originando o radical lipídico que, ao reagir com oxigênio (O_2), forma o radical peroxilipídico iniciando um ciclo de propagação das lesões oxidativas em lipídeos.

Sendo os lipídeos os principais componentes estruturais das membranas celulares, responsáveis por conferir propriedades essenciais como a permeabilidade seletiva, a peroxidação contínua dos lipídeos pode alterar a composição, estrutura e dinâmica das membranas citoplasmáticas, tornando-a mais permeável a diversos íons, podendo levar à morte celular (Gaschler e Stockwell, 2016). As lesões oxidativas podem ainda atingir as membranas de organelas como mitocôndrias, comprometendo o estabelecimento do gradiente eletroquímico necessário para o pleno funcionamento da cadeia transportadora de elétrons, e cloroplastos, em células vegetais, desestabilizando a estrutura das membranas dos tilacoides, impactando a produção energética do indivíduo (Das e Roychoudhury, 2014).

Um dos mecanismos celulares utilizados para minimizar os danos oxidativos causados por ROS é a defesa antioxidante enzimática (figura 3). Entre as enzimas que participam desse processo estão: superóxido dismutase (SOD), que catalisa a dismutação do radical superóxido em peróxido de hidrogênio (H_2O_2); ascorbato peroxidase (APx) e catalase (CAT), que reduz o peróxido de hidrogênio a H_2O , prevenindo assim a formação do $\text{OH}^\bullet$ via reação de Fenton ou via reação de Haber-Weiss, função essa também realizada pela enzima glutathiona peroxidase (GPx), que tem como coenzima o tripeptídeo glutathiona na forma reduzida (GSH), que é oxidado no curso da reação (GSSG) e glutathiona redutase (GR), que utiliza como coenzima o $\text{NADPH} + \text{H}^+$ para reduzir a glutathiona oxidada, regenerando assim GSH, e mantendo uma alta relação GSH/GSSG celular (Das e Roychoudhury, 2014).

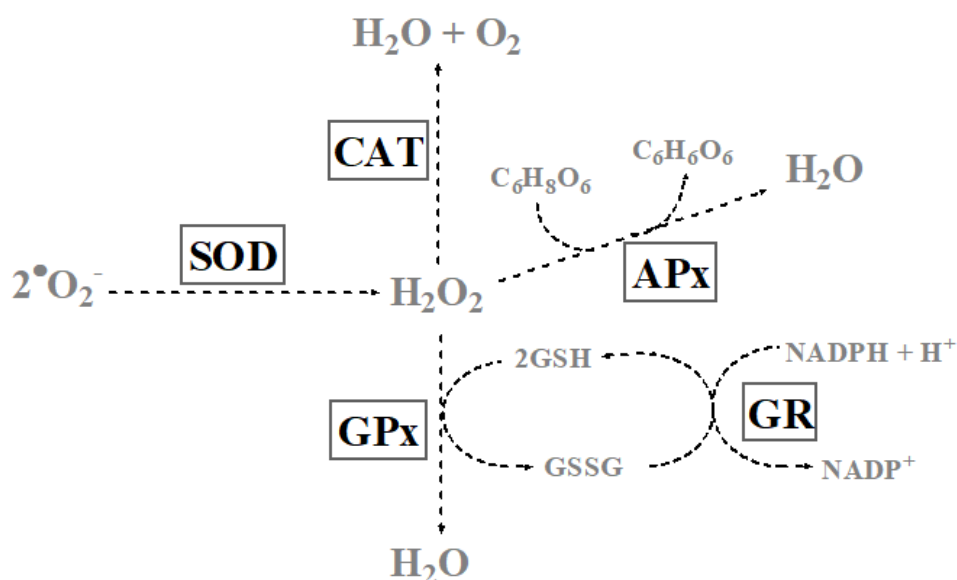


Figura 3: Sistema enzimático de defesa antioxidante. A enzima superóxido dismutase (SOD) catalisa a dismutação do radical superóxido ($\text{O}_2^\bullet$) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) que por sua vez pode ser reduzido a água (H_2O) em reações catalisadas pelas enzimas ascorbato peroxidase (APx), catalase (CAT) ou glutathiona peroxidase (GPx), que tem como cofator glutathiona reduzida (GSH), que é oxidada nessa reação (GSSG). A GSSG é então regenerada à sua forma reduzida em reação catalisada pela enzima glutathiona redutase (GR), utilizando como coenzima $\text{NADPH} + \text{H}^+$.

Quando ocorre um desbalanço entre a produção de ROS e a capacidade da defesa antioxidante, excedendo sua capacidade de combatê-las, podem ocorrer danos celulares em diversas biomoléculas, tendo-se então uma condição de estresse oxidativo (Betteridge, 2000). Carvalho et al. (2017), em estudo realizado com a bromélia *Guzmania monostachia* (L.) Rusby ex Mez, mostraram que em condições de estresse hídrico, essa planta apresenta uma redução na atividade de enzimas da defesa antioxidante, podendo indicar uma condição de estresse oxidativo.

Apesar disso, quando o organismo consegue manter a sua defesa antioxidante eficaz em uma situação potencialmente estressante, ele é capaz de prevenir os danos celulares, evitando a condição de estresse oxidativo. Um estudo conduzido com a bromélia *Acanthostachys strobilacea* (Schultz f.) Klotzsch, submetida por oito dias ao déficit hídrico mostrou que essa espécie possui plasticidade fisiológica para se aclimatar ao estresse oxidativo, uma vez que os níveis das enzimas da defesa antioxidante não se alteraram em relação ao grupo controle, bem como os níveis de LPO, demonstrando que o déficit hídrico não foi um fator limitante para a sobrevivência dessa planta (Menezes et al., 2020).

Além dos danos oxidativos, Weis e Berry (1987) já falavam sobre os efeitos deletérios que condições de seca podem causar nas funções fotossintéticas, diminuindo a eficiência dos fotossistemas. A fotossíntese é um processo biológico no qual a energia luminosa é absorvida e convertida em energia química em estruturas formadas por complexos proteína-pigmentos denominados fotossistemas (Blankenship, 2002). A absorção de um fóton por uma molécula de pigmento o converte de seu estado de menor energia (fundamental) para um estado excitado (Buchanan et al., 2015).

A redução de pigmentos fotossintetizantes, seja através da diminuição da sua biossíntese ou destruição, pode levar à diminuição do transporte de elétrons e, consequentemente, à redução da capacidade fotossintética na maioria das plantas (Ashraf e Harris, 2013). Essa redução pode ainda estar relacionada à peroxidação lipídica do cloroplasto e das membranas dos tilacoides durante o estresse (Mohammed e Tarpley, 2010). O conteúdo de clorofila pode ainda funcionar como um marcador indireto do estado nutricional nitrogenado da planta uma vez que o nitrogênio é um componente essencial desse tipo de pigmento fotossintetizante (Wiedenfeld et al., 2009). Os teores de clorofila em *Lycopersicum esculentum* Mill. apresentaram uma redução de 55,3% em relação às plantas controle quando foram submetidas a restrição de nitrogênio (Maia et al., 2011).

4. Efeitos do déficit nutricional

Estudos mostram que bromélias epífitas dependem da água acumulada no tanque para absorção de nutrientes (Endres e Mercier, 2001; Kanashiro et al., 2007; Winckler e Zotz, 2009; Leroy et al., 2019), sendo que a indisponibilidade de água no tanque poderia levar a injúrias causadas pela falta de nutrientes, especialmente Nitrogênio, Fósforo e Potássio, essenciais para o pleno desempenho de funções fotossintetizantes, metabólicas e manutenção do equilíbrio hídrico nas plantas. Leroy et al. (2019) observaram que bromélias epífitas apresentaram uma menor absorção de nitrogênio quando não houve irrigação no tanque, concluindo que a água acumulada no tanque auxilia na absorção de nutrientes por essas bromélias.

A falta de nutrientes causou diferentes efeitos na bromélia *Aechmea fasciata* (Young et al., 2018). As plantas mantidas sem fonte de nitrogênio apresentaram limitações no crescimento e desenvolvimento, percebendo-se uma redução de cerca de 70% no acúmulo de biomassa. No mesmo estudo, plantas mantidas sem fonte de fósforo apresentaram senescência precoce de suas folhas e alterações na coloração, efeitos que podem comprometer o potencial ornamental dessas plantas.

Além disso, a falta de macronutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, é capaz de causar acúmulo de ROS (Shin et al., 2005). Zakari et al. (2020) concluíram que a falta de Nitrogênio foi capaz de induzir a geração de ROS em folhas de arroz (*Oryza sativa* L.), indicando que a deficiência de nutrientes pode desencadear uma condição de estresse oxidativo, influenciando na senescência precoce dessas folhas, fator que pode comprometer o valor de plantas utilizadas para fins ornamentais.

5. A bromélia *Aechmea blanchetiana*

Aechmea blanchetiana (Baker) L. B. Smith (figura 4), popularmente conhecida como bromélia-tanque, é frequentemente usada como planta ornamental, especialmente em jardins externos, sendo objeto de diversos estudos envolvendo técnicas de cultivo e propagação (Kanashiro et al., 2007; Santa-Rosa et al., 2013). Trata-se de uma espécie nativa do Brasil, perene, epífita facultativa, apresentando inflorescência ramificada alta com brácteas vermelhas e folhas laminares dispostas em roseta, formando um grande fitotelma capaz de acumular água (Gilman e Robert, 1999).

De acordo com Leme e Marigo (1993), *A. blanchetiana* é uma espécie predominante nas áreas de restinga devido à sua preferência por luz solar direta. Ela tende a formar grandes touceiras, apresentando folhagem de tonalidade amarelada. Essa planta tem a capacidade de adentrar áreas de mata, onde se estabelece como epífita, perdendo sua coloração amarelada e adquirindo um tom verde. Lorenzi e Souza (1998) descrevem que *A. blanchetiana* pode ser

cultivada tanto individualmente quanto em grupos, formando densos maciços, em locais com pleno sol ou meia-sombra. Para um bom desenvolvimento, é recomendado o uso de canteiros ricos em matéria orgânica, que sejam mantidos úmidos. O plantio em vasos também é uma opção viável (Lorenzi e Mello-Filho, 2001).



Figura 4: Bromélia *Aechmea blanchetiana* utilizada como planta ornamental. Fonte: <https://www.e-bromelias.com.br/aechmea-blanchetiana/>

Tavares et al. (2015) analisando a estrutura epidérmica de plantas de *A. blanchetiana* cultivadas in vitro, constataram a presença de tricomas absorventes nas folhas dessa espécie, característica que, em outras espécies, já foi descrita como uma estrutura essencial na absorção de água e nutrientes via folia.

Estudos já mostraram os efeitos que a falta de nutrientes pode causar em *A. blanchetiana*. Kanashiro et al. (2007) demonstraram que, em baixas concentrações de nitrogênio, *A. blanchetiana* tem seu crescimento in vitro prejudicado. Além disso, Zampieri et al. (2012) observaram que essa espécie, cultivada também in vitro, apresenta respostas rápidas a falta de nutrientes como potássio e fósforo. Em estudo conduzido por Giampaoli et al. (2012) *A. blanchetiana* se mostrou tolerante a concentrações de zinco e cobre, contudo no mesmo estudo, foi observado um acúmulo de H_2O_2 , indicando que essa planta apresenta uma resposta rápida de sinalização por ROS, o que poderia desencadear a uma condição de estresse oxidativo, caso fosse prolongada. Em outro estudo, no qual plantas de *A. blanchetiana* foram mantidas na temperatura de 35 °C foi observada queda acentuada na eficiência fotossintética dessas plantas em questão de horas.

Embora não tenham sido encontrados estudos avaliando especificamente a resposta de *A. blanchetiana* à seca, a literatura citada sugere que, devido a sua capacidade rápida de aclimação, essa bromélia pode ser utilizada como modelo para estudos envolvendo respostas a estresse abiótico.

JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE

Diferentes ações foram propostas e testadas para impedir a proliferação de larvas de mosquitos vetores nos tanques de bromélias, como por exemplo, lavar o tanque com jato de água, aplicação de palha, preencher o tanque com borra de café, usar pastilhas com inibidor de crescimento da larva, aplicação de inseticidas entre outras (Ritchie e Broadsmith, 1997; Polanczyk et al., 2003; Laranja et al., 2006; NORT, 2006; MaiamiDate, Florida 2020). No entanto, tais tentativas mostram-se ineficientes ou causaram algum prejuízo às plantas, além de poluir o ambiente. Não foram encontrados estudos científicos que comprovassem a eficiência do uso de um hidrogel em substituição a água do fitotelma da bromélia, evitando que mosquitos vetores o utilizem como criadouros.

Sabe-se que o hidrogel formado pelo SAP/PAN em contato com o meio líquido pode impedir o desenvolvimento de larvas de mosquito (Brito-Arduino et al., 2023). Contudo, ao ser aplicado no tanque de bromélias, há necessidade de se verificar se não há alterações no desenvolvimento normal das plantas, devido à substituição da água no tanque pelo hidrogel, o que poderia levá-las a senescência precoce, causando prejuízos quando utilizadas em paisagismo e na decoração de interiores.

Embora se reconheça a importância de criar subsídios e técnicas para evitar o a proliferação de mosquitos na água do tanque de bromélias ornamentais de ambiente urbano, é necessário verificar qual o nível de tolerância dessas plantas aos possíveis efeitos da aplicação do SAP/PAN no fitotelma, uma vez que, especialmente bromélias epífitas, dependem da água acumulada no tanque para absorção de nutrientes e manutenção de suas condições hídricas (Benzing, 1990; Leroy et al., 2019). Portanto, avaliar essas respostas em bromélias poderia indicar se o uso dessa estratégia para evitar a proliferação de mosquitos vetores de doenças no fitotelma de bromélias ornamentais de ambiente urbano seria capaz de causar injúrias que prejudiquem o seu potencial ornamental.

A hipótese desse trabalho é de que, nas concentrações mais elevadas do SAP/PAN no fitotelma, *Aechmea blanchetiana* apresente sintomas relacionados estresse hídrico e nutricional. Assim, espera-se observar uma ativação do sistema de defesa antioxidante, dependendo do grau de sensibilidade ou tolerância dessa espécie aos efeitos do SAP/PAN. Concomitantemente, espera-se que em concentrações menores de polímero as bromélias sejam capazes se aclimatar à condição, evitando injúrias oxidativas e prejuízos ao desenvolvimento.

O uso de doses crescentes pode indicar qual concentração não interferiria na saúde da planta, de modo a se considerar sua aplicação contra o desenvolvimento das larvas de *Aedes aegypti* em bromélias de ambiente urbano.

Contudo, uma vez que o SAP/PAN pode ser utilizado no solo como gel de plantio, aumentando o tempo de disponibilidade de água para as plantas cultivadas, evitando a evaporação (Behera e Mahanwar, 2019), uma segunda hipótese é de que o SAP/PAN pode ser capaz de prevenir sintomas de estresse hídrico em plantas de *A. blanchetiana* em situações de escassez hídrica. Espera-se, portanto, que, em concentrações menores de SAP/PAN e, consequentemente, maior quantidade de água, as plantas apresentem tolerância a essa condição, graças a aplicação do hidrogel no tanque.

OBJETIVOS

1. Objetivos Gerais

O objeto central deste trabalho é avaliar aspectos fisiológicos e bioquímicos, com ênfase na atividade do sistema antioxidante, que possam indicar as respostas da bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Smith a aplicação do polímero superabsorvente de poliacrilonitrila diretamente no fitotelma.

2. Objetivos Específicos

Especificamente, este trabalho objetivou avaliar os seguintes parâmetros:

- Acúmulo de massa fresca e seca, área foliar e senescência de folhas;
- Conteúdo de pigmentos fotossintetizantes clorofila a, clorofila b e carotenoides;
- Conteúdo relativo de água (CRA);
- Ativação do sistema enzimático de defesa antioxidante, avaliando a atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1), glutathione redutase (GR, EC 1.6.4.2), catalase (CAT, EC 1.11.1.6) e ascorbato peroxidase (APx, EC 1.11.1.11);
- Lesões oxidativas celulares, utilizando como marcador os níveis de hidroperóxido dieno-conjugado (HPCD);
- Estado nutricional das plantas, analisando especificamente os conteúdos de Nitrogênio, Fósforo e Potássio.

CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

1. Caracterização do lote

Plantas da bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Smith obtidas a partir de sementes foram adquiridas a partir de produtor comercial (figura 5). As plantas foram mantidas em vasos plásticos com substrato misto de casca de Pinus compostada, turfa, vermiculita e serragem, com aditivos corretivos de acidez, fosfato natural e fertilizante mineral N-P-K. As mudas das bromélias foram aclimatadas por 30 dias em casa de vegetação com sistema de resfriamento do tipo Pad-Fan recebendo irrigação diária e adubação com fertilizante N-P-K na fórmula 20-20-20 diluído em água na concentração $0,4 \text{ g.L}^{-1}$, até o início dos experimentos.



Figura 5: Espécime de *Aechmea blanchetiana* pertencente ao lote de estudo. A figura A mostra em vaso plástico com substrato misto de casca de Pinus triturada antes do início dos experimentos. A figura B mostra um exemplar do lote caracterizando os sistemas foliares, caulinar e radicular. Seta vermelha na figura B indica a folha D. Barras = 5 cm.

As informações acerca das características biométricas das plantas do lote encontram-se sumarizadas na tabela 1.

Tabela 1: Características biométricas das plantas de *Aechmea blanchetiana* pertencentes ao lote de estudo. Os dados estão representados como média $\pm$ SEM (erro padrão da média).

Parâmetros	Valores
Número de folhas	18,01 ($\pm 1,05$)
Comprimento (folha D) cm	47,68 ($\pm 0,95$)
Largura (folha D) cm	6,86 ($\pm 0,5$)
Área foliar (folha D) cm^2	7,16 ($\pm 0,22$)
Massa fresca / Massa seca	0,96 ($\pm 0,01$)

2. Delineamento experimental

Visando o estudo das hipóteses apresentadas, o presente estudo foi conduzido em duas etapas com objetivos distintos.

O primeiro experimento, com objetivo de testar a tolerância da bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana* ao uso do SAP/PAN em substituição à água no fitotelma, foi realizado utilizando 40 espécimes do lote de estudo, que, após o período de aclimação, tiveram o tanque preenchido com SAP/PAN nas concentrações de 5 g.L⁻¹, 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹ (Brito-Arduino et al., 2023) (figura 6) sendo irrigadas apenas no substrato a cada sete dias, até a capacidade de tanque. As plantas foram mantidas nessas condições por 42 dias, quando foi coletada a folha D (Santos et al., 2018) e dividida em duas partes, chamadas neste estudo de ápice e base (figura 6E), para a análise dos parâmetros indicadores de tolerância.

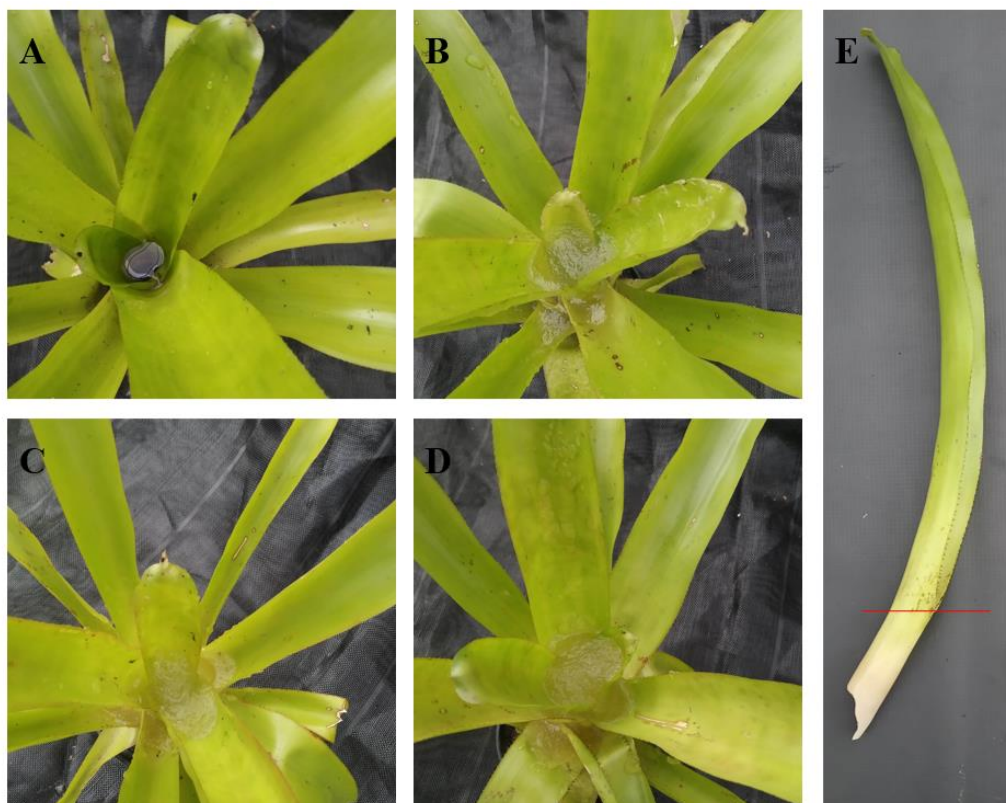


Figura 6: Plantas de *Aechmea blanchetiana* que receberam SAP/PAN no tanque. As imagens mostram plantas que receberam apenas água no tanque (A) e plantas que receberam SAP/PAN nas concentrações 5 g.L⁻¹ (B), 10 g.L⁻¹ (C), e 15 g.L⁻¹ (D). A figura E mostra a folha D coletada para a realização das análises. A linha vermelha representa a divisão entre as regiões de ápice (acima da linha vermelha) e base (abaixo da linha vermelha).

O segundo experimento, visando testar a eficiência do SAP/PAN em prevenir sintomas de estresse hídrico em *Aechmea blanchetiana*, foi conduzido utilizando 40 espécimes diferentes daqueles utilizados no primeiro estudo, porém pertencentes ao mesmo lote. Essas plantas

receberam SAP/PAN no fitotelma nas mesmas concentrações, e permaneceram por 42 dias sem qualquer irrigação, a fim de impor uma restrição hídrica a essas plantas. Após esse período, foi coletada a folha D e dividida em ápice e base, para a avaliação dos parâmetros indicadores de estresse.

Para ambos os experimentos, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, no qual as plantas foram numeradas e então sorteadas entre os tratamentos. Cada tratamento contou com cinco replicatas biológicas, enquanto as análises de tempo inicial foram feitas com 20 plantas, totalizando 40 plantas diferentes utilizadas para cada experimento.

3. Preparação do hidrogel

O hidrogel a ser aplicado no tanque das bromélias foi preparado, utilizando-se o polímero superabsorvente de poliacrilonitrila (SAP/PAN) de granulometria fina.

O polímero foi adicionado em água em três diferentes concentrações, 5 g.L⁻¹, 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹. O SAP/PAN foi misturado na água com espátula até ser totalmente diluído, formando um hidrogel (Brito-Arduino et al., 2023)

4. Análises estatísticas

Para ambos os experimentos, os tratamentos estatísticos dos dados obtidos foram feitos no programa “GraphPad Prism” 5. A normalidade e a homogeneidade dos dados foram verificadas usando os testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene, respectivamente. Quando necessário, os dados foram transformados aplicando logaritmo (log₁₀).

A comparação entre os grupos com tratamentos diferentes, bem como a comparação entre as diferentes regiões da folha, foi conduzida utilizando ANOVA de dois fatores com teste Tukey a posteriori. As diferenças entre as médias foram consideradas significativas quando $p < 0,05$. Os resultados foram expressos como média $\pm$ SEM (erro padrão da média).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AbdAllah, A.M., Mashaheet, A.M. & Burkey, K.O.** 2021. Super Absorbent Polymers Mitigate Drought Stress in Corn (*Zea Mays* L.) Grown under Rainfed Conditions. *Agricultural Water Management* 254: 106946. doi: 10.1016/j.agwat.2021.106946.
- Allakhverdiev, S.I., Kreslavski, V.D., Klimov, V.V., Los, D A., Carpentier, R. & Mohanty, P.** 2008. Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. *Photosynthesis Research* 94: 541-550. doi: 10.1007/s11120-008-9331-0.
- Ashraf, M. & Harris, P.J.C.** 2013. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica* 51: 163–190. doi: 10.1007/s11099-013-0021-6.
- Behera, S & Mahanwar, P.A.** 2019. Superabsorbent Polymers in Agriculture and Other Applications: A Review. *Polymer-Plastics Technology and Materials* 59(4): 1–16. doi: 10.1080/25740881.2019.1647239.
- Benzing, D.H.** 1990. Vascular epiphytes: General biology and related biota. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN: 978-0-521-26630-7.
- Benzing, D.H.** 2000. Bromeliaceae: Profile of an Adaptive Radiation. Cambridge University Press, Cambridge. doi: 10.1017/CBO9780511565175.
- Betteridge, D.J.** 2000. What Is Oxidative Stress? *Metabolism* 49(2): 3-8. doi: 10.1016/s0026-0495(00)80077-3.
- Bhattacharjee, C., Saxena, V.K. & Dutta, S.** 2019. Novel Thermal and Non-Thermal Processing of Watermelon Juice. *Trends in Food Science & Technology* 93: 234–43. doi: 10.1016/j.tifs.2019.09.015.
- Blankenship, R.E.** 2002. Molecular Mechanisms of Photosynthesis. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd. doi: 10.1002/9780470758472.
- Brito-Arduino, M., Serpa, L.L.N., Rangel, O., & Santos, G.V.** 2023. Evaluation of Superabsorbent Polymer (SAP) in Oviposition Traps Used in the Integrated Control of *Aedes Aegypti* (Linnaeus, 1762) and *Aedes Albopictus* (Skuse, 1894) (Diptera: Culicidae). *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 56: (e0337-2022). doi: 10.1590/0037-8682-0337-2022.
- Buchanan, B.B., Gruissen, W. & Jones, R.L.** 2015. Biochemistry and molecular biology of plants. 2 edition. American Society of Plant Biologists, Oxford. ISBN: 978-0-470-71422-5.

- Buchholz, F.L., & Graham, A.T.** 1998. Modern Superabsorbent Polymer Technology. Wiley-VCH. ISBN: 978-0-471-19411-8.
- Carvalho, V., Abreu, M.E., Mercier & H., Nievola, C.C.** 2017. Adjustments in CAM and enzymatic scavenging of H₂O₂ in juvenile plants of the epiphytic bromeliad *Guzmania monostachia* as affected by drought and rewatering. Plant Physiology and Biochemistry 113: 32-39. doi: 10.1016/j.plaphy.2017.01.024.
- Carvalho, V., Gaspar, M. & Nievola, C.C.** 2021. Short-Term Drought Triggers Defence Mechanisms Faster than ABA Accumulation in the Epiphytic Bromeliad *Acanthostachys strobilacea*. Plant Physiology and Biochemistry 160(2021): 62–72. doi: 10.1016/j.plaphy.2020.12.030.
- Cunha S.P., Alves J.R., Lima M.M., Duarte J.R., de Barros L.C., da Silva J.L., Gammara A.T., Monteiro Filho O.S. & Wanzeler A.R.** 2002. Presence of *Aedes aegypti* in Bromeliaceae and plant breeding places in Brazil. Rev Saude Publica 36(2): 244-5. doi: 10.1590/s0034-89102002000200018.
- Das, K. & Roychoudhury, A.** 2014. Reactive Oxygen Species (ROS) and Response of Antioxidants as ROS-Scavengers during Environmental Stress in Plants. Frontiers in Environmental Science 2. doi: 10.3389/fenvs.2014.00053.
- Demidchik, V.** 2015. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology. Environmental and Experimental Botany 109: 212-228. doi: 10.1016/j.envexpbot.2014.06.021.
- Endres, L. & Mercier, H.** 2001. Nitrogen nutrition of bromeliads. In: Horst, W.J., et al. Plant Nutrition. Developments in Plant and Soil Sciences 92. Springer, Dordrecht. doi: 10.1007/0-306-47624-X_60.
- Ferreira, A.L.A. & Matsubara, L.S.** 1997. Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. Revista da Associação Médica Brasileira 43: 61-68. doi: 10.1590/S0104-42301997000100014.
- Frank, J.H. & Lounibos, L.P.** 2009. Insects and allies associated with bromeliads: A Review. Terrestrial Arthropod Reviews 1(2): 125–53. doi: 10.1163/187498308X41474
- Gaschler, M.M. & Stockwell, B.R.** 2016. Lipid peroxidation in cell death. Biochemical and Biophysical Research Communications 482(3): 419-425. doi: 10.1016/j.bbrc.2016.10.086

- Giampaoli, P., Tresmondi, F., Lima, G.P.P., Kanashiro, S., Alves, E.S., Domingos, M. & Tavares, A.R.** 2012. Analysis of tolerance to copper and zinc in *Aechmea blanchetiana* grown in vitro. *Biol Plant* 56: 83–88. doi: 10.1007/s10535-012-0020-7.
- Gill, S.S. & Tuteja, N.** 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 48(12): 909-930. doi: 10.1016/j.plaphy.2010.08.016.
- Gilman, E.F. & Robert, J.B.** 1999. Your Florida guide to shrubs: selection, establishment and maintenance. Gainesville: University Press of Florida: 116. ISBN: 978-0-813-04244-2.
- Gomes, L.D.L., Ferreira, M.L., Kanashiro, S. & Tavares, A.R.** 2021. Nitrogen uptake by ornamental bromeliad: leaf and root efficiency. *Plant Soil* 466: 293–302. doi: 10.1007/s11104-021-05013-9.
- Greeney, H.F.** 2001. The Insects of Plant-Held Waters: A Review and Bibliography. *Journal of Tropical Ecology* 17(2): 241–60. doi: 10.1017/s026646740100116x.
- Guo, R., Shi, L.X., Jiao, Y., Li, M.X., Zhong, X.L., Gu, F.X., Liu, Q., Xia, X., & Li, H.R.** 2018. Metabolic Responses to Drought Stress in the Tissues of Drought-Tolerant and Drought-Sensitive Wheat Genotype Seedlings. *AoB PLANTS* 10(2). doi: 10.1093/aobpla/ply016.
- Hariyadi, P. & Parkin, K.L.** 1991. Chilling-induced oxidative stress in cucumber fruits. *Postharvest Biology and Technology* 1(1): 33-45. doi: 10.1016/0925-5214(91)900176.
- Hussain, S., Rao, M.J., Anjum, M. A., Ejaz, S., Zakir, I., Ali, M.A., Ahmad, N. & Ahmad, S.** 2019. Oxidative Stress and Antioxidant Defense in Plants Under Drought Conditions. *In*: Hasanuzzaman, M., Hakeem, K., Nahar, K., Alharby, H. (eds) *Plant Abiotic Stress Tolerance*. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-06118-0_9.
- IBRAFLOR.** 2022. O mercado de flores no Brasil. Kees Schoenmaker. Instituto Brasileiro de Floricultura.
- IGTPAN.** 2013. Aplicações da poliacrilonitrila. Disponível em: <<https://www.igtpan.com/aplicacoes.asp>>
- IPCC.** 2021. Summary for Policymakers. *In*: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [MassonDelmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang,

- M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R. & Zhou, B. (eds.)). Cambridge University Press.
- Kanashiro, S., Ribeiro, R.C.S., Gonçalves, A.N., Dias, C.T.S. & Jocys, T.** 2007. Effects of nitrogen concentrations on the growth of *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Sm. cultured in vitro. *Hoehnea* 34(1). doi: 10.1590/S2236-89062007000100003
- Killick, S.A., Blanchon, D.J. & Large, M.F.** 2014. Algal Communities in Phytotelmata: A Comparison of Native Collosporum and Exotic Bromeliads (Monocotyledonae) in New Zealand. *Telopea* 17: 303–10. doi: 10.7751/telopea20147847.
- Laranja, A.T., Manzato, A.T. & Bicudo, H.E.M.C.** 2006. Caffeine effect on mortality and oviposition in successive generations of *Aedes aegypti*. *Revista de Saúde Pública*, 40(6): 1112- 1117. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102006000700022>.
- Leme, E.M.C. & Marigo, L.C.** 1993. Bromélias na natureza. Rio de Janeiro: Mrigo Comunicação Visual: 183. ISBN: 858-5-35203-5.
- Leroy, C., Gril, E., Ouali, L.S, Coste, S., Gérard, B, Maillard, P., Mercier, H. & Stahl, C.** 2019. Water and Nutrient Uptake Capacity of Leaf-Absorbing Trichomes vs. Roots in Epiphytic Tank Bromeliads. *Environmental and Experimental Botany* 163: 112–23. doi: 10.1016/j.envexpbot.2019.04.012.
- Lima, E.S., & Abdalla, D.S.P.** 2001. Peroxidação Lipídica: Mecanismos E Avaliação Em Amostras Biológicas. *RBCF, Rev. Bras. Ciênc. Farm. (Impr.)*, 293–303. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-314052>.
- Lima-Camara, T.C., Urbinatti, P.R. & Chiaravalloti-Neto, F.** 2016. Finding *Aedes aegypti* in a Natural Breeding Site in an Urban Zone, Sao Paulo, Southeastern Brazil. *Revista de Saúde Pública* 50(4). doi: 10.1590/S1518-8787.2016050006245.
- Lorenzi, H. & Mello-Filho, L.E.** 2001. As plantas tropicais de R. Burle Marx. Nova Odessa: Plantarum. ISBN: 9788586714139.
- Lorenzi, H. & Souza H.M.** 1998. Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras. 2ed. Nova Odessa: Plantarum. ISBN: 8586714305.
- Maia, J.T.L.S., Boaneres, D., Clemente, J.M. & Martinez, H.E.P.** 2011. Efeito da restrição nutricional nos teores de clorofila em plantas de tomateiro cereja, em hidroponia. *Horticultura Brasileira*. 29(2): 2482-2488. doi: 10.5433/1679-0359.2019v40n2p585.

- Marques, T.C., Bourke, B.P., Laporta, G.Z. & Sallum, M.A.M.** 2012. Mosquito (Diptera: Culicidae) Assemblages Associated with *Nidularium* and *Vriesea* Bromeliads in Serra Do Mar, Atlantic Forest, Brazil. *Parasites & Vectors* 5(41). doi: 10.1186/1756-3305-5-41.
- Menezes, F.O., Carvalho, V., Moreira, V.A., Rigui, A.P., Gaspar, M & Nievola, C.C.** 2020. Juvenile plants of an epiphytic bromeliad exhibit rapid changes in carbohydrate content and antioxidant capacity to cope with water withholding. *Theor. Exp. Plant Physiol.* 32: 89–98. doi: 10.1007/s40626-020-00172-z.
- Mittler, R.** 2017. ROS Are Good. *Trends in Plant Science* 22(1): 11–19. doi: 10.1016/j.tplants.2016.08.002.
- Mittova, V., Tal, M., Volokita, M. & Guy, M.** 2003. p-regulation of the leaf mitochondrial and peroxisomal antioxidative systems in response to salt-induced oxidative stress in the wild salt-tolerant tomato species *Lycopersicon pennellii*. *Plant, Cell and Environment* 26: 845-856. doi: 10.1046/j.1365-3040.2003.01016.x.
- Mohammed, A.R. & Tarpley, L.** 2010. Effects of high night temperature and spikelet position on yield-related parameters of rice (*Oryza sativa* L.) plants. *European Journal of Agronomy* 33(2): 117-123. doi: 10.1016/j.eja.2009.11.006.
- Nievola, C.C., Carvalho, C.P., Carvalho, V. & Rodrigues, E.** 2017. Rapid Responses of Plants to Temperature Changes. *Temperature* 4(4): 371–405. doi: 10.1080/23328940.2017.1377812.
- Nnadi, F. & Brave, C.** 2011. Environmentally Friendly Superabsorbent Polymers for Water Conservation in Agricultural Lands. *Journal of Soil Science and Environmental Management* 2(7): 206–11. doi: 10.5897/JSSEM.9000040.
- Polanczyk, P.A., Garcia, M.O. & Alves, S.B.** 2003. Potential of *Bacillus thuringiensis israelenses* Berliner for controlling *Aedes aegypti*. *Rev. Saúde Pública* 37(6): 813-816. doi: 10.1590/S0034-89102003000600020.
- Qu, A., Ding, Y., Jiang, Q. & Zhu, C.** 2013. Molecular mechanisms of the plant heat stress response. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 432(2): 203-207. doi: 10.1016/j.bbrc.2013.01.104.
- Ritchie, S.A. & Broadsmith, G.** 1997. Eficácia de grânulos e grânulos de ALTOSID contra *Aedes aegypti* em bromélias ornamentais. *J Am Mosq Control Assoc.* 13(2): 201-202. PMID: 9249661.

- Salehi-Lisar, S.Y. & Bakhshayeshan-Agdam, H.** 2016. Drought stress in plants: causes, consequences, and tolerance. *In*: Hossain M., Wani S., Bhattacharjee S., Burritt D., & Tran L.S. (eds.) Drought stress tolerance in plants, Vol. 1. Springer, Cham, pp 1-16. doi: 10.1007/978-3-319-28899-4_1
- Santa-Rosa, S., Souza, F.V.D., Vidal, A.M., Ledo, C.A.S. & Santana, J.R.F.** 2013. Micropropagation of the Ornamental Vulnerable Bromeliads *Aechmea blanchetiana* and *Aechmea distichantha*. *Horticultura Brasileira* 31(1): 112–18. doi: 10.1590/s0102-05362013000100018.
- Santos, M.P., Maia, V.M., Oliveira, F.S., Pegoraro, R.F., Santos, S.R. & Aspiázú, I.** 2018. Estimation of Total Leaf Area and D-Leaf Area of Pineapple from Biometric Characteristics. *Revista Brasileira de Fruticultura* 40(6). doi: 10.1590/0100-29452018556.
- Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo.** 2006. Superintendência de Controle de Endemias “Normas, Orientações e Recomendações Técnicas” para Vigilância e Controle do *Aedes aegypti* no Estado de São Paulo, Pg (49).
- Serviços de Controle de Miami-Dade.** 2020. Uso de BTI e metoprene. <https://www.miamidade.gov/global/solidwaste/mosquito/bromeliads>.
- Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S. & Pessarakli, M.** 2012. Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions. *Journal of Botany* 2012: 26. doi: 10.1155/2012/217037.
- Shin, R., Berg, R. H. & Schachtman, D. P.** 2005. Reactive Oxygen Species and Root Hairs in Arabidopsis Root Response to Nitrogen, Phosphorus and Potassium Deficiency. *Plant and Cell Physiol.* 46(8): 1350–1357. doi: 10.1093/pcp/pci145.
- Svensk, M., Coste, S., Gérard, B., Gril, E., Julien, F., Maillard, P., Stahl, C. & Leroy, C.** 2020. Drought effects on resource partition and conservation among leaf ontogenetic stages in epiphytic tank bromeliads. *Physiologia Plantarum* 170(4): 488–507. doi: 10.1111/ppl.13161.
- Tavares, A.R., Giampaoli, P., Machado, J., Kanashiro, S., Chu, E.P., Pita, P.B.** 2015. Structural analysis of the foliar epidermis during acclimatization of *Aechmea blanchetiana* (Bromeliaceae) in vitro cultured. *Horticultura Brasileira* 33: 45-50. doi: 10.1590/S0102-053620150000100008.

- Weis, E., Berry, J.A.** 1987. Plants and high temperature stress. Symposia of the Society for Experimental Biology 42: 329-346. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3077863/>.
- Wiedenfeld, B., Wallace, B.W. & Hons, F.** 2009. Indicators of Cotton Nitrogen Status. Journal of Plant Nutrition 32(8): 1353–1370. doi: 10.1080/01904160903006044.
- Wilke, A.B.B., Vasquez, C., Mauriello, P.J. & Beier, J.C.** 2018. Ornamental Bromeliads of Miami-Dade County, Florida Are Important Breeding Sites for *Aedes Aegypti* (Diptera: Culicidae). Parasites & Vectors 11(1) doi: 10.1186/s13071-018-2866-9.
- Winkler, U. & Zotz, G.** 2009. Highly efficient uptake of phosphorus in epiphytic bromeliads. Annals of Botany 103(3): 477–484. doi: 10.1093/aob/mcn231.
- Woodhouse, J. & Johnson, M.S.** 1991. Effect of Superabsorbent Polymers on Survival and Growth of Crop Seedlings. Agricultural Water Management 20(1): 63–70. doi: 10.1016/0378-3774(91)90035-h.
- Young, J.L.M., Kanashiro, S., Jocys, T. & Tavares, A.R.** 2018. Silver Vase Bromeliad: Plant Growth and Mineral Nutrition under Macronutrients Omission. Scientia Horticulturae 234: 318–22. doi: 10.1016/j.scienta.2018.02.002.
- Zakari, S. A., Han, Z., Zhao, Q. & Cheng, F.** 2020. Relationship nitrogen deficiency-induced leaf senescence with ROS generation and ABA concentration in rice flag leaves. Journal of Plant Growth Regulation 39(4): 1503-1517. doi: 10.1007/s00344-020-10128-x.
- Zampieri, M.C.T., Saiki, M., Tavares, A.R. & Pinna, G.F.A.M.** 2012. Accumulation of mineral nutrients in *Aechmea blanchetiana* (Baker) L.B. Smith (Bromeliaceae) contaminated with zinc during in vitro culture. Horticulturae 39(3): 379–85. doi: 10.1590/s2236-89062012000300003.

CAPÍTULO 1

A aplicação de hidrogel de polímero superabsorvente de poliacrilonitrila nas folhas da bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B.

Smith não causa danos

RESUMO

Os polímeros superabsorventes (SAP) são compostos capazes de formar um hidrogel ao absorver água, sendo aplicados na agricultura para prolongar a disponibilidade hídrica nas raízes das plantas. Recentemente, estudos destacaram que o SAP à base de poliacrilonitrila (SAP/PAN) pode inibir a eclosão de larvas de mosquitos, oferecendo uma inovação para controlar insetos indesejados em ambientes urbanos. Considerando a importância ornamental das bromélias e a eficiência de suas folhas, na retenção e absorção de água e nutrientes, explorar o uso de SAP poderia ser uma alternativa promissora para evitar a proliferação de insetos entre as folhas de bromélias, desde que a aplicação desse hidrogel não causasse danos às plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do uso do SAP no fitotelma da bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Smith quanto à presença de dano foliar ou variação no conteúdo de nutrientes. Foram utilizadas 40 plantas submetidas a diferentes concentrações de SAP/PAN: 0 g.L⁻¹, 5 g.L⁻¹, 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹ para cada uma das cinco replicatas biológicas. Todas as plantas sobreviveram após 42 dias com SAP/PAN, não havendo variação no teor hídrico, nutrientes, capacidade fotossintética e danos de membrana. Observou-se diferenças no teor hídrico e nutricional apenas entre a base e o ápice foliar, característico das bromélias. Nossos resultados indicam que o SAP/PAN pode ser explorado em outras espécies de bromélias como estratégia de controle de larvas de mosquitos, podendo influenciar políticas públicas de saúde.

Palavras-chave: enzimas antioxidantes; tanque; Larvas de mosquito; conteúdo hídrico; nutrientes

The application of superabsorbent polyacrylonitrile hydrogel in the tank of the ornamental bromeliad *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Smith does not induce damage

ABSTRACT

Superabsorbent polymers (SAP) are compounds capable of forming a hydrogel by absorbing water, and they are applied in agriculture to extend water availability in plant roots. Recently, studies have highlighted that polyacrylonitrile-based SAP (SAP/PAN) can inhibit the hatching of mosquito larvae, providing an innovative approach to control unwanted insects in urban environments. Considering the ornamental importance of bromeliads and the efficiency of their leaves in water and nutrient retention and absorption, exploring the use of SAP could be a promising alternative to prevent insect proliferation among bromeliad leaves, provided that the application of this hydrogel does not cause harm to the plants. This study aimed to evaluate the effects of SAP/PAN use in the phytotelma of the ornamental bromeliad *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Smith regarding the presence of leaf damage or variation in nutrient content. Forty plants were subjected to different concentrations of SAP/PAN: 0 g.L⁻¹, 5 g.L⁻¹, 10 g.L⁻¹, and 15 g.L⁻¹ for each of the five biological replicates. All plants survived after 42 days with SAP/PAN, with no variation in water content, nutrients, photosynthetic capacity, or membrane damage. Differences in water and nutritional content were observed only between the base and the leaf apex, characteristic of bromeliads. Our results indicate that SAP/PAN can be explored in other bromeliad species as a mosquito larvae control strategy, potentially influencing public health policies.

Keywords: antioxidant enzymes; tank; mosquito larvae; water content; nutrients

INTRODUÇÃO

Os polímeros superabsorventes (SAP) são materiais hidrofílicos e biodegradáveis, apresentando uma capacidade de absorver até 1500 mL de líquido por grama de sólido (Buchholz e Graham, 1998). Uma das aplicações mais notáveis desses polímeros é na agricultura, onde têm se mostrado eficazes na revitalização de solos secos e áridos (Jahan e Mahallati, 2020). A capacidade desses polímeros em reter líquidos tem se mostrado uma alternativa para combate a escassez de água no contexto agrícola, tornando-os possíveis alternativas para evitar a seca em plantas (Behera e Mahanwar, 2019). A utilização de 3 g.L⁻¹ de um polímero superabsorvente no solo, próximo da raiz, possibilitou um aumento no crescimento de mudas de batata comercial (*Solanum tuberosum* L.) após 45 dias, quando comparadas às plantas mantidas em solo sem SAP (Nnadi e Brave, 2011). Soma-se também o estudo realizado por Woodhouse e Johnson (1991), no qual verificaram a eficiência de um polímero superabsorvente na produção de plantas de alface (*Lactuca sativa* L.) mantidas por 16 dias com SAP na concentração de 0,5% (v/v) aplicado nas raízes. Contudo, não foram encontrados trabalhos científicos que relatassem a possibilidade da aplicação desse composto via foliar, principalmente em espécies de bromélias cuja retenção de água e nutrientes ocorre entre suas folhas, conforme relatado em diversos trabalhos, como demonstrado por Leroy et al. (2019). Esses autores constataram que a maior parte da absorção de nutrientes realizada pela bromélia epífita *Lutheria splendens* (Brongn.) Lem é desempenhada pelos tricomas foliares, preferencialmente às raízes. Do mesmo modo, Gomes et al. (2021), trabalhando com a bromélia ornamental *Aechmea fasciata* (Lindl.) Baker, observaram que, apesar da raiz ser mais eficiente na absorção de nitrogênio inorgânico, a absorção foliar é fundamental, reforçando a ideia de que bromélias epífitas dependem da absorção via foliar.

As folhas das bromélias são complexas em relação às funções fisiológicas, que podem ser diferentes na parte basal e apical. Mercier et al. (2019) constataram por meio de análises de expressão gênica da bromélia epífita *Guzmania monostachia* (L.) Rusby ex Mez, que o ápice da folha está relacionado com a regulação do movimento estomático, produção de clorofila, resposta celular ao estresse e neutralização de espécies reativas de oxigênio (ROS), enquanto a base da folha (região do tanque ou fitotelma) executa principalmente a absorção de nutrientes e água, funções atribuídas em geral às raízes das plantas.

Devido à capacidade de acúmulo de substâncias os tanques apresentam uma significativa importância ecológica podendo servir como refúgio para pequenos animais vertebrados, como os anuros, bem como proporcionar habitat para diversos invertebrados, incluindo culicídeos e outros insetos. No ambiente natural, essas estruturas podem

desempenhar, um papel crucial ao servirem como ambientes propícios para a reprodução de outros organismos que compartilham o mesmo espaço com as espécies vegetais, o que contribui para a formação de micro-ecossistemas essenciais para a manutenção do equilíbrio natural (Greeney, 2001; Killick et al., 2014; Ladino et al., 2019). Entretanto, em ambiente urbano, as bromélias ornamentais que apresentam tanque, são consideradas criadouro frequente de espécies de culicídeo, envolvidos na transmissão de arboviroses como dengue, Zika e chicungunya (Brito-Arduino, 2014; Wilke et al. 2019). No gênero *Aechmea*, por exemplo, Docile et al. (2017) constataram a presença de ovos de culicídeos em 80% das bromélias no estudo. Wilke et al. (2018) relatam dificuldades nas tentativas de controle devido às consequências negativas para o ambiente, sendo necessárias medidas para controle do desenvolvimento desses organismos nas bromélias, sem que causem danos às plantas.

Dentre as alternativas que impediriam o desenvolvimento de larvas, poderia ser testado um dos polímeros superabsorventes de poliacrilonitrila (SAP/PAN), um produto biodegradável, resistente à radiação ultravioleta, que já é utilizado na agricultura comercial (IGTPAN, 2013) e cuja ação contra o desenvolvimento de larvas de mosquitos foi testada em armadilhas de ovoposição por Brito-Arduino et al. (2023). As características químicas desse hidrogel permitiriam a retenção de água quando aplicado no tanque da bromélia atraindo as fêmeas de mosquitos para ovoposição, mas cujas larvas não se desenvolveriam até a fase de mosquito, tornando-se uma opção para o controle do vetor de doenças no ambiente urbano. Contudo, não se sabe quais os possíveis efeitos que a aplicação desse hidrogel de modo constante diretamente nas folhas, poderia causar nessas plantas. Deve-se considerar que as bromélias-tanque utilizam a água acumulada entre as folhas para absorção de nutrientes (Winkler e Zotz, 2009), e que os tricomas exercem papel fundamental nessa absorção (Benzing, 1990). Sendo assim, é importante avaliar se a presença de um hidrogel no tanque dessas bromélias poderia de alguma forma prejudicar essa absorção levando essas plantas a uma situação potencialmente estressante.

De modo a testar a possibilidade de uso do SAP no tanque de bromélias, este trabalho propôs iniciar a investigação utilizando um exemplo de bromélia-tanque epífita considerada ornamental, muito utilizada em ambientes públicos como parques e jardins. Trata-se da espécie com tanque, *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Smith, uma espécie nativa do Brasil que já foi alvo de diversos estudos visando sua propagação e cultivo in vitro (Kanashiro et al., 2007; Santa-Rosa et al., 2013).

A fim de monitorar os possíveis efeitos do SAP/PAN sobre as folhas de bromélias, a avaliação de marcadores bioquímicos já relatados como respostas rápidas de plantas ao estresse abiótico (Nievola et al., 2017). A análise de atividade de enzimas do sistema antioxidante, por

exemplo, que são responsáveis pelo controle nos níveis de espécies reativas de oxigênio (ROS), geradas devido à reduzida disponibilidade hídrica (Carvalho et al, 2021), pode indicar se a falta de água na forma líquida, causada pela presença constante do hidrogel, induziria respostas de seca. Além disso, avaliações da eficiência fotossintética e conteúdo de pigmentos em bromélias, também são indicadores da presença de condição de estresse (Menezes et al., 2020), devendo ser consideradas para diagnóstico de tolerância ao SAP. Outro aspecto é a disponibilidade de nutrientes que poderia ser afetada pelo hidrogel aplicado no tanque. Diversos estudos relatam que absorção nutrientes no tanque é essencial para bromélias epífitas, dentre eles cita-se o trabalho desenvolvido por Leroy et al. (2019), no qual as plantas da bromélia *Aechmea aquilega* (Salisb.) Griseb que receberam irrigação no tanque apresentaram maiores níveis de nitrogênio quando comparadas àquelas que receberam irrigação apenas na raiz. Young et al. (2018), em estudo conduzido com a bromélia *A. fasciata* verificaram que plantas mantidas sem fonte nitrogênio apresentaram pouco crescimento, alteração na coloração e não desenvolveram folhas novas, enquanto plantas mantidas sem fonte de fósforo apresentaram senescência das folhas. Esses efeitos podem causar desvalorização de bromélias ornamentais, visto que o aspecto das suas folhas é o que as atribui o papel ornamental.

O objetivo deste trabalho é investigar se a aplicação do SAP/PAN no tanque de *A. blanchetiana* causaria danos fisiológicos, afetando a absorção foliar de água e/ou nutrientes que poderiam não indicar a viabilidade do uso desse polímero no fitotelma dessa espécie ornamental.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal e condições de cultivo

Plantas da bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Smith, obtidas a partir de sementes, foram adquiridas de um produtor comercial (Figura 1). As plantas foram cultivadas em vasos plásticos pretos de polietileno, contendo substrato misto composto por casca de Pinus compostada, turfa, vermiculita e serragem, complementado com corretivos de acidez, fosfato natural e fertilizante mineral N-P-K. As mudas das bromélias foram aclimatadas por um período de 30 dias em uma casa de vegetação com sistema de resfriamento Pad-Fan, recebendo irrigação diária e adubação com fertilizante N-P-K de fórmula 20-20-20 diluído em água na concentração de 0,4 g.L⁻¹, até o início dos experimentos.



Figura 1: Espécime de *Aechmea blanchetiana* pertencente ao lote de estudo. A figura A mostra a bromélia em vaso plástico de polietileno com substrato de casca de Pinus compostada antes do início dos experimentos. A figura B mostra um exemplar do lote mostrando os sistemas foliares, caulinar e radicular. Seta vermelha na figura B indica a folha D. Barras = 5 cm.

As informações acerca das características biométricas das plantas do lote de estudo encontram-se sumarizadas na Tabela 1.

Tabela 2: Características biométricas das plantas de *Aechmea blanchetiana* pertencentes ao lote de estudo. Os dados estão representados como média $\pm$ SEM.

Parâmetros	Valores
Número de folhas	18,01 ($\pm$ 1,05)
Comprimento da folha D (cm)	47,68 ($\pm$ 0,95)
Largura da folha D (cm)	6,86 ($\pm$ 0,5)
Área da folha D (cm ²)	7,16 ($\pm$ 0,22)
Massa fresca / Massa seca	0,96 ($\pm$ 0,01)

Preparação do hidrogel

O hidrogel a ser aplicado no tanque das bromélias foi preparado, utilizando-se o polímero superabsorvente de poliácridonitrila (SAP/PAN) de granulometria fina.

O polímero foi adicionado em água em três diferentes concentrações, 5 g.L⁻¹, 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹. O SAP/PAN foi misturado na água com espátula até ser totalmente diluído, formando um hidrogel (Brito-Arduino et al., 2023).

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de inteiramente casualizado, no qual as plantas foram numeradas e então sorteadas entre os diferentes tratamentos. Cada tratamento constou de 2 parcelas, isto é, 2 repetições, com cinco plantas por parcela, constando de 10 plantas por tratamento, enquanto as análises do tempo inicial foram feitas com 20 plantas, totalizando 60 plantas exemplares da bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana* utilizados na condução do experimento.

Após o período de aclimação, 40 plantas de *A. blanchetiana* tiveram o tanque preenchido com SAP/PAN nas concentrações de 5 g.L⁻¹, 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹ e “SEM SP” (Brito-Arduino et al., 2023). As plantas foram irrigadas apenas no substrato a cada sete dias, sem adubação, até a capacidade de campo. As plantas foram mantidas nessas condições durante 42 dias, quando a folha D (Santos et al. 2018) foi coletada e dividida em duas partes, referidas neste estudo como ápice e base, para análise dos parâmetros indicadores de tolerância.

A capacidade de campo do substrato (CHS) foi avaliada em dois períodos, sendo no tempo inicial e aos 42 dias para avaliar as condições de tratamento. Cinco amostras de substrato de cada tratamento foram coletadas e pesadas usando uma balança analítica. As amostras foram então mantidas em estufa a 60 °C por 7 dias até atingir peso constante para determinar a massa

seca do substrato. A capacidade de campo do substrato foi calculada utilizando a equação: $\% = [(MF - MS) \times 100] / MF$.

Conteúdo relativo de água

O conteúdo relativo de água (CRA) das folhas foi determinado seguindo-se o método descrito por FletaSoriano et al. (2015) com pequenas modificações. A massa fresca (MF) da parte aérea foi pesada e, em seguida, o material foi imerso em água destilada na temperatura ambiente por 24 horas. Após esse período, o material foi seco com papel toalha e pesado para obter a massa túrgida (MT). Posteriormente, o material foi seco colocado em estufa para determinar a massa seca (MS). O CRA foi calculado usando-se a fórmula: $CRA = 100 \times (MF - MS) / (MT - MS)$.

Análise nutricional

As análises químicas para a determinação do teor de macronutrientes e micronutrientes foram realizadas seguindo-se o método descrito por Malavolta et al. (1997), utilizando-se aproximadamente 1 g da folha D das mesmas plantas que foram utilizadas para as análises bioquímicas.

Fluorescência da clorofila

A eficiência fotoquímica do Fotossistema II (PSII), expressa como a relação F_v/F_m , foi determinada utilizando-se o fluorômetro de pulso modulado portátil OS5p (Opti-Sciences, Hudson, EUA). As folhas analisadas foram submetidas a 30 minutos de escuridão, através de clip foliar e, em seguida, a relação F_v/F_m foi mensurada (Campostrini, 2001).

Conteúdo de pigmentos fotossintetizantes

Para a análise dos pigmentos fotossintetizantes foram utilizados 0,2 g de folhas frescas, que foram trituradas em nitrogênio líquido e, em seguida, adicionados 2 mL de álcool 96%. As amostras foram agitadas por 15 minutos em uma mesa agitadora e depois centrifugadas a 11.000 RPM por 10 minutos. O sobrenadante foi analisado em um espectrofotômetro nas faixas de comprimento de onda de 750 nm, 665 nm, 649 nm e 470 nm. Os cálculos de concentração (μg de pigmento por mL de extrato) foram feitos usando-se as equações propostas por Lichtenthaler e Wellburn (1983) e os resultados foram expressos em miligramas por grama de massa seca (mg.g.MS^{-1}).

Análise de peroxidação lipídica

Para avaliar os níveis de peroxidação lipídica, o conteúdo de hidroperóxido dieno-conjugados (HPCD), produto inicial da peroxidação lipídica, foi medido seguindo-se o método proposto por Pignata et al. (1999). Para esta análise foram utilizados 0,2 g de folhas frescas. As folhas foram trituradas em nitrogênio líquido e, em seguida, adicionados 2 mL de álcool 96% gelado às amostras. As amostras foram mantidas em gelo, agitadas por 15 minutos em uma mesa agitadora e, em seguida, centrifugadas a 11.000 RPM por 10 minutos a 4 °C. O sobrenadante foi analisado em um espectrofotômetro a um comprimento de onda de 234 nm. O conteúdo de HPCD foi calculado com base no coeficiente de extinção de $2,65 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$. Os resultados foram expressos em micromol por grama de massa seca ($\mu\text{mol.g MS}^{-1}$).

Atividade de enzimas antioxidantes

Para a análise das atividades das enzimas antioxidantes, as amostras foram homogeneizadas em uma solução de extração contendo solução tampão de fosfato de potássio 1M (pH 7,5), 1 mM de EDTA, 50 mM de NaCl e 1 mM de ácido ascórbico para todas as enzimas, na proporção de 0,25 g de massa por 2 mL de solução (Souza et al., 2013). As amostras foram centrifugadas a 11.000 g a 4 °C por 15 minutos, e o sobrenadante foi utilizado para as análises bioquímicas.

A atividade da enzima Superóxido Dismutase (SOD, EC 1.15.1.1) foi determinada seguindo-se o método descrito por Beauchamp e Fridovich (1971), modificado por Balen et al. (2009), utilizando-se uma mistura de reação contendo tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,8), 4 μM de riboflavina, 10 mM de metionina, 56 μM de NBT e 0,1 mM de EDTA- Na_2 na proporção de 20 μL de extrato de enzima para 1 mL da mistura de reação. A mistura foi incubada em uma caixa de luz por 5 minutos, e a água destilada foi utilizada como branco no lugar do extrato. A atividade da SOD foi expressa em $\text{U mg.proteína}^{-1}$, sendo uma unidade de atividade de SOD definida como a quantidade de extrato de enzima bruto necessária para causar 50% de inibição da taxa de redução do NBT a 560 nm.

A atividade da enzima Glutathione Redutase (GR, EC 1.6.4.2) foi determinada medindo-se a diminuição da absorbância a 340 nm por 2 minutos devido à oxidação de NADPH. Uma mistura de reação contendo tampão Tris-HCl 50 mM (pH 7,5), 0,15 mM de NADPH, 0,5 mM de glutathione oxidada e 3 mM de MgCl_2 foi utilizada na proporção de 100 μL de extrato de enzima para 1 mL da mistura de reação, conforme descrito por Schaedle e Bassahm (1977). A atividade da GR foi expressa em $\mu\text{mol NADPH.min}^{-1} .\text{mg proteína}^{-1}$.

A atividade da enzima Catalase (CAT, EC 1.11.1.6) foi medida monitorando-se o consumo de H_2O_2 a 240 nm por 2 minutos, utilizando-se uma mistura de reação contendo

tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,5) e 10 mM de H₂O₂ na proporção de 40 µL de extrato de enzima para 1 mL da mistura de reação (Luck, 1965). A atividade da CAT foi expressa em µmol H₂O₂.min⁻¹.mg proteína⁻¹.

A atividade da enzima Ascorbato Peroxidase (APx, EC 1.11.1.11) foi avaliada medindo-se a diminuição da absorbância a 290 nm por 2 minutos devido à oxidação do ácido ascórbico. Uma mistura de reação contendo tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,0), 0,1 mM de EDTA-Na₂, 0,5 mM de ácido ascórbico e 0,2 mM de H₂O₂ foi utilizada na proporção de 20 µL de extrato de enzima para 1 mL da mistura de reação (Nakano e Asada, 1981, adaptado por Weng et al., 2007). A atividade da APx foi expressa em µmol asc.min⁻¹.mg proteína⁻¹.

As atividades das enzimas foram normalizadas com base na concentração total de proteínas das amostras, que foi determinada, usando-se o método do BCA (ácido bicinconínico) (He, 2011) com o Kit QuantiPro BCA da Sigma, e albumina de soro bovino como padrão. As leituras espectrofotométricas foram realizadas a $\lambda=560$ nm.

Análise estatística

A análise estatística dos dados obtidos foi realizada utilizando-se o software "GraphPad Prism" 5. A normalidade e homogeneidade dos dados foram avaliadas utilizando os testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene, respectivamente.

As comparações entre grupos com diferentes tratamentos, bem como as comparações entre diferentes regiões foliares, foram realizadas utilizando ANOVA de dois fatores com o teste Tukey *a posteriori*. As diferenças entre as médias foram consideradas significativas quando $p<0,05$. Os resultados foram apresentados como média $\pm$ SEM (Standard Error of the Mean).

RESULTADOS

Os valores referentes ao conteúdo hídrico do substrato (CHS) não foram diferentes daqueles encontrados no início do experimento e após 42 dias (figura 1A), indicando que ao longo do experimento, as plantas não foram submetidas a condição de seca devido à manutenção da irrigação, feita a cada sete dias. Além disso, os valores de conteúdo relativo de água (CRA) (figura 1B) não apresentaram alterações ao longo do experimento, tanto nas regiões do ápice quanto na base.

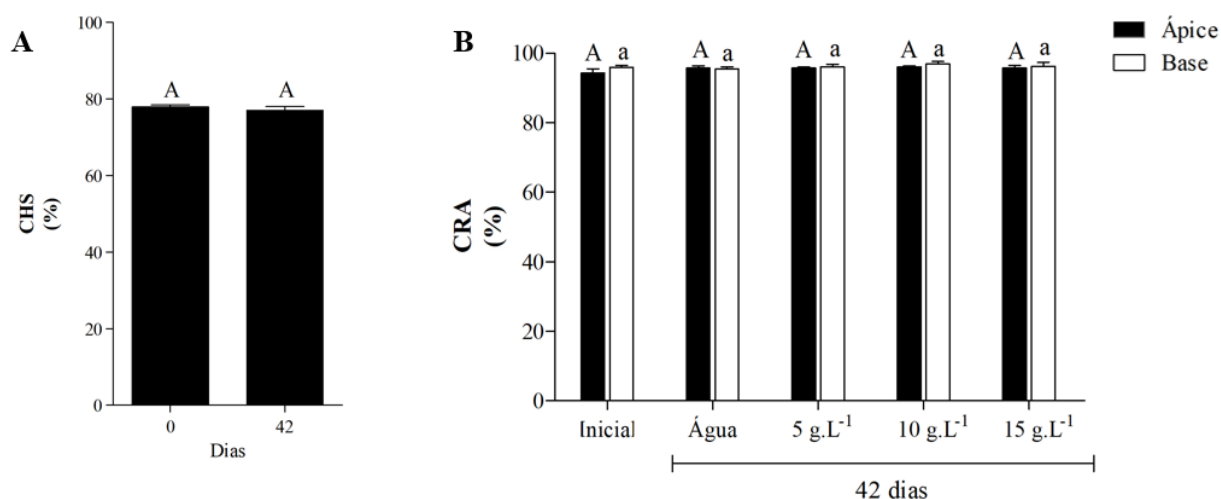


Figura 2: Conteúdo hídrico do substrato (CHS) (A) no início do experimento e após 42 dias e conteúdo relativo de água (CRA) (B) em *Aechmea blanchetiana* após 42 dias de aplicação de SAP/PAN no tanque. O substrato foi irrigado a cada sete dias. As barras representam média $\pm$ SEM. Letras maiúsculas acima das barras comparam a região do ápice entre os diferentes tratamentos (barras pretas), enquanto letras minúsculas comparam a região da base entre os diferentes tratamentos (barras brancas) a $p < 0,05$.

Todas as plantas de *Aechmea blanchetiana* sobreviveram ao experimento e não houve alteração em nenhum dos parâmetros biométricos analisados (Tabela 1), indicando que a presença de SAP/PAN no tanque não foi prejudicial às plantas.

Tabela 2: Variáveis biométricas de *Aechmea blanchetiana* no início do experimento e após 42 dias de aplicação de SAP/PAN no tanque. Valores expressos como média $\pm$ SEM. As letras na horizontal comparam os diferentes tratamentos a $p < 0,05$.

	Inicial	42 dias			
		Água	5 g.L ⁻¹	10 g.L ⁻¹	15 g.L ⁻¹
<i>Sobrevivência (%)</i>		100	100	100	100
<i>Número de folhas</i>	18,4 ($\pm 1,3$) a	16,8 ($\pm 0,9$) a	19,2 ($\pm 1,4$) a	19,0 ($\pm 1,2$) a	17,0 ($\pm 1,0$) a
<i>Folhas mortas</i>	0,2 ($\pm 0,2$) a	0,4 ($\pm 0,2$) a	0,2 ($\pm 0,2$) a	0,6 ($\pm 0,4$) a	0,8 ($\pm 0,4$) a
<i>Comprimento da folha D (cm)</i>	43,85 ($\pm 1,03$) a	44,39 ($\pm 0,72$) a	45,89 ($\pm 0,55$) a	45,73 ($\pm 0,91$) a	44,48 ($\pm 0,91$) a
<i>Largura da folha D (cm)</i>	5,93 ($\pm 0,37$) a	6,27 ($\pm 0,45$) a	6,50 ($\pm 0,26$) a	6,28 ($\pm 0,47$) a	6,34 ($\pm 0,35$) a
<i>Área da folha D (cm²)</i>	7,07 ($\pm 0,15$) a	6,73 ($\pm 0,29$) a	6,99 ($\pm 0,21$) a	7,11 ($\pm 0,18$) a	7,04 ($\pm 0,27$) a
<i>Massa fresca / Massa seca</i>	0,95 ($\pm 0,01$) a	0,96 ($\pm 0,01$) a	0,93 ($\pm 0,01$) a	0,94 ($\pm 0,01$) a	0,94 ($\pm 0,02$) a

Estado nutricional

Em relação aos teores dos macronutrientes primários nitrogênio (Figura 3A) e potássio (Figura 3C), bem como os macronutrientes secundários enxofre (Figura 3D), magnésio (Figura 3E) e cálcio (Figura 3F), constatou-se que os valores foram mais elevados na região apical da folha D e se mantiveram constantes, mesmo após 42 dias da aplicação do polímero e da influência das diferentes concentrações de SAP/SPAN. Contudo, o teor de nitrogênio na região basal, mostrou um aumento no teor desse nutriente, apenas nas plantas mantidas com SAP/PAN nas concentrações 5, 10 e 15 g.L⁻¹. Dos macronutrientes somente o fósforo comportou-se diferentemente dos demais macronutrientes, não mostrando diferença estatisticamente significativa entre as regiões apical e basal, mantendo os mesmos teores de fósforo na folha D.

Quanto ao macronutriente primário fósforo (Figura 3B), absorvida na forma de fosfato. As médias dos teores desse elemento na folha D não mostraram diferenças significativas, quando comparadas com as regiões apical e basal, sendo que também não mostraram diferenças significativas nos teores de fósforo quando comparados com os tratamentos tempo “inicial” e os demais tratamentos após 42 dias de cultivo, tanto na região apical e como na região basal.

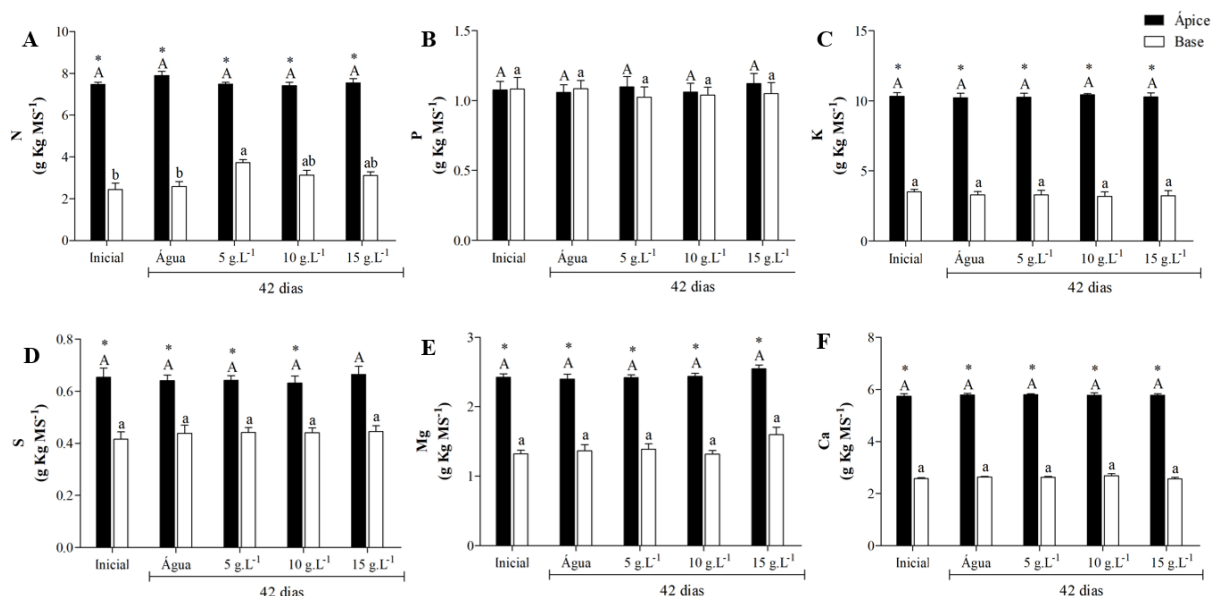


Figura 3: Teor de macronutrientes Nitrogênio (A), Fósforo (B), Potássio (C), Enxofre (D), Magnésio (E) e Cálcio (F) em *Aechmea blanchetiana* após 42 dias da aplicação de SAP/PAN no tanque. As barras representam média $\pm$ SEM. Letras maiúsculas acima das barras comparam a região do ápice entre os diferentes tratamentos (barras pretas), enquanto letras minúsculas comparam a região da base entre os diferentes tratamentos (barras brancas) a $p < 0,05$. Asterisco acima das barras representam diferença significativa entre a região do ápice e da base a $p < 0,05$.

Os teores de micronutrientes (Figura 4) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos inicial e com polímero em diferentes concentrações, após 42 dias de cultivo nas variáveis boro, cobre, zinco e manganês. Os resultados mostraram que, para os elementos citados, os teores contidos na região apical da folha D foram maiores do que aqueles tratamentos

da região basal nessas variáveis consideradas. No entanto, na variável zinco (Figura 4C), as médias dos teores desse micronutriente não mostraram diferenças estatisticamente significativas entre as duas regiões foliares analisadas. Além disso, diferentemente dos micronutrientes acima citados, o ferro (Figura 4E) apresentou teores maiores na região basal do que na porção apical. Os teores de ferro não mostraram diferenças estatisticamente significativas ao longo do tempo, tanto na região apical, como, também, na região basal.

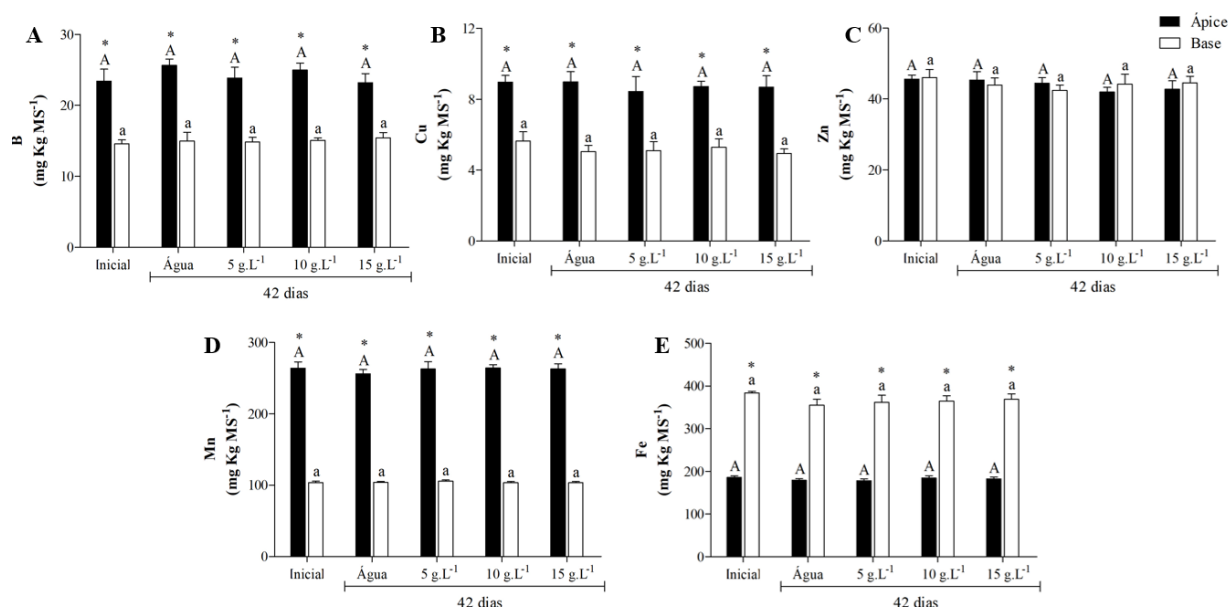


Figura 4: Teor de micronutrientes Boro (A), Cobre (B), Zinco (C), Manganês (D) e Ferro (E) em *Aechmea blanchetiana* após 42 dias da aplicação de SAP/PAN no tanque. As barras representam média $\pm$ SEM. Letras maiúsculas acima das barras comparam a região do ápice entre os diferentes tratamentos (barras pretas), enquanto letras minúsculas comparam a região da base entre os diferentes tratamentos (barras brancas) a $p < 0,05$. Asterisco acima das barras representam diferença significativa entre a região do ápice e da base a $p < 0,05$.

Conteúdo de pigmentos fotossintetizantes

O conteúdo de pigmentos fotossintéticos (Figura 5) não mostrou diferenças significativas nas plantas submetidas ao experimento em nenhum dos tratamentos e em nenhuma região foliar. Além disso, o conteúdo de todos os pigmentos foi menor na base da folha quando comparado ao ápice.

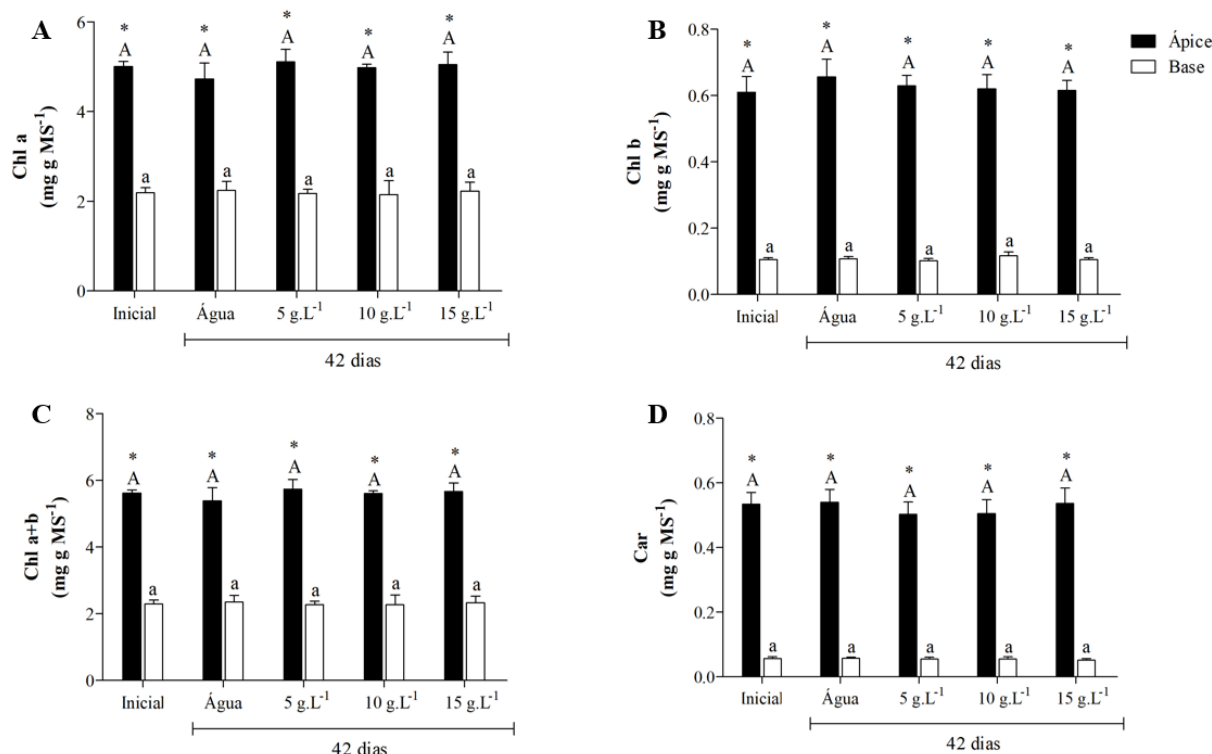


Figura 5: Conteúdo de pigmentos fotossintetizantes clorofila a (A), clorofila b (B), clorofila a+b (C) e carotenoides (D) em *Aechmea blanchetiana* após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque. As barras representam média $\pm$ SEM. Letras maiúsculas acima das barras comparam a região do ápice entre os diferentes tratamentos (barras pretas), enquanto letras minúsculas comparam a região da base entre os diferentes tratamentos (barras brancas) a $p < 0,05$. Asterisco acima das barras representam diferença significativa entre a região do ápice e da base a $p < 0,05$.

Fluorescência da clorofila

Os marcadores de eficiência fotoquímica do Fotossistema II (PSII) (Figura 6) não apresentaram alterações ao longo do experimento, indicando que o SAP/PAN, em todas as concentrações estudadas, não alterou a capacidade fotossintética das plantas ao longo de 42 dias de aplicação, tanto no ápice como na base da folha. Entretanto, os valores relacionados à eficiência do PSII foram menores na base da folha quando comparados ao ápice.

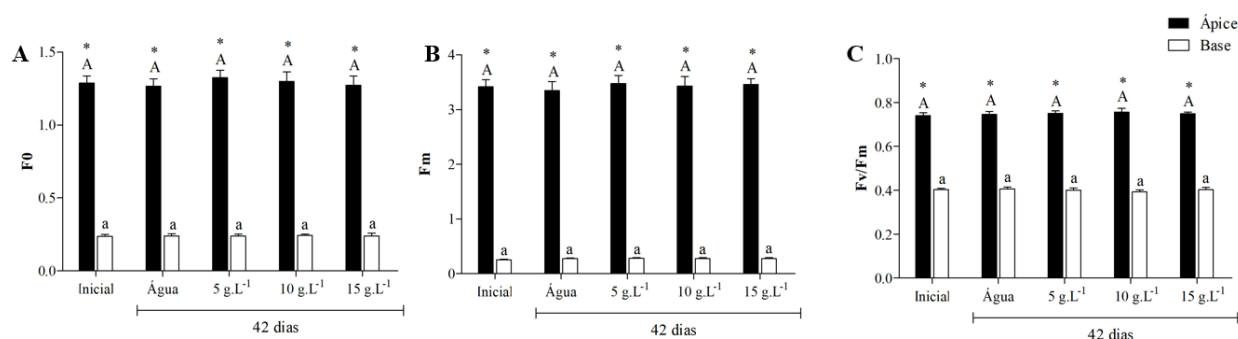


Figura 6: Marcadores de eficiência fotoquímica do Fotossistema II F0 (A), Fm (B) e Fv/Fm (C) em *Aechmea blanchetiana* após 42 dias de aplicação de SAP/PAN no tanque. As barras representam média $\pm$ SEM. Letras maiúsculas acima das barras comparam a região do ápice entre os diferentes tratamentos (barras pretas), enquanto letras minúsculas comparam a região da base entre os diferentes tratamentos (barras brancas) a $p < 0,05$. Asterisco acima das barras representam diferença significativa entre a região do ápice e da base a $p < 0,05$.

Marcador de peroxidação lipídica

O conteúdo de hidroperóxido dieno-conjugado (HPCD) (Figura 7), utilizado como marcador de dano oxidativo a lipídios, uma vez que é um subproduto gerado durante a peroxidação lipídica, apresentou uma redução tanto no ápice quanto na base das plantas mantidas com SAP/PAN no tanque na concentração de 5 g.L⁻¹ em comparação ao tempo inicial, enquanto todos os outros tratamentos não apresentaram alterações. Todos os tratamentos mostraram valores menores de HPCD na região da base.

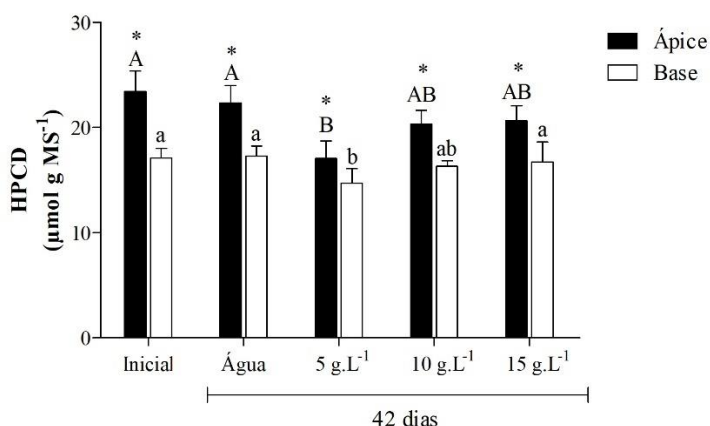


Figura 7: Conteúdo de hidroperóxido dieno-conjugado (HPCD) em *Aechmea blanchetiana* após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque. As barras representam média $\pm$ SEM. Letras maiúsculas acima das barras comparam a região do ápice entre os diferentes tratamentos (barras pretas), enquanto letras minúsculas comparam a região da base entre os diferentes tratamentos (barras brancas) a $p < 0,05$. Asterisco acima das barras representam diferença significativa entre a região do ápice e da base a $p < 0,05$.

Atividade das enzimas antioxidantes

A atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) apresentou uma redução após 42 dias na região apical das plantas mantidas com SAP/PAN na concentração de 5 g.L⁻¹, o que não foi observado em nenhum dos outros tratamentos (figura 8A). A enzima glutathione redutase (GR) apresentou resultado semelhante, com sua atividade reduzida após 42 dias na região do ápice das plantas mantidas com SAP/PAN a 5 g.L⁻¹ no tanque, enquanto as plantas mantidas sem SAP/PAN ou nas concentrações de 10 g.L⁻¹ e 5 g.L⁻¹ não apresentaram alterações (figura 8B). As enzimas catalase (CAT) (figura 8C) e ascorbato peroxidase (APx) (figura 8D) não apresentaram mudanças em nenhum dos tratamentos.

Para todas as enzimas, a região da base não apresentou alterações na atividade, enquanto a atividade de todas as enzimas foi menor na região da base em comparação com a região do ápice em todas as condições de tratamento.

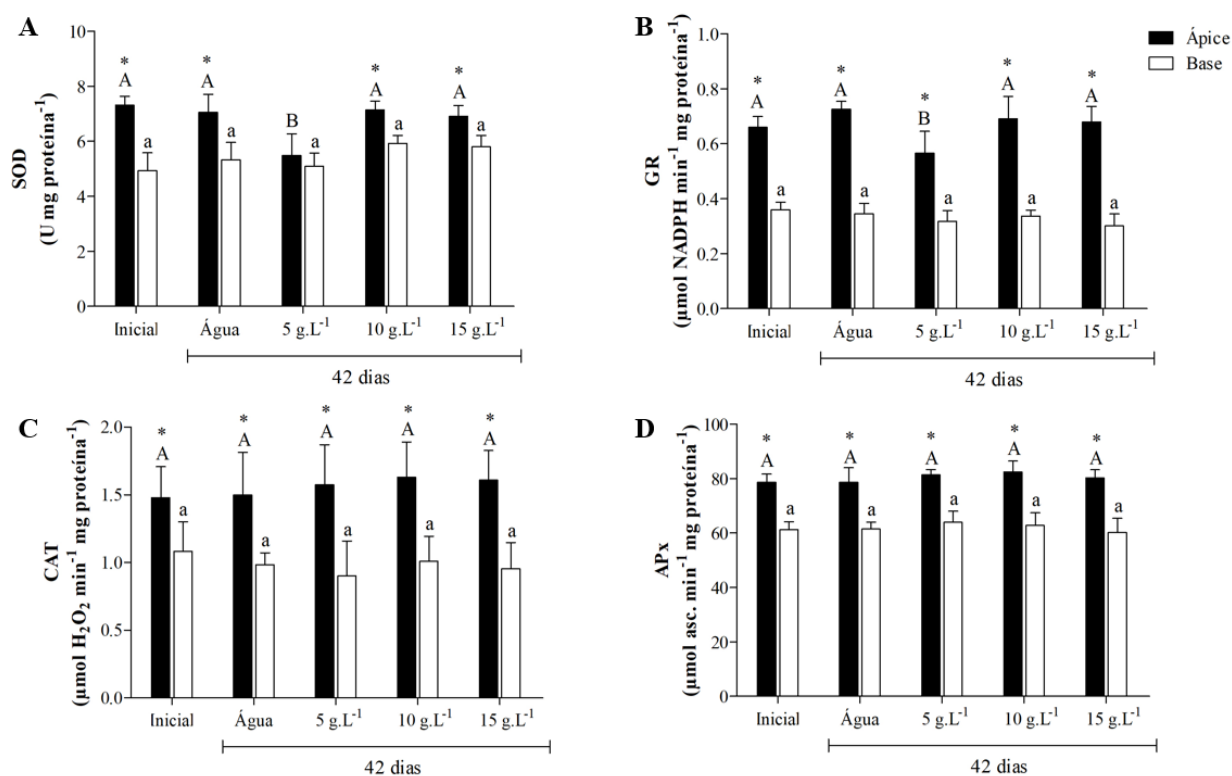


Figure 8: Atividade de enzimas antioxidantes SOD (A), GR (B), CAT (C) e APx (D) de *Aechmea blanchetiana* após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque. As barras representam média $\pm$ SEM. Letras maiúsculas acima das barras comparam a região do ápice entre os diferentes tratamentos (barras pretas), enquanto letras minúsculas comparam a região da base entre os diferentes tratamentos (barras brancas) a $p < 0,05$. Asterisco acima das barras representam diferença significativa entre a região do ápice e da base a $p < 0,05$.

DISCUSSÃO

A aplicação do polímero superabsorvente de poliacrilonitrila (SAP/PAN) no fitotelma na espécie de *Aechmea blanchetiana* utilizados neste estudo não apresentou efeitos nocivos à sobrevivência das plantas. É importante ressaltar que, como o substrato foi irrigado, mas não adubado, os resultados positivos obtidos estão relacionados exclusivamente aos efeitos do SAP/PAN no fitotelma e não devido ao uso de nutrientes. Efeitos positivos do SAP foram observados por Nnadi e Brave (2011), que verificaram que o uso de 3 g/L de um polímero superabsorvente aplicado no solo, próximo da raiz, causou aumento no crescimento de mudas de batata após 45 dias sem rega, quando comparadas às plantas mantidas em solo sem SAP, resultado atribuído ao fato de que a presença do SAP no solo disponibilizou água por mais tempo para as plantas daquele estudo. O presente trabalho demonstrou que a aplicação direta em folhas apresentou efeito semelhante, descartando a hipótese de que o SAP afetaria a disponibilidade de água acumulada no tanque de *A. blanchetiana*. De fato, os valores de conteúdo relativo de água (CRA) dos tecidos das plantas com SAP não foram alterados ao longo do período observado, possivelmente devido ao potencial osmótico que o hidrogel apresenta quando hidratado. O SAP/PAN apresenta potencial osmótico de -0,2 MPa para a concentração de 15 g.L⁻¹, -0,02 MPa para a concentração de 10 g.L⁻¹ e valores próximos de 0 MPa para a concentração de 5 g.L⁻¹. Esses valores não foram capazes de causar efeito de restrição hídrica no tanque das plantas deste estudo. Contudo, os demais resultados deste estudo serão relevantes para avaliar respostas bioquímicas e fisiológicas de *A. blanchetiana* após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque.

Os dados obtidos neste trabalho mostraram que não houve interferência do SAP/PAN no conteúdo de nutrientes endógenos de *A. blanchetiana*. Takahashi et al. (2022) citam diversos estudos que mostraram que a escassez de água no tanque pode levar a problemas na absorção de nutrientes, além de que (Leroy et al., 2019) observaram que bromélias mantidas sem irrigação no tanque por 60 dias apresentaram redução no conteúdo de nitrogênio e potássio, indicando a importância do tanque na absorção de nutrientes por bromélias. Contudo as raízes também exercem papel fundamental, sobretudo na absorção de nitrogênio inorgânico, conforme observado por Gomes et al. (2021) ao comparar plantas da bromélia *Aechmea fasciata* com fontes de nitrogênio no tanque, raízes ou ambos, indicando que, no presente estudo, a irrigação na raiz pode ter sido um fator determinante para a manutenção do turgor necessário à translocação e absorção de nutrientes.

A aplicação do SAP não afetou o conteúdo de nutrientes das folhas de *A. blanchetiana*. É possível supor que o SAP/PAN tenha retido nutrientes que se depositaram no tanque, visto

que bromélias são capazes de liberar nutrientes para o meio através de trocas iônicas, conforme já observado por Inselsbacher et al. (2007) em estudo com a bromélia *Vriesea gigantea* Gaudich. O efeito retentor de um hidrogel de polissacarídeo usado como condicionador de solo foi relatado por Bley et al. (2017) que verificaram que essa substância poderia reter efetivamente a maioria dos nutrientes de fertilizantes dissolvidos na água em que foi hidratado. Visto que as plantas que receberam SAP/PAN se mantiveram sem injúrias, de acordo com os parâmetros aqui analisados, a hipótese de que a presença de um hidrogel poderia obstruir a absorção de água e nutrientes pelos tricomas absorventes, geralmente mais abundantes na base foliar (Kleingesinds et al., 2018), pode ser descartada.

Neste trabalho, foram observadas diferenças de conteúdo de nutrientes entre ápice e base das folhas de *A. blanchetiana*, que é característico de espécies de bromélias, conforme demonstrado por Mercier et al. (2019). As principais diferenças serão discutidas aqui visando mostrar que a aplicação do SAP na região do tanque não alterou significativamente as funções comumente reportadas para a região basal e apical das folhas de bromélias.

De modo interessante, os valores de nitrogênio foram maiores nos tratamentos com o polímero na menor concentração de SAP (5 g.L⁻¹). Os nutrientes são melhor absorvidos quando diluídos em potenciais hídricos mais próximos aos da água pura, como é o caso desse tratamento e a falta de água no tanque pode levar a uma restrição de nutrientes (Leroy et al., 2019). Nessa concentração, o SAP/PAN possuía maior quantidade de água, além de impedir a evaporação por conta da propriedade superabsorvente. Entretanto, o ápice ainda mostrou mais N que a base de *A. blanchetiana*. Mercier et al. (2019) constataram que os nutrientes absorvidos pela base foliar são translocados para o ápice, onde ocorre a maior parte das funções metabólicas. A região apical da folha, identificada como o locus primário para atividades fotossintéticas, conforme Takahashi e Mercier (2011), pode manifestar uma demanda nitrogenada mais pronunciada. Essa exigência acentuada pode ser atribuída à necessidade de sustentar a síntese de clorofila e outras moléculas essenciais para os processos fotossintéticos. Importante observar que, embora a absorção inicial de nitrogênio ocorra predominantemente na porção basal da folha, onde ocorre o processo de nutrição mineral em bromeliáceas, conforme Takahashi e Mercier (2011), a alta mobilidade do nitrogênio, como destacado por Marschner (2002), possibilita sua rápida translocação para regiões de maior demanda, como a porção apical, reforçando a alocação dinâmica desse nutriente ao longo da estrutura foliar. De modo interessante, a manutenção de nitrogênio em todos os tratamentos com SAP poderia ser devido à relação simbiótica de insetos com bromélias relatada como uma importante fonte de nitrogênio para espécies epífitas em ambiente natural (Romero et al., 2006; Inselsbacher et al., 2007; Leroy et al., 2009). Brito-Arduino et al. (2023) observaram que o SAP/PAN hidratado é

capaz de atrair insetos que depositaram seus ovos no hidrogel formado, portanto, a presença do SAP/PAN pode ter colaborado no fornecimento de nitrogênio para essas plantas. Ou seja, além de não afetar negativamente o crescimento dessas plantas, o SAP poderia atrair insetos que, quando decompostos poderiam ser reaproveitados pela planta. Contudo, estudos devem ser realizados para comprovação dessa hipótese.

A clorofila pode ser um indicador do conteúdo de nitrogênio (Wiedenfeld et al., 2009) e não houve diferença no conteúdo de clorofila entre os tratamentos deste estudo, reforçando o papel positivo do SAP. Além disso, o conteúdo de todos os pigmentos foi menor na base da folha quando comparado ao ápice, o que fortalece a explicação de que o ápice seja responsável pelas funções fotossintéticas, conforme descrito por Mercier et al. (2019) para a bromélia epífita *Guzmania monostachia*. Não foram observadas diferenças também em relação aos outros pigmentos, o que é bastante positivo considerando-se que o potencial ornamental de *Aechmea blanchetiana* está associada à sua coloração (Kanashiro et al., 2007), que é diretamente influenciada pelo conteúdo de pigmentos fotossintéticos. É comum que as bromélias mostrem modulações, positivas ou negativas, no conteúdo de pigmentos fotossintéticos quando submetidas a diversos tipos de estresse abiótico (Carvalho et al., 2019; Duarte et al., 2019; Giampaoli et al., 2021).

Os valores de potássio no ápice de *A. blanchetiana* avaliada no nosso estudo foram maiores quando comparados à base, fortalecendo a afirmação de que a base é responsável apenas pela absorção sendo o potássio realocado para o ápice, região responsável pela maior atividade metabólica.

Diferentemente dos demais nutrientes, o conteúdo de fósforo se mostrou igual no ápice e na base. Estudos indicam que o fósforo é um nutriente essencial na regulação do transporte de outras substâncias (Suriyagoda et al., 2014), entretanto em condições de 42 dias de seca, as bromélias *Aechmea aquilega* e *Lutheria splendens* não apresentaram variação no conteúdo desse elemento (Svensk et al., 2019), revelando que as plantas são capazes de manter o conteúdo mesmo sob estresse. A alta eficiência do tanque de bromélias epífitas na absorção de fósforo foi relatada por Winkler e Zott (2009). Os autores constataram que a bromélia epífita *Aechmea fasciata* absorve quase completamente todo o fósforo contido no tanque, sendo que o excesso é armazenado em reservas nos tecidos foliares próximos ao tanque. Tais resultados corroboram com os dados encontrados em nosso estudo, no qual foram encontradas altas concentrações de fósforo na base foliar das plantas de *Aechmea blanchetiana*. A absorção de fosfato pelas plantas é um processo de transporte ativo, demandando energia para conduzir íons fosfato contra um gradiente de concentração (Marschner, 2002). De acordo com Takahashi & Mercier (2011), as bromélias exibem funções nitidamente diferenciadas espacialmente nas folhas, envolvendo

atividades fotossintéticas e nutrição mineral. Portanto, é possível que o ATP (trifosfato de adenosina) seja utilizado como fonte de energia no transporte ativo na nutrição mineral na região basal da folha das bromélias epífitas. Da mesma forma, na fotossíntese há gasto de energia que na forma de ATP na região apical. Em relação aos macronutrientes cálcio, magnésio e enxofre foram observados os mesmos perfis de distribuição entre porção basal e apical das folhas de *A. blanchetiana*.

É interessante notar que enquanto boro, manganês e cobre apresentaram valores maiores no ápice do que na base das folhas de *A. blanchetiana*, o zinco apresentou valores iguais comparando ambas as regiões da folha. Além disso, diferente dos nutrientes citados, o ferro apresentou valores maiores na região da base, reforçando que essa região apresenta características similares a raízes (Takahashi et al., 2022). O valor mais elevado do ferro na região basal pode ser relacionado a sua associação com a zona de crescimento foliar nas monocotiledôneas, notadamente no ponto de inserção junto ao caule das bromélias denominada como colar da folha e é responsável pela rápida divisão celular e pelo crescimento inicial da folha (Taiz et al. 2017). Assim, a demanda por ferro nessa área para os processos como a síntese de DNA durante a replicação celular para o crescimento pode ser significativamente maior nessa área (Marschner, 2002).

Além do conteúdo de pigmentos, o SAP/PAN também não influenciou na capacidade fotossintética das plantas ao longo de 42 dias de aplicação em qualquer área da folha. Os níveis de F0, Fm e Fv/Fm, usados como marcadores de eficiência fotoquímica do Fotossistema II (PS II) na captura de luz, também não apresentaram flutuações, permanecendo estáveis durante todo o experimento. Svensk et al. (2020) observaram uma redução na capacidade fotossintética da bromélia epífita *Aechmea aquilega* quando submetida a 42 dias de seca, mesma duração do presente estudo, indicando que, neste estudo, o SAP/PAN não foi capaz de causar danos fotossintéticos a *A. blanchetiana*. Adicionalmente, os valores relacionados à eficiência do PSII foram menores na base da folha quando comparados ao ápice, indicando a função do ápice na fotossíntese. A base possui caráter regulatório e apresenta pouca atividade fotossintetizante (Mercier et al., 2019).

A ausência de efeitos deletérios com o uso do SAP/PAN foi indicada pelos menores valores do marcador de dano oxidativo a lipídios (HPCD). Na verdade, na presença do polímero na menor concentração, houve uma redução tanto no ápice quanto na base das plantas quando comparado ao ponto de tempo inicial. Os níveis quantitativos de hidroperóxido dieno-conjugado, utilizado como marcador de lesão oxidativa em lipídios, pois é um subproduto da peroxidação lipídica, apresentaram valores próximos aos já encontrados na literatura para bromélias epífitas saudáveis (Carvalho et al., 2021). As plantas mantidas por 42 dias com

SAP/PAN a 5 g.L^{-1} no tanque apresentaram diminuição nos níveis de HPCD, indicando que essa concentração pode ter sido favorável para a manutenção da homeostase celular. Comparando esse resultado com a atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) e glutathione redutase (GR), também foram menores. Vale acrescentar que na menor concentração de SAP foram obtidos os menores valores de atividade dessas enzimas. Em relação à catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APx), não houve diferença entre os tratamentos, o que pode indicar que não houve efeitos nocivos em relação à aplicação do SAP/PAN no fitotelma, uma vez que plantas submetidas ao estresse tendem a aumentar a atividade dessas enzimas (Menezes et al., 2020).

De acordo Mittler (2017), a diminuição na atividade de enzimas do sistema antioxidante, somadas a valores normais de peroxidação lipídica, podem indicar que as plantas estão sujeitas a situação favorável, uma vez que o acúmulo de ROS pode ser considerada uma resposta rápida de plantas ao estresse, também comentada por Nievola et al. (2017). Neste trabalho, o uso do SAP indicou, provavelmente, a diminuição na geração de ROS, redução dos níveis de HPCD e, conseqüentemente, a menor atividade antioxidante.

A diferença entre base e ápice também foi observada para as enzimas do sistema antioxidante pois a atividade de todas as enzimas analisadas foi maior na região do ápice da folha em relação à base. Esse resultado pode estar associado à intensidade com que o ápice responde no controle de funções fisiológicas, conforme observado por Abreu et al. (2018) para a bromélia *Guzmania monostachia* a qual apresentou uma resposta mais intensa e maior atividade de enzimas antioxidantes, como CAT, APx e SOD, em comparação com a região da base quando houve variação da disponibilidade hídrica.

Trabalhos já citados aqui como o de Nnadi e Brave (2011) no qual foi observado que o uso de 3 g.L^{-1} de um SAP no solo, próximo da raiz, causou aumento no crescimento de mudas de batata após 45 dias, quando comparadas às plantas mantidas em solo sem SAP, mostram que a utilização desse composto na raiz de plantas é eficaz para o cultivo.

Os SAP já são utilizados na agricultura nas raízes de plantas como gel de plantio, inclusive o SAP/PAN utilizado neste estudo (IGTPAN, 2013) e aparentemente pode ser eficiente também se utilizado nas folhas. Com isso, a utilização do SAP/PAN no tanque de bromélias ornamentais mostra-se como uma possível ferramenta a ser utilizada para o controle de mosquitos vetores em bromélias de ambiente urbano, sem o prejuízo da planta e do meio ambiente, contribuindo com o aprimoramento de políticas públicas de controle entomológico, embora sejam necessários mais estudos para a avaliação do custo-benefício e impacto na população de vetores.

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo indicam que o SAP/PAN, associado a irrigação periódica, não induziu respostas desfavoráveis à manutenção das funções nutricionais e hídricas quando aplicado no tanque de plantas irrigadas da bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana*, preservando sua completa integridade, inclusive no seu valor ornamental. A atividade das enzimas do sistema antioxidante não indicou danos oxidativos durante a realização do estudo. Os resultados mostram que o uso desse polímero no tanque de bromélias pode ser explorado como uma alternativa para evitar a proliferação de mosquitos vetores em ambiente urbano, sendo necessários mais estudos sobre a utilização e manejo desse polímero para outras espécies de bromélias ornamentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, M.E., Carvalho, V. & Mercier, H.** 2018. Antioxidant capacity along the leaf blade of the C3-CAM facultative bromeliad *Guzmania monostachia* under water deficit conditions. *Functional Plant Biology* 45: 620–629. doi: 10.1071/FP17162.
- Balen, B., Tkalec, M., Pavoković, D., Pevalek-Kozlina, B. & Krsnik-Rasol, M.** 2009. Growth conditions in in vitro culture can induce oxidative stress in *mammillaria gracilis* tissues. *J. Plant Growth Regul.* 28: 36-45. doi: 10.1007/s00344-008-9072-5.
- Beauchamp, C. & Fridovich, I.** 1971. Superoxide Dismutase: Improved Assays and an Assay Applicable to Acrylamide Gels¹ Charles. *Anal. Biochem.* 44: 276–287. doi: 10.1103/PhysRev.176.1709.
- Behera, S & Mahanwar, P.A.** 2019. Superabsorbent Polymers in Agriculture and Other Applications: A Review. *Polymer-Plastics Technology and Materials* 59(4): 1–16. doi: 10.1080/25740881.2019.1647239.
- Benzing, D.H.** 1990. Vascular epiphytes: General biology and related biota. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN: 978-0-521-26630-7.
- Bley, H., Gianello, C., Santos, L.S., & Selau, L.P.R.** 2017. Nutrient Release, Plant Nutrition, and Potassium Leaching from Polymer-Coated Fertilizer. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo* 41(0). doi: 10.1590/18069657rbcs20160142.
- Brito-Arduino, M.** 2014. Assessment of *Aedes aegypti* Pupal Productivity during the Dengue Vector Control Program in a Costal Urban Centre of São Paulo State, Brazil. *Journal of insects* 2014: 301083 <https://doi.org/10.1155/2014/301083>
- Brito-Arduino, M., Serpa, L.L.N., Rangel, O., & Santos, G.V.** 2023. Evaluation of Superabsorbent Polymer (SAP) in Oviposition Traps Used in the Integrated Control of *Aedes Aegypti* (Linnaeus, 1762) and *Aedes Albopictus* (Skuse, 1894) (Diptera: Culicidae). *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 56: (e0337-2022). doi: 10.1590/0037-8682-0337-2022.
- Buchholz, F.L., & Graham, A.T.** 1998. Modern Superabsorbent Polymer Technology. Wiley-VCH. ISBN: 978-0-471-19411-8.
- Campostrini, E.** 2001. Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas. UFNF, Rio de Janeiro.

- Carvalho, C.P., Cardoso-Gustavson, P., Rodrigues, E., Braga, M.R., Mercier, H. & Nievola, C.C.** 2019. Low temperature acclimation and de-acclimation of the subtropical bromeliad *Nidularium minutum*: Implications of changes in the NO, sugar content and NR activity. *Environmental and Experimental Botany* 159: 34-43. doi: 10.1016/j.envexpbot.2018.12.004.
- Carvalho, V., Gaspar, M. & Nievola, C.C.** 2021. Short-Term Drought Triggers Defence Mechanisms Faster than ABA Accumulation in the Epiphytic Bromeliad *Acanthostachys strobilacea*. *Plant Physiology and Biochemistry* 160(2021): 62–72. doi: 10.1016/j.plaphy.2020.12.030.
- Docile, T.N., Figueiró, R., Honório, N.A., Baptista, D.F., Pereira, G., Santos, J.A.A. & Codeço, C.T.** 2017. Frequency of *Aedes* sp. Linnaeus (Diptera: Culicidae) and Associated Entomofauna in Bromeliads from a Forest Patch within a Densely Urbanized Area. *Neotropical Entomology* 46(6): 613–621. doi: 10.1007/s13744-017-0498-y.
- Duarte, A.A., Silva, C.J., Marques, A.R., Modolo, L.V. & Lemos, J.P.** 2019. Does oxidative stress determine the thermal limits of the regeneration niche of *Vriesea friburgensis* and *Alcantarea imperialis* (Bromeliaceae) seedlings? *Journal of Thermal Biology* 80: 150-157. doi: 10.1016/j.jtherbio.2019.02.003.
- Fleta-Soriano, E., Pintó-Marijuan, M. & Munné-Bosch, S.** 2015. Evidence of drought stress memory in the facultative CAM, *Aptenia cordifolia*: Possible role of phytohormones. *PLoS ONE* 10: 1–12. doi: 10.1371/journal.pone.0135391.
- Giampaoli, P., Tavares, A.R. & Domingos, M.** 2021. Physiological Responses of Two Different Epiphytic Bromeliads Exposed in a Polluted Subtropical Region in Southeast Brazil Characterized by Seasonal Climate. *Ecological Indicators* 120: 106945. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106945.
- Gomes, L.D.L., Ferreira, M.L., Kanashiro, S. & Tavares, A.R.** 2021. Nitrogen uptake by ornamental bromeliad: leaf and root efficiency. *Plant Soil* 466: 293–302. doi: 10.1007/s11104-021-05013-9.
- Greeney, H.F.** 2001. The Insects of Plant-Held Waters: A Review and Bibliography. *Journal of Tropical Ecology* 17(2): 241–60. doi: 10.1017/s026646740100116x.
- He, F.** 2011. BCA (Bicinchoninic Acid) Protein Assay. *Bio-protocol* 1(5): e44.

- IGTPAN.** 2013. Aplicações da poliacrilonitrila. Disponível em: <<https://www.igtpan.com/aplicacoes.asp>>
- Inselsbacher, E., Cambui, C.A., Richter, A., Stange, C.F., Mercier, H., & Wanek, W.** 2007. Microbial activities and foliar uptake of nitrogen in the epiphytic bromeliad *Vriesea gigantea*. *New Phytologist* 175(2): 311–320. doi: 10.1111/j.1469-8137.2007.02098.x.
- Jahan, M., & Mahallati, M.N.** 2020. Can Superabsorbent Polymers Improve Plants Production in Arid Regions? *Advances in Polymer Technology* 2020: 1–8. doi: 10.1155/2020/7124394
- Kanashiro, S., Ribeiro, R.C.S., Gonçalves, A.N., Dias, C.T.S. & Jocys, T.** 2007. Effects of nitrogen concentrations on the growth of *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Sm. cultured in vitro. *Hoehnea* 34(1). doi: 10.1590/S2236-89062007000100003
- Killick, S.A., Blanchon, D.J. & Large, M.F.** 2014. Algal Communities in Phytotelmata: A Comparison of Native Collosporum and Exotic Bromeliads (Monocotyledonae) in New Zealand. *Telopea* 17: 303–10. doi: 10.7751/telopea20147847.
- Kleingesinds, C.K., Gobara, B.N.K., Mancilha, D., Rodrigues, M.A., Demarco, D., & Mercier, H.** 2018. Impact of tank formation on distribution and cellular organization of trichomes within *Guzmania monostachia* rosette. *Flora* 243: 11–18. doi: 10.1016/j.flora.2018.03.013.
- Ladino, G., Ospina-Bautista, F., Varón, J.E., Jerabkova, L. & Kratina, P.** 2019. Ecosystem services provided by bromeliad plants: A Systematic Review. *Ecology and Evolution* 9(12): 7360–7372. doi: 10.1002/ece3.5296.
- Leroy, C., Gril, E., Ouali, L.S, Coste, S., Gérard, B, Maillard, P., Mercier, H. & Stahl, C.** 2019. Water and Nutrient Uptake Capacity of Leaf-Absorbing Trichomes vs. Roots in Epiphytic Tank Bromeliads. *Environmental and Experimental Botany* 163: 112–23. doi: 10.1016/j.envexpbot.2019.04.012.
- Lichtenthaler, H.K. & Wellburn, A.R.** 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.* 11: 591–592. doi: 10.1042/bst0110591.
- Luck, H.** 1965 Catalase. In: Bergmeyer, H.U., Ed., *Method of Enzymatic Analysis*, Academic Press, New York and London, 885-894. doi: 10.1016/B978-0-12-395630-9.50158-4.

- Malavolta, E., Vitti, G.C. & Oliveira, S. A.** 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2nd ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo. 319p.
- Marschner, H.** 2002. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Amsterdam: Academic Press. ISBN: 978-0-12-384905-2.
- Menezes, F.O., Carvalho, V., Moreira, V.A., Rigui, A.P., Gaspar, M & Nievola, C.C.** 2020. Juvenile plants of an epiphytic bromeliad exhibit rapid changes in carbohydrate content and antioxidant capacity to cope with water withholding. *Theor. Exp. Plant Physiol.* 32: 89–98. doi: 10.1007/s40626-020-00172-z.
- Mercier, H., Rodrigues, M.A., Andrade, S.C.S., Coutinho, L.L., Gobara, B.N.K., Matiz, A., Mito, P.T. & Gonçalves, A.Z.** 2019. Transcriptional Foliar Profile of the C3-CAM Bromeliad *Guzmania monostachia*. *PLOS ONE* 14(10): e0224429–29. doi: 10.1371/journal.pone.0224429.
- Mittler, R.** 2017. ROS Are Good. *Trends in Plant Science* 22(1): 11–19. doi: 10.1016/j.tplants.2016.08.002.
- Nakano, Y. & Asada, K.** 1981. Hydrogen Peroxide is Scavenged by Ascorbate-specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts. *Plant Cell Physiol.* 22: 867–880. doi: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232.
- Nievola, C.C., Carvalho, C.P., Carvalho, V. & Rodrigues, E.** 2017. Rapid Responses of Plants to Temperature Changes. *Temperature* 4(4): 371–405. doi: 10.1080/23328940.2017.1377812.
- Nnadi, F. & Brave, C.** 2011. Environmentally Friendly Superabsorbent Polymers for Water Conservation in Agricultural Lands. *Journal of Soil Science and Environmental Management* 2(7): 206–11. doi: 10.5897/JSSEM.9000040.
- Pignata, M.L., Gudio, G.L., Wannaz, E.D., Plá, R.R., González, C.M., Carreras, H.A. & Orellana, L.** 2002. Atmospheric quality and distribution of heavy metals in Argentina employing *Tillandsia capillaris* as a biomonitor. *Environ. Pollut.* 120: 59–68. doi: 10.1016/S0269-7491(02)00128-8.

- Romero, G.Q., Mazzafera, P., Vasconcellos-Neto, J., & Trivelin, P.C.O.** 2006. Bromeliad-living spiders improve host plant nutrition and growth. *Ecology* 87(4): 803–808. doi: 10.1890/0012-9658(2006)87[803:bsihpn]2.0.co;2.
- Santa-Rosa, S., Souza, F.V.D., Vidal, A.M., Ledo, C.A.S. & Santana, J.R.F.** 2013. Micropropagation of the Ornamental Vulnerable Bromeliads *Aechmea blanchetiana* and *Aechmea distichantha*. *Horticultura Brasileira* 31(1): 112–18. doi: 10.1590/s0102-05362013000100018.
- Santos, M.P., Maia, V.M., Oliveira, F.S., Pegoraro, R.F., Santos, S.R. & Aspiázú, I.** 2018. Estimation of Total Leaf Area and D-Leaf Area of Pineapple from Biometric Characteristics. *Revista Brasileira de Fruticultura* 40(6). doi: 10.1590/0100-29452018556.
- Schaedle, M. & Bassahm, J.** 1977. Chloroplast glutathione reductase. *Plant Physiol.* 59: 1011–1012. doi: 10.1104/pp.59.5.1011.
- Souza, S.R., Blande, J.D. & Holopainen, J.K.** 2013. Pre-exposure to nitric oxide modulates the effect of ozone on oxidative defenses and volatile emissions in lima bean. *Biotechnol. Anim. Husb.* 33: 111–125. doi: 10.1016/j.envpol.2013.03.065.
- Suriyagoda, L.D.B., Ryan, M.H., Renton, M., & Lambers, H.** 2014. Plant Responses to Limited Moisture and Phosphorus Availability. *Advances in Agronomy* 124: 143–200. doi: 10.1016/b978-0-12-800138-7.00004-8.
- Svensk, M., Coste, S., Gérard, B., Gril, E., Julien, F., Maillard, P., Stahl, C. & Leroy, C.** 2020. Drought effects on resource partition and conservation among leaf ontogenetic stages in epiphytic tank bromeliads. *Physiologia Plantarum* 170(4): 488–507. doi: 10.1111/ppl.13161.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M. & Murphy, A.** 2017. *Plant Physiology and Development*. 6th ed. Porto Alegre: Artmed. 858p.
- Takahashi, C.A., Coutinho Neto, A.A. & Mercier, H.** 2022. An Overview of Water and Nutrient Uptake by Epiphytic Bromeliads: New Insights into the Absorptive Capability of Leaf Trichomes and Roots. *In: Lüttge, U., Cánovas, F.M., Risueño, MC., Leuschner, C., Pretzsch, H. (eds) Progress in Botany* 83. Springer, Cham. doi: 10.1007/124_2022_62.
- Takahashi, C.A. & Mercier, H.** 2011. Nitrogen metabolism in leaves of a tank epiphytic bromeliad: Characterization of a spatial and functional division. *Journal of Plant Physiology* 168(11): 1208–16. doi: 10.1016/j.jplph.2011.01.008.

- Weng, X.Y., Zheng, C.J., Xu, H.X. & Sun, J.Y.** 2007. Characteristics of photosynthesis and functions of the water-water cycle in rice (*Oryza sativa*) leaves in response to potassium deficiency. *Physiol. Plant.* 131: 614–621. doi: 10.1111/j.1399-3054.2007.00978.x.
- Wiedenfeld, B., Wallace, B.W. & Hons, F.** 2009. Indicators of Cotton Nitrogen Status. *Journal of Plant Nutrition* 32(8): 1353–1370. doi: 10.1080/01904160903006044.
- Wilke, A.B.B., Chase, C., Vasquez, C., Carvajal, A., Medina, J., Petrie, W.D. & Beier, J.C.** 2019. Urbanization creates diverse aquatic habitats for immature mosquitoes in urban areas. *Scientific Report* 9: 15335. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51787-5>.
- Wilke, A.B.B., Vasquez, C., Mauriello, P.J. & Beier, J.C.** 2018. Ornamental bromeliads of Miami-Dade County, Florida are important breeding sites for *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Parasites & Vectors* 11:283. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-2866-9>.
- Winkler, U. & Zotz, G.** 2009. Highly efficient uptake of phosphorus in epiphytic bromeliads. *Annals of Botany* 103(3): 477–484. doi: 10.1093/aob/mcn231.
- Woodhouse, J. & Johnson, M.S.** 1991. Effect of Superabsorbent Polymers on Survival and Growth of Crop Seedlings. *Agricultural Water Management* 20(1): 63–70. doi: 10.1016/0378-3774(91)90035-h.
- Young, J.L.M., Kanashiro, S., Jocys, T. & Tavares, A.R.** 2018. Silver Vase Bromeliad: Plant Growth and Mineral Nutrition under Macronutrients Omission. *Scientia Horticulturae* 234: 318–322. doi: 10.1016/j.scienta.2018.02.002.

CAPÍTULO 2

Aplicação de polímero superabsorvente de poliacrilonitrila no tanque da bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Smith pode minimizar os efeitos da restrição hídrica

RESUMO

Bromélias são plantas amplamente utilizadas com finalidade ornamental e têm sido objeto de diversas pesquisas voltadas para otimização da sua produção. A principal característica anatômica é a disposição de suas folhas em rosetas, o que confere à bromélia o valor estético, formando uma estrutura de tanque capaz de acumular água. Além de sua importância ornamental, esses tanques desempenham um papel fisiológico crucial ao facilitar o acúmulo de água e nutrientes entre as folhas, que são absorvidos pelas plantas de *Aechmea blanchetiana*, uma bromélia epífita facultativa nativa do Brasil, que enfrenta desafios no cultivo em condições de céu aberto no paisagismo, devido à crescente escassez de água, intensificada pelas mudanças climáticas. Para abordar esse problema, polímeros superabsorventes (SAP), com propriedades de absorver e liberar água gradualmente para manter a umidade do solo, vêm se mostrando importante na produção agrícola. O SAP derivado de poliacrilonitrila (SAP/PAN) é um produto já utilizado na agricultura, não sendo prejudicial ao meio ambiente nem à fitossanidade, quando utilizado no substrato. Contudo, a aplicação desse composto no tanque de bromélias, ainda, não foi investigada, o que poderia ser uma solução para diminuir os efeitos de supressão hídrica, visando economia de água no cultivo, podendo ainda evitar sintomas de estresse hídrico em bromélias ornamentais. Enfatizando a necessidade de uma avaliação cautelosa da eficiência da aplicação do SAP/PAN no fitotelma, esse trabalho explora a eficácia desse polímero na prevenção de sintomas de déficit hídrico e possíveis danos do contato direto com as folhas. Plantas adultas de *A. blanchetiana* foram submetidas a um período de 42 dias de restrição hídrica, recebendo SAP/PAN dentro do tanque nas concentrações de 5 g.L⁻¹, 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹, junto a um grupo de controle sem SAP/PAN. Os resultados mostraram a redução de sintomas de estresse hídrico com a aplicação de SAP/PAN, especialmente na concentração de 5 g.L⁻¹. As plantas tratadas com 5 g.L⁻¹ mantiveram maior teor relativo de água, contrastando com reduções significativas nas outras concentrações. Os níveis de clorofila e carotenoides aumentaram nos ápices das folhas nas plantas sem tratamento e nas tratadas com 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹ de SAP/PAN, indicando uma resposta à seca. A peroxidação lipídica aumentou nas plantas mantidas sem SAP/PAN, enquanto que a concentração de 5 g.L⁻¹ manteve os níveis da enzima. A atividade das enzimas antioxidantes foi maior em plantas sem SAP/PAN, mas o tratamento com 5 g.L⁻¹ manteve as condições iniciais. Esses resultados destacam a eficácia da utilização de SAP/PAN dentro do tanque de *A. blanchetiana*, especificamente na concentração de 5 g.L⁻¹, em evitar o estresse hídrico e proteger contra danos oxidativos.

Palavras-chave: Seca; Absorção foliar; SAP

The application of polyacrylonitrile superabsorbent polymer in the tank of the ornamental bromeliad *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Smith can mitigate the effects of water restriction.

ABSTRACT

Bromeliads are widely used ornamental plants and have been the subject of various research efforts aimed at optimizing their production. The main anatomical feature is the arrangement of its leaves into rosettes, which gives the bromeliad aesthetic value, forming a tank-like structure capable of accumulating water. In addition to their ornamental importance, these tanks play a crucial physiological role by facilitating the accumulation of water and nutrients among the leaves, which can be absorbed by the plants. *Aechmea blanchetiana*, a facultative epiphytic bromeliad native to Brazil, faces cultivation challenges due to increasing water scarcity, intensified by climate change. To address this issue, superabsorbent polymers (SAP), known for gradually absorbing and releasing water to maintain soil moisture, have proven to be essential allies in agricultural production. Polyacrylonitrile-based SAP (SAP/PAN) is already used in agriculture and is not harmful to the environment or phytosanitary conditions when incorporated into the substrate. However, the application of this compound in bromeliad tanks has not been investigated, which could be a solution to reduce the effects of drought stress, aiming at water conservation during production and potentially preventing drought stress symptoms in ornamental bromeliads. Emphasizing the need for a careful evaluation of the efficiency of SAP/PAN application in the phytotelma, the research explores the efficacy of this polymer in preventing water deficit symptoms and possible damage from direct contact with the leaves. Adult *A. blanchetiana* plants were subjected to a 42-day period of water restriction, receiving SAP/PAN within the tank at concentrations of 5 g.L⁻¹, 10 g.L⁻¹, and 15 g.L⁻¹, alongside a control group without SAP/PAN. The results revealed a reduction in drought stress symptoms with the application of SAP/PAN, especially at the concentration of 5 g.L⁻¹. Plants treated with 5 g.L⁻¹ maintained a higher relative water content, contrasting with significant reductions in the other concentrations. Chlorophyll and carotenoid levels increased at the apices of the leaves in untreated plants and those treated with 10 g.L⁻¹ and 15 g.L⁻¹ of SAP/PAN, indicating a response to drought. Lipid peroxidation increased in untreated plants, while the concentration of 5 g.L⁻¹ maintained the levels. The activity of antioxidant enzymes was higher in plants without SAP/PAN, but treatment with 5 g.L⁻¹ maintained the initial conditions. These results highlight the effectiveness of SAP/PAN utilization within the *A. blanchetiana* tank, specifically at a concentration of 5 g.L⁻¹, in preventing drought stress and protecting against oxidative damage.

Keywords: Drought; mineral nutrition; SAP; oxidative stress.

INTRODUÇÃO

Bromélias são plantas comumente utilizadas com finalidade ornamental, sendo alvo de diversos estudos que objetivam otimizar sua produção (Kanashiro et al., 2007; Santa-Rosa et al., 2013). Uma característica que confere a essas plantas o potencial ornamental é a disposição de suas folhas em roseta, formando uma estrutura chamada de tanque ou fitotelma que é capaz de acumular água (Benzing, 1990). Um exemplo de bromélia que apresenta essa característica é a espécie *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Smith, uma espécie epífita facultativa que pode mudar a coloração de suas folhas a depender da exposição à luz (Leme e Marigo, 1993), conferindo a essa espécie um expressivo valor ornamental. Trata-se de uma espécie nativa do Brasil, que pode apresentar hábito epifítico, amplamente utilizada em jardins (Gilman e Robert, 1999).

O tanque das bromélias possui grande importância ecológica e fisiológica. Em ambiente natural, essas estruturas formam verdadeiros micro-ecossistemas, servindo de abrigo para diversos animais, além de a água acumulada servir como meio para a reprodução de organismos de desenvolvimento indireto, como culicídeos (Ladino et al., 2019). Além disso, o tanque das bromélias, especialmente epífitas, pode desempenhar um papel fundamental no fornecimento de água aos tecidos dessas plantas, sendo já relatado que suas raízes teriam função principal de fixação (Leroy et al., 2019). Isso ocorre graças a presença de tricomas absorventes nas folhas, característica comum em bromélias. Os tricomas são estruturas altamente especializadas capazes de absorver água e nutrientes via foliar (Frank e Lounibos, 2009). Tavares et al. (2015) relataram a presença de tricomas nas folhas da bromélia *A. blanchetiana*, indicando que essa espécie pode realizar absorção de água e nutrientes via foliar através do conteúdo do tanque.

A importância da absorção de nutrientes pelo tanque foi relatada em diversos estudos sobre bromélias epífitas, como o trabalho conduzido por Leroy et al. (2019), utilizando a bromélia *Aechmea aquilega* (Salisb.) Griseb. Os autores observaram que as plantas que receberam irrigação diretamente no tanque apresentaram níveis de nitrogênio mais elevados, quando comparadas àquelas que foram irrigadas apenas nas raízes. Efeitos da falta de nutrientes em bromélias já foram relatados, como no estudo realizado por Young et al. (2018), utilizando a bromélia *Aechmea fasciata* (Lindl.) Baker, no qual foi observado que as plantas privadas de fontes de nitrogênio apresentaram um crescimento limitado, juntamente com alterações na coloração e redução desenvolvimento de novas folhas. Esses autores verificaram também que quando as plantas foram mantidas sem fontes de fósforo apresentaram um processo acelerado de senescência nas folhas. Tais efeitos podem ter um impacto negativo na valorização das bromélias ornamentais, já que a aparência de suas folhas desempenha um papel fundamental

em sua atratividade ornamental. Portanto, a falta de água no tanque pode impactar a disponibilização dos nutrientes. Svensk et al. (2020) trabalhando com a bromélia *Aechmea aquilega* constataram que a falta de água foi capaz de causar senescência precoce das folhas, elevando a 30% de folhas mortas nas plantas mantidas sem água por 42 dias.

Uma resposta rápida de bromélias à escassez de água é a geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) (Carvalho et al., 2021). Esses compostos são gerados no metabolismo celular e, apesar de desempenharem uma importante função sinalizadora (Mittler, 2017), quando em excesso podem ser prejudiciais, uma vez que sua alta reatividade pode causar danos moleculares em diversas estruturas celulares, como lipídeos (Mittova et al., 2003; Hussain et al., 2019). A fim de neutralizar essas moléculas e evitar os danos, as células contam com um sistema de defesa antioxidante, no qual enzimas catalisam reações que neutralizam as ROS (Das e Roychoudhury, 2014). Abreu et al. (2018) observaram que a atividade antioxidante varia ao longo da lâmina foliar de bromélias, sendo que a base foliar apresenta menor atividade de enzimas desse complexo.

O cultivo de bromélias no contexto de produção de plantas ornamentais pode apresentar dificuldades, especialmente, nas últimas décadas, frente às mudanças climáticas globais, a escassez de água vem se mostrando um importante problema enfrentado na produção de plantas (Behera e Mahanwar, 2019). A seca se mostra como um desafio que prejudica o crescimento e a saúde de várias plantas, incluindo as bromélias. Quando essas plantas são cultivadas em vasos ou jardins, os tanques podem não ser suficientes para fornecer a água necessária, desencadeando respostas à seca.

Na busca por soluções para evitar a escassez de água na agricultura, a aplicação de polímeros superabsorventes se mostra uma alternativa com potencial. Esses polímeros possuem a capacidade de absorver grandes quantidades de água e liberá-las de maneira gradual às plantas, assegurando a umidade do solo por intervalos mais prolongados (Buchholz e Graham, 1998). A utilização desses polímeros superabsorventes no solo, próximos das raízes, já foi relatada em diversos estudos. Em um estudo recente, AbdAllah et al. (2021) mostraram que o uso de um polímero superabsorvente, na concentração de 0,45% (v/v) no solo no momento do plantio de milho (*Zea mays* L.) foi capaz de aumentar a produção de biomassa, otimizando a produção.

Um dos polímeros superabsorventes que pode ser utilizados na agricultura é aquele produzido a base de poliacrilonitrila (SAP/PAN). Trata-se de um produto biodegradável, resistente à radiação ultravioleta, que já é utilizado na agricultura comercial (IGTPAN, 2013). Por conta dessas características, é um produto que não oferece impacto negativo ao meio

ambiente, além de não perder sua função quando exposto à luz solar, sendo, portanto indicado o seu uso para evitar o déficit hídrico, quando aplicado no tanque de bromélias ornamentais.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação do polímero superabsorvente de poliacrilonitrila no tanque da bromélia *A. blanchetiana*, visando a minimização dos sintomas de déficit hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal

Plantas da bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Smith, originadas de sementes, foram adquiridas de um produtor comercial. Essas plantas foram cultivadas em vasos plásticos de cor preta, contendo um substrato misto composto por casca de *Pinus* compostada, turfa, vermiculita e serragem, adicionado de corretivo de acidez, fosfato natural e fertilizante mineral N-P-K.

As mudas das bromélias passaram por um período de aclimação de 30 dias na casa de vegetação equipada com um sistema de resfriamento Pad-Fan. Durante esse período, as plantas receberam irrigação diária e foram adubadas com um fertilizante N-P-K de formulação 20-20-20, diluído em água na concentração de 0,4 g.L⁻¹, até o início dos experimentos.

Preparação do hidrogel

O hidrogel destinado à aplicação no tanque das bromélias foi preparado utilizando o polímero superabsorvente de poliacrilonitrila (SAP/PAN) com granulometria fina. O polímero foi dissolvido em água em três diferentes concentrações: 5 g.L⁻¹, 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹. O SAP/PAN foi cuidadosamente homogeneizado na água com uma espátula até atingir completa dissolução, resultando na formação de um hidrogel (Brito-Arduino et al., 2023).

Delineamento experimental

Foi empregado o delineamento experimental fatorial inteiramente casualizado (2 x 5), tendo como primeiro fator o tempo (0 e 42 dias) e o segundo fator constituído dos grupos inicial, seca, 5, 10 e 15 g.L⁻¹ de SAP/SPAN e, no qual as plantas foram numeradas e, posteriormente, sorteadas entre os diferentes tratamentos. Cada tratamento foi replicado em cinco instâncias biológicas. As análises iniciais foram conduzidas em 20 plantas, totalizando assim 60 exemplares da bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana* utilizados ao longo dos experimentos.

Após o período de aclimação, as bromélias tiveram seus tanques preenchidos com SAP/PAN nas concentrações de 5 g.L⁻¹, 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹. Durante esse período, as plantas foram mantidas sem irrigação para impor restrição hídrica. Essas condições foram mantidas por 42 dias, momento em que a folha D (Santos et al., 2018) foi coletada. A folha foi dividida em duas partes, denominadas neste estudo como ápice e base, para a análise dos parâmetros indicativos de tolerância.

A avaliação do conteúdo hídrico do substrato (CHS) foi realizada em dois momentos: no tempo inicial e aos 42 dias para avaliar as condições de seca. Foram coletadas cinco amostras de substrato úmido de cada tratamento, que foram pesadas utilizando uma balança analítica. Posteriormente, as amostras foram mantidas em estufa a 60 °C por 7 dias para determinar a massa seca. O percentual de umidade do substrato foi calculado utilizando a equação: CHS (%) = [(MF - MS) × 100] / MF.

Conteúdo relativo de água e potencial osmótico

Para a determinação do conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas, a massa fresca (MF) da parte aérea foi registrada, e em seguida, o material foi submerso em água destilada à temperatura ambiente por 24 horas. Após esse período, o material foi cuidadosamente seco com papel toalha e pesado para obter a massa túrgida (MT). Posteriormente, o material foi submetido à secagem em estufa para determinação da massa seca (MS). O CRA foi calculado utilizando a fórmula: CRA (%) = 100 × (MF - MS) / (MT - MS) (Fleta-Soriano et al., 2015).

O potencial osmótico das folhas foi determinado através de um extrato de 200 mg de folhas maceradas e centrifugadas. Foram utilizados 10 µL de extrato, analisados em um osmômetro de pressão de vapor do modelo 5520 VAPRO (Wescor, Logan, Utah, EUA). Os valores obtidos em mmol.kg⁻¹ foram convertidos em potencial osmótico (Ψs) utilizando a equação de Van't Hoff (Ψs = -C x 2,58 x 10⁻³), onde C representa o valor de osmolaridade (Carroll et al., 2019).

Análises nutricionais

As análises químicas dos conteúdos de macronutrientes e micronutrientes foram analisadas, conforme o método detalhado por Malavolta et al. (1997), empregando aproximadamente 1 g de cada porção foliar da folha D, proveniente das mesmas plantas utilizadas nas avaliações bioquímicas.

Análise de peroxidação lipídica

Para a avaliação dos níveis de peroxidação lipídica, a quantificação do conteúdo de hidroperóxido dieno-conjugado (HPCD), que representa o produto inicial da peroxidação lipídica, foi realizada conforme o método proposto por Pignata et al. (1999). Nesta análise, foram empregados 0,2 gramas de folhas frescas. As folhas foram previamente trituradas em nitrogênio líquido e, em seguida, 2 mL de álcool a 96% gelado foram adicionados às amostras. Após manter as amostras em gelo, foram agitadas por 15 minutos em uma mesa agitadora e, subsequentemente, centrifugadas a 11.000 RPM por 10 minutos a 4 °C. O sobrenadante obtido foi analisado em um espectrofotômetro, utilizando um comprimento de onda de 234 nm. O conteúdo de HPCD foi calculado com base no coeficiente de extinção de $2,65 \times 10^4 \text{ M}^{-1}.\text{cm}^{-1}$. Os resultados foram expressos em micromols por grama de peso seco ($\mu\text{mol.g MS}^{-1}$).

Fluorescência da clorofila

A eficiência fotoquímica máxima do Fotossistema II, representada pela relação Fv/Fm, foi avaliada por meio do fluorômetro de pulso modulado portátil OS5p (Opti-Sciences, Hudson, EUA). As áreas foliares em análise foram submetidas a um período de 30 minutos de escuridão, seguido pela mensuração da relação Fv/Fm (Campostrini, 2001).

Conteúdo de pigmentos fotossintetizantes

Para a análise dos pigmentos fotossintéticos foram utilizados 0,2 g de folhas frescas, que foram submetidas à trituração em nitrogênio líquido, seguida pela adição de 2 mL de álcool a 96%. As amostras foram agitadas por 15 minutos em uma mesa agitadora e, posteriormente, centrifugadas a 11.000 RPM por 10 minutos. O sobrenadante resultante foi submetido à análise em um espectrofotômetro nas faixas de comprimento de onda de 750 nm, 665 nm, 649 nm e 470 nm. Os cálculos de concentração (μg de pigmento por mL de extrato) foram realizados utilizando as equações propostas por Lichtenthaler e Wellburn (1983), e os resultados foram expressos em miligramas por grama de peso seco (mg.g MS^{-1}).

Atividade de enzimas antioxidantes

Para a análise das atividades das enzimas antioxidantes, as amostras foram homogeneizadas em uma solução de extração composta por tampão fosfato de potássio 1M (pH 7,5), 1 mM de EDTA, 50 mM de NaCl e 1 mM de ácido ascórbico para todas as enzimas, na proporção de 0,25 g de massa por 2 mL de solução (Souza et al., 2013). Posteriormente, as amostras foram centrifugadas a 11.000 RPM a 4 °C por 15 minutos e o sobrenadante resultante foi utilizado para as análises bioquímicas.

A atividade da enzima Superóxido Dismutase (SOD, EC 1.15.1.1) foi determinada conforme o método proposto por Beauchamp e Fridovich (1971), com modificações de Balen et al. (2009). Foi utilizada uma mistura de reação composta por tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,8), 4 μ M de riboflavina, 10 mM de metionina, 56 μ M de NBT e 0,1 mM de EDTA- Na_2 , na proporção de 20 μ L de extrato de enzima para 1 mL da mistura de reação. Após uma incubação de 5 minutos em uma caixa de luz, a atividade da SOD foi expressa em U mg proteína⁻¹, sendo uma unidade de atividade de SOD definida como a quantidade de extrato de enzima bruto necessária para causar 50% de inibição da taxa de redução do NBT a 560 nm.

A atividade da enzima Catalase (CAT, EC 1.11.1.6) foi medida monitorando o consumo de H_2O_2 a 240 nm por 2 minutos. Foi utilizada uma mistura de reação composta por tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,5) e 10 mM de H_2O_2 , na proporção de 40 μ L de extrato de enzima para 1 mL da mistura de reação (Luck, 1965). A atividade da CAT foi expressa em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mg proteína}^{-1}$.

A atividade da enzima Glutathione Redutase (GR, EC 1.6.4.2) foi determinada monitorando a diminuição da absorbância a 340 nm por 2 minutos, devido à oxidação de NADPH. Foi utilizada uma mistura de reação composta por tampão Tris-HCl 50 mM (pH 7,5), 0,15 mM de NADPH, 0,5 mM de glutathione oxidada e 3 mM de MgCl_2 , na proporção de 100 μ L de extrato de enzima para 1 mL da mistura de reação, conforme descrito por Schaedle e Bassahm (1977). A atividade da GR foi expressa em $\mu\text{mol NADPH min}^{-1} \cdot \text{mg proteína}^{-1}$.

A atividade da enzima Ascorbato Peroxidase (APx, EC 1.11.1.11) foi avaliada monitorando a diminuição da absorbância a 290 nm por 2 minutos, devido à oxidação do ácido ascórbico. Foi utilizada uma mistura de reação composta por tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,0), 0,1 mM de EDTA- Na_2 , 0,5 mM de ácido ascórbico e 0,2 mM de H_2O_2 , na proporção de 20 μ L de extrato de enzima para 1 mL da mistura de reação (Nakano e Asada, 1981, adaptado por Weng et al., 2007). A atividade da APx foi expressa em $\mu\text{mol asc. min}^{-1} \cdot \text{mg proteína}^{-1}$.

As atividades das enzimas foram normalizadas em relação à concentração total de proteínas das amostras, determinada utilizando o método do BCA (ácido bicinonínico) (He, 2011) com o Kit QuantiPro BCA da Sigma, e albumina de soro bovino como padrão. As leituras espectrofotométricas foram realizadas a $\lambda=560 \text{ nm}$.

Análise estatística

A análise estatística dos dados coletados foi realizada através do software "GraphPad Prism 5". A normalidade e homogeneidade dos dados foram avaliadas utilizando os testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene, respectivamente.

Para realizar comparações entre grupos com diferentes tratamentos, assim como entre diferentes regiões foliares, utilizou-se a ANOVA de dois fatores, seguida pelo teste Tukey a posteriori. As diferenças entre as médias foram consideradas significativas quando $p < 0,05$. Os resultados foram apresentados como média $\pm$ SEM (standard error of the mean standard error of the mean).

RESULTADOS

Após os 42 dias de experimento, período durante o qual as bromélias foram mantidas sem irrigação, o conteúdo hídrico do substrato (CHS) diminuiu para valores de 14% ($\pm 0,88$) (Figura 1), indicando que a restrição hídrica foi imposta a essas plantas.

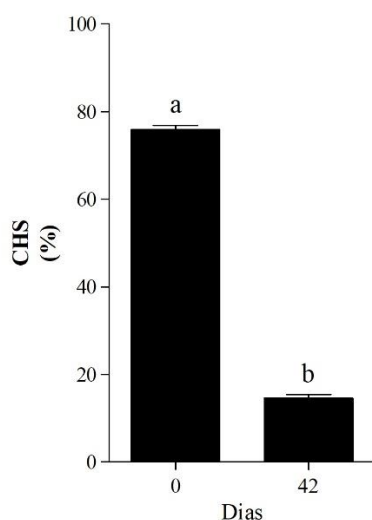


Figura 1: Conteúdo hídrico do substrato (CHS) (A) no início do experimento e após 42 dias sem irrigação. As barras representam média $\pm$ SEM. Letras diferentes acima das barras indicam diferença significativa a $p < 0,05$.

Todas as plantas sobreviveram ao experimento. As plantas mantidas sem SAP/PAN e sem irrigação durante 42 dias apresentaram enrolamento das folhas (Figura 2A), No entanto, as plantas que receberam SAP/PAN nas concentrações de 5 g.L⁻¹ (Figura 2B), 10 g.L⁻¹ (Figura 2C) e 15 g.L⁻¹ (Figura 2D) não apresentaram tais sintomas.

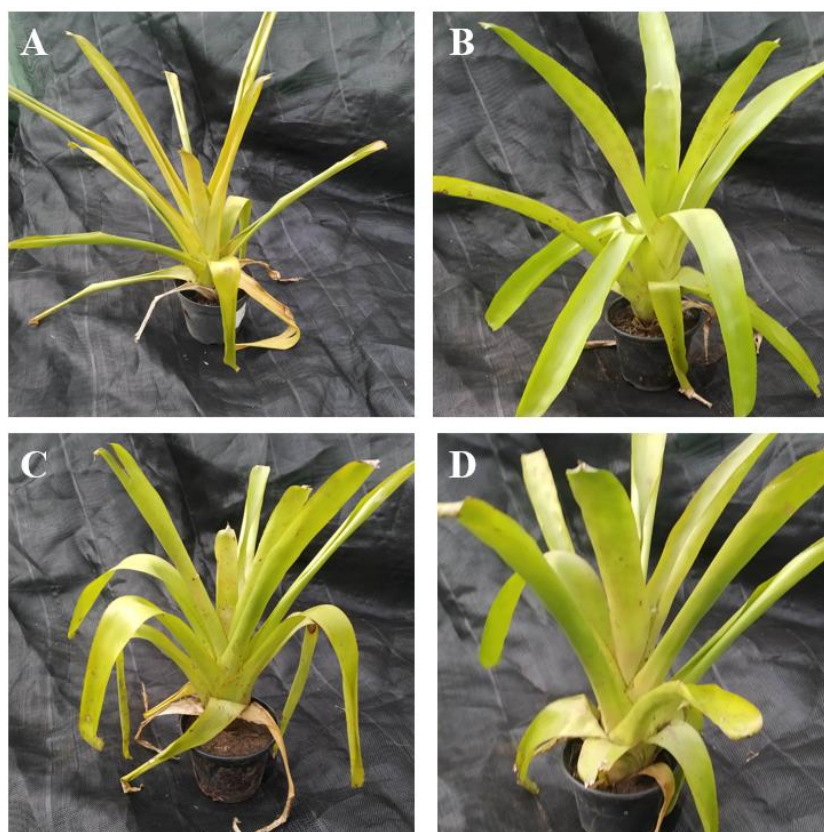


Figura 2: Plantas de *Aechmea blanchetiana* sem irrigação após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque. As figuras mostram plantas que não receberam SAP/PAN no tanque (A) e que receberam SAP/PAN no tanque nas concentrações 5 g.L⁻¹ (B), 10 g.L⁻¹ (C), e 15 g.L⁻¹ (D).

Em relação aos parâmetros biométricos (Tabela 1), houve um aumento no número de folhas mortas apenas nas plantas mantidas sem SAP/PAN e sem irrigação por 42 dias, além de redução na largura das folhas D e na área foliar. Não houve alterações nos outros tratamentos. Além disso, houve uma redução na relação massa fresca / massa seca nas plantas mantidas com SAP/PAN a 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹. No entanto, a redução mais significativa nesse parâmetro foi observada nas plantas sem SAP/PAN. De modo interessante, as plantas mantidas com SAP/PAN na concentração de 5 g.L⁻¹ não apresentaram alteração.

Tabela 1: Variáveis biométricas de *Aechmea blanchetiana* sem irrigação após 42 dias de aplicação de SAP/PAN no tanque. Valores expressos em média $\pm$ SEM. As letras na horizontal comparam os diferentes tratamentos, sendo que as letras diferentes ao lado dos valores representam diferença significativa a $p < 0,05$.

	Inicial	42 dias			
		Seca	5 g.L ⁻¹	10 g.L ⁻¹	15 g.L ⁻¹
<i>Sobrevivência (%)</i>		100	100	100	100
<i>Número de folhas</i>	19,8 ($\pm 1,39$) a	19,6 ($\pm 0,98$) a	19,1 ($\pm 1,4$) a	19,6 ($\pm 0,92$) a	20,8 ($\pm 0,86$) a
<i>Folhas mortas</i>	0,2 ($\pm 0,2$) b	0,8 ($\pm 0,24$) a	0,2 ($\pm 0,2$) b	0,4 ($\pm 0,45$) b	0,6 ($\pm 0,4$) b
<i>Comprimento da folha D (cm)</i>	44,96 ($\pm 1,67$) a	44,21 ($\pm 0,78$) a	46,37 ($\pm 1,29$) a	46,11 ($\pm 1,04$) a	46,32 ($\pm 1,15$) a
<i>Largura da folha D (cm)</i>	6,13 ($\pm 0,21$) a	4,42 ($\pm 0,14$) b	6,04 ($\pm 0,37$) a	5,65 ($\pm 0,31$) a	4,93 ($\pm 0,38$) ab
<i>Área da folha D (cm²)</i>	7,06 ($\pm 0,15$) a	6,04 ($\pm 0,14$) b	6,95 ($\pm 0,07$) a	6,59 ($\pm 0,16$) a	6,76 ($\pm 0,14$) a
<i>Massa fresca / Massa seca</i>	0,93 ($\pm 0,007$) a	0,61 ($\pm 0,02$) c	0,92 ($\pm 0,01$) a	0,77 ($\pm 0,01$) b	0,71 ($\pm 0,01$) b

O conteúdo relativo de água (CRA) (Figura 3A) foi reduzido nas plantas mantidas sem SAP/PAN e sem irrigação por 42 dias, atingindo valores abaixo de 60% no ápice da folha. Essa redução também foi observada na base da folha, porém em menor intensidade, onde os valores permaneceram acima de 70%. Na região da base, não houve alterações em nenhum dos outros tratamentos, no entanto, na região do ápice, houve também uma redução no CRA nas plantas mantidas com SAP/PAN nas concentrações de 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹, mas a redução mais significativa ocorreu nas plantas mantidas sem SAP/PAN.

O potencial osmótico (Figura 3B) apresentou um comportamento semelhante. Em ambas as regiões foliares, as plantas mantidas sem SAP/PAN exibiram a maior redução entre todos os tratamentos. Também houve uma redução nos tratamentos que receberam SAP/PAN a 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹.

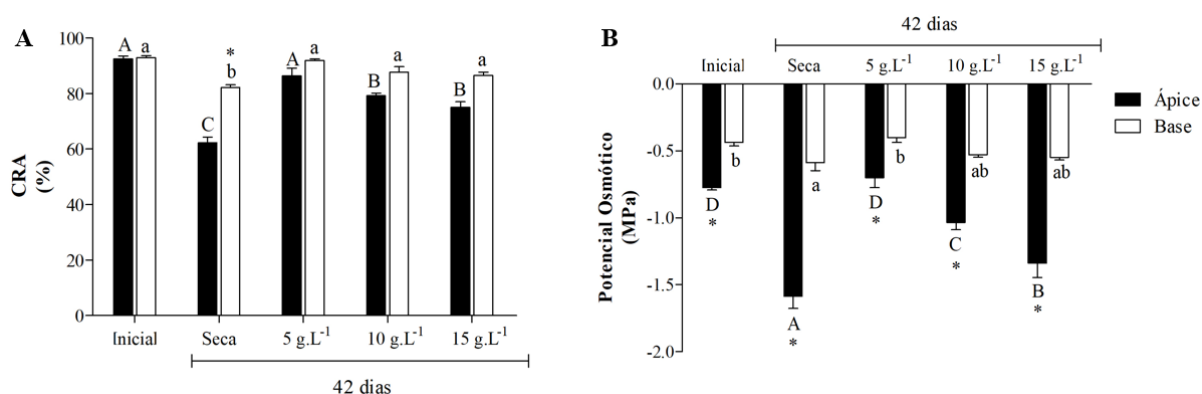


Figura 3: Conteúdo relativo de água (CRA) e Potencial Osmótico em *Aechmea blanchetiana* sem irrigação após 42 dias de aplicação de SAP/PAN no tanque. As barras representam média $\pm$ SEM. Letras maiúsculas comparam a região do ápice entre os diferentes tratamentos (barras pretas), enquanto letras minúsculas comparam a região da base entre os diferentes tratamentos (barras brancas). Letras diferentes acima das barras indicam diferença significativa a $p < 0,05$. Asterisco acima das barras representadiferença significativa entre a região do ápice e da base a $p < 0,05$.

Estado nutricional

O teor de Nitrogênio e Potássio apresentaram resultados similares (Figura 4 A, C). Para ambos os nutrientes, houve redução nos teores em região apical das plantas mantidas sem água e SAP/PAN no tanque e sem irrigação por 42 dias e não houve diferença nos teores em plantas que receberam SAP/PAN em qualquer uma das concentrações utilizadas neste estudo. Com relação à região basal das folhas foi observada que apenas os teores de N, P e K nessas plantas foram significativamente menores nos tratamentos sem aplicação de água e SPA/PAN (Fig. 3A, B e C), mostrando o efeito deletério na nutrição mineral das plantas, quando não se aplicou água e o polímero. Também, podemos observar que houve diferenças significativas nos teores de N e P entre as regiões apical e basal (Fig. 4A e C), o que indica as diferentes funções fisiológicas, sendo a parte basal das folhas, com papel fundamental na nutrição mineral e a

região apical com atividade fotossintética (Takahashi e Mercier, 2011), o que explica estatisticamente essas diferenças significativas.

O teor de Fósforo (Figura 4B) apresentou redução apenas na região da base das plantas mantidas sem água e SAP/PAN no tanque, não apresentando diferença para as outras condições de tratamento.

Os teores de macronutrientes secundários Mg, Ca e S contidos na região apical da folha D mostraram comportamentos semelhantes nos teores desses nutrientes com os tratamentos 5 g.L⁻¹ de SAP/SPAN, apresentando os maiores teores e não diferenciando significativamente do tratamento inicial, que não sofreu nenhum estresse hídrico. Os tratamentos 10 e 15 g.L⁻¹ mostraram menor eficiência na assimilação dos macronutrientes secundários, quando comparados com o grupo na concentração de 5 g.L⁻¹, o que sinaliza o efeito negativo na absorção desses nutrientes nas concentrações maiores de SAP/SPAN. Os mesmos comportamentos foram observados com os macronutrientes secundários Mg e Ca, com exceção do S na região basal da folha D.

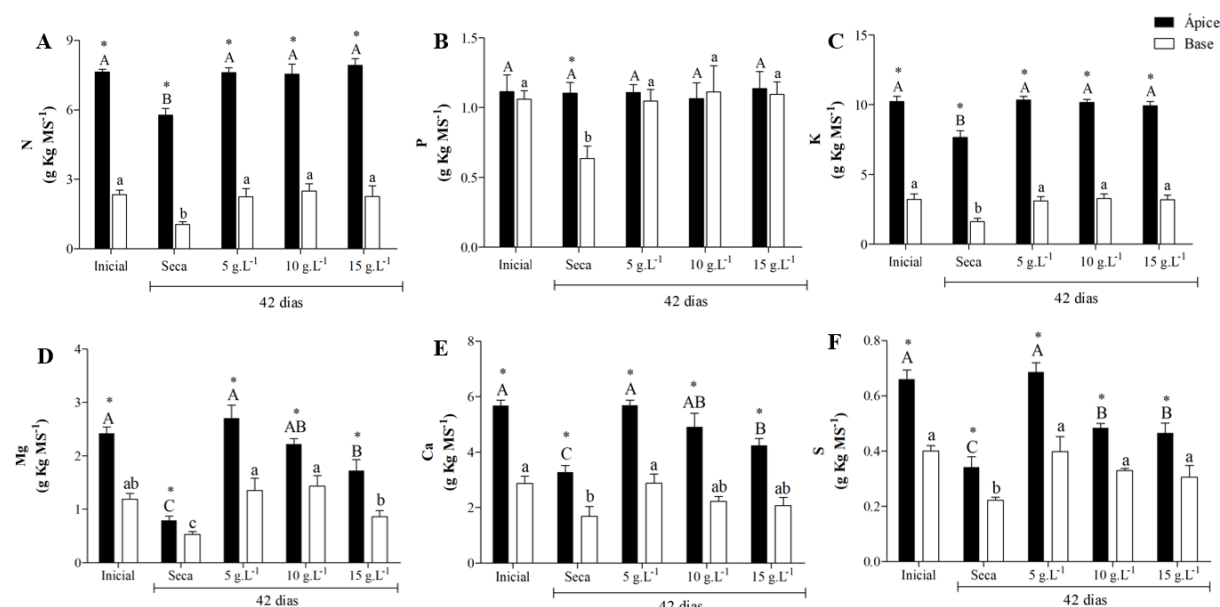


Figura 4: Teor de macronutrientes Nitrogênio (A), Fósforo (B), Potássio (C), Magnésio (D), Cálcio (E) e Enxofre (F) em plantas de *Aechmea blanchetiana* sem irrigação após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque. As barras representam média $\pm$ SEM. Letras maiúsculas acima das barras comparam a região do ápice entre os diferentes tratamentos (barras pretas), enquanto letras minúsculas comparam a região da base entre os diferentes tratamentos (barras brancas) a $p < 0,05$. Asterisco acima das barras representa diferença significativa entre a região do ápice e da base a $p < 0,05$.

Os micronutrientes Boro, Cobre e Manganês (Figuras 5 A, B e D) apresentaram teores maiores na região do ápice quando comparados à base foliar, ao contrário do Ferro (Figura 5E) que apresentou valores maiores na porção basal, enquanto o Zinco (Figura 5C) apresentou valores semelhantes entre as duas porções foliares.

Contudo, nos diferentes tratamentos, todos os micronutrientes analisados apresentaram redução dos teores nas plantas mantidas em condição de seca sem SAP/PAN no tanque. Ao mesmo tempo, as plantas mantidas sem irrigação radicular, com o tanque preenchido por SAP/PAN na concentração de 5 g.L⁻¹, apresentaram teores de micronutrientes semelhantes àqueles mensurados antes do início da restrição hídrica.

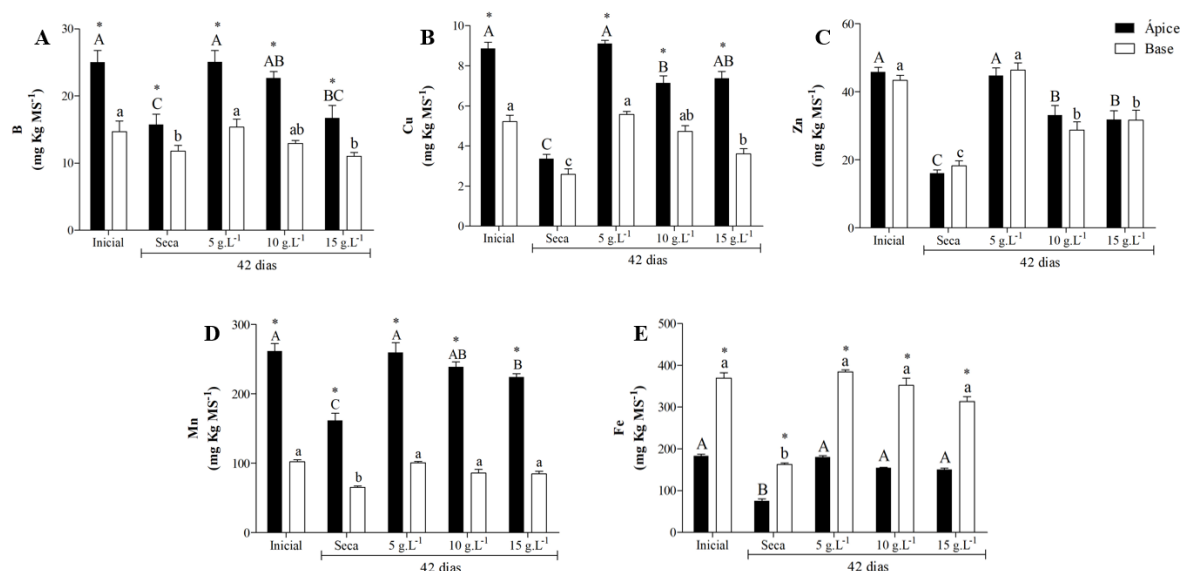


Figura 5: Teor de micronutrientes Boro (A), Cobre (B), Zinco (C), Manganês (D) e Ferro (E) em plantas de *Aechmea blanchetiana* sem irrigação após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque. As barras representam média $\pm$ SEM. Letras maiúsculas acima das barras comparam a região do ápice entre os diferentes tratamentos (barras pretas), enquanto as letras minúsculas comparam a região da base entre os diferentes tratamentos (barras brancas) a $p < 0,05$. Asterisco acima das barras representa diferença significativa entre a região do ápice e da base a $p < 0,05$.

Marcador de peroxidação lipídica

Os níveis de hidroperóxido dieno-conjugado (HPCD), utilizados como marcador de dano oxidativo aos lipídios, aumentaram no ápice da folha das plantas que receberam SAP/PAN no tanque nas concentrações de 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹ durante os 42 dias de tratamento em comparação ao início do experimento (Figura 6). No entanto, um aumento ainda mais significativo foi observado na mesma área foliar no tratamento que não recebeu SAP/PAN, indicando que essas plantas experimentaram estresse oxidativo. Além disso, a base da folha não apresentou quaisquer alterações nos níveis de HPCD em nenhum dos tratamentos ao longo do experimento.

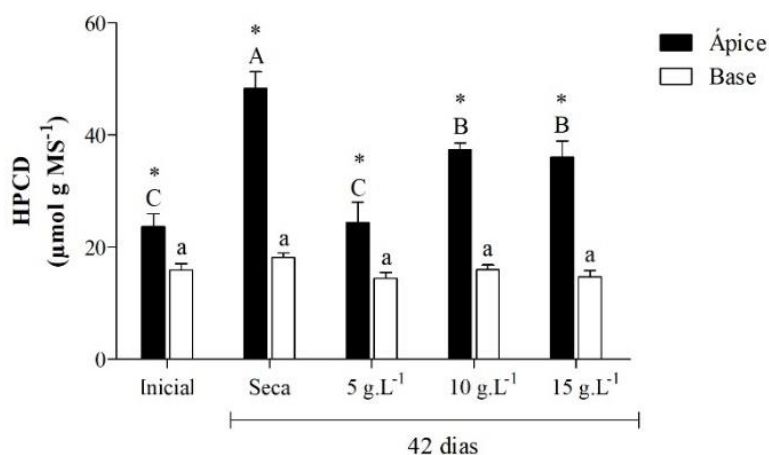


Figura 6: Conteúdo de hidroperóxido dieno-conjugado (HPCD) em *Aechmea blanchetiana* sem irrigação após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque. As barras representam média $\pm$ SEM. Letras maiúsculas comparam a região do ápice entre os diferentes tratamentos (barras pretas), enquanto letras minúsculas comparam a região da base entre os diferentes tratamentos (barras brancas). Letras diferentes acima das barras indicam diferença significativa a $p < 0,05$. Asterisco acima das barras representa diferença significativa entre a região do ápice e da base a $p < 0,05$.

Eficiência fotoquímica do Fotossistema II e conteúdo de pigmentos fotossintetizantes

Os marcadores da eficiência do Fotossistema II (PSII) (Figuras 7 A, B e C) não mostraram quaisquer alterações ao longo do experimento, sendo que os valores relacionados à eficiência do PSII foram menores na base da folha, quando comparados ao ápice.

Para todos os pigmentos, não houve alteração no conteúdo na região da base da folha em nenhum dos tratamentos e os ápices apresentaram os maiores níveis de pigmentos. O conteúdo de clorofila *a* (Figura 7D) e clorofila *b* (Figura 7E), foram maiores no ápice da folha nas plantas mantidas sem SAP/PAN e nas plantas mantidas com SAP/PAN nas concentrações de 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹, enquanto não houve alteração no teor desses pigmentos nas plantas que receberam SAP/PAN na concentração de 5 g.L⁻¹, em comparação com o momento inicial, assim o conteúdo total de clorofila no ápice da folha aumentou no tratamento que não recebeu SAP/PAN e no tratamento que recebeu SAP/PAN na concentração de 15 g.L⁻¹, não havendo alterações observadas naqueles que receberam SAP/PAN no tanque nas concentrações 5 g.L⁻¹ e 10 g.L⁻¹. O mesmo resultado foi observado para o conteúdo de carotenoides (Figura 7F) no ápice da folha.

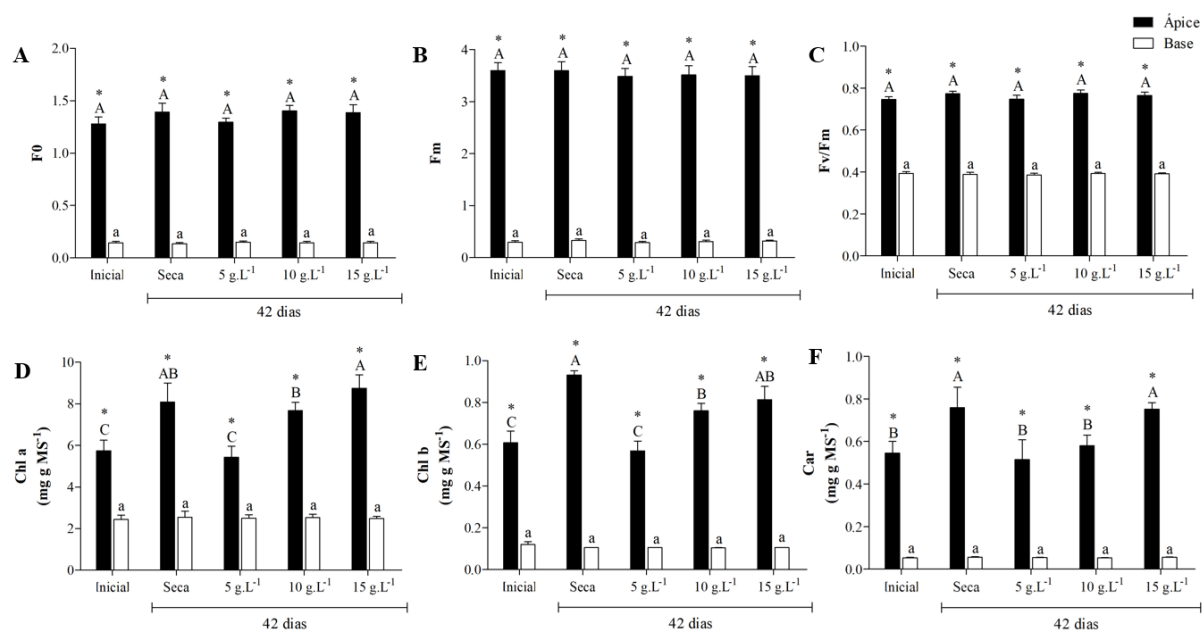


Figura 7: Eficiência do Fotossistema II e conteúdo de pigmentos fotossintetizantes em *Aechmea blanchetiana* sem irrigação após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque. (A) F0, (B) Fv, (C) Fv/Fm, (D) clorofila a, (E) clorofila b e (F) carotenoides. As barras representam média $\pm$ SEM. Letras maiúsculas comparam a região do ápice entre os diferentes tratamentos (barras pretas), enquanto letras minúsculas comparam a região da base entre os diferentes tratamentos (barras brancas). Letras diferentes acima das barras indicam diferença significativa a $p < 0,05$. Asterisco acima das barras representa diferença significativa entre a região do ápice e da base a $p < 0,05$.

Atividade de enzimas antioxidantes

A atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) (Figura 8A) aumentou nas plantas mantidas sem SAP/PAN, tanto no ápice quanto na base, e nas plantas mantidas com SAP/PAN a 15 g.L⁻¹ no tanque, apenas no ápice. Nas plantas que receberam SAP/PAN nas concentrações de 5 g.L⁻¹ e 10 g.L⁻¹, não houve aumento significativo na atividade da SOD em nenhuma das regiões da folha.

Um aumento na atividade da enzima catalase (CAT) (Figura 8B) foi observado no ápice da folha das plantas que receberam SAP/PAN a 15 g.L⁻¹ e nas plantas que não receberam SAP/PAN, com um aumento ainda maior na atividade da CAT nas plantas que receberam SAP/PAN na concentração de 10 g.L⁻¹. Na base da folha, em comparação com o lote inicial, os tratamentos sem SAP/PAN e com SAP/PAN nas concentrações de 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹ mostraram um aumento na atividade da CAT, enquanto o tratamento com SAP/PAN a 5 g.L⁻¹ não apresentou alterações

A enzima glutationa redutase (GR) (Figura 8C) apresentou uma diminuição na atividade nas plantas que receberam SAP/PAN na concentração de 5 g.L⁻¹ no ápice da folha, enquanto no mesmo tratamento, a atividade da GR na base da folha não mudou em comparação com o lote inicial. Também houve uma redução na atividade da GR no ápice da folha das plantas que receberam SAP/PAN a 10 g.L⁻¹, com uma redução menor em comparação com o tratamento de 5 g.L⁻¹.

Na região do ápice da folha, a atividade da enzima ascorbato peroxidase (APx) (Figura 8D) aumentou nas plantas que receberam SAP/PAN nas concentrações de 10 g.L⁻¹ e 15 g.L⁻¹, enquanto na base da folha, a atividade dessa enzima aumentou apenas nas plantas que não receberam SAP/PAN.

Exceto pela enzima GR, todas as atividades enzimáticas foram semelhantes no tratamento que recebeu 5 g.L⁻¹ de SAP/PAN no tanque, em comparação com as plantas do lote inicial. A atividade de todas as enzimas foi menor na região da base em comparação com a região do ápice em todas as condições de tratamento.

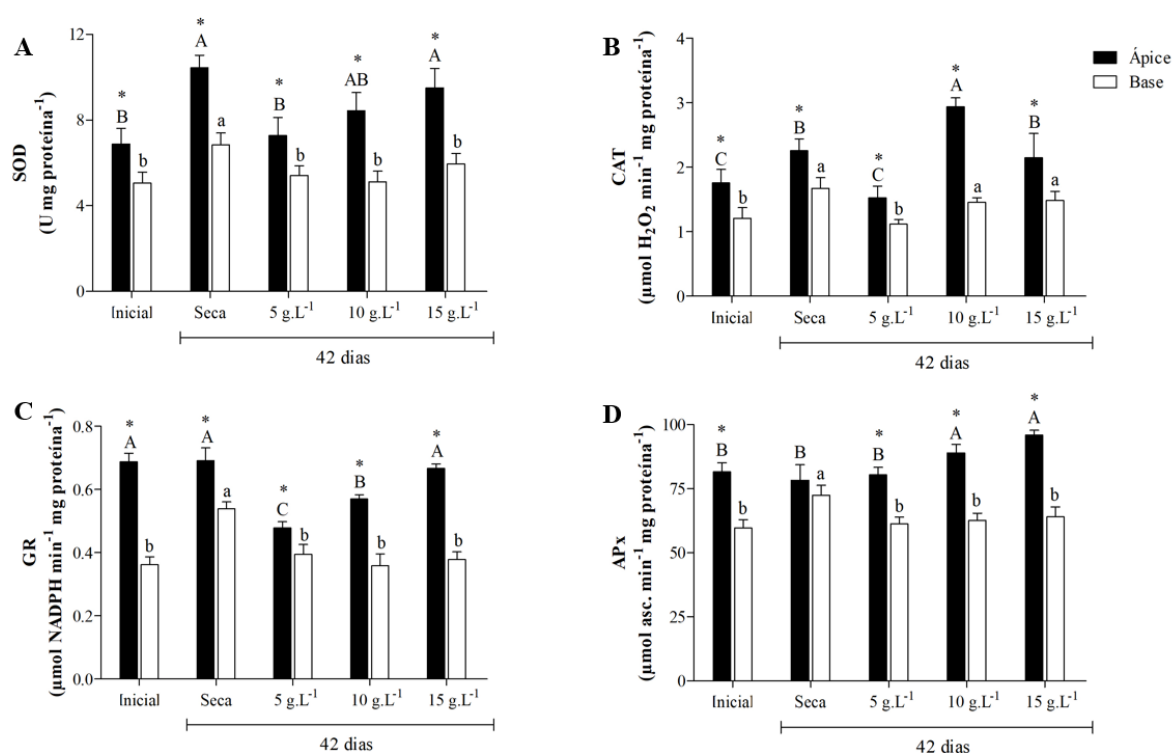


Figure 8: Atividade de enzimas antioxidantes SOD (A), CAT (B), GR (C) e APx (D) de *Aechmea blanchetiana* após 42 dias de aplicação do SAP/PAN no tanque. As barras representam média $\pm$ SEM. Letras maiúsculas comparam a região do ápice entre os diferentes tratamentos (barras pretas), enquanto letras minúsculas comparam a região da base entre os diferentes tratamentos (barras brancas). Letras diferentes acima das barras indicam diferença significativa a $p < 0,05$. Asterisco acima das barras representa diferença significativa entre a região do ápice e da base a $p < 0,05$.

DISCUSSÃO

A aplicação do SAP/PAN minimizou os efeitos da supressão hídrica na bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana*, pois na ausência desse foi observado enrolamento das folhas, sintoma comum em plantas submetidas às condições de seca (Vanhoutte et al., 2016), comprometendo o aspecto ornamental. Contudo, na concentração maior de SAP/PAN, houve um discreto enrolamento das folhas, além de alterações bioquímicas, indicando que a concentração de SAP/PAN é um fator determinante para seus efeitos benéficos.

As plantas que receberam SAP/PAN na concentração de 5 g.L⁻¹ não apresentaram alterações no CRA ou potencial osmótico, indicando que nessa concentração os efeitos da supressão de água não foram observados, diferente do observado para as dos outros tratamentos. Os valores do CRA são um indicador da hidratação das células e tecidos das plantas (Martínez et al., 2007) e a manutenção desses valores é indicativo da tolerância das plantas (Colom e Vazzana, 2003), o que ocorreu nas plantas que receberam o polímero. Em outros trabalhos envolvendo o uso de SAP no solo, as concentrações são baixas comparadas às utilizadas neste estudo, como 3 g.L⁻¹ ou 0,45% (v/v) (Nnadi e Brave 2011; AbdAllah et al. 2021), o que pode explicar o fato da maior disponibilidade hídrica para as plantas na menor concentração de SAP.

Os efeitos do SAP/PAN não influenciaram a absorção de nutrientes nas plantas de *A. blanchetiana*, porém foram observadas diferenças entre a região basal e apical dessas bromélias. A maior concentração de nitrogênio observada no ápice em relação à base pode ser atribuída ao fato da região apical da folha, identificada como o locus primário para atividades fotossintéticas, manifestar uma demanda nitrogenada mais intensa (Takahashi e Mercier 2011). Importante observar que, embora a absorção inicial de nitrogênio ocorra na porção basal da folha (Takahashi e Mercier 2011), a alta mobilidade desse nutriente possibilita sua rápida translocação para regiões de maior demanda (Marschner, 2002), como é o caso da porção apical da folha da bromélia, reforçando a hipótese alocação dinâmica de N ao longo da estrutura foliar em *A. blanchetiana*.

O padrão de maior concentração de nutrientes no ápice em relação à base foi observado também para os demais macronutrientes analisados, exceto o fósforo, o qual as concentrações não mostraram diferenças entre base e ápice. Esse resultado pode estar relacionado à demanda energética de absorção de nutrientes na base e atividade fotossintética no ápice. A absorção de fosfato pelas plantas é um processo de transporte ativo, demandando energia para conduzir íons fosfato contra um gradiente de concentração (Marschner, 2002). Da mesma forma, na fotossíntese há gasto de energia na forma de ATP na região apical, o que poderia ser comparável ao gasto com absorção de nutrientes pela região basal. Entretanto, estudos devem ser conduzidos para melhor comprovação dessa hipótese. De maneira interessante, o efeito da supressão hídrica sobre o conteúdo de fósforo reduziu sua concentração apenas na região da base, não apresentando diferença para as outras condições de tratamento. Esses resultados podem ser associados ao relatado por Winkler e Zotz (2009) que mostram que a bromélia *Aechmea fasciata*, além de apresentar alta eficiência na absorção do fósforo contido no tanque, apresentam reserva desse elemento na forma ²⁸P no tecido das folhas próximas ao tanque. Levando em consideração que a região da base foliar é a responsável por formar a estrutura de tanque, essa região pode apresentar uma reserva de fósforo também em *A. blanchetiana*, que

pode estar sendo consumida pela região apical durante a atividade fotossintética, visto que os valores de eficiência fotossintética não foram alterados em nenhum dos tratamentos. Considerando que a condição de seca pode levar a uma deficiência nutricional (Endres e Mercier, 2001; Kanashiro et al. 2007; Winkler e Zotz, 2009), a redução dos teores de P na base, somada à redução nos valores de N e K, podem indicar que a planta precisou recorrer às reservas de fósforo da base foliar ao ser condicionada à falta desse nutriente, que pode ter sido mobilizada para a região do ápice, principal responsável pelas atividades metabólicas vitais da planta (Mercier et al, 2019).

As maiores concentrações dos micronutrientes boro, cobre e manganês foram observadas no ápice foliar, onde ocorre predominantemente as atividades fotossintéticas em bromélias (Mercier et al., 2019). Contudo, o maior teor de ferro foi observado na parte basal da folha de *A. blanchetiana*. Esse fato pode estar associado à zona de crescimento foliar nas monocotiledôneas nessa região (Taiz et al. 2017). Assim, a demanda por ferro nessa área durante a replicação celular para o crescimento pode ser significativamente maior nessa área (Marschner, 2002).

De modo interessante, apesar de menores teores de zinco serem observados no tratamento mantido sem SAP/PAN, não houve diferença na concentração do íon entre ápice e base. O zinco desempenha um papel central na ativação de sistemas de transporte, atuando como cofator para enzimas essenciais que otimizam a absorção de nutrientes pelas plantas (Fox e Guerinot, 1998), é possível supor que a demanda por esse micronutriente seja semelhante em ambas as regiões foliares e não foram afetadas pela presença do SAP/PAN no tanque.

As plantas mantidas com SAP/PAN na menor concentração (5 g.L^{-1}) no tanque não apresentaram danos oxidativos. Entretanto, os níveis de hidroperóxido dieno-conjugado (HPCD), utilizados como marcador de dano oxidativo aos lipídios, aumentaram no ápice da folha das plantas que receberam SAP/PAN no tanque nas concentrações de 10 g.L^{-1} e 15 g.L^{-1} durante os 42 dias de tratamento em comparação ao início do experimento.

Considerando que as espécies reativas de oxigênio são formadas como uma resposta rápida de bromélias à seca (Carvalho et al., 2021) e que essas moléculas são as principais responsáveis por danos oxidativos em lipídeos (Mittova et al., 2003; Hussain et al., 2019), nossos resultados indicam que o ápice apresentou maiores danos oxidativos, que podem estar relacionados à maior atividade metabólica da região em comparação à base (Takahashi e Mercier, 2011), sintoma esse que, ainda segundo nossos resultados, pôde ser minimizado com a aplicação do SAP/PAN no tanque de *A. blanchetiana*.

A aplicação do polímero também não afetou à eficiência fotoquímica do fotossistema II (PSII), embora deva-se considerar que, as plantas sob seca também não apresentaram alterações

nesse parâmetro. Diferentemente dos resultados encontrados aqui, Zotz et al. (2004) observaram queda na eficiência do PSII em espécimes da bromélia epífita *Vriesea sanguinolenta* após 20 dias de supressão hídrica no tanque e na raiz, mesmo período no qual as plantas atingiram valores de CRA abaixo de 50%, indicando que a eficiência fotossintética pode ser afetada negativamente em plantas em estresse por seca.

A tolerância de *A. blanchetiana* à seca, pode ser devido à sua capacidade de habitar ambientes de alta intensidade luminosa (Leme e Marigo, 1993), que pode ser um fator que leva à seca (Guo et al., 2018).

Vários estudos têm destacado que o acúmulo de clorofila é uma característica notável de resistência à seca em várias espécies de plantas adaptadas a regiões com escassez de água, como a espécie *Calotropis procera*, encontrada em regiões áridas da Ásia e África (Rivas et al., 2020), *Acacia saligna*, uma espécie nativa de zonas áridas (Nativ et al., 1999), e *Alopecurus pratensis* (Lukić et al., 2020). Neste estudo, houve um aumento nos níveis de clorofila no ápice das plantas de *Aechmea blanchetiana* mantidas sob seca. No entanto, não houve aumento nos níveis de clorofila nas plantas que permaneceram sem irrigação pelo mesmo período, mas com SAP/PAN a 5 g.L⁻¹ no tanque. Esse resultado sugere que, na concentração mais baixa utilizada neste estudo, o SAP/PAN foi eficaz em prevenir os sintomas de déficit hídrico. Freschi et al. (2010) observaram uma resposta semelhante na bromélia epífita *Guzmania monostachia*. Em seu estudo, os autores encontraram um aumento nos níveis de clorofila, especialmente no ápice da folha dessa espécie. Vale destacar ainda que as plantas de *A. blanchetiana* que receberam SAP/PAN na concentração de 15 g.L⁻¹ apresentaram valores de clorofila semelhantes aos das plantas mantidas sem o polímero, o que pode ser explicado pelo fato de que, em concentrações maiores de SAP/PAN, há menos água, e, portanto, pode não ser suficiente para manter o equilíbrio hídrico da planta por 42 dias, indicando que 5 g.L⁻¹ se mostrou mais favorável à manutenção hídrica da bromélia.

Os parâmetros bioquímicos analisados neste trabalho mostram que o teor de clorofila encontrado para *A. blanchetiana* pode desempenhar um papel crucial no aumento da eficiência fotossintética, permitindo que as plantas otimizem o processo de captação de luz (Nativ et al., 1999; Lukić et al., 2020; Rivas et al., 2020). Nesses trabalhos os autores relacionam essa resposta a uma maior demanda energética, o que pode indicar um mecanismo de aclimação e resposta à condição de estresse. No presente estudo, apesar dos altos níveis de HPCD observados, especialmente nas plantas que não receberam SAP/PAN no tanque, os valores de Fv/Fm, indicadores de eficiência fotossintética, permaneceram estáveis. Isso indica que o aumento nos níveis totais de clorofila pode estar associado a essa adaptação, que poderia ser

essencial para a sobrevivência das bromélias epífitas em condições de seca, destacando a importância da clorofila para lidar com o estresse hídrico.

A análise das enzimas do sistema antioxidante mostrou que o uso do SAP não induziu maiores atividades das enzimas SOD, CAT, APx e GR. Adicionalmente, a atividade antioxidante na região basal, onde o SAP/PAN foi aplicado, foi menor em relação ao ápice, fortalecendo a evidência de que o polímero não causa danos para essa espécie aos 42 dias de aplicação. Contudo, vale ressaltar as diferenças para esse parâmetro existentes ao longo da lâmina foliar. Conforme mencionado anteriormente para os parâmetros nutricionais, diversos estudos têm mostrado que existe variação no metabolismo ao longo da folha de várias espécies de bromélias (Abreu et al., 2018; Kleingesinds et al., 2018; Pikart et al., 2018; Mercier et al., 2019; Gonçalves et al., 2020). Os resultados do presente estudo estão de acordo com aqueles encontrados por Freschi et al. (2010), que demonstraram que diferentes regiões foliares da bromélia epífita *Guzmania monostachia* podem exibir papéis distintos em resposta às flutuações na disponibilidade de água. Além disso, Abreu et al. (2018) utilizaram a mesma espécie como modelo e observaram que, durante condições de seca, a região do ápice exibiu uma resposta mais rápida com maior atividade de enzimas antioxidantes em comparação com a região da base. Em nossa investigação, observamos tendências semelhantes, já que todas as enzimas analisadas mostraram maior atividade na região do ápice. Esses resultados reforçam ainda mais a ideia de que as respostas fisiológicas de *Aechmea blanchetiana* à disponibilidade de água são específicas da região e destacam a importância das respostas da região do ápice na adaptação às condições de seca.

Diversos trabalhos já mostraram que, em situação de estresse, as bromélias apresentam capacidade de aumentar a atividade de enzimas antioxidantes, para prevenir danos oxidativos. Gonzáles-Salvatierra et al. (2010) mostraram que a bromélia epífita *Tillandsia brachycaulos* apresenta um aumento no metabolismo antioxidante durante períodos de seca, indicando a capacidade dessa planta em prevenir danos oxidativos. Resultado similar ao encontrado por Menezes et al. (2020) em estudo conduzido com a bromélia *Acanthostachys strobilacea*, submetida por oito dias ao déficit hídrico, no qual foi observado que essa espécie possui plasticidade fisiológica para se aclimatar ao estresse oxidativo, uma vez que os níveis das enzimas da defesa antioxidante não se alteraram em relação ao grupo controle, bem como os níveis de LPO, mostrando que o déficit hídrico não foi um fator limitante para a sobrevivência dessa planta. Trabalhando com essa mesma espécie, Carvalho et al. (2021) mostrou que em dois dias de seca houve aumento da atividade das enzimas antioxidantes CAT e APx, indicando que essa pode ser uma característica de resposta rápida à seca em bromélias epífitas. Neste trabalho,

o efeito da seca em *A. blanchetiana* esteve associado com o aumento da atividade das enzimas antioxidantes, contudo o SAP não induziu sintomas de falta de água.

O uso de polímeros superabsorventes para prevenir a escassez de água no contexto agrícola, vem se mostrando nos últimos anos um método eficaz em regiões áridas (Oladosu et al, 2022). Frente às mudanças climáticas globais (IPCC, 2021) e às características fisiológicas referentes às bromélias (Benzing, 1990), a aplicação de um SAP no tanque pode ser uma alternativa para manter hidratadas plantas utilizadas no paisagismo, evitando que tenham prejuízos em seu potencial ornamental.

O SAP/PAN testado no tanque de *Aechmea blanchetiana*, mantidas sem irrigação, mostrou não causar danos e somado a isso, este estudo mostrou que a mesma espécie foi protegida do déficit hídrico pela presença do SAP/PAN no tanque, sobretudo na concentração de 5 g.L⁻¹. Em outros trabalhos envolvendo o uso de SAP no solo, as concentrações são baixas comparadas às utilizadas neste estudo, como 3 g.L⁻¹ ou 0,45% (v/v) (Nnadi e Brave 2011; AbdAllah et al. 2021), o que pode explicar o fato de que a concentração mais baixa ser a mais eficaz em fornecer água para a planta. Uma vez que a aplicação do SAP/PAN no tanque se mostrou favorável à manutenção hídrica de *A. blanchetiana*, esses resultados podem subsidiar novos estudos, visando a padronização do uso do SAP/PAN no tanque de bromélias utilizadas no paisagismo como alternativa para redução do uso da água na irrigação.

CONCLUSÃO

O polímero superabsorvente de poliacrilonitrila (SAP/PAN), já utilizado na agricultura comercial no substrato, fornecendo água para a raiz das plantas, mostrou-se neste estudo eficaz em evitar sintomas de déficit hídrico, quando aplicado nas folhas do tanque da bromélia *Aechmea blanchetiana*, destacando-se o melhor resultado na concentração de 5 g.L⁻¹.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AbdAllah, A.M., Mashaheet, A.M. & Burkey, K.O.** 2021. Super Absorbent Polymers Mitigate Drought Stress in Corn (*Zea Mays* L.) Grown under Rainfed Conditions. *Agricultural Water Management* 254: 106946. doi: 10.1016/j.agwat.2021.106946.
- Abreu, M.E., Carvalho, V. & Mercier, H.** 2018. Antioxidant capacity along the leaf blade of the C3-CAM facultative bromeliad *Guzmania monostachia* under water deficit conditions. *Functional Plant Biology* 45: 620–629. doi: 10.1071/FP17162.
- Balen, B., Tkalec, M., Pavoković, D., Pevalek-Kozlina, B. & Krsnik-Rasol, M.** 2009. Growth conditions in in vitro culture can induce oxidative stress in *Mammillaria gracilis* tissues. *J. Plant Growth Regul.* 28: 36-45. doi: 10.1007/s00344-008-9072-5.
- Beauchamp, C. & Fridovich, I.** 1971. Superoxide Dismutase: Improved Assays and an Assay Applicable to Acrylamide Gels. *Anal. Biochem.* 44: 276–287. doi: 10.1016/0003-9861(71)90313-9.
- Behera, S & Mahanwar, P.A.** 2019. Superabsorbent Polymers in Agriculture and Other Applications: A Review. *Polymer-Plastics Technology and Materials* 59(4): 1–16. doi: 10.1080/25740881.2019.1647239.
- Benzing, D.H.** 1990. Vascular epiphytes: General biology and related biota. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN: 978-0-521-26630-7.
- Brito-Arduino, M., Serpa, L.L.N., Rangel, O., & Santos, G.V.** 2023. Evaluation of Superabsorbent Polymer (SAP) in Oviposition Traps Used in the Integrated Control of *Aedes Aegypti* (Linnaeus, 1762) and *Aedes Albopictus* (Skuse, 1894) (Diptera: Culicidae). *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 56: (e0337-2022). doi: 10.1590/0037-8682-0337-2022.
- Buchholz, F.L., & Graham, A.T.** 1998. Modern Superabsorbent Polymer Technology. Wiley-VCH. ISBN: 978-0-471-19411-8.
- Campostrini, E.** 2001. Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas. UFNF, Rio de Janeiro.
- Carroll, C.J.W., Martin, P.H., Knapp, A.K. & Ocheltree, T.W.** 2019. Temperature induced shifts in leaf water relations and growth efficiency indicate climate change may limit aspen growth in the Colorado Rockies. *Environ Exp Bot* 159: 132–137. doi: 10.1016/j.envexpbot.2018.12.014.

- Carvalho, V., Gaspar, M. & Nievola, C.C.** 2021. Short-Term Drought Triggers Defence Mechanisms Faster than ABA Accumulation in the Epiphytic Bromeliad *Acanthostachys strobilacea*. *Plant Physiology and Biochemistry* 160(2021): 62–72. doi: 10.1016/j.plaphy.2020.12.030.
- Colom, M.R. & Vazzana, C.** 2003. Photosynthesis and PSII Functionality of Drought-Resistant and Drought-Sensitive Weeping Lovegrass Plants. *Environmental and Experimental Botany* 49: 135-144. doi: 10.1016/S0098-8472(02)00065-5.
- Das, K. & Roychoudhury, A.** 2014. Reactive Oxygen Species (ROS) and Response of Antioxidants as ROS-Scavengers during Environmental Stress in Plants. *Frontiers in Environmental Science* 2. doi: 10.3389/fenvs.2014.00053.
- Endres, L. & Mercier, H.** 2001. Nitrogen nutrition of bromeliads. *In*: Horst, W.J., et al. *Plant Nutrition. Developments in Plant and Soil Sciences* 92. Springer, Dordrecht. doi: 10.1007/0-306-47624-X_60.
- Fleta-Soriano, E., Pintó-Marijuan, M. & Munné-Bosch, S.** 2015. Evidence of drought stress memory in the facultative CAM, *Aptenia cordifolia*: Possible role of phytohormones. *PLoS ONE* 10: 1–12. doi: 10.1371/journal.pone.0135391.
- Fox, T. C. & Guerinot, M. L.** 1998. Molecular biology of cation transport in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 49: 669-696.
- Frank, J.H. & Lounibos, L.P.** 2009. Insects and allies associated with bromeliads: A Review. *Terrestrial Arthropod Reviews* 1(2): 125–53. doi: 10.1163/187498308X41474
- Freschi, L., Takahashi, C.A., Cambui, C.A., Semprebom, T.R., Cruz, A.B., Mito, P.T., de Melo Versieux, L., Calvente, A., Latansio-Aidar, S.R., Aidar, M.P.M., & Mercier, H.** 2010. Specific leaf areas of the tank bromeliad *Guzmania monostachia* perform distinct functions in response to water shortage. *Journal of Plant Physiology*, 167(7): 526–533. doi: 10.1016/j.jplph.2009.10.011.
- Gilman, E.F. & Robert, J.B.** 1999. *Your Florida guide to shrubs: selection, establishment and maintenance*. Gainesville: University Press of Florida: 116. ISBN: 978-0-813-04244-2.
- Gonçalves, A.Z., Oliveira, M.R., Coutinho-Neto, A.A., & Mercier, H.** 2020. Thinking of the leaf as a whole plant: How does N metabolism occur in a plant with foliar nutrient uptake? *Environmental and Experimental Botany* 178: 104163–104163. doi: 10.1016/j.envexpbot.2020.104163.

- González-Salvatierra, C., Andrade, J.L., Escalante-Erosa, F., García-Sosa, K. & Peña-Rodríguez, L.M.** 2010. Antioxidant content in two CAM bromeliad species as a response to seasonal light changes in a tropical dry deciduous forest. *Journal of Plant Physiology* 167(10): 792–799. doi: 10.1016/j.jplph.2010.01.001.
- Guo, R., Shi, L.X., Jiao, Y., Li, M.X., Zhong, X.L., Gu, F.X., Liu, Q., Xia, X., & Li, H.R.** 2018. Metabolic Responses to Drought Stress in the Tissues of Drought-Tolerant and Drought-Sensitive Wheat Genotype Seedlings. *AoB PLANTS* 10(2). doi: 10.1093/aobpla/ply016.
- He, F.** 2011. BCA (Bicinchoninic Acid) Protein Assay. *Bio-protocol* 1(5): e44.
- Hussain, S., Rao, M.J., Anjum, M. A., Ejaz, S., Zakir, I., Ali, M.A., Ahmad, N. & Ahmad, S.** 2019. Oxidative Stress and Antioxidant Defense in Plants Under Drought Conditions. *In: Hasanuzzaman, M., Hakeem, K., Nahar, K., Alharby, H. (eds) Plant Abiotic Stress Tolerance.* Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-06118-0_9.
- IGTPAN.** 2013. Aplicações da poliacrilonitrila. Disponível em: <<https://www.igtpan.com/aplicacoes.asp>>
- IPCC.** 2021. Summary for Policymakers. *In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [MassonDelmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R. & Zhou, B. (eds.)]. Cambridge University Press.
- Kanashiro, S., Ribeiro, R.C.S., Gonçalves, A.N., Dias, C.T.S. & Jocy, T.** 2007. Effects of nitrogen concentrations on the growth of *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Sm. cultured in vitro. *Hoehnea* 34(1). doi: 10.1590/S2236-89062007000100003
- Kleingesinds, C.K., Gobara, B.N.K., Mancilha, D., Rodrigues, M.A., Demarco, D., & Mercier, H.** 2018. Impact of tank formation on distribution and cellular organization of trichomes within *Guzmania monostachia* rosette. *Flora* 243: 11–18. doi: 10.1016/j.flora.2018.03.013.
- Ladino, G., Ospina-Bautista, F., Varón, J.E., Jerabkova, L. & Kratina, P.** 2019. Ecosystem services provided by bromeliad plants: A Systematic Review. *Ecology and Evolution* 9(12): 7360–7372. doi: 10.1002/ece3.5296.

- Leme, E.M.C. & Marigo, L.C.** 1993. Bromélias na natureza. Rio de Janeiro: Mrigo Comunicação Visual: 183. ISBN: 858-5-35203-5.
- Leroy, C., Gril, E., Ouali, L.S, Coste, S., Gérard, B, Maillard, P., Mercier, H. & Stahl, C.** 2019. Water and Nutrient Uptake Capacity of Leaf-Absorbing Trichomes vs. Roots in Epiphytic Tank Bromeliads. *Environmental and Experimental Botany* 163: 112–23. doi: 10.1016/j.envexpbot.2019.04.012.
- Lichtenthaler, H.K. & Wellburn, A.R.** 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.* 11: 591–592. doi: 10.1042/bst0110591.
- Luck, H.** 1965 Catalase. *In*: Bergmeyer, H.U., Ed., *Method of Enzymatic Analysis*, Academic Press, New York and London, 885-894. doi: 10.1016/B978-0-12-395630-9.50158-4.
- Lukić, N., Kukavica, B., Davidović-Plavšić, B., Hasanagić, D., & Walter, J.** 2020. Plant stress memory is linked to high levels of anti-oxidative enzymes over several weeks. *Environmental and Experimental Botany* 178: 104166. doi: 10.1016/j.envexpbot.2020.104166.
- Malavolta, E., Vitti, G.C. & Oliveira, S. A.** 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo. 319p.
- Marschner, H.** 2002. *Mineral Nutrition of Higher Plants: 2 Edition*. Institute of Plant Nutrition, University of Hohenheim, Germany. 889p.
- Martínez, J.P., Silva, H., Ledent, J.F., & Pinto, M.** 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy* 26(1): 30–38. doi: 10.1016/j.eja.2006.08.003.
- Menezes, F.O., Carvalho, V., Moreira, V.A., Rigui, A.P., Gaspar, M & Nievola, C.C.** 2020. Juvenile plants of an epiphytic bromeliad exhibit rapid changes in carbohydrate content and antioxidant capacity to cope with water withholding. *Theor. Exp. Plant Physiol.* 32: 89–98. doi: 10.1007/s40626-020-00172-z.

- Mercier, H., Rodrigues, M.A., Andrade, S.C.S., Coutinho, L.L., Gobara, B.N.K., Matiz, A., Mito, P.T. & Gonçalves, A.Z.** 2019. Transcriptional Foliar Profile of the C3-CAM Bromeliad *Guzmania monostachia*. PLOS ONE 14(10): e0224429–29. doi: 10.1371/journal.pone.0224429.
- Mittler, R.** 2017. ROS Are Good. Trends in Plant Science 22(1): 11–19. doi: 10.1016/j.tplants.2016.08.002.
- Mittova, V., Tal, M., Volokita, M. & Guy, M.** 2003. p-regulation of the leaf mitochondrial and peroxisomal antioxidative systems in response to salt-induced oxidative stress in the wild salt-tolerant tomato species *Lycopersicon pennellii*. Plant, Cell and Environment 26: 845–856. doi: 10.1046/j.1365-3040.2003.01016.x.
- Nakano, Y. & Asada, K.** 1981. Hydrogen Peroxide is Scavenged by Ascorbate-specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts. Plant Cell Physiol. 22: 867–880. doi: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232.
- Nativ, R., Ephrath, J.E., Berliner, P.R. & Saranga, Y.** 1999. Drought resistance and water use efficiency in *Acacia saligna*. Australian Journal of Botany 47: 577–586. doi: 10.1071/BT98022.
- Nnadi, F. & Brave, C.** 2011. Environmentally Friendly Superabsorbent Polymers for Water Conservation in Agricultural Lands. Journal of Soil Science and Environmental Management 2(7): 206–11. doi: 10.5897/JSSEM.9000040.
- Oladosu, Y., Rafii, M.Y., Arolu, F., Chukwu, S.C., Salisu, M.A., Fagbohun, I.K., Muftaudeen, T.K., Swaray, S., & Haliru, B.S.** 2022. Superabsorbent Polymer Hydrogels for Sustainable Agriculture: A Review. Horticulturae, 8(7): 605. doi: 10.3390/horticulturae8070605.
- Pignata, M.L., Gudio, G.L., Wannaz, E.D., Plá, R.R., González, C.M., Carreras, H.A. & Orellana, L.** 2002. Atmospheric quality and distribution of heavy metals in Argentina employing *Tillandsia capillaris* as a biomonitor. Environ. Pollut. 120: 59–68. doi: 10.1016/S0269-7491(02)00128-8.
- Pikart, F.C., Marabesi, M.A., Mito, P.T., Gonçalves, A.Z., Matiz, A., Alves, F.R.R., Mercier, H. & Aidar, M.P.M.** 2018. The contribution of weak CAM to the photosynthetic metabolic activities of a bromeliad species under water deficit. Plant Physiology and Biochemistry 123: 297–303. doi: 10.1016/j.plaphy.2017.12.030.

- Rivas, R., Barros, V., Falcão, H., Frosi, G., Arruda, E. & Santos, M.** 2020. Ecophysiological traits of invasive C3 species *Calotropis procera* to maintain high photosynthetic performance under high VPD and low soil water balance in semi-arid and seacoast zones. *Frontiers in Plant Science* 11: 1–16. doi: 10.3389/fpls.2020.00717.
- Santa-Rosa, S., Souza, F.V.D., Vidal, A.M., Ledo, C.A.S. & Santana, J.R.F.** 2013. Micropropagation of the Ornamental Vulnerable Bromeliads *Aechmea blanchetiana* and *Aechmea distichantha*. *Horticultura Brasileira* 31(1): 112–18. doi: 10.1590/s0102-05362013000100018.
- Santos, M.P., Maia, V.M., Oliveira, F.S., Pegoraro, R.F., Santos, S.R. & Aspiazú, I.** 2018. Estimation of Total Leaf Area and D-Leaf Area of Pineapple from Biometric Characteristics. *Revista Brasileira de Fruticultura* 40(6). doi: 10.1590/0100-29452018556.
- Schaedle, M. & Bassahm, J.** 1977. Chloroplast glutathione reductase. *Plant Physiol.* 59: 1011–1012. doi: 10.1104/pp.59.5.1011.
- Souza, S.R., Blande, J.D. & Holopainen, J.K.** 2013. Pre-exposure to nitric oxide modulates the effect of ozone on oxidative defenses and volatile emissions in lima bean. *Biotechnol. Anim. Husb.* 33: 111–125. doi: 10.1016/j.envpol.2013.03.065.
- Svensk, M., Coste, S., Gérard, B., Gril, E., Julien, F., Maillard, P., Stahl, C. & Leroy, C.** 2020. Drought effects on resource partition and conservation among leaf ontogenetic stages in epiphytic tank bromeliads. *Physiologia Plantarum* 170(4): 488–507. doi: 10.1111/ppl.13161.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A.** 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal* (6ª ed.). Porto Alegre: Artmed. 858p.
- Takahashi, C.A., Mercier H.** 2011. Nitrogen metabolism in leaves of a tank epiphytic bromeliad: characterization of a spatial and functional division. *Journal of Plant Physiology* 168: 1208–1216. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.01.008> PMID: 21333380
- Tavares, A.R., Giampaoli, P., Machado, J., Kanashiro, S., Chu, E.P., Pita, P.B.** 2015. Structural analysis of the foliar epidermis during acclimatization of *Aechmea blanchetiana* (Bromeliaceae) in vitro cultured. *Horticultura Brasileira* 33: 45-50. doi: 10.1590/S0102-053620150000100008.

- Vanhoutte, B., Ceusters, J. & De Proft, M.P.** 2016. The “tubing” phenomenon in commercial cultivation of *Guzmania*: morphology, physiology and anatomy. *Scientia Horticulturae*, 205: 112–118. doi: 10.1016/j.scienta.2016.04.008.
- Weng, X.Y., Zheng, C.J., Xu, H.X. & Sun, J.Y.** 2007. Characteristics of photosynthesis and functions of the water-water cycle in rice (*Oryza sativa*) leaves in response to potassium deficiency. *Physiol. Plant.* 131: 614–621. doi: 10.1111/j.1399-3054.2007.00978.x.
- Winkler, U. & Zotz, G.** 2009. Highly efficient uptake of phosphorus in epiphytic bromeliads. *Annals of Botany* 103(3): 477–484. doi: 10.1093/aob/mcn231.
- Young, J.L.M., Kanashiro, S., Jocys, T. & Tavares, A.R.** 2018. Silver Vase Bromeliad: Plant Growth and Mineral Nutrition under Macronutrients Omission. *Scientia Horticulturae* 234: 318–22. doi: 10.1016/j.scienta.2018.02.002.
- Zotz, G., Enslin, A., Hartung, W. & Ziegler, H.** 2004. Physiological and anatomical changes during the early ontogeny of the heteroblastic bromeliad, *Vriesea sanguinolenta*, do not concur with the morphological change from atmospheric to tank form. *Plant, Cell & Environment* 27(11): 1341–1350. doi: 10.1111/j.1365-3040.2004.01223.x.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os polímeros superabsorventes (SAP) são substâncias amplamente utilizadas no contexto agrícola em razão da sua função de reter água entre suas partículas (Buchholz e Graham, 1998), formando um hidrogel, sendo comum ser utilizado na raiz de plantas cultivadas (Behera e Mahanwar, 2019).

No presente estudo, foi testada a hipótese de se utilizar um polímero com essas propriedades em contato direto com a folha da bromélia ornamental *Aechmea blanchetiana*, preenchendo o tanque dessas plantas. O SAP escolhido foi aquele produzido a base de poliacrilonitrila (SAP/PAN), visto que já é um produto comercializado como gel de plantio.

Os resultados mostraram que a presença do hidrogel formado pelo SAP/PAN no tanque dessa bromélia por 42 dias não foi capaz de causar danos e/ou sintomas fisiológicos de estresse em nenhuma das concentrações testadas neste estudo, indicando que essa técnica pode apresentar potencial para subsidiar políticas públicas de controle vetorial, visto que Brito-Arduino et al. (2023) constataram a eficiência do SAP/PAN em prevenir a eclosão de larvas de culicídeos em armadilhas ovopositoras, sendo necessários novos estudos que validem a eficiência desse polímero em evitar a proliferação de mosquitos quando aplicado no tanque de bromélias ornamentais.

Além disso, observou-se que o SAP/PAN pode ainda ser útil para o manejo de bromélias ornamentais, tendo em vista a característica absorvente das folhas de bromélias (Benzing, 1990; Leroy et al., 2019), uma vez que as plantas de *A. blanchetiana* mantidas com SAP/PAN, sobretudo na concentração de 5 g.L⁻¹ se mostraram mais tolerantes à restrição de irrigação por 42 dias, uma vez que não apresentaram sintomas de déficit hídrico.

Assim, os resultados encontrados aqui apontam para um potencial uso do SAP/PAN no tanque de bromélias ornamentais com duas finalidades:

1. Como forma de evitar o desenvolvimento de larvas de mosquitos de importância epidemiológica, visto que a presença do hidrogel não causou injúrias à bromélia;
2. Como forma de evitar sintomas de seca, sendo indicada a concentração de 5 g.L⁻¹.

Cabe ressaltar que este estudo é pioneiro em tais objetivos, sendo necessários novos estudos que aprofundem especificamente para as devidas técnicas de manejo e aplicação para as finalidades citadas, levando em consideração condições ambientais específicas, como regime de chuvas, temperatura entre outros fatores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Behera, S & Mahanwar, P.A.** 2019. Superabsorbent Polymers in Agriculture and Other Applications: A Review. *Polymer-Plastics Technology and Materials* 59(4): 1–16. doi: 10.1080/25740881.2019.1647239.
- Benzing, D.H.** 1990. Vascular epiphytes. General biology and related biota. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN: 978-0-521-26630-7.
- Brito-Arduino, M., Serpa, L.L.N., Rangel, O., & Santos, G.V.** 2023. Evaluation of Superabsorbent Polymer (SAP) in Oviposition Traps Used in the Integrated Control of *Aedes Aegypti* (Linnaeus, 1762) and *Aedes Albopictus* (Skuse, 1894) (Diptera: Culicidae). *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 56: (e0337-2022). doi: 10.1590/0037-8682-0337-2022.
- Buchholz, F.L., & Graham, A.T.** 1998. Modern Superabsorbent Polymer Technology. Wiley-VCH. ISBN: 978-0-471-19411-8.
- Leroy, C., Gril, E., Ouali, L.S, Coste, S., Gérard, B, Maillard, P., Mercier, H. & Stahl, C.** 2019. Water and Nutrient Uptake Capacity of Leaf-Absorbing Trichomes vs. Roots in Epiphytic Tank Bromeliads. *Environmental and Experimental Botany* 163: 112–23. doi: 10.1016/j.envexpbot.2019.04.012.