



Desempenho inicial de acessos de *Opuntia* spp. com resistência à *Dactylopius opuntiae* no Semiárido paraibano

Initial performance of Opuntia spp. with resistance to Dactylopius opuntiae in the semi-arid region of Paraíba

João Paulo de Oliveira Santos¹

 <https://orcid.org/0000-0003-1826-1746>  <http://lattes.cnpq.br/1399888363177878>

Manoel Bandeira de Albuquerque²

 <https://orcid.org/0000-0003-1871-0046>  <http://lattes.cnpq.br/5479581631378924>

Isaias Vitorino Batista de Almeida³

 <https://orcid.org/0000-0003-1070-6536>  <http://lattes.cnpq.br/7577098481830946>

Mateus Costa Batista⁴

 <https://orcid.org/0000-0002-1847-0575>  <http://lattes.cnpq.br/0545464390582078>

José Rayan Eraldo Souza Araújo⁵

 <https://orcid.org/0000-0003-4699-5587>  <http://lattes.cnpq.br/3439717998968821>

José Thyago Aires Souza⁶

 <https://orcid.org/0000-0002-1508-1136>  <http://lattes.cnpq.br/1840247245343036>

Walter Esfrain Pereira⁷

 <https://orcid.org/0000-0002-4130-1702>  <http://lattes.cnpq.br/2768224289814375>

João Henrique Barbosa da Silva⁸

 <https://orcid.org/0000-0002-7673-0953>  <http://lattes.cnpq.br/5550608219393804>

CIÊNCIAS AGRÁRIAS

RESUMO

No Semiárido Brasileiro, espécies do gênero *Opuntia* detêm relevante importância como reserva forrageira. No entanto, algumas pragas, como *Dactylopius opuntiae*, representam um entrave para essa cultura. Nesse sentido, avaliou-se 15 acessos de *Opuntia* com resistência

¹ Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Areia/PB – Brasil. E-mail: joao.paulo@ifto.edu.br

² E-mail: bandeira1977@gmail.com

³ E-mail: isaiasvba@gmail.com

⁴ E-mail: matheus1384@hotmail.com

⁵ E-mail: rayancaufpb@gmail.com

⁶ E-mail: thiago.agro@hotmail.com

⁷ E-mail: walterufpb@yahoo.com.br

⁸ E-mail: henrique485560@gmail.com



esta praga, quanto aos aspectos morfológicos, produtivos e de trocas gasosas. As avaliações foram feitas 180 dias após o plantio, sendo mensuradas variáveis como altura e largura de plantas, índice de área de cladódio, sobrevivência, produtividade de matéria fresca, taxa de captação de CO₂, eficiência instantânea de uso da água, eficiência intrínseca do uso de água e eficiência de carboxilação instantânea. Os resultados demonstraram elevada variabilidade entre os acessos para as variáveis morfológicas e produtivas. A análise de componentes principais evidenciou forte associação entre as características morfológicas e a taxa de captação de CO₂, eficiência instantânea de uso da água, eficiência intrínseca do uso de água e eficiência de carboxilação instantânea. Neste estudo foram identificados acessos de *Opuntia* com características superiores, como os acessos 48, 49, 75, 91 e 100.

Palavras-chave: adaptação; produtividade; trocas gasosas; palma forrageira.

ABSTRACT

In the Brazilian semi-arid region, species of the genus Opuntia are of great importance as a forage reserve. However, some pests, such as Dactylopius opuntiae, represent an obstacle to this crop. In this regard, this study aimed to evaluate 15 Opuntia accessions with resistance to this pest, considering morphological, productive and gas exchange aspects. The evaluations occurred after 180 days of planting, measuring variables such as plant height and width, cladode area index, survival, fresh matter productivity, CO₂ capture rate, instantaneous water use efficiency, intrinsic water use efficiency, and water and instantaneous carboxylation efficiency. The results showed high variability between accessions for morphological and productive variables. Principal component analysis showed a strong association between morphological characteristics and CO₂ uptake rate, instantaneous water use efficiency, intrinsic water use efficiency, and instantaneous carboxylation efficiency. The results obtained in this study allow identifying Opuntia accessions with superior characteristics, such as accessions 48, 49, 75, 91, and 100.

Keywords: adaptation; productivity; gas exchange; opuntia spp.

1. INTRODUÇÃO

A família Cactaceae possui cerca de 130 gêneros e 2.000 espécies originalmente nativas do Novo Mundo. (ABOUSEADAA *et al.*, 2020). Agrupa uma elevada diversidade de espécies xerófitas distribuídas em ambientes áridos e semiáridos (TENÓRIO-ESCADÓN *et al.*, 2022), que possuem bom desempenho devido às características morfológicas e anatômicas que permitem sua adaptação a diferentes condições ambientais. (ROSAS-REINHOLD *et al.*, 2021).

Opuntia é o gênero mais difundido de Cactaceae e suas espécies são comumente conhecidas como peras espinhosas, tunas e nopales. (KÖHLER *et al.*, 2021). Esse gênero possui importância econômica desde os tempos pré-hispânicos (REALINI *et al.*, 2015) o que se deve ao seu grande potencial de utilização para produção de cladódios, forragem e frutos (VENTURA-AGUILAR *et al.*, 2017) em condições de altas temperaturas, baixa pluviosidade, solos salinos e/ou severamente degradados e com suprimento limitado de nutrientes. (AZIZI-GANNOUNI *et al.*, 2020; SIPANGO *et al.*, 2022).

No Brasil, *Opuntia* detêm relevante importância, especialmente na Região Semiárida, onde algumas de suas espécies são cultivadas para fins multiusos (frutos/forragens) ou apenas para a produção de forragem, constituindo-se como importante reserva



forageira para a pecuária dessa região, principalmente durante a estação seca do ano. (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2021). No entanto, a introdução da falsa cochonilha do carmim *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (1896) (Hemiptera: Dactylopiidae) - importante praga desta cultura - levou a perdas significativas nos palmais brasileiros. (SILVA *et al.*, 2018). Isso ocorreu especialmente porque a principal espécie cultivada até então, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., mostrou-se extremamente suscetível a esse inseto-praga, o que resultou na destruição de milhares de hectares de áreas cultivadas. (TORRES; GIORGI, 2018).

Dessa forma, diante da redução dos estoques forrageiros para a pecuária local e do comprometimento da produção de frutos, esforços foram requeridos para a recomposição dos palmais brasileiros, principalmente os pautados na introdução de materiais resistentes à falsa cochonilha do carmim. (FERNANDES *et al.*, 2021).

A introdução de genótipos em uma dada região requer necessariamente uma etapa de conhecimento das características dessas plantas, visto que por meio desses dados é possível selecionar ou descartar genótipos com características indesejáveis. (AMORIM *et al.*, 2015). Assim, torna-se necessário avaliar a adaptação desses materiais e sua caracterização agrônômica (EDVAN *et al.*, 2020), como, por exemplo, seus aspectos vegetativos e morfológicos. (AMORIM *et al.*, 2015). Ademais, outro ponto que deve ser considerado é a obtenção de informações quanto aos aspectos fisiológicos, visto que há grandes lacunas quanto a dados sobre a fisiologia dessa cultura (SOUZA *et al.*, 2019; ARAÚJO *et al.*, 2022), de modo que a análise dessas informações pode ser um importante critério a se considerar na seleção de genótipos de *Opuntia*. (SOUZA *et al.*, 2019).

Espera-se que acessos de *Opuntia* spp. que alcancem maior largura, altura e índice de área de cladódio, possuam maiores taxas de captação de CO₂ e de eficiência instantânea de uso da água, levando assim, a obtenção de maiores produtividades de matéria fresca. Nesse sentido, o objetivo desse estudo foi avaliar 15 acessos de *Opuntia* com resistência à falsa cochonilha do carmim quanto a morfologia, produção e trocas gasosas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), Estação Experimental Pendência, localizada no município de Soledade, Paraíba, Semiárido Brasileiro. Segundo a classificação de Köppen, o tipo climático do município é Bsh (semiárido e quente), com umidade relativa do ar em torno de 68% e temperaturas médias anuais em torno de 30 °C, com déficit hídrico durante quase todo ano. (ALVARES *et al.*, 2013).

Realizou-se a seleção de 15 acessos pertencente ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de *Opuntia* spp. da referida instituição (Tabela 1), conforme recomendação de pesquisas anteriores do programa de melhoramento genético da cultura desenvolvidas na Estação.

A seleção das plantas se deu pelo potencial frutífero e pela resistência à falsa cochonilha do carmim *D. opuntiae*. Realizou-se o cultivo dos 15 acessos de *Opuntia*



spp. distribuídos em delineamento de blocos casualizados, com nove repetições, sendo a parcela útil correspondente a duas plantas, espaçadas 0,3 metros entre si, e 0,5 metros entre parcelas. Cada bloco foi composto por uma linha, dispostas em espaçamento de 1,5 metros entre si. Utilizou-se uma densidade populacional de 22.222 plantas por hectare. As bordaduras de contorno da área experimental foram constituídas por linhas plantadas com *Opuntia stricta* Haw.

Tabela 1 - Acessos de *Opuntia* spp. utilizados no estudo, pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG), da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), Estação Experimental Pendência, Soledade, Paraíba, Brasil.

Acesso	Nome	Origem	Espécie
46	Tapón pelón - T81	Campo Narro, Matehuala, San Luis Potosí, México	<i>O. robusta</i> Wendl.
47	Forrajero Cenizo - F27	Rancho M.R., Ramos Arizpe, Coahuila, México	<i>O. rzedowskii</i> Scheinvar
48	Camueso - T35	La Tinaja, San Diego de la Unión, Guanajuato, México	<i>O. megacantha</i> Salm-Dyck
49	Blanco Valtier rilla - F48	Valtierrilla, Guanajuato, México	<i>O. atropes</i> Rose
51	Naranjona - T40	Rancho Las Papas, Zacatecas, México	<i>O. megacantha</i> Salm-Dyck
58	Tapón	Nopalera UACH, Chapingo, México	<i>O. robusta</i> Wendl.
60	Durasnillo - F25	La Pila, San Luis Potosí, México	<i>O. leucotricha</i> DC.
64	F Espinoso	Nopalera UACH, Chapingo, México	<i>Opuntia</i> sp.
75	Penca Alargado - F34	Vivero SEMARNAP, Saltillo, Coahuila, México	<i>O. megacantha</i> Salm-Dyck
83	Espinoso Amarillo - F46	Rancho Bill Maltsberger, Cotulla, Texas	<i>O. robusta</i> Wendl.
91	Aguamielilla Hgo. - T72	Campo Narro, Matehuala, San Luis Potosí, México	<i>O. joconostle</i> A. Web.
94	Xoconostle - T34	La Tinaja, San Diego de la Unión, Guanajuato, México	<i>O. joconostle</i> A. Web.
100	Tuna Morada - T80	Faculdade Agronomia, Marin, Nuevo León, México	<i>O. megacantha</i> Salm-Dyck
110	G9. IPA-100431 - Clone 9 OEA	IPA, Arcoverde, Pernambuco, Brasil	<i>O. undulata</i> Griffiths
115	G14. IPA-200149 - V19	IPA, Arcoverde, Pernambuco, Brasil	<i>O. robusta</i> var. <i>larreyi</i> (F.A.C.Weber) Bravo

Fonte: Autores.

O experimento foi conduzido em condições de campo, em Luvisolo Crômico (SANTOS *et al.*, 2013), com os seguintes atributos químicos: pH de 6,0; 23,03 mg dm⁻³ de P; 153,76 mg dm⁻³ de K⁺; 6,07 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 3,45 cmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 0,16 cmol_c dm⁻³ de Na⁺; 2,49 cmol_c dm⁻³ de H⁺ + Al³⁺; 0,05 cmol_c dm⁻³ de Al³⁺; soma de bases de 10,07 cmol_c dm⁻³; 12,57 cmol_c dm⁻³ de CTC, saturação por bases de 61,5% e 16,36 g kg⁻¹ de matéria orgânica.



O plantio foi realizado em março de 2021, sendo selecionadas raquetes saudáveis e vigorosas. Após a colheita, estas permaneceram na sombra por sete dias para a cura e foram posteriormente plantadas (Figura 1A e 1B). O manejo de plantas daninhas no campo experimental foi realizado como uso de capinas manuais e herbicida.

Aos 60 dias após o plantio (DAP) foi realizada uma adubação em função dos atributos químicos do solo e da respectiva recomendação sugerida para essa cultura, com base em Santos *et al.* (2008).

De modo a minimizar os efeitos da sazonalidade pluviométrica no desenvolvimento inicial dos acessos de *Opuntia* spp. em estudo, utilizou-se um sistema de irrigação suplementar (Figura 1C e 1D). Para tanto, aplicou-se uma lâmina mensal de 5,0 litros por parcela, sendo este montante dividido em aplicações a cada 15 dias, iniciando-se a partir de 120 dias após o plantio. Utilizou-se gotejamento convencional, com eficiência de 95%, pressão de serviço de 0,2 MPa, e fita gotejadora de 15 mm de diâmetro nominal com vazão de $5 \text{ l h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, com um gotejador para cada duas plantas. A água utilizada para irrigação apresentava as seguintes características: pH de 7,7; $2,25 \text{ dS m}^{-1}$ de condutividade elétrica; $16,60 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de cloreto; $3,87 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de Ca^{2+} ; $5,85 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de Mg^{2+} ; $0,18 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de K^+ ; $10,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de Na^+ ; $0,20 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de CO_3^{2-} ; $4,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de HCO_3^- , sendo classificada como C3S2. Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos por meio de pluviômetro instalado na Estação Experimental.

Aos 180 dias após o plantio, as duas plantas da parcela experimental foram usadas para a realização das análises morfológicas e biométricas. A altura (AP), largura (LP), número total de cladódios por planta (NCP), número de total de cladódios de primeira ordem (NC1), de segunda ordem (NC2), até “n” ordens, assim como a largura (LC), comprimento (CC), perímetro (PC) e espessura (EC) dos cladódios foram mensurados, conforme a ordem de surgimento dos mesmos na referida ramificação. A taxa de sobrevivência foi medida dividindo-se o número de plantas vivas pelo número total de plantas iniciais de cada acesso, sendo expressa em porcentagem.

A área dos cladódios (AC) foi estimada com os dados obtidos de largura e comprimento dos cladódios, conforme metodologia proposta por García-Cortázar e Nobel (1991). A partir da área do cladódio e do espaçamento entre as fileiras e entre as plantas, foi estimado o índice de área do cladódio ($\text{IAC m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$), conforme proposto por Pinheiro *et al.* (2014).

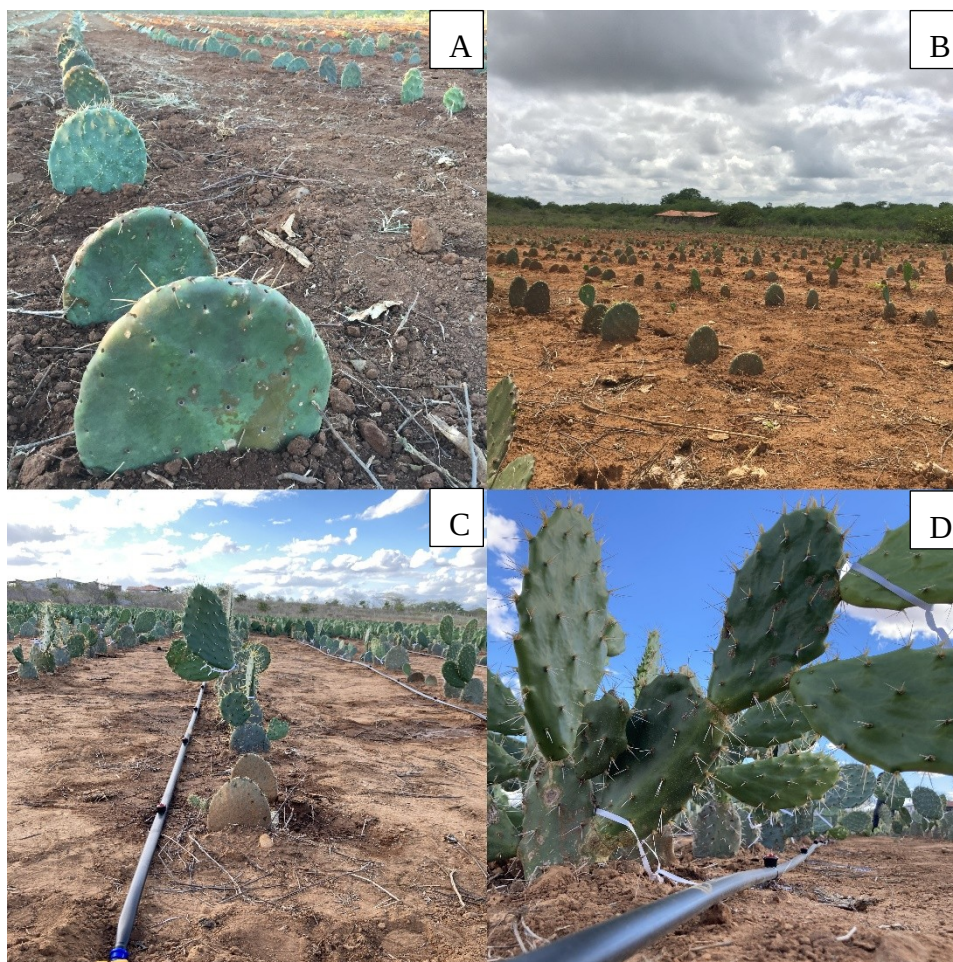
A estimativa da produtividade de matéria fresca dos acessos foi determinada de forma não destrutiva, segundo a metodologia proposta por Menezes *et al.* (2005), determinando-se inicialmente a massa média dos cladódios. Posteriormente, a massa média dos cladódios foi multiplicada pelo número médio de cladódios por planta e pelo número de plantas por hectare, obtendo-se assim, a produtividade estimada de matéria fresca em t ha^{-1} .

Para as análises de trocas gasosas, foram mensuradas a condutância estomática (g_s) ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de assimilação líquida de CO_2 (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ mol}^{-1}$). A partir desses dados foram calculadas a eficiência instantânea de uso da água (EUA), com base na relação da taxa fotossintética com transpiração (A/E); eficiência intrínseca do



uso de água ($EiUA$) relacionando a taxa fotossintética com condutância estomática (A/g_s); e eficiência instantânea de carboxilação ($EiCi$), relacionando a taxa fotossintética com a concentração de carbono interno (A/C_i).

Figura 1 - Acessos de *Opuntia* spp. recém-plantados (A), acessos 30 dias após o plantio (B), detalhe do sistema de irrigação (C), e detalhe do acesso 49 aos 180 dias após o plantio (D).



Fonte: Autores.

Visto que as espécies de *Opuntia* possuem metabolismo CAM (metabolismo do ácido crassuláceo), as medições de trocas gasosas foram realizadas no período noturno, entre às 22h00 e 24h00. (SOUZA *et al.*, 2020). Utilizou-se um cladódio maduro por planta, em três plantas por tratamento. Foi utilizada uma câmara foliar de 6,25 cm², RFA (radiação fotossinteticamente ativa) desligada e pinça adaptada ao cladódio. Um analisador portátil de gás por infravermelho (IRGA) (ADC, modelo LCpro-SD, Hoddesdon, UK) foi utilizado para realizar as avaliações.

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA), e, em seguida, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os valores de número de cladódios, índice de área de cladódio, biomassa fresca de cladódio e produtividade de matéria fresca foram transformados para $\log(x+2)$, sendo a sobrevivência transformada em arco seno. Uma análise de componentes principais



(ACP) também foi empregada. As análises foram realizadas por meio do software R 4.1. (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019).

3. RESULTADOS

Observou-se variabilidade significativa para as variáveis morfológicas dos acessos de *Opuntia* spp. em estudo ($p < 0,01$) (Figura 2). Para a altura de plantas, os acessos demonstraram desempenhos distintos, com a formação de quatro agrupamentos. Os acessos 75 e 91 se destacaram com médias de altura superior a 48,0 cm. Em contraste, valores inferiores a 26,0 cm foram obtidos nos acessos 46, 58, 60, 64 e 110 (Figura 2A).

Plantas com maior largura ($>49,0$ cm) foram obtidas com os acessos 49 e 75 (Figura 2B). Os acessos 47, 48, 91 e 100 proporcionaram desempenho intermediário (largura entre 38,5 e 45,5 cm). Os demais acessos apresentaram larguras de planta inferiores a 31,0 cm.

Os acessos 49 e 60 alcançaram maior número de cladódios, com médias de 14,5 e 11,21 unidades, respectivamente (Figura 2C). Todavia, acessos com menos de seis cladódios foram predominantes (Figura 2C).

Aos 180 dias após o plantio, o acesso 49 atingiu um índice de área de cladódio (IAC) de $0,59 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, sobressaindo-se perante os demais para esta variável (Figura 2D). Dos 15 acessos, 10 (46, 47, 51, 58, 60, 64, 83, 94, 110 e 115) alcançaram IAC inferior a $0,21 \text{ m} \cdot \text{m}^{-2}$ (Figura 2D) evidenciando-se os diferentes padrões de crescimento presentes nesses materiais.

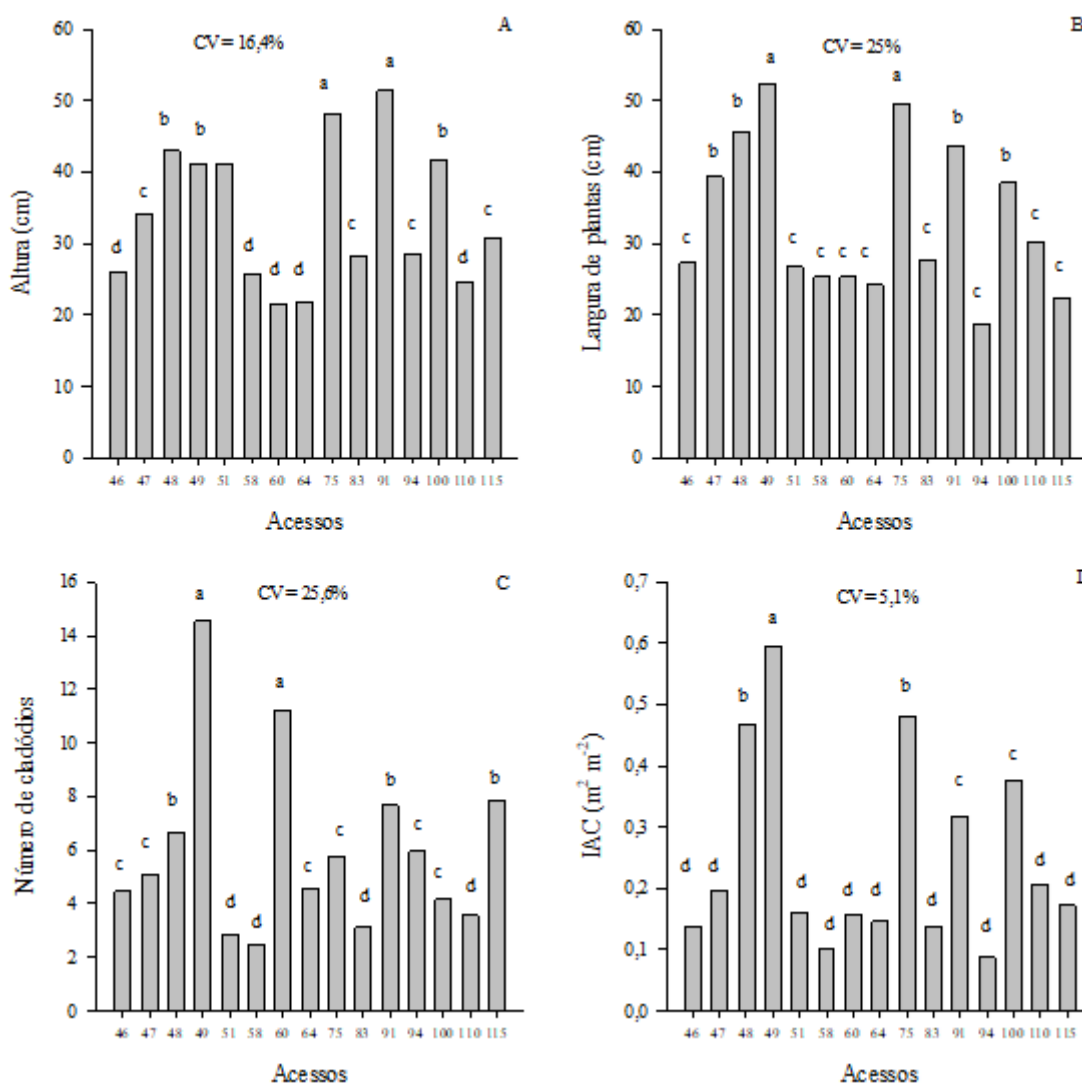
Ressalta-se que, mesmo para uma mesma espécie observou-se aspectos morfológicos distintos entre os acessos, como, por exemplo, para *Opuntia joconostle*, representada pelos acessos 91 e 94, e que alcançaram padrões díspares para a altura (Figura 2A), largura (Figura 2B) e número de cladódios (Figura 2C) e IAC (Figura 2D).

Os acessos de *Opuntia* spp. atingiram taxas elevadas de sobrevivência aos 180 dias, demonstrando a adaptabilidade e rusticidade desses materiais, com exceção do acesso 60 que diferiu significativamente ($p < 0,01$) dos demais e alcançou uma taxa de sobrevivência inferior a 80% (Figura 3A). Ressalta-se que ao longo do período experimental (180 dias) a precipitação acumulada foi de 91,7 mm, e os eventos de irrigação complementar somaram 12,5 mm. Totalizando assim, 104,2 mm ao longo deste período.

Em relação à biomassa fresca de cladódio (BFC) foram obtidos valores entre 640,9 e 363,5 gramas para os acessos 48, 51, 58, 75, 83 e 100, os quais não diferiram significativamente entre si e foram superiores ($p < 0,01$) aos demais acessos para essa variável (Figura 3B). BFC inferiores a 100 gramas também foram observadas e agrupadas em dois clusters (c e d). No cluster c, foram agrupados os acessos 94 e 115, com BFC entre 88,8 e 76,2 g, enquanto visualiza-se o acesso 60, com BFC de 51,41 g (cluster d).



Figura 2 – Altura (A), largura (B), número de cladódios (C) e índice de área de cladódios (IAC)(D) de acessos de *Opuntia* spp.180 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

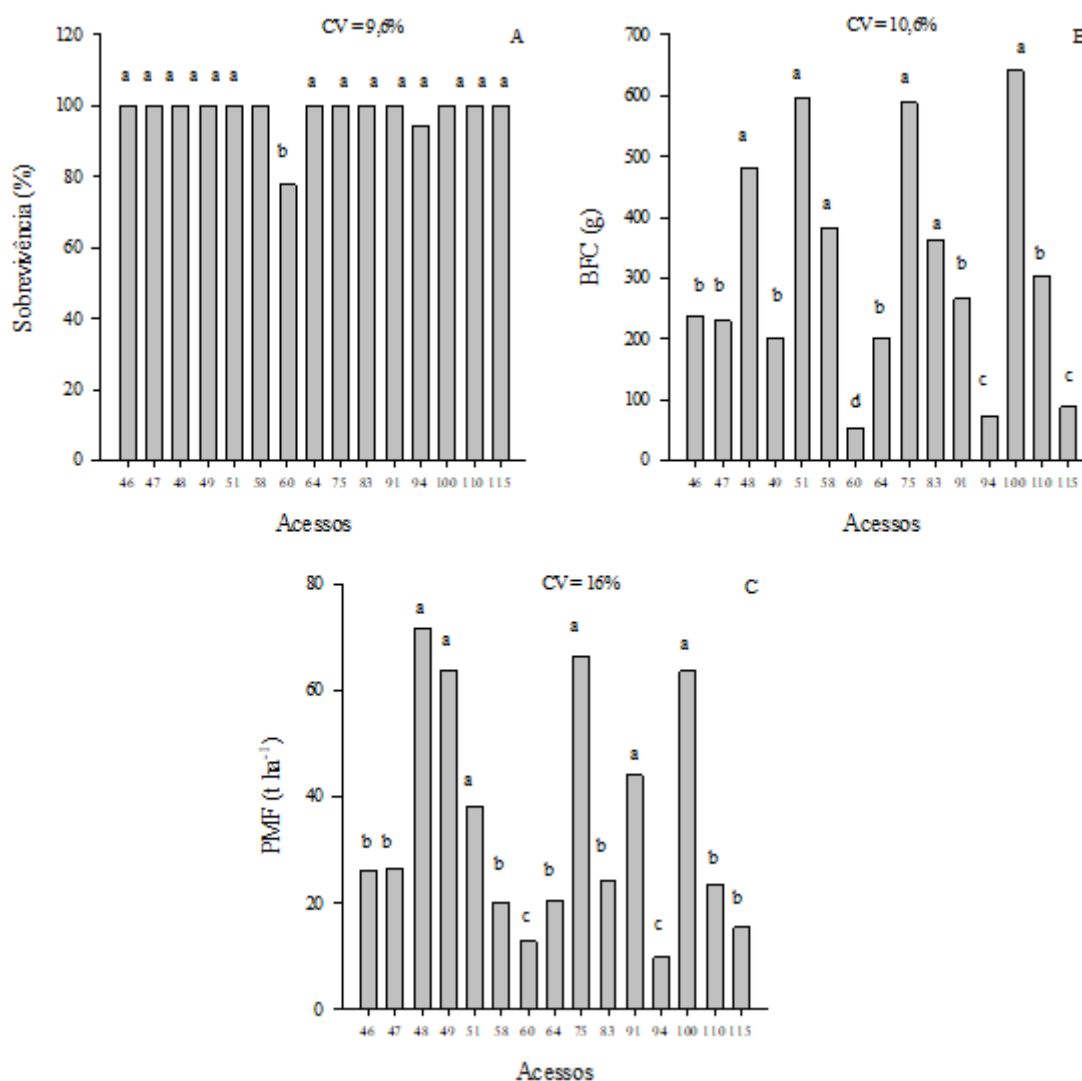


Fonte: Autores.

Os valores de estimativa da produtividade de matéria fresca (PMF) demonstraram diferenças significativas entre os acessos ($p < 0,01$) e variaram de 10,49 a 71,7 t ha⁻¹. Seis acessos (48, 49, 51, 75, 91 e 100) atingiram as maiores médias de PMF, não diferindo significativamente entre si, com amplitude de produtividade de 38,11 a 71,7 t ha⁻¹ (Figura 3C). Os rendimentos menos satisfatórios foram obtidos com os acessos 60 e 94, que apresentaram PMF inferior a 13,06 t ha⁻¹.



Figura 3 – Sobrevivência (A), biomassa fresca de cladódio (BFC) (B) e estimativa da produtividade de matéria fresca (PMF) (C) de acessos de *Opuntia* spp. 180 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.



Fonte: Autores.

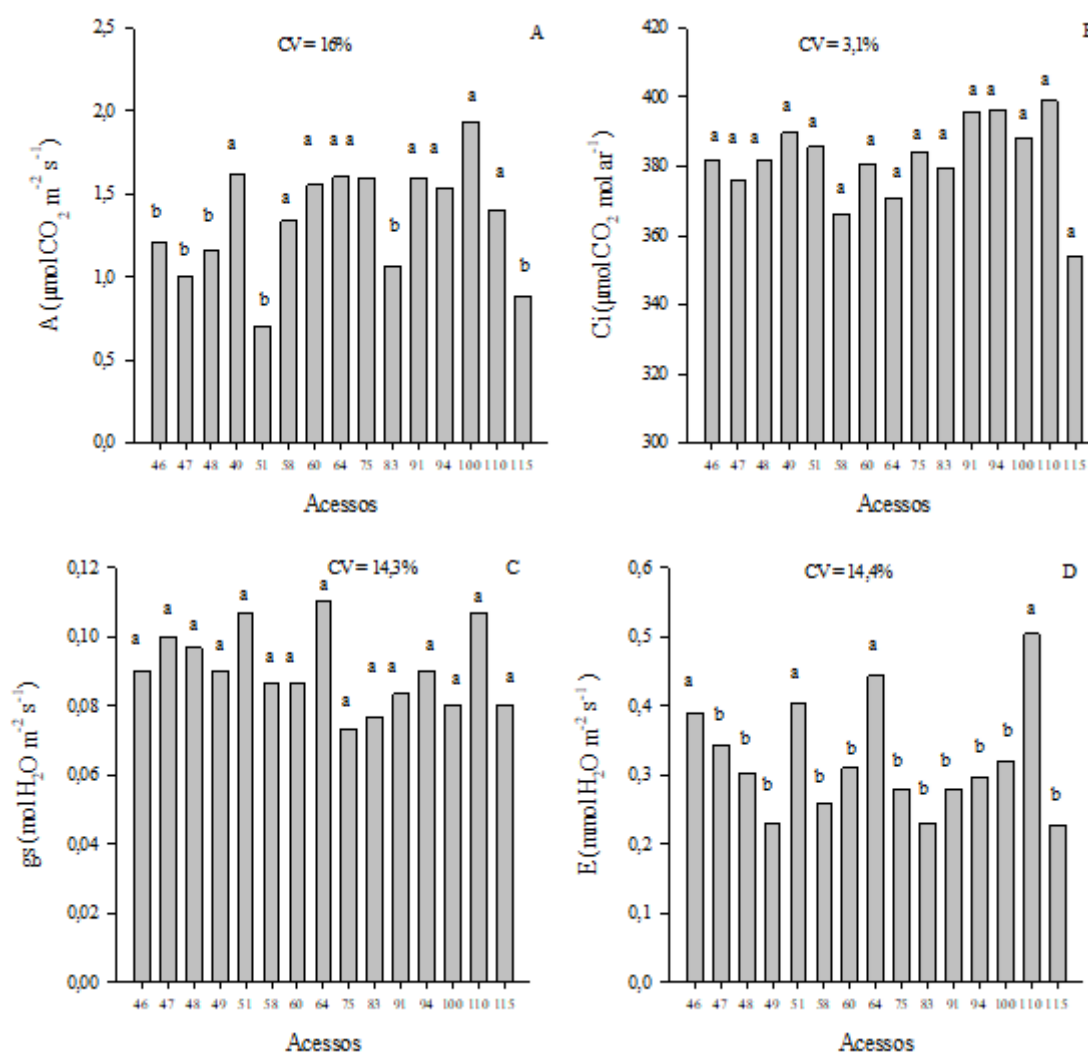
Com relação às trocas gasosas, diferenças significativas ($p < 0,01$) foram detectadas para os acessos de *Opuntia* spp., com exceção da concentração interna de CO_2 (C_i) e da condutância estomática (g_s) (Figura 4). Todavia, de modo geral, menor variabilidade foi obtida para essas variáveis quando comparadas com os aspectos morfológicos e produtivos.

Para a taxa de captação de CO_2 (A), obteve-se valores máximos de $1,93 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e mínimos de $0,70 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 4A). Dois clusters foram formados, com os acessos 49, 58, 60, 64, 75, 91, 94, 100 e 110 se agrupando com os maiores valores de A. Diferentemente, para a concentração interna de CO_2 (C_i), não foram observadas diferenças significativas entre os acessos, com amplitude de C_i variando de 354 a $399 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$ (Figura 4B).



A condutância estomática (g_s) também não foi influenciada significativamente pelos acessos, com valores máximos de $0,11 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 4C). Por outro lado, maiores valores de transpiração (E) foram observados nos acessos 46, 51, 64 e 110, com E superior a $0,39 \text{ mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 4D).

Figura 4 - Taxa de captação de CO_2 (A), concentração interna de CO_2 (Ci)(B), condutância estomática (g_s)(C) e transpiração (E) (D) de acessos de *Opuntia* spp. 180 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.



Fonte: Autores.

Para a eficiência instantânea de uso da água (EUA), os acessos 49, 58, 60, 75, 83, 91, 94 e 100 apresentaram valores variando de 4,75 a $7,03 \mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$, não diferindo entre si, mas sendo estatisticamente superiores aos demais acessos (Figura 5A), os quais obtiveram valores de EUA inferiores a $3,86 \mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$.

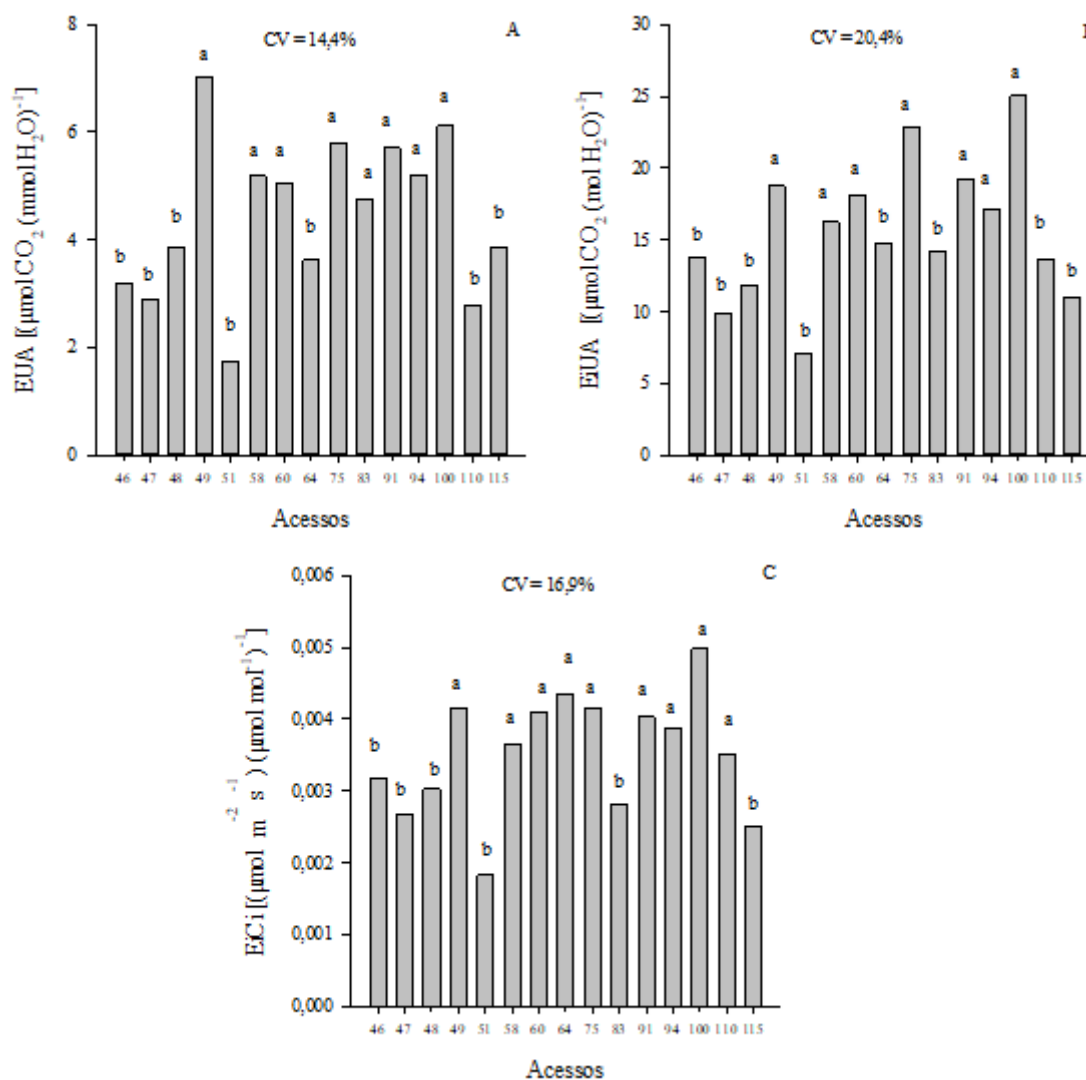
Maiores valores de eficiência intrínseca do uso de água ($EiUA$) foram obtidos nos acessos 49, 58, 60, 75, 91, 94 e 100, com $EiUA$ entre 16,27 e $25,05 \mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$ (Figura 5B). Já para a eficiência de carboxilação instantânea (EiC), nove acessos



(49, 58, 60, 64, 75, 91, 94, 100 e 110) se destacaram estatisticamente perante os demais, com $EiCi$ superior a $0,00352 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)⁻¹ (Figura 5C).

Figura 5 – Eficiência instantânea de uso da água (EUA)(A), eficiência intrínseca do uso de água ($EiUA$)(B) e eficiência instantânea de carboxilação ($EiCi$)(C) de acessos de *Opuntia* spp. 180 dias após o plantio, Soledade, Paraíba, Brasil, 2022.

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.



Fonte: Autores.

A análise de componentes principais (ACP) explicou 63,2% da variância original dos dados em seus dois primeiros eixos (CP1 e CP2) (Figura 6).

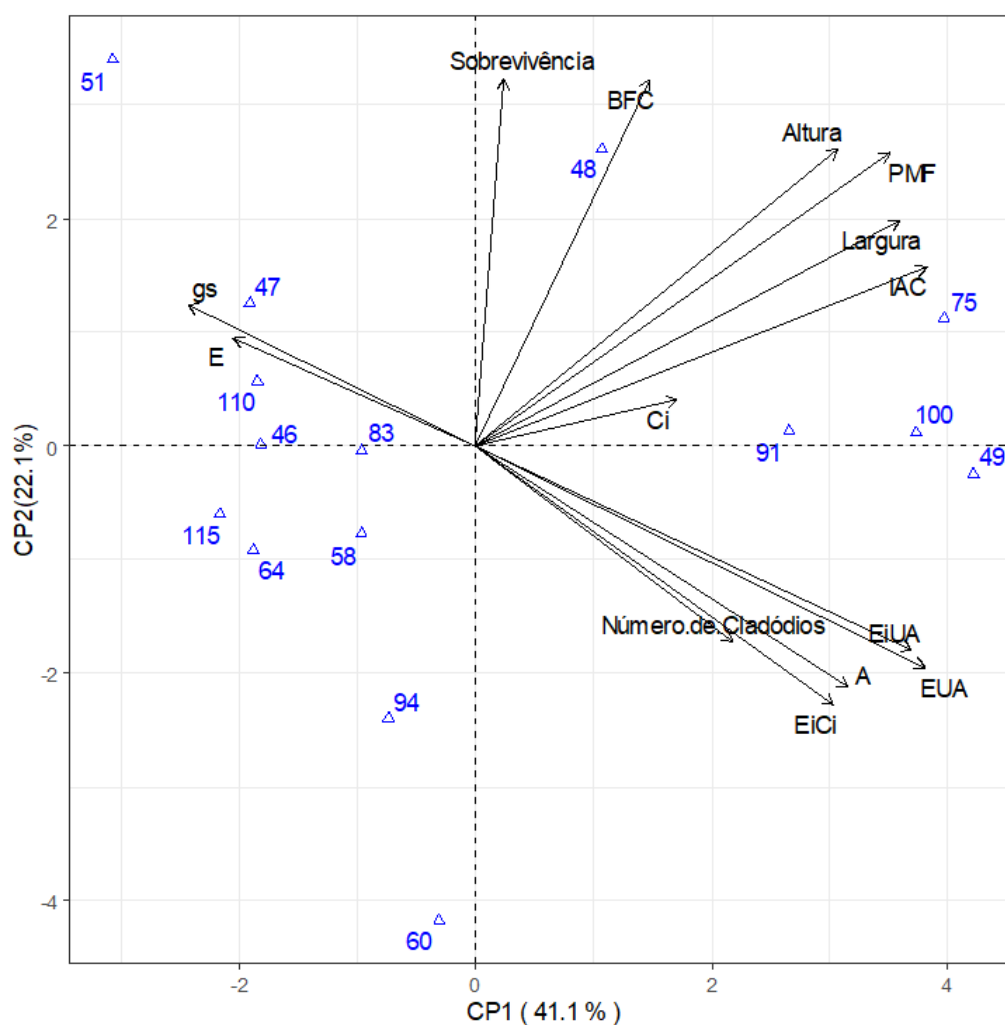
No eixo 1 (Figura 6), responsável por agrupar 41,1% da explicação dos dados, observou-se associação significativa entre IAC ($r = 0,84$; $p < 0,01$), EUA ($r = 0,84$; $p < 0,01$), $EiUA$ ($r = 0,82$; $p < 0,01$), Largura ($r = 0,79$; $p < 0,01$), PMF ($r = 0,77$; $p < 0,01$), A ($r = 0,70$; $p < 0,01$) ($r = 0,84$; $p < 0,01$), Altura ($r = 0,68$; $p < 0,01$) ($r = 0,84$; $p < 0,01$) e $EiCi$ ($r = 0,67$; $p < 0,01$), que contrastaram com o gs ($r = -0,54$; $p < 0,05$). Estes resultados demonstram que acessos de *Opuntia* que possuem maior largura, altura e



índice de área de cladódio, possuem maiores taxas de captação de CO₂, de eficiência instantânea de uso da água, de eficiência intrínseca do uso de água e de eficiência de carboxilação instantânea, além de menor condutância estomática, e alcançam maiores produtividades de matéria fresca. Ainda para o eixo 1, destacam-se os acessos 49, 75, 91 e 100, que alcançaram o melhor desempenho geral para as variáveis morfológicas, produtivas e fisiológicas.

No eixo 2 da ACP (Figura 6), que reuniu 22,1% da variância dos dados, observou-se associação significativa de BFC ($r = 0,71$; $p < 0,01$) com a Sobrevivência ($r = 0,71$; $p < 0,01$), demonstrando que acessos com cladódios mais pesados detêm também maior taxa de sobrevivência, e vice-versa, como observado para os acessos 60 e 94, que se destacaram por possuir cladódios com menor biomassa e com ocorrência de mortalidade de plantas.

Figura 6 – Dispersão gráfica biplot de 15 acessos de *Opuntia* spp. baseada em escores de 14 caracteres de crescimento, produtividade e trocas gasosas, representados pelos dois primeiros componentes principais.



Fonte: Autores.



4. DISCUSSÃO

Os resultados dos aspectos morfológicos, produtivos e fisiológicos de 15 acessos de *Opuntia* com resistência à falsa cochonilha do carmim demonstraram a elevada variabilidade desses materiais, principalmente quanto à morfometria e produtividade.

Os acessos com maior altura (75 e 91) ou maior largura (49 e 75) são desejáveis, visto que essas características estão diretamente correlacionadas com a produtividade. (RAMOS *et al.*, 2021; KUMAR *et al.*, 2022). Além disso, plantas de maior altura funcionam como uma barreira contra o vento (KUMAR *et al.*, 2022) e as mais largas tendem a possuir maior número de cladódios. (RAMOS *et al.*, 2021).

A determinação do padrão de crescimento vertical e horizontal desses acessos é particularmente importante para a determinação do espaçamento de plantio. (EDVAN *et al.*, 2020; RAMOS *et al.*, 2021). Dessa forma, acessos de *Opuntia* spp. com maior altura, como o 91, podem ser plantados com menor espaçamento, visto que esse padrão de crescimento não limita o desenvolvimento das outras plantas, tampouco o manejo do palmar, propiciando ainda, aumento da produtividade. Já para acessos de maior largura, como o 49 e o 75, recomenda-se o cultivo com maior espaçamento entre plantas, visando evitar a competição por água, luz e nutrientes, além de facilitar o manejo da cultura. (EDVAN *et al.*, 2020; RAMOS *et al.*, 2021).

O acesso 49 atingiu ainda, junto com o acesso 60, maior número de cladódios. Na medida que uma planta aumenta seu acúmulo de biomassa, é necessária uma expansão dos tecidos, implicando no surgimento de novos cladódios. (RAMOS *et al.*, 2021). No entanto, para que esse aumento seja refletido em maior produtividade de biomassa, é necessário que esteja associado a outras variáveis, como a altura ou a largura da planta. (KUMAR *et al.*, 2022). Dessa forma, esses acessos podem produzir maior biomassa do que aqueles com menos cladódios. (PINHEIRO *et al.*, 2014; KUMAR *et al.*, 2022). Além disso, um maior número de cladódios pode propiciar aumento na atividade fotossintética (NEUPANE *et al.*, 2021; KUMAR *et al.*, 2022), aumento na capacidade de armazenamento de água (RAMOS *et al.*, 2021), e maior índice de área de cladódios, o que, por sua vez, resulta em maior produção de biomassa. (NEUPANE *et al.*, 2021).

O número de cladódios detém mais que relevância morfofisiológica, visto que, considerando que acessos de *Opuntia* spp. são geralmente propagados por cladódios inteiros, acessos que possuem maior número dessas estruturas, como o acesso 49, são mais fáceis de serem multiplicados em novos campos de produção ou para multiplicação de variedades e/ou clones obtidos por programas de melhoramento. (AMORIM *et al.*, 2015).

O maior índice de área de cladódio (IAC) obtido pelo acesso 49 é um indicativo do seu maior potencial de produção de biomassa e de matéria seca, dado que, essa variável representa uma característica morfométrica comumente utilizada como indicador de produtividade em *Opuntia*. (PINHEIRO *et al.*, 2014). Acessos com menor IAC (46, 47, 51, 58, 60, 64, 83, 94, 110 e 115) tendem a possuir maior sensibilidade à competição por recursos abióticos com plantas daninhas, visto que o solo não será coberto de forma tão eficiente, requerendo assim, maior frequência de capinas. (AMORIM *et al.*, 2015).



A seleção de acessos pautada em características morfológicas superiores demonstra ser uma estratégia apropriada para o aumento da produção de biomassa de *Opuntia* spp. em áreas semiáridas. (KUMAR *et al.*, 2022). Neste sentido, as diferenças verificadas nos aspectos morfométricos de acessos de uma mesma espécie, como nos acessos 91 e 94, podem ser o resultado da variabilidade genética inerente às espécies de *Opuntia*, ou ainda, de fatores ecológicos do local de cultivo. (AZIZI-GANNOUNI *et al.*, 2020).

A sobrevivência de acessos de *Opuntia* spp. nas condições do Semiárido Paraibano foi superior a estudos em outras regiões semiáridas do mundo, como, por exemplo, em Jhansi, na Índia, tendo em vista que de 15 acessos de *Opuntia* introduzidos, e com o uso de irrigação de sobrevivência, apenas três alcançaram taxas de sobrevivência de 100%. (KUMAR *et al.*, 2022).

Sabe-se que cladódios mais pesados possuem maior capacidade de armazenamento de água. (RAMOS *et al.*, 2021). Dessa forma, como demonstrando no eixo 2 da ACP, essa é uma variável que exibe associação positiva com a sobrevivência. Deste modo, cladódios com menor peso, como os presentes nos acessos 60 e 94 possuem maior suscetibilidade a eventos de estresse hídrico, no qual há uma redução da turgidez do cladódio, além de mudança na coloração e enrugamento, o que pode culminar com sua abscisão ou mortalidade da planta. (CAMPOS *et al.*, 2021).

Os valores estimados de produção de matéria fresca obtidos para alguns dos acessos deste estudo são importantes, especialmente para os acessos 48, 49, 75 e 100, que alcançaram estimativas de biomassa superiores a 60 t ha⁻¹. Nas condições do Semiárido Brasileiro, a produtividade de *Opuntia* spp. é variável e dependente da variedade, das condições edafoclimáticas e do manejo utilizado. (AMORIM *et al.*, 2015; EDVAN *et al.*, 2020; CAMPOS *et al.*, 2021). Edvan *et al.* (2020) avaliaram 02 genótipos de *O. cochenillifera* (L.) Salm Dyck (subgênero *Nopalea* e 1 genótipo de *O. stricta* Haw.), em sete regiões do sul do estado do Piauí, com precipitação pluviométrica acumulada de 873,5 a 1.000,4 mm e obtiveram produtividade média anual de biomassa de 30,9 a 266,9 t ha⁻¹. Também para *O. stricta*, importante substituta de *O. ficus-indica* nos palméis nordestinos, Queiroz *et al.* (2015) reportam produção de biomassa de 135,43 toneladas t ha⁻¹ quando da aplicação de lâmina complementar à precipitação, totalizando 976,0 mm em um ciclo de 380 dias após o corte.

Ressalta-se que os resultados do presente estudo foram obtidos aos 180 dias após o plantio e com um somatório de precipitação e irrigação complementar de apenas 104,2 mm, o que demonstra que a produção de biomassa poderia ser ainda maior se recursos hídricos em quantidade estivessem disponíveis.

Informações quanto as trocas gasosas de *Opuntia* spp. ainda estão restritas a algumas espécies, com destaque para *O. ficus-indica* (PIMIENTA-BARRIOS *et al.*, 2012; LIGUORI *et al.*, 2013) e *O. cochenillifera*, subgênero *Nopalea*. (SOUZA *et al.*, 2020; ARAÚJO *et al.*, 2022). Nesse sentido, os resultados obtidos no presente estudo contribuem para ampliar o conhecimento acerca dos aspectos fisiológicos desse gênero, principalmente em acessos com grande quantidade de espinhos, como no caso da maioria dos materiais aqui estudados.



De modo geral, as variáveis de trocas gasosas dos acessos avaliados se mostraram inferiores aos valores reportados na literatura para outras espécies de *Opuntia*. Por exemplo, valores de captação de CO₂ (A) de até 15 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ são reportados para *O. ficus-indica* (PIMIENTA-BARRIOS *et al.*, 2012), enquanto Souza *et al.* (2020) observaram para *O. cochenillifera*, subgênero *Nopalea*, cultivada com cobertura morta, uma captação de CO₂ (A) de até 6 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Todos esses resultados atestam diferentes padrões de trocas gasosas para o gênero *Opuntia*.

Os valores de captação de CO₂ dos acessos de *Opuntia* spp. se assemelham aos verificados em cactos selvagens, reportados por (BRONSON *et al.*, 2011) como, por exemplo, saguaro *Carnegiea gigantea* (Engelm.) Britt. & Rose, em que a assimilação (A) foi de até 1,65 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Para a variedade Miúda de *O. cochenillifera*, subgênero *Nopalea*, também foram obtidos resultados similares aos da presente pesquisa durante a estação seca do ano, principalmente quanto a Captação de CO₂, Transpiração (E), Concentração Interna de CO₂ (Ci), Eficiência Instantânea de Uso da Água (EUA) e Eficiência Intrínseca do Uso de Água (EiUA). (ARAÚJO *et al.*, 2022).

No que se refere à lâmina de irrigação complementar, esta não supriu adequadamente as necessidades hídricas dos acessos, refletindo em menor desempenho fisiológico, expresso principalmente nos valores de transpiração e condutância estomática. (YANG *et al.*, 2021). No entanto, ainda que diante dessa condição limitante, e como expresso no eixo 1 da ACP, os acessos 49, 75, 91 e 100 alcançaram maiores taxas de captação de CO₂, de eficiência instantânea de uso da água, de eficiência intrínseca do uso de água e de eficiência de carboxilação instantânea, mesmo com menor condutância estomática. Por outro lado, uma estabilidade na captação de CO₂ mesmo com uma menor condutância estomática também foi observada por Souza *et al.* (2020) em *O. cochenillifera*, subgênero *Nopalea*.

O melhor desempenho geral dos acessos 49, 75, 91 e 100 derivou principalmente de seu maior Índice de Área de Cladódio (IAC), visto que conseguem armazenar uma maior quantidade de água no parênquima durante os períodos de maior disponibilidade hídrica e usam esse recurso para a manutenção das atividades fisiológicas no período seco (ARAÚJO *et al.*, 2022), o que irá refletir em maior acúmulo de biomassa e matéria seca. (PINHEIRO *et al.*, 2014). No entanto, para o acesso 48, essas variáveis parecem não estar correlacionadas, visto que, embora esse acesso tenha alcançado desempenho morfológico e produtivo satisfatórios, o mesmo não foi observado para o desempenho fisiológico.

Os resultados obtidos neste estudo apontam que após 180 do plantio já é possível identificar acessos de *Opuntia* spp. com características morfométricas, produtivas e fisiológicas superiores. Apesar da maioria desses acessos possuírem grande quantidade de espinhos, dificultando o seu manejo pelo produtor, podem ser utilizados em programas de melhoramento genético, visto que são diferentes das variedades cultivadas atualmente no Semiárido do Brasil e podem ampliar a base genética da cultura. (ALMEIDA *et al.*, 2019).



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo identificou acessos de *Opuntia* spp. com desempenho vegetativo, produtivo e fisiológico que lhes confere possibilidade de utilização. Esses acessos possuem grande variabilidade nos aspectos morfométricos e produtivos, sendo observada uma menor variabilidade para as trocas gasosas.

Acessos de *Opuntia* spp. com maior largura, altura e índice de área de cladódio possuem maiores taxas de captação de CO₂, de eficiência instantânea de uso da água, de eficiência intrínseca do uso de água e de eficiência de carboxilação instantânea, alcançando maiores produtividades de matéria fresca.

Acessos como 48, 49, 75, 91 e 100 podem ser utilizados em ações de melhoria da produtividade dos palmais em regiões semiáridas.

6. REFERÊNCIAS

ABOUSEADAA, H. H. *et al.* Gene-targeted molecular phylogeny, phytochemical profiling, and antioxidant activity of nine species belonging to family Cactaceae. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v.27, n.6, p.1649-1658, 2020.

ALMEIDA, I. V. B.; SOUZA, J. T. A.; BATISTA, M. C. Melhoramento genético de plantas forrageiras xerófilas: Revisão. **PUBVET**, v.13, n.8, e382, 2019.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

AMORIM, P. L. D. *et al.* Morphological and productive characterization of forage cactus varieties. **Revista Caatinga**, v.28, n.3, p.230-238, 2015.

ARAÚJO, J. S. *et al.* Gas exchange in genotypes of *Nopalea cochenillifera* in different seasons and evaluations times. **Acta Botanica Croatica**, v.81, n.2, e275124, 2022.

AZIZI-GANNOUNI, T. *et al.* Assessment and Identification of Cactus (*Opuntia* spp.) Ecotypes Grown in a Semi-arid Mediterranean Region. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v.23, n.3, p.351-364, 2020.

BRONSON, D. R. *et al.* Seasonal photosynthetic gas exchange and water-use efficiency in a constitutive CAM plant, the giant saguaro cactus (*Carnegiea gigantea*). **Oecologia**, v.167, n.3, p.861-871, 2011.

CAMPOS, A. R. F. *et al.* Yield and morphology of forage cactus cultivars under drip irrigation management based on soil water matric potential thresholds. **Journal of Arid Environments**, v.193, p.e104564, 2021.

DUBEUX JÚNIOR; J. C. B. *et al.* Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v.257, p.114890, 2021.

EDVAN, R. L. *et al.* Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. **Scientific Reports**, v.10, n.1, e10040, 2020.



FERNANDES, B. D. O. *et al.* Spineless cactus varieties resistant to carmine cochineal (*Dactylopius* sp.) on the composition and sensory properties of goat milk. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.43, e25, 2021.

GARCÍA-CORTÁZAR, V.; NOBEL, P. S. Prediction and measurement of high annual productivity for *Opuntia ficus indica*. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.56, p.261-272, 1991.

KÖHLER, M. *et al.* On the continuum of evolution: a putative new hybrid speciation event in *Opuntia* (Cactaceae) between a native and an introduced species in southern South America. **Systematics and Biodiversity**, v.19, n.8, p.1026-1039, 2021.

KUMAR, S. *et al.* Survival, morphological variability, and performance of *Opuntia ficus-indica* in a semi-arid region of India. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.2022, p.1-18, 2022.

LIGUORI, G. *et al.* CO₂ uptake of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. whole trees and single cladodes, in relation to plant water status and cladode age. **Italian Journal of Agronomy**, v.8, n.1, p.e3, 2013.

MENEZES, R. S. C. *et al.* **A palma do Nordeste do Brasil**: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005.

NEUPANE, D. *et al.* Five-year field trial of the biomass productivity and water input response of cactus pear (*Opuntia* spp.) as a bioenergy feedstock for arid lands. **GCB Bioenergy**, v.13, n.4, p.719-741, 2021.

PINHEIRO, K. M. *et al.* Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.12, p.939-947, 2014.

PIMIENTA-BARRIOS, E. *et al.* Ecofisiología de tallos jóvenes (cladodios) de *Opuntia ficus-indica* en condiciones húmeda y seca. **Gayana. Botánica**, v.69, n.2, p.232-239, 2012.

QUEIROZ, M.G. *et al.* Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.10, p.931-938, 2015.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 mai. 2022.

RAMOS, J. P. F. *et al.* Forage yield and morphological traits of cactus pear genotypes. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.43, e51214, 2021

REALINI, M. F. *et al.* Phylogenetic relationships in *Opuntia* (Cactaceae, Opuntioideae) from southern South America. **Plant Systematics and Evolution**, v.301, n.4, p.1123-1134, 2015.

ROSAS-REINHOLD, I. *et al.* Blurring the Boundaries between a Branch and a Flower: Potential Developmental Venues in CACTACEAE. **Plants**, v.10, n.6, e1134, 2021.



- SANTOS, D. *et al.* Recomendação de adubação para a palma forrageira. In: F. CAVALCANTI (Ed.). **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª Aproximação**. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco, 2008. p.180.
- SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. revista e ampliada. Brasília: Embrapa, 2013.
- SILVA, R. C. *et al.* Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw.) spineless cactus as an option in crossbred dairy cattle diet. **South African Journal of Animal Science**, v.48, n.3, p.516-525, 2018.
- SIPANGO, N. *et al.* Prickly Pear (*Opuntia* spp.) as an Invasive Species and a Potential Fodder Resource for Ruminant Animals. **Sustainability**, v.14, n.7, e3719, 2022.
- SOUZA, J. T. A. *et al.* Gas exchanges and water-use efficiency of *Nopalea cochenillifera* intercropped under edaphic practices. **Comunicata Scientiae**, v.11, e3035, 2020.
- SOUZA, J. T. A. *et al.* Rendimento quântico e eficiência de uso da água de genótipos de palma forrageira no Semiárido brasileiro. **Archivos de Zootecnia**, v.68, n.262, p.268-273, 2019.
- TENORIO-ESCANDÓN, P. *et al.* Systematic Review on *Opuntia* (Cactaceae; Opuntioideae) Flower-Visiting Insects in the World with Emphasis on Mexico: Implications for Biodiversity Conservation. **Plants**, v.11, n.1, e131, 2022.
- TORRES, J. B.; GIORGI, J. A. Management of the false carmine cochineal *Dactylopius opuntiae* (Cockerell): perspective from Pernambuco state, Brazil. **Phytoparasitica**, v.46, n.3, p.331-340, 2018.
- VENTURA-AGUILAR, R. I. *et al.* Cactus stem (*Opuntia ficus-indica* Mill): anatomy, physiology and chemical composition with emphasis on its biofunctional properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.97, n.15, p.5065-5073, 2017.
- YANG, X. *et al.* Response mechanism of plants to drought stress. **Horticulturae**, v.7, n.3, e50, 2021.

Submetido em: **23/03/2023**

Aceito em: **13/06/2023**