



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA**

ELISA PATRÍCIA RAMOS DE MELO

**BATATA-DOCE X SECA: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS E
MORFOLÓGICAS E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS TOLERANTES POR MEIO DE
ÍNDICE MULTIVARIADO**

Presidente Prudente – SP
2025



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA**

ELISA PATRÍCIA RAMOS DE MELO

**BATATA-DOCE X SECA: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS E
MORFOLÓGICAS E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS TOLERANTES POR MEIO DE
ÍNDICE MULTIVARIADO**

Dissertação, apresentado à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para a obtenção de título de Mestre em Agronomia – Área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Edgard Henrique Costa Silva
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Claudia Pacheco Santos

Presidente Prudente - SP
2025

Catálogo Internacional de Publicação (CPI)

631.523 3
M528b

Melo, Elisa Patrícia Ramos de.
Batata-doce x seca: respostas fisiológicas,
bioquímicas e morfológicas e seleção de genótipos
tolerantes por meio de índice multivariado. –
Presidente Prudente, 2025.
105 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) -
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente
Prudente, SP, 2025.

Bibliografia.

Orientador: Prof. Dr. Edgard Henrique Costa Silva
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Claudia Pacheco
Santos

1. Ipomoea batatas (L.) Lam. 2. estresse abiótico.
3. déficit hídrico. 4. fisiologia vegetal. I. Título.



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “BATATA-DOCE X SECA: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS E MORFOLÓGICAS E SELEÇÃO DE GENÓTIPOS TOLERANTES POR MEIO DE ÍNDICE MULTIVARIADO”

AUTOR(A): ELISA PATRÍCIA RAMOS DE MELO

ORIENTADOR(A): Dr. EDGARD HENRIQUE COSTA SILVA

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em AGRONOMIA

Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:

DR. EDGARD HENRIQUE COSTA SILVA (orientador)

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

DR. ANDRÉ RICARDO ZEIST

ESALQ/USP - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / Piracicaba (SP)

DRA. AMARÍLIS BERALDO RÓS

APTA - Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios / Presidente Prudente (SP).

Data da realização: Presidente Prudente, 27 de fevereiro de 2025.



UNIVERSIDADE DO OESTE PAULISTA

Reconhecida pela Portaria ME nº 83/87 D.O.U. 16/02/87
Recredenciada pela Portaria MEC nº 413 D.O.U. 27/03/17
Mantida pela Associação Prudentina de Educação e Cultura - A.P.E.C.

Campus I Rua José Bongiovani, 700 • Cidade Universitária • CEP 19050-920 • Presidente Prudente-SP • Tel: 18 3229-1000 | Campus II Rodovia Raposo Tavares, KM 572 • Bairro Limeiro • CEP 19067-175 • Presidente Prudente-SP • Tel: 18 3229-2000
Campus Jd. Avenida Antonio de Almeida Pacheco, 2945 • 2ª Zona Industrial • Jd. SP • Tel: 14 3624-1109 | Campus Guarujá Rua Albertino Pedro, 75 | Condomínio Guarujá Central Park • Enseada • CEP 11441-225 • Guarujá-SP • Tel: 13 3386-3002

Central de Assinaturas Eletrônicas

Sobre o documento

Assunto: Documento eletrônico
Status do documento: Concluído
Data de criação do documento: 17/03/2025 14:22
Fuso horário: (UTC-03:00) Brasília
Número de assinaturas: 3
Solicitante: KEID RIBEIRO KRUGER (#6064301)

Signatários do documento

EDGARD HENRIQUE COSTA SILVA (FUNCIONÁRIO)

edgard@unoeste.br
Recebido em 17/03/2025 14:22
Assinado em 17/03/2025 14:25
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 177.131.39.1
ID da assinatura: 4544529

AMARÍLIS BERALDO RÔS (SIGNATÁRIO EXTERNO)

amarilis.beraldo@sp.gov.br
Recebido em 17/03/2025 14:22
Assinado em 17/03/2025 15:04
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 177.95.128.205
ID da assinatura: 4544530

ANDRÉ RICARDO ZEIST (SIGNATÁRIO EXTERNO)

andrezeist@usp.br
Recebido em 17/03/2025 14:22
Assinado em 17/03/2025 14:39
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 143.107.12.82
ID da assinatura: 4544531

URL do documento: <https://www.unoeste.br/ca/cec9ff88>

Assinatura digital do documento: 01a4afb0e643fec142840f0480444fac1fdd6f7c41f4682539576324e4ec147

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista

Mantida pela Associação Prudentina de Educação e Cultura - APEC

Utilize o QRCode abaixo para conferir a autenticidade deste documento:



A Deus e a minha família,
DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão a Deus e Nossa Senhora, que me ampararam e fortaleceram ao longo desta jornada. Agradeço por sua infinita bondade, amor incondicional e as bênçãos diárias que me concederam, não apenas durante estes anos de mestrado, mas em toda a minha vida.

Aos meus pais, Julio e Cristina, minha eterna gratidão por tudo que fizeram e continuam a fazer por mim. As palavras nunca serão suficientes para expressar o quanto sou grata pelo amor, apoio e por me darem a segurança para correr atrás dos meus sonhos. Obrigada por acreditarem em mim, mesmo quando eu duvido.

À minha família, que me ensinou o verdadeiro significado de união e amor, dedico este agradecimento. Irmãos Juliano, Débora e Julia, vocês são meus companheiros de vida. Vó Elita, sua força me inspira. Aos meus avós, que suas memórias continuem a me guiar.

Meu amor, meu noivo, minhas palavras são insuficientes para expressar o quanto sou grata por você. Seu amor, apoio incondicional, paciência e dedicação foram essenciais para a realização deste trabalho. Você tornou cada desafio mais leve e me deu forças para seguir em frente. Agradeço por ser meu porto seguro e por me impulsionar a alcançar meus sonhos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Edgard Silva, expresso minha profunda gratidão pela oportunidade de realizar este mestrado sob sua orientação. Agradeço por sua paciência, dedicação, cuidado e carinho, não apenas comigo, mas com todos os seus alunos. Sua paixão por ensinar e sua capacidade de inspirar nos motivam a buscar sempre o nosso melhor.

À Prof^a Dr^a Ana Claudia Pacheco, minha coorientadora, expresso minha profunda gratidão pelo apoio e carinho dedicados a mim durante toda a minha jornada acadêmica. Sua orientação e incentivo foram fundamentais para o meu desenvolvimento, e agradeço por ter despertado em mim a paixão pela fisiologia vegetal.

Aos meus colegas do CEOFOP e CEVOP, minha sincera gratidão pela ajuda e parceria durante todo o meu mestrado. Agradeço o apoio tanto nas atividades práticas quanto teóricas, e por tornarem o convívio diário mais leve e agradável. A jornada do mestrado se torna mais fácil quando compartilhada com pessoas tão especiais.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelo financiamento concedido através dos processos 2023/01704-3 e 2022/03120-6, que tornaram esta pesquisa possível. O apoio da Fundação foi fundamental para a conclusão deste trabalho.

*A natureza é o único livro
que oferece um conteúdo valioso
em todas as suas folhas.
(Johann Goethe)*

RESUMO GERAL

Batata-doce x seca: respostas fisiológicas, bioquímicas e morfológicas e seleção de genótipos tolerantes por meio de índice multivariado

A batata-doce é cultura de grande importância socioeconômica, porém, os sistemas de produção brasileiros apresentam baixa produtividade, principalmente pela utilização de genótipos obsoletos, pouco tolerantes a estresses e manejo inadequado. O estresse por escassez de água leva à diminuição da produtividade e da qualidade da batata-doce, pois afeta negativamente processos vitais, como a fotossíntese e a translocação de fotoassimilados. Diante do exposto, com o objetivo final de compreender como o déficit hídrico afeta a batata-doce e identificar genótipos tolerantes, este trabalho foi dividido em: (1) avaliação das respostas fisiológicas, bioquímicas e morfológicas de genótipos de batata-doce submetidos a déficit hídrico; (2) identificação de genótipos tolerantes a déficit hídrico por meio de índice multivariado. O experimento foi realizado em casa-de-vegetação, em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Foram avaliados 20 genótipos de batata-doce e duas taxas de reposição hídrica (20 e 100% da capacidade de vaso). Foram avaliadas características bioquímicas, fluorescência da clorofila, teor de pigmentos, trocas gasosas das folhas, potencial hídrico foliar e aspecto biométricos da parte aérea e da raiz. A fluorescência da clorofila e o teor de pigmentos foram avaliados ao longo de cinco semanas. Ao avaliar os diferentes genótipos de batata-doce, identificou-se ampla gama de respostas fisiológicas e bioquímicas ao déficit hídrico. Os resultados indicam que a tolerância à seca é processo multifatorial. Os genótipos 'Luiza', 'Canadense', 'CIP 420717', 'Maria Isabel' e 'CIP 440186' demonstraram desempenho superior em relação à tolerância à seca, com base nos parâmetros avaliados. A análise conjunta das características (MGIDI) permitiu uma compreensão mais completa dos mecanismos de resistência facilitando a seleção de genótipos superiores, 'Minerinha', 'Canadense', 'IAC Clara', 'Japonesa', 'CIP 440003', 'CIP 400092', 'CIP 440178', 'Luiza' 'CIP 187012/2' e 'Maria Isabel' são os genótipos mais próximos do ideótipo na condição de déficit hídrico.

Palavras-chave: *Ipomoea batatas* (L.) Lam.; estresse abiótico; déficit hídrico; fisiologia vegetal; fotossíntese; MGIDI.

GENERAL ABSTRACT

Sweet potato x drought: physiological, biochemical and morphological responses and selection of tolerant genotypes by means of multivariate index

Sweet potato is a crop of great socioeconomic importance, however, Brazilian production systems have low productivity, mainly due to the use of obsolete genotypes that are not very tolerant to stress and inadequate management. Stress due to water scarcity leads to decreased productivity and quality of sweet potato, as it negatively affects vital processes, such as photosynthesis and translocation of photoassimilates. Given the above, with the ultimate goal of understanding how water deficit affects sweet potato and identifying tolerant genotypes, this work was divided into: (1) evaluation of the physiological, biochemical and morphological responses of sweet potato genotypes subjected to water deficit; (2) identification of genotypes tolerant to water deficit using a multivariate index. The experiment was carried out in a greenhouse, in a completely randomized design with four replicates. Twenty sweet potato genotypes and two water replacement rates (20 and 100% of pot capacity) were evaluated. Biochemical characteristics, chlorophyll fluorescence, pigment content, leaf gas exchange, leaf water potential and biometric aspects of shoots and roots were evaluated. Chlorophyll fluorescence and pigment content were evaluated over a period of five weeks. When evaluating the different sweet potato genotypes, a wide range of physiological and biochemical responses to water deficit were identified. The results indicate that drought tolerance is a multifactorial process. The genotypes 'Luiza', 'Canadense', 'CIP 420717', 'Maria Isabel' and 'CIP 440186' demonstrated superior performance in relation to drought tolerance, based on the parameters evaluated. The joint analysis of characteristics (MGIDI) allowed a more complete understanding of the resistance mechanisms facilitating the selection of superior genotypes, 'Minerinha', 'Canadense', 'IAC Clara', 'Japonesa', 'CIP 440003', CIP 400092', 'CIP 440178', 'Luiza' 'CIP 187012/2' and 'Maria Isabel' are the genotypes closest to the idéotype in the water deficit condition.

Keywords: *Ipomoea batatas* (L.) Lam.; abiotic stress; water deficit; plant physiology; photosynthesis; MGIDI.

LISTA DE FIGURAS

SEÇÃO I

Figura 1 —	Número de folhas e massa fresca da parte aérea de genótipos de batata-doce submetidos a imposição hídrica de 20% e 100% da capacidade de vaso.....	43
Figura 2 —	Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de campo (20 e 100%) para os teores de flavonoides de 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.....	44
Figura 3 —	Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para fluorescência mínima da clorofila (F_0), fluorescência máxima da clorofila (F_m) e detector de estresse em F_v/F_m (F_v/F_0).....	46
Figura 4 —	Fluorescência máxima (F_{ms}) e Estágio estacionário do fotossistema II em 20 genótipos de batata-doce submetidos a capacidade de vaso de 20% e 100%.....	47
Figura 5 —	Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para eficiência quântica do fotossistema II ($Y(II)$) e taxa de transporte de elétron (ETR) em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.....	49
Figura 6 —	Gráfico de regressão para taxa de transporte de elétrons (ETR) para a interação capacidade de vaso x avaliações (dias) para 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.....	50
Figura 7 —	Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para potencial hídrico em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.....	50
Figura 8 —	Gráfico de regressão para potencial hídrico para a interação capacidade de vaso x avaliações (dias) para 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.....	51
Figura 9 —	Desdobramento da interação entre genótipos de batata-doce e capacidade de vaso (20 e 100%) para concentração interna de CO_2 (C_i), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.....	53
Figura 10 —	Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para eficiência instantânea de carboxilação (E_iC) e eficiência instantânea do uso da água (EUA) em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.....	55

Figura 11 —	Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para clorofila a, b e total em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.....	58
Figura 12 —	Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para carotenoides e teor de açúcares totais em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.....	59
Figura 13 —	Teor de antocianinas em genótipos de batata-doce submetidos a capacidade de vaso de 100% e 20%.....	60
Figura 14 —	Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para teor de malondialdeído (MDA) e prolina em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.....	62
Figura 15 —	Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para polifenóis e peróxido de hidrogênio em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.....	63
Figura 16 —	Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para comprimento, comprimento/volume e diâmetro de raiz em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.....	65
Figura 17 —	Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros de fluorescência da clorofila, biomassa, potencial hídrico, trocas gasosas, parâmetros bioquímicos e de compostos secundários em genótipos de batata-doce submetidos a condição hídrica adequada (100%)	66
Figura 18 —	Coeficiente de correlação (r) entre os parâmetros de fluorescência da clorofila, biomassa, potencial hídrico, trocas gasosas, parâmetros bioquímicos e de compostos secundários em genótipos de batata-doce submetidos a condição hídrica estressada (20%).....	67
Figura 19 —	Resumo da resposta de genótipos de genótipos submetidos a déficit em hídrico (20% da capacidade de vaso) e comparação a condição hídrica adequada (100% da capacidade de vaso). As células cinzas indicam comportamento semelhante nas duas condições hídricas, as células vermelhas indicam piora da característica nas condições de déficit hídrico e as células azuis indicam melhora da característica nas condições de déficit hídrico, com base no teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....	68

SEÇÃO II

Figura 1 —	Ranqueamento dos genótipos de batata-doce em condições hídricas adequadas (100% da capacidade de vaso) por meio do Índice Multivariado de Distância Genótipo-Ideótipo (MGIDI) utilizando dez características relacionadas a respostas fisiológicas e bioquímicas e morfologia radicular.....	92
Figura 2 —	Índice de distância genótipo-ideótipo de 20 genótipos de batata-doce submetido a condições hídricas adequadas (100% da capacidade de vaso) selecionados por meio do índice multivariado de distância genótipo-ideótipo (MGIDI) considerando dez características relacionadas a respostas fisiológicas e bioquímicas e morfologia radicular.....	93
Figura 3 —	Visualização dos pontos fortes e fracos dos genótipos selecionados de batata-doce em condição hídrica adequada (100% da capacidade de vaso) como a proporção de cada fator no Índice Multivariado de Distância Genótipo-Ideótipo (MGIDI). Quanto maior a proporção explicada por um fator (mais próximo da borda externa), mais próximos os traços dentro desse fator estão do ideótipo. A linha tracejada indica o valor teórico se todos os fatores tivessem contribuído igualmente.....	94
Figura 4 —	Ranqueamento dos genótipos de batata-doce em condições hídricas estressantes (20% da capacidade de vaso) por meio do Índice Multivariado de Distância Genótipo-Ideótipo (MGIDI) utilizando dez características relacionadas a respostas fisiológicas e bioquímicas e morfologia radicular.....	97
Figura 5 —	Índice multivariado de distância genótipo-ideótipo de 20 genótipos de batata-doce submetido a condições hídricas estressantes (20% da capacidade de vaso) selecionados por meio do índice multivariado de distância genótipo-ideótipo (MGIDI) considerando dez características relacionadas a respostas fisiológicas e bioquímicas e morfologia radicular.....	98
Figura 6 —	Visualização dos pontos fortes e fracos dos genótipos selecionados de batata-doce em condição hídrica adequada (20% da capacidade de vaso) como a proporção de cada fator no Índice Multivariado de Distância Genótipo-Ideótipo (MGIDI). Quanto maior a proporção explicada por um fator (mais próximo da borda externa), mais próximos os traços dentro desse fator estão do ideótipo. A linha tracejada indica o valor teórico se todos os fatores tivessem contribuído igualmente.....	99

LISTA DE TABELAS

SEÇÃO I

Tabela 1 —	Resumo da análise de variância para os parâmetros de biomassa da parte aérea e raiz (massa fresca e seca da parte aérea – MFPA e MSPA, massa seca de raízes – MSR e número de folhas - NF) de 20 genótipos de batata-doce submetidos a duas capacidades de vaso (20% e 100%).....	41
Tabela 2 —	Resumo da análise de variância com os valores de teste F e coeficiente de variação para os parâmetros de Estágio estacionário do fotossistema II (Fs), Fluorescência máxima (Fms), Rendimento quântico do fotossistema II (Y (II)), Taxa de Transporte de Eletron (ETR), Fluorescência mínima (F ₀), Fluorescência máxima (Fm), Eficiência quântica efetiva do fotossistema II (Fv/Fm), Detector de estresse de Fv/Fm (F _v /F ₀), Potencial Hídrico (PH), Clorofila (ChlM) e Flavonoides (FlvM) de diferentes genótipos (G) de batata-doce (20) submetidos a capacidade de vaso (C) de 20% e 100% em avaliações (A) semanais ao longo de 4 semanas.....	42
Tabela 3 —	Resumo da análise de variância com os valores de teste F e coeficiente de variação para os parâmetros de Fotossíntese líquida (A), Condutância estomática (g _s), Concentração intercelular de CO ₂ (C _i), Taxa de transpiração (E), Déficit de pressão de Vapor (VpdL), Temperatura foliar registrada (CTleaf), Relação entre carbono externo e interno (C _i /C _a), Eficiência instantânea de carboxilação (EiC) e Eficiência instantânea do uso da água (EUA) de diferentes genótipos (G) de batata-doce (20) submetidos a capacidade de vaso de 20% e 100% (C) ao longo do tempo.....	52
Tabela 4 —	Resumo da análise de variância com os valores de teste F e coeficiente de variação para os parâmetros de Açúcares totais, Clorofila A (Clor A), Clorofila B (Clor B), Clorofila total (Clor total), Antocianinas (Antoc.) e Carotenoides (Carote.) de diferentes genótipos de batata-doce (20) submetidos a capacidade de vaso de 20%.....	56
Tabela 5 —	Resumo da análise de variância com os valores de teste F e coeficiente de variação para os parâmetros de Comprimento de raiz (Comp. (cm)), Diâmetro médio (Diame. (mm)), Comprimento/volume (Comp/vol (cm/m ³)), Volume de raiz (Vol. Raiz (m ³)) e Número de pontas (nº de pontas) de genótipos (G) de batata-doce (20) submetidos a capacidade de vaso (C) de 20% e 100%.....	64

SEÇÃO II

Tabela 1 —	Diferenciais de seleção (DS) e análise de fatores para as dez características relacionadas à fisiologia, bioquímica e desenvolvimento de genótipos batata-doce em condição hídrica adequada (100% da capacidade de vaso).....	89
Tabela 2 —	Autovalores, variância explicada por cada fator, cargas fatoriais após a rotação varimax e comunalidade obtidos na análise fatorial de 20 genótipos de batata-doce em condições hídricas adequadas (100% da capacidade de vaso).....	91
Tabela 3 —	Diferenciais de seleção (DS) e análise de fatores para as dez características relacionadas à fisiologia, bioquímica e desenvolvimento de genótipos batata-doce em condição hídrica estressante (20% da capacidade de vaso).....	95
Tabela 4 —	Autovalores, variância explicada por cada fator, cargas fatoriais após a rotação varimax e comunalidade obtidos na análise fatorial de 20 genótipos de batata-doce em condições hídricas estressantes (20% da capacidade de vaso).....	96

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	A cultura da batata-doce.....	17
2.1.1	Importância socioeconômica.....	18
2.1.2	Batata-doce um alimento funcional.....	18
2.2	Respostas da planta ao estresse por déficit hídrico.....	20
2.3	Déficit hídrico em batata-doce.....	23
2.4	Índice de seleção MGIDI.....	25
	REFERÊNCIAS.....	27

SEÇÃO I

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS E MORFOLÓGICAS DE GENÓTIPOS DE BATATA-DOCE SUBMETIDOS A DÉFICIT HÍDRICO.....

		33
1	INTRODUÇÃO.....	35
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	36
2.1	Análises fisiológicas e de crescimento.....	38
2.2	Análises bioquímicas indicadoras de estresses.....	39
2.3	Análises de metabólicos secundários.....	40
2.4	Análise estatística.....	40
3	RESULTADOS.....	41
3.1	Biomassa.....	41
3.2	Fluorescência da clorofila e pigmentos.....	42
3.3	Potencial hídrico foliar.....	48
3.4	Análises de trocas gasosas.....	51
3.5	Análises bioquímicas.....	56
3.6	Análises radicular.....	64
3.7	Correlação entre as características e comportamento geral dos genótipos.....	66
4	DISCUSSÃO.....	69

5	CONCLUSÃO.....	77
	REFERÊNCIAS.....	77
SEÇÃO II		
	SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE BATATA-DOCE TOLERANTES A SECA POR MEIO DO ÍNDICE MULTIVARIADO MGIDI.....	82
1	INTRODUÇÃO.....	84
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	85
2.1	Análises fisiológicas e de crescimento.....	86
2.2	Análises bioquímicas indicadoras de estresses.....	86
2.3	Análises de metabólicos secundários.....	87
2.4	Análise estatística.....	87
3	RESULTADOS.....	89
3.1	Aplicação do índice multivariado de distância genótipo-ideótipo (MGIDI) para vinte genótipos de batata-doce em condições hídricas adequadas (100% da capacidade de vaso).....	89
3.2	Aplicação do índice multivariado de distância genótipo-ideótipo (MGIDI) para vinte genótipos de batata-doce em condições hídricas estressantes (20% da capacidade de vaso).....	95
4	DISCUSSÃO.....	100
5	CONCLUSÃO.....	100
	REFERÊNCIAS.....	100
SEÇÃO III		
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105

1 INTRODUÇÃO GERAL

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) pertence à família botânica Convolvulaceae e se destaca por sua versatilidade, podendo ser utilizada na alimentação humana e animal, como planta ornamental e como matéria-prima nas indústrias de alimentos, tecidos, papel, cosméticos, preparação de adesivos e álcool carburante (Cardoso *et al.*, 2005). Trata-se de hortaliça de fácil cultivo, alta rusticidade, baixo custo de produção e se adapta bem a diferentes tipos de solos e climas, tornando ótima alternativa para regiões menos desenvolvidas, e solos de baixa a média fertilidade (Motsa; Modi; Mabhaudhi, 2015; Kwak, 2019).

Em muitos países, a produção de batata-doce é essencial, pois contribui para reduzir a escassez de alimentos em momentos de crise (catástrofes naturais ou guerras). Está entre as culturas alimentares mais importantes, versáteis e pouco exploradas do mundo, com mais de 90 milhões de toneladas em produção anual, contribuídas principalmente por países asiáticos e africanos, especialmente a China (Alam, 2021).

Atualmente no Brasil, mesmo nos principais centros produtores de batata-doce, como a região do Oeste Paulista, a produtividade média da cultura é de apenas 15,0 t ha⁻¹, o que está abaixo de sua capacidade genética e fica aquém dos níveis de produtividade observados em outros países conhecidos por seu cultivo (Leal *et al.*, 2021). Dentre os fatores que mais influenciam na baixa produtividade da cultura, está o uso de genótipos obsoletos, sensíveis a estresses bióticos e abióticos e manejo inadequado.

Os estresses abióticos têm o potencial de impedir significativamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas, bem como afetar negativamente a qualidade e a produtividade das culturas. Com as mudanças climáticas, antecipa-se que esses estresses se intensifiquem e ocorram com mais frequência nos próximos anos, trazendo maiores desafios aos sistemas agrícolas. Isso pode levar a uma queda drástica na produção agrícola, o que é uma perspectiva preocupante, considerando o crescimento da população global e sua demanda por alimentos. Devido essas circunstâncias, torna-se crucial explorar e desenvolver estratégias eficazes com impacto mínimo ou nenhum impacto climático para sustentar ou aumentar a produção agrícola e reforçar a resiliência dos sistemas agrícolas, além de mitigar os efeitos adversos dos estresses abióticos (Del Buono *et al.*, 2023).

O estresse por escassez de água leva à diminuição da produtividade da batata-doce, pois afeta negativamente processos vitais, como a fotossíntese e a translocação de fotoassimilados, impactando tanto os componentes aéreos quanto os subterrâneos da planta (Guimarães *et al.*, 2021). Quando este estresse é longo e severo, pode ocasionar a morte da planta.

A batata-doce exposta ao estresse por déficit hídrico registra baixa fotossíntese, reduzindo a fluorescência da clorofila 'a', a condutância estomática, a concentração intercelular de dióxido de carbono (CO₂) e a taxa de assimilação de CO₂, principalmente por meio do fechamento estomático (Motsa; Modi; Mabhaudhi, 2015). O manejo adequado da irrigação não apenas leva ao aumento da produtividade comercial da cultura, mas também dobra o rendimento de β-caroteno da batata-doce devido ao aumento do suprimento de água. Por outro lado, o estresse por deficiência hídrica severo resulta em desenvolvimento reduzido da parte aérea, valores mais baixos de índice de área foliar e condutância estomática (Laurie *et al.*, 2012).

O manejo do déficit hídrico pode ser feito por meio do uso de irrigações ou pela obtenção de genótipos tolerantes a seca por meio de melhoramento genético. Apesar de eficiente, o uso de irrigação no cultivo de batata-doce na região do Oeste Paulista ainda é pouco praticado, e isso se deve ao fato de que a maior parte dos produtores são pequenos e muitas vezes não possuem capital para investir, ou por se tratar de áreas arrendadas para renovação de pastagem, o que não justificaria o investimento, pois trata-se de algo efêmero.

A região do Oeste Paulista caracteriza-se por apresentar condição climática que é dividida em dois períodos bem definidos, sendo um quente e úmido (primavera-verão) e outro frio e seco (outono-inverno) (Echer, 2015). A batata-doce costuma ser plantada durante todo o ano no Oeste Paulista, porém, é mais comum que esse plantio ocorra nos meses mais quentes e úmidos, ou seja, no período de primavera-verão. Mesmo esse sendo o período em que ocorrem mais chuvas, também é comum que ocorram veranicos (principalmente nos meses de dezembro a janeiro), ou seja, longos períodos sem chuva e altas temperaturas, que somados aos solos arenosos característicos da região podem se tornar fatores limitantes para a produção (Guimarães *et al.*, 2021; Garcia Neto, 2022).

Apesar de ser considerada cultura rústica e de alta adaptabilidade, a batata-doce possui necessidade hídrica de 500 a 600 mm durante o seu ciclo (Silva *et al.*, 2008). As quatro primeiras semanas é o período mais crítico da cultura, e é de extrema

importância que haja disponibilidade de água no solo para a planta, pois é nesse estágio de desenvolvimento que serão determinados o crescimento e a produtividade final (Echer, 2015).

Estresses ambientais provocam diversas respostas nas plantas, incluindo variações na expressão genética e no metabolismo celular, bem como alterações no crescimento e na produtividade (Anjum *et al.*, 2011). Condições de estresse abiótico afetam vários aspectos da fisiologia vegetal e induzem amplas mudanças nos processos celulares. Estas respostas adaptativas aumentam a tolerância ao estresse e podem representar caminhos potenciais para aumentar a tolerância das culturas (Zhang *et al.*, 2022).

A tolerância à seca em plantas é um traço complexo, influenciado por diversos fatores fisiológicos, bioquímicos e morfológicos. A análise conjunta dessas características por meio de ferramentas estatísticas multivariadas, como o Índice Multivariado de Distância Genótipo-Ideótipo (MGIDI – *Multi-Trait Genotype-Ideotype Distance Index*) permite compreensão mais completa dos mecanismos de resistência e facilita a seleção de genótipos superiores (Olivoto; Nardino, 2020).

Diante do exposto, este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar as respostas fisiológicas, bioquímicas e morfológicas de genótipos de batata-doce submetidas a déficit hídrico e definir, por meio de índice multivariado, qual dentre os genótipos estudados se demonstrou mais tolerante ao déficit hídrico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da batata-doce

Ipomoea batatas (L.) Lam, conhecida popularmente como batata-doce pertence à família Convolvulaceae, e tem origem na América Central e do Sul. As espécies pertencentes a essa família são herbáceas de caule rasteiro e crescimento indeterminado, a distância entre os entrenós varia de 2 a 20 cm, e o caule pode apresentar coloração verde claro à roxo escuro dependendo do genótipo. Possuem folhas simples e alternadas. As flores são hermafroditas, com polinização cruzada, possuem cinco sépalas livres, cinco pétalas e cinco estames fundidos, sendo este último fundido na base do tubo da corola (Silva *et al.*, 2008; Lebot, 2010).

A batata-doce é uma espécie perene, mas na maior parte das vezes é cultivada como anual. Seu sistema radicular é composto por raízes adventícias, que possuem como função sustentar a planta e absorver água e nutrientes do solo, e as raízes tuberosas, onde ocorre o armazenamento dos produtos da fotossíntese, sendo essa raiz de interesse comercial. Uma planta de batata-doce pode produzir de 5 a 10 raízes tuberosas, podendo variar de forma e tamanho em razão da cultivar, ambiente de cultivo e outros fatores (Lebot, 2010; Echer, 2015).

Apesar de ser hortaliça de fácil cultivo, alta rusticidade, baixo custo de produção e se adaptar bem a diferentes tipos de solos e climas, a batata-doce se desenvolve melhor em solos leves, soltos, estruturados, com fertilidade de média para alta, além disso, o solo não pode conter alumínio tóxico, e o pH deve ser entre 5,6 a 6,5 (Miranda *et al.*, 1995; Motsa; Modi; Mabhaudhi, 2015; Kwak, 2019).

A cultura necessita de temperatura média mínima de 24°C para garantir bom desenvolvimento e crescimento vegetativo. Mesmo sendo considerada planta rústica, a temperatura é fator determinante na formação e crescimento das raízes tuberosas. Em regiões onde a temperatura é mais elevada, as raízes produzidas apresentam maior teor de açúcar e menor teor de amido (Miranda *et al.*, 1995).

Em termos de necessidade hídrica, segundo Miranda *et al.* (1995) a cultura deve ser estabelecida em áreas com precipitação média anual de 750 a 1000 mm. Ou em locais que proporcionem de 500 a 600 mm de chuva durante o ciclo da cultura.

O ciclo de desenvolvimento da batata-doce é dividido em três fases, sendo a primeira o estágio de estabelecimento, onde ocorre o crescimento das raízes de fibrosas ou de absorção, chamadas de adventícias; a segunda fase é o estágio intermediário, onde ocorre o início da formação das raízes tuberosas, e por fim o estágio final, que se caracteriza pelo aumento no desenvolvimento das raízes tuberosas. Essas três fases costumam ocorrer em um período que varia de 90 a 150 dias (Echer, 2015).

2.1.1 Importância socioeconômica

A batata-doce possui grande importância socioeconômica, não somente no Brasil, mas em todo o mundo. No ano de 2020, foram produzidas aproximadamente 90 milhões de toneladas de batata-doce em todo o mundo, a maior parte da produção

é de responsabilidade da China, seguida pela África, porém, aproximadamente 100 países em todo o mundo cultivam batata-doce (Alam, 2021).

Segundo o IBGE (2023), foram produzidas no Brasil pouco mais de 925 mil toneladas de batata doce em área de aproximadamente 56 mil hectares, o que significa produtividade média de 15 t ha^{-1} , valor bem abaixo do potencial produtivo da cultura, que pode chegar com o manejo adequado a 25 a 30 t ha^{-1} (Andrade Júnior *et al.*, 2012; Leal *et al.*, 2021).

A cultura da batata-doce tem grande destaque no estado de São Paulo, sendo este o segundo estado no ranking de produção de batata-doce no país, a produção alcançada no estado no ano de 2023 foi de pouco mais de 158 mil t ha^{-1} , com produtividade de aproximadamente 17 t ha^{-1} . Sendo a região do Oeste Paulista responsável pela maior parte dessa produção (IBGE, 2023; Leal *et al.*, 2021).

2.1.2 Batata-doce um alimento funcional

A batata-doce é um alimento apreciado em todo o Brasil. E desempenha papel importante na segurança alimentar (Wang; Nie; Zhu, 2016; Daron *et al.*, 2020). Caracteriza-se como alimento energético com cerca de 30% de matéria seca. Em média, 85% de sua composição é de carboidratos, sendo o amido o principal componente (Silva *et al.*, 2008). Um indivíduo que siga uma dieta de 2000 Kcal, deve ingerir entre 225 e 325 g de carboidratos diariamente, e, ao consumir 100 g de batata-doce de polpa amarela, este suprirá 8,8 a 12,7% da recomendação de carboidrato (OMS, 2015; Daron *et al.*, 2020).

Além do carboidrato, a batata-doce apresenta quantidade significativas de proteínas, vitaminas A e C, cálcio e ferro (Daron *et al.*, 2020). Raízes, caules e folhas da batata-doce são partes comestíveis com composição variada de nutrientes, bioativos, não nutrientes e antinutrientes (Wang; Nie; Zhu, 2016).

Batatas-doces de polpa alaranjada contêm uma mistura de ácidos fenólicos e têm níveis relativamente elevados de carotenoides. A batata-doce de polpa roxa possui altos níveis de antocianinas e outros fenólicos com atividades antioxidantes e anti-inflamatórias (Grace *et al.*, 2014). As folhas de batata doce são boa fonte de minerais (K, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu), fibras alimentares e antioxidantes dietéticos (Johnson; Pace, 2010; Sun *et al.*, 2014).

Entende-se como alimento funcional, aquele que apresenta nutrientes já conhecidos, e compostos que de alguma forma possam trazer benefícios a saúde, logo a batata-doce pode ser considerada alimento funcional (Pimentel; Francki; Gollücke, 2005; Daron *et al.*, 2020). Segundo Leite (2017), antocianinas, carotenoides e flavonoides são os principais componentes bioativos presentes na batata-doce. Devido à presença desses compostos, a batata-doce apresenta atividades antioxidante (Teow *et al.*, 2007), antidiabética (Zhao *et al.*, 2013) anti-inflamatória (Wang *et al.*, 2014) e anticancerígena (Karna *et al.*, 2011).

2.2 Respostas da planta ao estresse por déficit hídrico

Estresse bióticos e abióticos afetam de diversas formas a agricultura e consequentemente a produção de alimentos, portanto, buscar formas de amenizar estas perdas é importante, e vem se tornando uma preocupação para garantir a segurança alimentar em um contexto de mudanças climáticas (Anjum *et al.*, 2011).

Estresses abióticos, como seca, temperaturas extremas, frio, metais pesados ou alta salinidade, prejudicam gravemente o crescimento e a produtividade das plantas. O estresse por deficiência hídrica é um dos mais importantes, pois prejudica o desenvolvimento, limita a produção vegetal e a produtividade das culturas, mais do que qualquer outro estresse ambiental (Shao *et al.*, 2009).

Os estresses ambientais desencadeiam uma ampla variedade de respostas nas plantas, que vão desde alterações na expressão genética e no metabolismo celular até mudanças no crescimento e na produtividade. Condições de estresse abiótico afetam muitos aspectos da fisiologia vegetal e causam mudanças generalizadas nos processos celulares. Muitas dessas mudanças são respostas adaptativas que levam ao aumento da tolerância ao estresse e são, portanto, alvos potenciais para a melhoria das culturas. Os processos envolvidos na resposta adaptativa incluem a reparação de danos induzidos pelo estresse, o reequilíbrio da homeostase celular e o ajuste do crescimento a níveis adequados para a condição de estresse específica (Zhang *et al.*, 2022).

A seca é uma forma fisiológica de déficit hídrico em que a água disponível no solo não é suficiente para a planta, o que afeta negativamente o seu metabolismo. No entanto, as plantas possuem diversas características morfológicas (redução da área foliar, redução do comprimento do caule, moldagem foliar, sistema radicular eficiente,

estabilidade na produção e número de ramos), fisiológicas (transpiração, eficiência no uso da água, atividade estomática e ajuste osmótico) e respostas bioquímicas (acúmulo de prolina, poliamina, aumento da atividade da nitrato redutase e armazenamento de carboidratos nos níveis celular e do organismo) sob estresse por déficit hídrico, que as auxiliam no processo de adaptabilidade e tolerância ao estresse (Haworth; Elliott-Kingston; McElwain, 2013; Ammar *et al.*, 2015; Conesa *et al.*, 2016).

O estresse por déficit hídrico prejudica a mitose, o alongamento e a expansão celular, o que resulta em características reduzidas de crescimento e rendimento (Hussain *et al.*, 2008). Além disso, o número de folhas é reduzido, assim como o seu tamanho, ou seja, ocorre redução na área foliar. A redução da área foliar induzida pela seca é atribuída à supressão da expansão foliar através da redução da fotossíntese (Rucker *et al.*, 1995). Outro efeito observado é a redução da massa foliar tanto fresca como seca (Zhao *et al.*, 2006).

Quando a planta se encontra em déficit hídrico, significa que a água disponível para ela não é suficiente para o seu adequado desenvolvimento. A partir disso, as raízes induzem uma cascata de sinais para a parte aérea da planta via xilema, causando alterações fisiológicas que eventualmente determinam como irá ocorrer a adaptação ao estresse (Anjum *et al.*, 2011). Ácido abscísico (ABA), citocininas, etileno, malato e outros compostos não identificados realizam a sinalização raiz-caule. Esta sinalização da raiz às folhas induzida pelo déficit hídrico resulta no fechamento dos estômatos, o que é uma adaptação importante devido à baixa disponibilidade de água no campo (Taiz *et al.*, 2017).

O processo de fechamento estomático é mediado por concentrações elevadas do hormônio do estresse vegetal, o ácido abscísico (ABA), nas células-guarda. O ABA é sintetizado a partir de precursores de carotenoides nas folhas e nas raízes; sua síntese é estimulada por déficits hídricos e outros estresses. A síntese de ABA aumenta acentuadamente nas raízes que estão em contato com o solo seco e é transportada da raiz para a parte aérea através do xilema (Rhodes; Nadolska-Orczyk, 2001).

Uma das primeiras respostas das plantas ao estresse por déficit hídrico é o fechamento dos estômatos, o que resulta em redução do potencial hídrico e turgor. A condutância estomática reduzida irá limitar a perda de água e a difusão de CO₂, e consequentemente, a assimilação fotossintética (Chaves; Maroco; Pereira, 2003; Grant, 2011).

A diminuição na fotossíntese sob estresse hídrico pode ocorrer devido a mecanismos estomáticos ou não estomáticos (Taiz *et al.*, 2017). Porém, um dos principais motivos para a redução da taxa fotossintética é a privação de entrada de CO₂ nas folhas por conta do fechamento estomático. Em condições de estresse severo, pode ocorrer parada fotossintética, perturbação do metabolismo e, por fim, a morte da planta (Shao *et al.*, 2008).

Anjum *et al.* (2011) indicaram que o estresse por déficit hídrico no milho levou a uma diminuição considerável na fotossíntese líquida (33,22%), taxa de transpiração (37,84%), condutância estomática (25,54%), eficiência no uso da água (50,87%), eficiência intrínseca no uso da água (11,58%) e CO₂ intercelular (5,86%), quando comparadas as plantas sem estresse.

A clorofila é um dos principais componentes do cloroplasto para a fotossíntese, e o conteúdo de clorofila tem relação positiva com a taxa fotossintética. A diminuição do teor de clorofila sob estresse por déficit hídrico tem sido considerada um sintoma típico de estresse oxidativo e pode ser resultado da foto-oxidação do pigmento e da degradação da clorofila. Os pigmentos fotossintéticos são importantes para as plantas, principalmente para a captação de luz. Tanto a clorofila 'a' quanto a 'b' são sensíveis ao déficit hídrico (Farooq *et al.*, 2009).

A produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) é uma das primeiras respostas das células eucarióticas aos estresses bióticos e abióticos. O fechamento estomático em decorrência da seca coincide com exposição a alta radiação fotossinteticamente ativa. Quando as folhas são submetidas a excesso radiação em relação ao CO₂ intracelular disponível, a taxa de produção de elétrons excede a taxa de uso de elétrons no ciclo de Calvin (Grant, 2011). O excesso de energia é prejudicial para os centros de reações do FSII (Yi *et al.*, 2016). Espécies reativas de oxigênio (EROs), como o ânion superóxido (O₂⁻), peróxido de hidrogênio (H₂O₂), o radical hidroxila (OH⁻) e o oxigênio singleto (¹O₂), começam a ser produzidas, principalmente nos cloroplastos, que são tanto os principais produtores como também alvos das EROs (Sofa *et al.*, 2005).

Durante o estresse ambiental, como a seca, os níveis de EROs aumentam significativamente, resultando em danos oxidativos às proteínas, DNA e lipídios (Apel; Hirt, 2004). Sendo altamente reativos, as EROs podem danificar seriamente as plantas, aumentando a peroxidação lipídica, a degradação de proteínas, a fragmentação do DNA e, em último caso, a morte celular (Anjum *et al.*, 2011).

As plantas utilizam mecanismos de defesa antioxidante enzimáticos e não enzimáticos para eliminar ERO_s, como antioxidantes de baixa massa molecular (glutathiona, ascorbato, carotenóides) e enzimas eliminadoras de ERO_s (superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) (Apel; Hirt, 2004). Antioxidantes não enzimáticos cooperam para manter a integridade das membranas fotossintéticas que estão sob estresse oxidativo. Os componentes enzimáticos podem eliminar diretamente as ERO_s ou podem atuar produzindo um não-antioxidante enzimático (Anjum *et al*, 2011).

Plantas que estão em estresse por deficiência hídrica costumam acumular solutos orgânicos e inorgânicos no citosol para diminuir o potencial osmótico, e assim conseguir manter o turgor celular. Esse ajuste osmótico ocorre em resposta ao acúmulo de prolina, sacarose, carboidratos solúveis, glicinabetaína e outros solutos, o que resulta em melhora na absorção de água do solo com pouca água disponível (Grant, 2011).

As concentrações de açúcares solúveis (sacarose, glicose e frutose) são alteradas pela seca. Em geral, as concentrações aumentam (Chaves; Oliveira, 2004). Os açúcares solúveis atuam como moléculas sinalizadoras sob estresse, interagem com hormônios e modificam a expressão de genes envolvidos no metabolismo fotossintético (Chaves; Oliveira, 2004; Grant, 2011).

2.3 Déficit hídrico em batata-doce

O déficit hídrico pode impedir significativamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas, afetando negativamente a qualidade e a produtividade das culturas (Del Buono *et al.*, 2023). Apesar de ser considerada uma planta rústica e de fácil cultivo, a batata-doce necessita de 500 a 600 mm de chuva durante o seu ciclo, caso a quantidade disponível de água não seja o suficiente, o seu desenvolvimento é afetado de forma negativa, e consequentemente a produtividade final da cultura também (Miranda *et al.*, 1995; Silva *et al.*, 2008; Daron, 2020).

A planta sofre estresse por déficit hídrico quando a absorção de água pelas raízes se torna difícil ou quando a taxa de transpiração se torna muito alta (Anjum, *et al.*, 2011). A suscetibilidade das plantas ao estresse hídrico varia de acordo com o grau de estresse, a espécie da planta e o estágio de desenvolvimento da mesma (Demirevska *et al.*, 2009).

Em estudo realizado por Yoshida (2020), com a cultivar Beauregard submetidas a estresse por déficit hídrico, foram observados que as plantas estressadas apresentavam menor potencial hídrico, o mesmo ocorreu em relação a taxa de assimilação de CO₂, condutância estomática, concentração interna de CO₂, taxa de transpiração, teores de pigmentos nas folhas (clorofilas, carotenoides e antocianinas) área foliar e a massa seca foliar. Yooyongwech *et al.* (2013) observaram que as plantas de batata-doce em estágio de desenvolvimento vegetativo estressadas por deficiência hídrica apresentaram diminuição no crescimento e nos teores dos pigmentos fotossintéticos.

Quando há déficit hídrico, a produção vegetal da planta é reduzida. Isso leva a uma diminuição na taxa líquida de assimilação e a uma menor taxa de produção de massa seca, resultando na diminuição da área foliar e na inibição da atividade fotossintética devido ao fechamento dos estômatos. Além disso, o déficit hídrico reduz a absorção de nutrientes pelas plantas devido à diminuição da mobilidade dos íons no solo e ao menor fluxo de nutrientes causado pela redução da absorção de água (Maza, 1991).

Wang *et al.* (2019) realizaram estudo que demonstrou que a batata-doce foi mais sensível ao estresse hídrico no 10º dia após o transplante. Os resultados mostraram que a biomassa da batata-doce diminuiu sob estresse hídrico, e a fluorescência da clorofila reduziu significativamente. Em experimento realizado com as cultivares Uruguaiana e Canadense irrigadas com somente 20% da reposição da evapotranspiração, observaram diminuição das trocas gasosas, e menor número e massa seca das raízes tuberosas nas plantas expostas ao estresse por déficit hídrico (Guimarães *et al.*, 2021).

Em experimento realizado com dez genótipos de batata-doce observou-se que o déficit hídrico reduziu a maioria das características de desenvolvimento de parte aérea para manter o crescimento da raiz. Em média, a seca reduziu as características aéreas em 29%, as características da raiz em 24% e as características fisiológicas e de troca gasosa em 10%. Neste mesmo estudo observou-se um aumento de cerca de 23% no teor de clorofila e 11% no teor de flavonoides (Ramamoorthy *et al.*, 2022).

2.4 Índice de seleção MGIDI

Índices de seleção são ferramentas estatísticas que combinam diversas características de interesse em um único valor numérico. Essa combinação permite que o melhorista selecione indivíduos com o perfil genético mais desejável de forma mais eficiente (Granate; Cruz; Pacheco, 2002). Existem diferentes tipos de índices, como o clássico, o de base de seleção e o de soma das classificações, cada um com suas particularidades (Dalarosa, 2021).

No contexto de um programa de melhoramento genético, os melhoristas visam obter genótipos que apresentem um conjunto ideal de características, conhecido como ideótipo. Esse conceito, proposto por Donald (1968), busca otimizar o desempenho das culturas, concentrando-se na seleção de genótipos que combinam várias características desejáveis de forma simultânea. Um dos índices mais utilizados para identificar esses ideótipos é o índice de Smith e Hazel (SH) (Hazel, 1943; Smith, 1936), amplamente aplicado por melhoristas para selecionar genótipos superiores com base em múltiplos critérios, como demonstrado em estudos recentes de Jahufer e Casler (2015), Burdon e Li (2018) e Barth *et al.* (2022).

Uma das principais limitações do índice de Smith e Hazel (SH) é a sua sensibilidade à multicolinearidade (Olivoto; Nardino, 2021). Quando as características avaliadas são altamente correlacionadas, a matriz de covariância fenotípica, que é invertida no cálculo do índice, torna-se mal condicionada, o que pode levar a estimativas de coeficientes de índice tendenciosas e, consequentemente, a uma precisão reduzida das estimativas de ganho genético (Alam *et al.*, 2024).

Desenvolvido por Olivoto e Nardino (2020), o Índice Multivariado de Distância Genótipo-Ideótipo (MGIDI – *Multi-trait Genotype-Ideotype Distance Index*) representa um avanço na seleção de genótipos. Este índice quantifica a distância entre um genótipo e um perfil ideal (ideótipo), considerando múltiplas características de forma integrada. Inicialmente, as características são padronizadas para uma escala comum (0 a 100). Em seguida, a análise fatorial é utilizada para identificar padrões de correlação entre as características e reduzir a dimensionalidade dos dados. Com base nas características desejadas, define-se um ideótipo. Por fim, a distância entre cada genótipo e o ideótipo é calculada usando a equação proposta por Olivoto e Nardino (2020):

$$MGIDI_i = \left[\sum_{j=1}^f (Y_{ij} - Y_j)^2 \right]^{0.5}$$

Onde $MGIDI_i$ é o índice multivariado de distância genótipo-ideótipo para o i -ésimo genótipo; Y_{ij} é o escore do i -ésimo genótipo no j -ésimo fator ($i = 1, 2, \dots, g$; $j = 1, 2, \dots, f$), sendo g e f o número de genótipos e fatores, respectivamente; e Y_j é o j -ésimo escore do ideótipo. Quanto menor for o valor do $MGIDI$, mais próximo o genótipo estará do ideótipo.

Essa técnica tem sido utilizada com sucesso em vários programas de melhoramento de culturas, como trigo (Pour-Aboughadareh; Poczai, 2021), arroz (Debsharma *et al.*, 2022), milho (Singamsetti *et al.*, 2023).

REFERÊNCIAS

- ANDRADE JÚNIOR, V. C.; VIANA, D. J. S.; PINTO, N. A.; RIBEIRO, K. G.; Pereira, R. C.; NEIVA, I. P., AZEVEDO, A. M.; ANDRADE, P. C. R. Características produtivas e qualitativas de ramas e raízes de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 584–589, 2012. DOI: 10.1590/S0102-05362012000400004.
- ALAM, M. K. A comprehensive review of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam): revisiting the associated health benefits. **Trends in Food Science & Technology**, v. 115, p. 512-529, 2021. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.07.001.
- ALAM, Z.; AKTER, S.; KHAN, M. A. H.; AMIN, N.; KARIM, R.; RAHMAN, H. S.; RASHID, H.; RAHMAN, M.; MOKARROMA, N.; SABUZ, A. A.; ALAM, J.; ROY, T. K.; HABIB, E. R S.; ALI, M. A.; CHANDA, D.; SARKER, U. Multivariate analysis of yield and quality traits in sweet potato genotypes (*Ipomoea batatas* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 328, p. 112901, 2024. DOI: 10.1016/j.scienta.2024.112901.
- AMMAR, M. H.; ANWAR, F.; EL-HARTY E.H.; MIGDADI, H.M; ABDEL-KHALIK S.M.; AL-FAIFI A. A.; FAROOQ, M. S. Physiological and yield responses of Faba bean (*Vicia faba* L.) to drought stress in managed and open field environments. **J Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 201, n. 4, p. 280-287, 2015. DOI: 10.1111/jac.12112.
- ANJUM, S. A.; WANG, L. C.; FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; XUE L. L.; ZOU, C .M.; Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, n. 3, p. 177-185, 2011. DOI: 10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x.
- APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, n. 1, p. 373-399, 2004. DOI: 10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701.
- BARTH, E.; RESENDE, J. T. V.; MARIGUELE, K. H.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, A. L. B. R.; SUSHAN, R. Multivariate analysis methods improve the selection of strawberry genotypes with low cold requirement. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 11458, 2022. DOI: 10.1038/s41598-022-15688-4.
- BURDON, R. D.; LI, Y. Genotype-environment interaction involving site differences in expression of genetic variation along with genotypic rank changes: simulations of economic significance. **Tree Genetics & Genomes**, v. 15, n. 1, p. 2, 2019. DOI: 10.1007/s11295-018-1308-3.
- CARDOSO A. D.; VIANA A. E. S.; RAMOS P. A. S.; MATSUMOTO S. N.; AMARAL C. L. F.; SEDIYAMA T.; MORAIS O. M. Avaliação de clones de batata-doce em Vitória da Conquista. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 4, p. 911-914, 2005.

CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v. 30, n. 3, p. 239-264, 2003. DOI: 10.1071/FP02076.

CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 407, p. 2365-2384, 2004. DOI: 10.1093/jxb/erh269.

CONESA, M. R.; ROSA J. M.; DOMINGO, R.; BANON, S.; PEREZ-PASTOR, A. Changes induced by waterstress on water relations, stomatal behaviour and morphology of table grapes (cv. Crimson seedless) grown in pots. **Scientia Horticulturae**, v. 202, p. 9-16, 2016. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.02.002

DALAROSA, L. E. **Parâmetros genéticos e índice de seleção MGIDI na identificação de genótipos superiores de mandioca**. 2021. 42 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2021.

DARON, T. C.; TOMIMATSU, A. M.; MELLO, A. P. S.; SANTOS, B. A.; BERNARDI, D. M. Ipomoea Batatas No Brasil. **Fag Journal of Health**, v. 2, p. 103–116, 2020.

DEBSHARMA, S. K.; SYED, M.A.; ALI, M.H.; MANIRUZZAMAN, S.; ROY, P.R.; BRESTIC, M.; GABER, A.; HOSSAIN, A. Harnessing on genetic variability and diversity of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes based on quantitative and qualitative traits for desirable crossing materials. **Genes**, v. 14, n. 1, p. 10, 2022. DOI: 10.3390/genes14010010.

DEL BUONO, D.; REGNI, L.; PROIETTI, P. Abiotic stresses, biostimulants and plant activity. **Agriculture**, v. 13, p. 191, 2023. DOI: 10.3390/agriculture13010191.

DEMIREVSKA, K; ZASHEVA, D., DIMITROV, R; SIMOVA-STOILOVA, L; STAMENOVA, M.; FELLER, U. Drought stress effects on Rubisco in wheat: changes in the Rubisco large subunit. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 31, p. 1129-1138, 2009. DOI: 10.1007/s11738-009-0331-2.

ECHER, F. R. **Nutrição e adubação da batata doce**. Presidente Prudente: Universidade do Oeste Paulista, 2015.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, p. 185-212, 2009. DOI: 10.1051/agro:2008021

GARCIA NETO, Jair. **Parâmetros produtivos e adaptabilidade e estabilidade temporal de genótipos experimentais de batata-doce de polpa branca e creme na região Oeste Paulista**. 2022. 73f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2022.

GRACE, M. H.; YOUSEF, G. G.; GUSTAFSON, S. J.; TRUONG, V. D.; YENCHO, G. C.; LILA, M. A. Phytochemical changes in phenolics, anthocyanins, ascorbic acid, and carotenoids associated with sweet potato storage and impacts on bioactive

properties. **Food Chemistry**, v. 145, p. 717–724, 2014. DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.08.107.

GRANATE, M. J.; CRUZ, C. D.; PACHECO, C. A. P. Predição de ganho genético com diferentes índices de seleção no milho pipoca CMS-43. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 7, p. 1001-1008, 2002. DOI: 10.1590/S0100-204X2002000700014.

GRANT, O. M. Understanding and Exploiting the Impact of Drought Stress on Plant Physiology. In: AHMAD, P.; PRASAD, M. N. V. (ed.). **Abiotic Stress Responses in Plants: metabolism, productivity and sustainability**. New York: Springer, 2011. p. 89-104. DOI: 10.1007/978-1-4614-0634-1_5.

GUIMARÃES, G. F.; GORNI, P. H.; VITOLO, H. F.; CARVALHO, M. E. A.; PACHECO, A. C. Sweetpotato tolerance to drought is associated to leaf concentration of total chlorophylls and polyphenols. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 33, p. 385-396, 2021. DOI: 10.1007/s40626-021-00220-2.

HAWORTH, M; ELLIOTT-KINGSTON, C; MCELWAIN, J. C. Co-ordination of physiological and morphological responses of stomata to elevated [CO₂] in vascular plants. **Oecologia**, v. 171, p. 71-82, 2013. DOI: 10.1007/s00442-012-2406-9.

HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, v. 28, n. 6, p. 476-490, 1943. DOI: 10.1093/genetics/28.6.476.

HUSSAIN, M.; MALIK, M. A.; FAROOQ, M.; ASHRAT, M. Y.; CHEEMA, M. A. Improving drought tolerance by exogenous application of glycinebetaine and salicylic acid in sunflower. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, n. 3, p. 193-199, 2008. DOI: 10.1111/j.1439-037X.2008.00305.x

JAHUFER, M. Z. Z.; CASLER, M. D. Application of the Smith-Hazel selection index for improving biomass yield and quality of switchgrass. **Crop Science**, v. 55, n. 3, p. 1212-1222, 2015. DOI: 10.2135/cropsci2014.08.0575.

JOHNSON, M.; PACE, R. D. Sweet potato leaves: properties and synergistic interactions that promot. **Nutrition reviews**, v. 68, n. 10, p. 604-615, 2010. DOI: 10.1111/j.1753-4887.2010.00320.x.

KARNA, P.; GUNDALA, S. R.; GUPTA, M. V.; SHAMSI, S. A.; PACE, R. D.; YATES, C.; NARAYAN, S.; ANEJA, R. Polyphenol-rich Sweet potato greens extract inhibits proliferation and induces apoptosis in prostate cancer cells in vitro and in vivo. **Carcinogenesis**, v. 32, n. 12, p. 1872-1880, 2011. DOI: 10.1093/carcin/bgr215.

KWAK, S. S. Biotechnonology of the sweetpotato: ensuring global food and nutrition security in the face of climate change. **Plant Cell Reports**, v. 38, n. 11, p. 1361-1363, 2019. DOI: 10.1007/s00299-019-02468-0.

LAURIE, S. M.; FABER, M.; VAN JAARSVELD, J.; LAURIE, R. N.; DU PLOOY, C. P.; MODISANE, P. C. Produtividade e produtividade de β -caroteno da batatadoce de polpa alaranjada (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) influenciada pelos tratamentos de

irrigação e aplicação de fertilizantes. **Scientia Horticultural**, v. 142, p. 180-184, 2012.

LEAL, M. H. S.; ZEIST, A. R.; RODRIGUES JÚNIOR, N.; SILVA JÚNIOR, A. D.; ARANTES, J. H. V.; GARCIA NETO, J.; DE PIERI, J. R. S.; PERRUD, A. C. Selection of new sweet potato genotypes based on production parameters, physical root characteristics and resistance to *Euscepes postfasciatus*. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 24, n. 3, p. 349-360, 2021. DOI: 10.1007/s12892-020-00083-0.

LEBOT, V. Sweet potato. In: BRADSHAW, J. E. (ed.). **Root and tuber crops**. New York: Springer Science, 2010. v. 7, p. 97-125. DOI: 10.1007/978-0-387-92765-7_3.

LEITE, C. E. C. **Novas cultivares de batatas-doces (*Ipomoea batatas* L. Lam.):** potencial nutricional, composição de bioativos, propriedades antioxidantes e análise digital de imagem. 2017. 201 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

MAZA, E. E. A. **Atividade da redutase do nitrato e acúmulo de prolina livre em *Phaseolus vulgaris* L. em função de níveis de água e doses de nitrogênio.** 1991. 69 f. Tese (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

MIRANDA, J. E. C.; FRANÇA, F. H.; CARRIJO, O. A.; SOUZA, A. F.; PEREIRA, W.; LOPES, C. A.; SILVA, J. B. C. **A cultura da batata-doce.** Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1995. 94 p. (Embrapa-SPI. Coleção Plantar, 30).

MOTSA, N.; MODI, A.; MABHAUDHI, T. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) as a drought tolerant and food security crop. **South African Journal of Science**, v. 111, n. 11, p. 1-8, 2015. DOI: 10.17159/sajs.2015/20140252.

OLIVOTO, T.; NARDINO, M. MGIDI: a novel multi-trait index for genotype selection in plant breeding. **BioRxiv**, p. 2020.07. 23.217778, 2020. DOI: 10.1101/2020.07.23.217778.

OLIVOTO, T.; NARDINO, M. MGIDI: Toward an effective multivariate selection in biological experiments. **Bioinformatics**, v. 37, n. 10, p. 1383-1389, 2021. DOI: 10.1093/bioinformatics/btaa981.

PIMENTEL, B. M. V.; FRANCKI, M.; GOLLÜCKE, B. P. **Alimentos funcionais:** introdução as principais substâncias bioativas em alimentos. São Paulo: Varela, 2005.

POUR-ABOUGHADAREH, A.; POCZAI, P. Dataset on the use of MGIDI index in screening drought-tolerant wild wheat accessions at the early growth stage. **Data in Brief**, v. 36, p. 107096, 2021. DOI: 10.1016/j.dib.2021.107096.

RAMAMOORTHY, P.; BHEEMANAHALLI, R.; MEYERS, S. L.; SHANKLE, M. W.; REDDY, K. R. Drought, low nitrogen stress, and ultraviolet-B radiation effects on

growth, development, and physiology of sweetpotato cultivars during early season. **Genes**, v. 13, n. 1, p. 156, 2022. DOI: 10.3390/genes13010156.

RHODES, D.; NADOLSKA-ORCZYK, A. **Plant stress physiology**. Encyclopaedia of Life Sciences, 2001.

SHAO, H. B.; CHU, L. Y.; JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; PANNEERSELVAM, R. SHAO M. A. Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants-biotechnologically and sustainably improving agriculture and the ecoenvironment in arid regions of the globe. **Critical reviews in biotechnology**, v. 29, n. 2, p. 131-151, 2009. DOI: 10.1080/07388550902869792.

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. **A cultura da batata-doce**. 6. ed. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. (Embrapa Hortaliças. Sistemas de Produção, 6). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalias/como-plantar-batata-doce>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

SINGAMSETTI, A.; ZAIDI, P. H.; SEETHARAM, K.; VINAYAN, M. T.; OLIVOTO, T.; MAHATO, A.; MADANKAR, K.; KUMAR, M.; SHIKHA, K. Genetic gains in tropical maize hybrids across moisture regimes with multi-trait-based index selection. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1147424, 2023. DOI: 10.3389/fpls.2023.1147424.

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annals of eugenics**, v. 7, n. 3, p. 240-250, 1936. DOI: 10.1111/j.1469-1809.1936.tb02143.x.

SOFO, A.; DICHIO, B.; XILOYANNIS, C.; MASIA, A. Antioxidant defences in olive trees during drought stress: changes in activity of some antioxidant enzymes. **Funct Plant biology**, v. 32, n. 1, p. 45-53, 2005. DOI: 10.1071/FP04003.

SUN, H.; MU, T.; XI, L.; ZHANG, M.; CHEN, J. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves as nutritional and functional foods. **Food Chemistry**, v. 156, p. 380–389, 2014. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.01.079.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

WANG, S.; NIE, S.; ZHU, F. Chemical constituents and health effects of sweet potato. **Food Research International**, v. 89, p. 90-116, 2016. DOI: 10.1016/j.foodres.2016.08.032.

WANG, W.; LI, J.; WANG, Z.; GAO, H.; SU, L.; XIE, J.; CHEN, X.; LIANG, H.; WANG, C.; HAN, Y. Oral hepatoprotective ability evaluation of purple sweet potato anthocyanins on acute and chronic Chemical liver injuries. **Cell Biochemistry and Biophysics**, v. 69, p. 539-548, 2014. DOI: 10.1007/s12013-014-9829-3.

WANG J. Q.; LI H.; LIU, Q.; XIANG, D. [Effects of drought stress on root development and physiological characteristics of sweet potato at seedling stage]. **Ying Yong Sheng tai xue bao= The Journal of Applied Ecology**. v. 30, n. 9, p. 3155-3163, 2019. DOI: DOI: 10.13287/j.1001-9332.201909.026.

YI, X. P.; ZHANG, Y.L.; YAO, H. S.; LUO, H. H.; GOU, L.; CHOW, W. S.; ZHANG, W. F. Rapid recovery of photosynthetic rate following soil water déficit and rewatering in cotton plants (*Gossypium herbaceum* L.) is related to the stability of the photosystems. **Journal of Plant Physiology**, v. 194, p. 23-24, 2016. DOI: 10.1016/j.jplph.2016.01.016.

YOSHIDA, C. H. P. **Déficit hídrico e aplicação de metil-jasmonato sobre as trocas gasosas, síntese de compostos fenólicos e formação de raízes tuberosas em batata-doce**. 2020. 69f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2020.

YOOYONGWECH, S.; THEERAWITAYA C.; SAMPHUMPHUANG, T.; CHA-UM, S. Water-deficit tolerant identification in sweet potato genotypes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) in vegetative developmental stage using multivariate physiological indices. **Scientia Horticulturae**, v. 162, p. 242-251, 2013. DOI: 10.1016/j.scienta.2013.07.041.

ZHANG, H.; Zhu, J.; Gong, Z.; ZHU, J. K. Abiotic stress responses in plants. **Nature Reviews Genetics**, v. 23, n. 2, p. 104-119, 2022. DOI: 10.1038/s41576-021-00413-0.

ZHAO, T. J.; SUN, S.; LIU, Y.; LIU, J. M.; LIU, Q.; YAN, Y. B.; ZHOU, H. M. Regulating the drought-responsive element (DRE)-mediated signaling pathway by synergic functions of trans-active and transinactive DRE binding factors in *Brassica napus*. **Journal of Biological Chemistry**, v. 281, n. 16, p. 10752-10759, 2006. DOI: 10.1074/jbc.M510535200.

ZHAO, J. G.; YAN, Q. Q.; LU, L. Z.; ZHANG, Y. Q. In vivo antioxidant, hypoglycemic, and anti-tumor activities of anthocyanin extracts from purple sweet potato. **Nutrition Research and Practice**, v. 7, n. 5, p. 359–365, 2013. DOI: 10.4162/nrp.2013.7.5.359.

SEÇÃO I

Respostas fisiológicas, bioquímicas e morfológicas de genótipos de batata-doce submetidos a déficit hídrico

Resumo

A batata-doce é cultura de grande importância socioeconômica e nutricional, sendo cultivada em diversas regiões do mundo. No entanto, o estresse por déficit hídrico, um dos principais desafios enfrentados pela agricultura, pode comprometer significativamente a produtividade e a qualidade dessa cultura. O objetivo deste estudo foi avaliar as respostas fisiológicas, bioquímicas e morfológicas de genótipos de batata-doce a condições de déficit hídrico, visando identificar genótipos tolerantes e elucidar os mecanismos de tolerância à seca. Adotou-se delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 2x20. O primeiro fator foi constituído de dois regimes hídricos, 20 e 100% da capacidade de vaso. O segundo fator foi constituído de 20 genótipos. Adicionalmente, avaliações ao longo do tempo foram realizadas para flavonoides e fluorescência da clorofila, potencial hídrico e trocas gasosas. Foram avaliados parâmetros de fluorescência da clorofila, biomassa, potencial hídrico, trocas gasosas, parâmetros bioquímicos e de compostos secundários em genótipos de batata-doce submetidos a déficit hídrico. Os resultados demonstraram uma grande variabilidade de respostas. Os genótipos 'Luiza', 'Canadense', 'CIP 420717', 'Maria Isabel' e 'CIP 440186' demonstraram desempenho superior em relação à tolerância à seca, com base nos parâmetros avaliados.

Palavras-chave: *Ipomoea batatas* (L.) Lam.; estresse abiótico; seca; fisiologia vegetal; fotossíntese; fluorescência da clorofila.

Physiological, biochemical and morphological responses of sweet potato genotypes subject to water deficit

Abstract

Sweet potato is a crop of great socioeconomic and nutritional importance, cultivated in several regions of the world. However, water deficit stress, one of the main challenges faced by agriculture, can significantly compromise the productivity and quality of this crop. The objective of this study was to evaluate the physiological, biochemical and morphological responses of sweet potato genotypes to water deficit conditions, aiming to identify tolerant genotypes and elucidate the mechanisms of drought tolerance. A completely randomized experimental design was adopted, with four replicates, in a 2x20 factorial scheme. The first factor consisted of two water regimes, 20 and 100% of the pot capacity. The second factor consisted of 20 genotypes. Additionally, evaluations over time were performed for flavonoids and chlorophyll fluorescence, water potential and gas exchange. Chlorophyll fluorescence, biomass, water potential, gas exchange, biochemical parameters and secondary compounds were evaluated in sweet potato genotypes subjected to water deficit. The results demonstrated a great variability of responses. The genotypes 'Luiza', 'Canadense', 'CIP 420717', 'Maria Isabel' and 'CIP 440186' demonstrated superior performance in relation to drought tolerance, based on the evaluated parameters.

Keywords: *Ipomoea batata* (L.) Lam.; abiotic stress; drought; plant physiology; photosynthesis; chlorophyll fluorescence.

1 INTRODUÇÃO

Com origem nas Américas (Central e do Sul), a batata-doce é cultivada globalmente, contribuindo para a segurança alimentar e nutricional. As raízes de armazenamento da batata-doce, ricas em fibras solúveis (cerca de 40%), desempenham papel crucial na regulação dos níveis de glicose e colesterol sanguíneos, tornando-a alimento fundamental para indivíduos com diabetes (Burri, 2011; Ramamoorthy *et al.*, 2022). Além disso, sua densa concentração de nutrientes e baixo custo a posicionam como alimento básico em muitas regiões em desenvolvimento (Asiedu *et al.*, 2010).

O estresse por déficit hídrico, um dos principais estresses abióticos, afeta significativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas. Caracterizado pela perda de água e redução do potencial hídrico foliar, o estresse por déficit hídrico induz o fechamento estomático, reduzindo a fotossíntese e o crescimento celular, com consequências diretas para a produtividade agrícola global (Jaleel *et al.*, 2009; Zhoul *et al.*, 2022).

A batata-doce é erroneamente considerada cultura tolerante à seca, pois é negativamente afetada pelo déficit hídrico, principalmente durante as fases de estabelecimento da planta e formação das raízes tuberosas. O estresse por déficit hídrico compromete os processos fisiológicos da planta, como a fotossíntese e a translocação de fotoassimilados, resultando em redução da produtividade e em alterações na qualidade das raízes tuberosas (Guimarães *et al.*, 2021; Sapakhova *et al.*, 2023; Toroco *et al.*, 2023).

A resposta de genótipos de batata-doce à seca é altamente variável, e a identificação dos mecanismos fisiológicos relacionados a essa tolerância é crucial para o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas a condições de estresse por déficit hídrico. Considerando que a batata-doce é frequentemente cultivada em regiões com solos arenosos e clima quente, como é o caso da região do Oeste Paulista, a seca se configura como desafio significativo para a produção. A caracterização de genótipos ainda pouco explorados nesse contexto representa oportunidade única para aprofundar o conhecimento sobre os mecanismos de tolerância à seca e para o desenvolvimento de novas cultivares mais produtivas e resilientes.

A tolerância à seca é uma característica crucial para a batata-doce, especialmente em regiões com baixa disponibilidade hídrica. Diversos estudos têm investigado a resposta de diferentes genótipos de batata-doce ao déficit hídrico, buscando identificar mecanismos de tolerância e variedades mais adaptadas. Trabalhos como os realizados por Yooyongwech *et al.* (2017) e Ramamoorthy *et al.* (2022) que avaliaram parâmetros fisiológicos, como potencial hídrico foliar, fluorescência da clorofila e trocas gasosas, em diferentes genótipos sob condições de seca, buscando identificar características associadas à tolerância. No entanto, apesar dos avanços na compreensão da resposta da batata-doce ao estresse hídrico, observa-se uma lacuna na literatura em relação à avaliação de cultivares brasileiras de batata-doce sob condições de déficit hídrico. A identificação de genótipos tolerantes à seca, especialmente entre cultivares brasileiras, é fundamental para o desenvolvimento de práticas de manejo e melhoramento genético que visem aumentar a produtividade e a sustentabilidade da cultura da batata-doce no Brasil.

Considerando a importância da batata-doce na segurança alimentar e o impacto das mudanças climáticas, o desenvolvimento de cultivares tolerantes à seca é fundamental para garantir a sustentabilidade da produção e promover o desenvolvimento socioeconômico das regiões produtoras. Nesse sentido, a exploração da diversidade genética e a compreensão dos mecanismos fisiológicos de tolerância são passos cruciais para o avanço do melhoramento genético dessa cultura. Este estudo teve como objetivo quantificar as respostas fisiológicas, bioquímicas e morfológicas de genótipos de batata-doce submetidos a déficit hídrico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, nas dependências do Centro de Estudos em Olericultura e Fruticultura do Oeste Paulista – CEOFOP, na Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, em Presidente Prudente-SP. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema fatorial 2x20. O primeiro fator foi constituído de duas taxas de reposição hídrica (20 e 100% da capacidade de vaso). O segundo fator foi constituído de 20 genótipos de batata-doce previamente classificados com aparente tolerância a seca, incluindo os controles comerciais ‘Mineirinha’ e ‘Canadense’. Adicionalmente, avaliações ao longo do tempo foram realizadas para flavonoides e

fluorescência da clorofila (5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias após o déficit hídrico), potencial hídrico (5, 10, 15, 20 e 30 dias) e trocas gasosas (7 e 29 dias após o início do manejo da irrigação). Esse delineamento permitiu avaliar o efeito do déficit hídrico sobre os genótipos e a evolução dos parâmetros fisiológicos ao longo do tempo.

Foram utilizados 20 genótipos, sendo dez comerciais (Beauregard, Canadense, Japonesa, Luiza, Mineirinha, BRS Cuia, IAC Clara, Maria Isabel Unesp, BRS Cotinga e IAC 134 AL01), e dez acessos do CIP (International Potato Center) (CIP-420717, CIP-440224, CIP-400092, CIP-440186, CIP-440178, CIP-440003, CIP-440181, CIP-187012/2, CIP-440209 e CIP-420024). Esses genótipos foram previamente classificados como tolerantes ao déficit hídrico em avaliação realizada em casa de vegetação conforme metodologia adaptada de Omotobora *et al.* (2014).

As ramas-semente de batata-doce foram padronizadas em 30 cm de comprimento e plantadas em vasos plásticos com capacidade de 12 L. Os vasos foram preenchidos com solo de barranco e areia lavada na proporção 2:1. Foi realizado adubação de plantio conforme recomendação para cultura (Echer *et al.*, 2015).

Após o plantio, o experimento foi irrigado por cinco semanas para garantir adequado estabelecimento das plantas. Após este período, quando as plantas apresentaram folhas e raízes adventícias, foi iniciado o manejo da irrigação, conforme os tratamentos de 20 e 100% da capacidade de vaso. A diferenciação dos regimes hídricos foi mantida por quatro semanas para coincidir com o início da formação de raízes tuberosas, estágio crítico de demanda de água pela cultura da batata-doce.

O manejo da irrigação foi realizado por meio do monitoramento da umidade do solo, com auxílio de sensores de reflectometria no domínio do tempo (TDR), com prévia calibração do equipamento. Para tanto, foi determinada a capacidade de retenção de água no solo do vaso (capacidade de vaso). Após o preenchimento, os vasos foram pesados e saturados com água. Posteriormente, os vasos foram cobertos a fim de evitar a evaporação e submetidos a drenagem por percolação, realizando-se aferição da umidade com auxílio da TDR a cada 24 horas até estabilização das leituras, momento no qual foi determinada a capacidade de retenção de água no solo do vaso.

2.1 Análises fisiológicas e de crescimento

a) Trocas gasosas:

As trocas gasosas das folhas foram estudadas por meio de analisador de gases por infravermelho (IRGA, Li-6400XTR, LiCor, USA), com 1000 μmol fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 400 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ de CO_2 e $\Delta \text{CO}_2 + \Delta \text{H}_2\text{O}$ inferior a 1%, entre 10 e 11h, aos 7 e 29 dias após manejo da irrigação conforme os tratamentos. Os seguintes parâmetros foram obtidos: taxa de assimilação líquida de CO_2 (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração intercelular de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$), temperatura da folha (T_{leaf} , $^{\circ}\text{C}$) e déficit de pressão de vapor baseado na temperatura da folha (DPV , kPa). A partir desses dados, foram quantificadas a eficiência do uso da água (EUA , $\text{mmol H}_2\text{O}^{-1}$) e a eficiência instantânea de carboxilação in vivo da Rubisco (EiC), estimadas por meio da relação entre assimilação líquida de CO_2 e taxa de transpiração (A/E) e a relação entre assimilação líquida de CO_2 e concentração interna de CO_2 na folha (A/C_i), respectivamente.

b) Fluorescência da Clorofila

Foram obtidos os valores de estágio estacionário do fotossistema II (F_s), fluorescência máxima (F_{ms}), rendimento quântico do fotossistema II ($Y(\text{II})$) e taxa de transporte de elétron (ETR), medidas realizadas por meio de pulsos de saturação. As medidas de fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), eficiência quântica potencial do fotossistema II (FSII) F_v/F_m e relação F_v/F_0 , foram realizadas adotando-se o método do pulso de saturação em folhas pré-adaptadas ao escuro. Em ambas as avaliações foi utilizado o kit para medição de fluorescência (Plant Stress Kit, ADC) aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias após o início do manejo da irrigação.

c) Análise de Pigmentos

O teor de flavonoides foi aferido nas folhas por meio de medidor multi-pigmentos (Multi-Pigment-Meter MPM-100, ADC) aos 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias após a supressão da irrigação.

d) Potencial hídrico foliar (ψ_a):

O potencial hídrico das folhas foi mensurado em câmara de Scholander (modelo 1000, PMS Instruments, USA) ao meio-dia aos 5, 10, 15, 20 e 30 dias após a imposição de deficiência hídrica. As mesmas plantas foram utilizadas para análise de trocas gasosas e do potencial hídrico.

e) Biomassa:

Nove semanas após o plantio, a parte aérea, raízes tuberosas e raízes fibrosas foram colhidas e acondicionadas em estufa de ventilação forçada à 65°C até massa constante para obtenção da massa seca de parte aérea e de raízes.

f) Avaliação das raízes:

As raízes foram analisadas por meio de escaneador de raízes (Epson LA2400) e software WinRhizo (Regent Instruments) para determinar o comprimento (cm), diâmetro médio (mm), comprimento por volume (cm/cm³).

2.2 Análises bioquímicas indicadoras de estresses

Após a finalização do experimento (9 semanas) foram coletadas as folhas para a realização das análises bioquímicas.

a) Determinação do teor do malondialdeído (MDA)

O nível de peroxidação de lipídeos foi medido em termos de conteúdo de malondialdeído, usando a reação do ácido tiobarbitúrico (TBA), segundo metodologia de Heath & Packer (1968).

b) Teor de carboidratos nas folhas:**b.1) Açúcares solúveis:**

A concentração de carboidratos nas folhas foi obtida seguindo o método de Dubois *et al.* (1956), usando glucose como padrão.

c) Teor de pigmentos foliares (clorofila a, clorofila b, clorofila total, carotenoides e antocianinas):

A concentração de clorofila e carotenoides, em $\mu\text{ mL}^{-1}$, foi determinada por meio de espectrofotômetro, conforme metodologia de Wellburn (1994).

d) Teor de prolina foliar

A prolina livre nos tecidos foliares foi extraída e analisada de acordo com a metodologia de Bates; Waldren e Teare (1973).

e) Peróxido de hidrogênio

O peróxido de hidrogênio foi determinado de acordo com a metodologia de Velikova *et al.* (2000).

2.3 Análises de metabólicos secundários

a) Teor de compostos fenólicos totais ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)

A determinação foi realizada de acordo com o método Folin-Cicalteu e solução de cabornato de sódio 25% (Stagos *et al.*, 2012).

2.4 Análise estatística

As pressuposições da análise de variância foram aferidas (distribuição normal, homogeneidade de variâncias e independência dos erros) antes de submeter os dados à análise de variância. Quando o teste F da análise de variância foi significativo, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott à 5% de significância, também foram realizadas análises de regressão para avaliar o comportamento das características avaliadas ao longo do tempo com o auxílio do software estatístico AgroEstat (Barbosa; Maldonado Junior, 2015).

3 RESULTADOS

3.1 Biomassa

Não houve interação significativa entre genótipos e capacidades de vaso para as características de biomassa de parte aérea e raiz (massa fresca e seca da parte aérea, massa seca de raiz e número de folhas) (Tabela 1). No entanto, diferenças foram detectadas entre os genótipos e entre as capacidades de vaso para massa fresca de parte aérea e número de folhas. Os genótipos diferiram quanto a massa seca de raiz.

Observou-se que os genótipos 'Mineirinha' e 'IAC-134 AL01' apresentaram maior número de folhas do que os outros genótipos avaliados (Figura 1). Ambos os genótipos também apresentaram maior massa fresca, juntamente com os genótipos 'Japonesa', 'BRS Cuia', 'IAC Clara' e dois genótipos oriundos do CIP '187012/2' e '440209' (Figura 1). Em relação a massa seca de raiz, sete dos vinte genótipos testados apresentaram maior massa, nomeadamente 'CIP 440224', 'Canadense', 'Mineirinha', 'Japonesa', 'BRS Cuia', 'IAC Clara' e 'IAC-134 AL01'.

Tabela 1 — Resumo da análise de variância para os parâmetros de biomassa da parte aérea e raiz (massa fresca e seca da parte aérea – MFPA e MSPA, massa seca de raízes – MSR e número de folhas - NF) de 20 genótipos de batata-doce submetidos a duas capacidades de vaso (20% e 100%).

Características	Genótipos (G)	Capacidade de vaso (C)	G x C	CV %
MFPA ⁺	2,92 ^{**}	9,57 ^{**}	1,03 ^{NS}	27,89
MSPA ⁺	0,75 ^{NS}	0,47 ^{NS}	0,81 ^{NS}	25,18
MSR ⁺⁺	4,67 ^{**}	0,668 ^{NS}	1,37 ^{NS}	19,41
NF ⁺	2,68 ^{**}	22,77 ^{**}	1,40 ^{NS}	26,21

Fonte: A autora.

^{**} significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ^{*} significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$);

^{NS} não significativo. (°) dados transformados em $\text{Log}(x+1)$ e (°°) dados transformados em $\sqrt{x} + 1$.

Ocorreu diferenças significativas em relação a capacidade de vaso para os parâmetros de número de folhas e massa fresca da parte aérea, onde as plantas que estavam na condição de 100% da capacidade de vaso apresentaram maior número de folhas e massa fresca quando comparadas às plantas que estavam na condição estressante. Houve redução em aproximadamente 50% e 30% do número de folhas e

massa fresca das plantas, respectivamente, para as plantas que se encontravam na condição de 20% da capacidade de vaso.

3.2 Fluorescência da clorofila e pigmentos

Não ocorreu interação tripla significativa entre os três fatores para nenhuma das características avaliadas (Tabela 2). Ocorreu interação entre os fatores genótipos e capacidade de vaso para quase todas as características, com exceção para taxa de transporte de elétrons e eficiência quântica efetiva do fotossistema II (Fv/Fm). Não houve interação entre genótipos e avaliações. Foi detectada interação entre as capacidades de vaso e avaliações para a taxa de transporte de elétrons e o potencial hídrico (Tabela 2).

Tabela 2 — Resumo da análise de variância com os valores de teste F e coeficiente de variação para os parâmetros de Estágio estacionário do fotossistema II (Fs), Fluorescência máxima (Fms), Rendimento quântico do fotossistema II (Y (II)), Taxa de Transporte de Eletron (ETR), Fluorescência mínima (F₀), Fluorescência máxima (Fm), Eficiência quântica efetiva do fotossistema II (Fv/Fm), Detector de estresse de Fv/Fm (Fv/F₀), Potencial Hídrico (PH) e Flavonoides (FlvM) de diferentes genótipos (G) de batata-doce (20) submetidos a capacidade de vaso (C) de 20% e 100% em avaliações (A) semanais ao longo de 4 semanas.

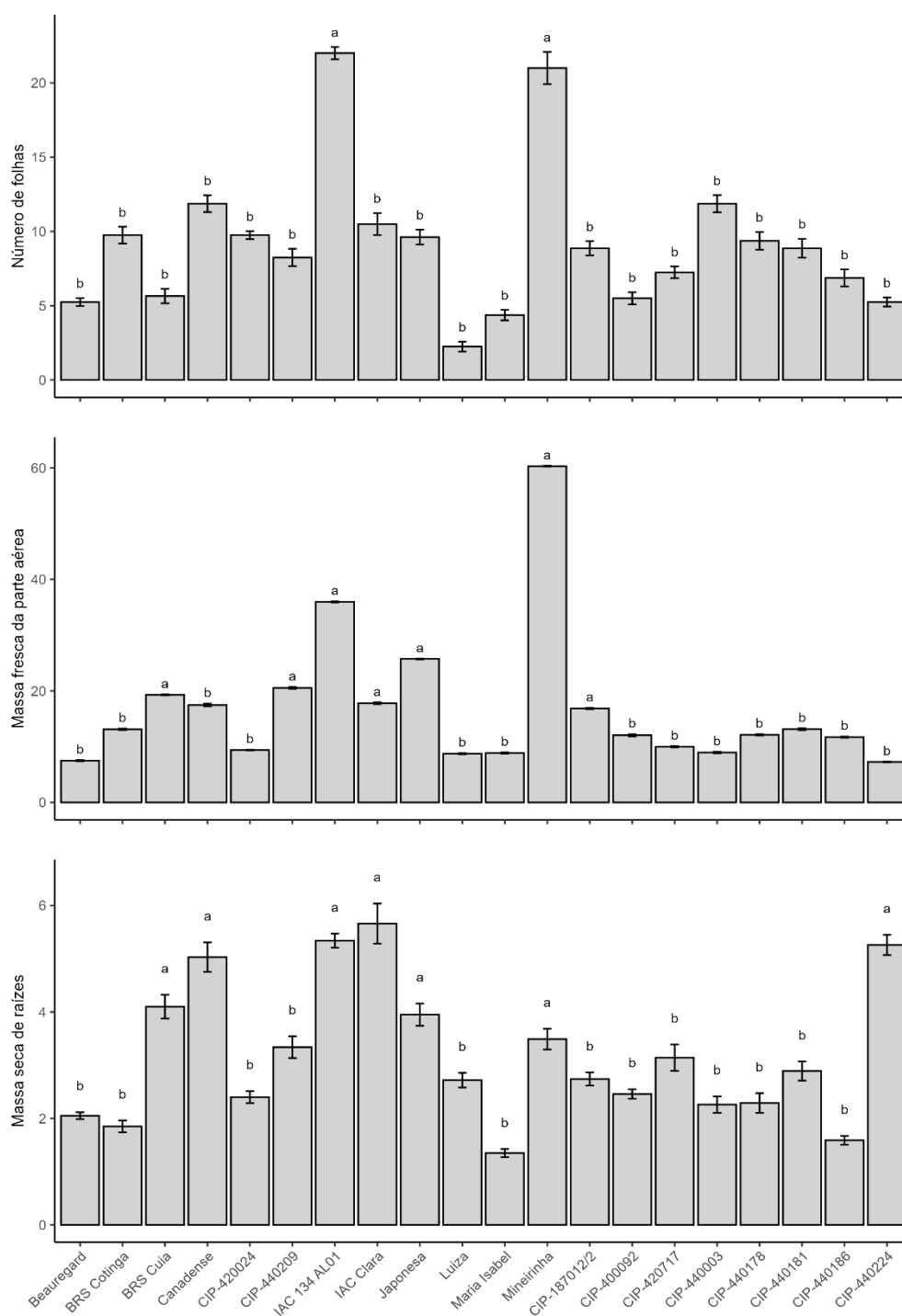
	G	C	A	G x C	G x A	C x A	G x C x A	CV %
Fs	2,52**	16,49**	7,68**	1,59 ^{NS}	0,79 ^{NS}	1,03 ^{NS}	0,85 ^{NS}	17,70
Fms	3,03**	57,23**	18,16**	3,45**	0,95 ^{NS}	2,17 ^{NS}	1,18 ^{NS}	15,23
Y(II)	1,19 ^{NS}	8,01**	16,35**	1,80*	0,99 ^{NS}	1,52 ^{NS}	1,06 ^{NS}	9,79
ETR ⁺⁺	1,85*	38,16**	51,74**	1,54 ^{NS}	1,20 ^{NS}	3,04*	1,19 ^{NS}	15,70
F ₀	3,16**	8,17**	1,89 ^{NS}	2,93**	0,81 ^{NS}	2,12 ^{NS}	0,87 ^{NS}	9,87
Fm	2,60**	93,24**	13,47**	3,55**	0,91 ^{NS}	1,59 ^{NS}	0,88 ^{NS}	10,41
Fv/Fm	0,80 ^{NS}	3,87 ^{NS}	17,16**	1,22 ^{NS}	0,96 ^{NS}	0,22 ^{NS}	1,20 ^{NS}	13,75
Fv/F ₀	2,60**	52,83**	12,29**	4,23**	0,85 ^{NS}	1,26 ^{NS}	1,04 ^{NS}	12,14
PH	3,05**	42,97**	203,51**	3,21**	1,07 ^{NS}	7,44**	1,15 ^{NS}	29,82
FlvM	11,25**	13,55**	5,05**	3,73**	0,91 ^{NS}	0,81 ^{NS}	0,76 ^{NS}	26,25

Fonte: A autora.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$);

^{NS} não significativo. (++) dados transformados em $\sqrt{x + 1}$.

Figura 1 — Número de folhas e massa fresca da parte aérea de genótipos de batata-doce submetidos a imposição hídrica de 20% e 100% da capacidade de vaso.



Fonte: A autora.

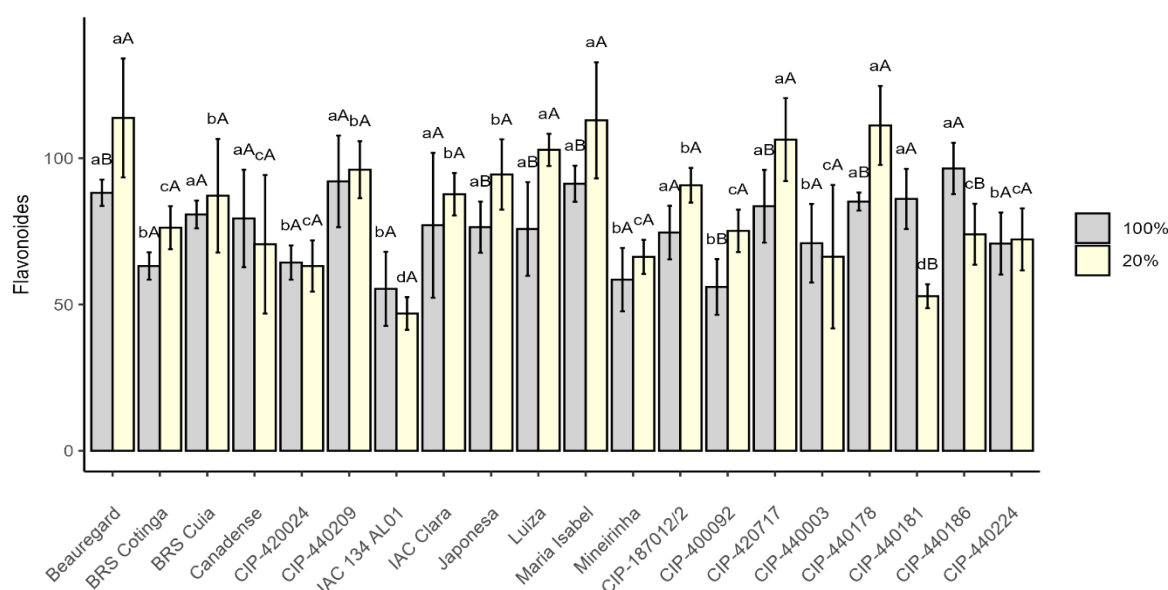
Os resultados são apresentados como médias. Letras minúsculas comparam os genótipos, letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

A produção de flavonoides nos genótipos ‘CIP-420717’, ‘CIP-400092’, ‘CIP-440178’, ‘Luiza’, ‘Beauregard’, ‘Japonesa’ e ‘Maria Isabel’ foi consideravelmente maior nas plantas que estavam na condição estressante. Já os genótipos ‘CIP-440186’ e ‘CIP-440181’ tiveram a expressão do pigmento diminuída na condição de déficit hídrico (Figura 2).

Houve diferença entre genótipos e capacidade de vaso para fluorescência mínima da clorofila (F_0), fluorescência máxima (F_m) e eficiência (F_v/F_0) (Figura 3). A fluorescência mínima permaneceu igual para 15 dos 20 genótipos testados, independente da imposição hídrica. Houve redução do parâmetro na condição de 20% de capacidade de vaso para os genótipos ‘CIP-440003’, ‘Luiza’ e ‘Canadense’, já para os genótipos ‘CIP-440209’ e ‘IAC-134 AL01’ o déficit hídrico ocasionou aumento na fluorescência mínima (Figura 3).

A fluorescência máxima da clorofila adaptada ao escuro foi menor nos genótipos ‘CIP-420717’, ‘CIP-440224’, ‘CIP-187012/2’, ‘Luiza’, ‘Canadense’, ‘Beauregard’, ‘BRS Cuia’, ‘IAC Clara’ e ‘BRS Cotinha’ que estavam na condição de déficit hídrico do solo (Figura 3). A redução chegou a aproximadamente 21% em comparação as plantas que estavam em condição não estressante (Figura 3).

Figura 2 — Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de campo (20 e 100%) para os teores de flavonoides de 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.



Fonte: A autora.

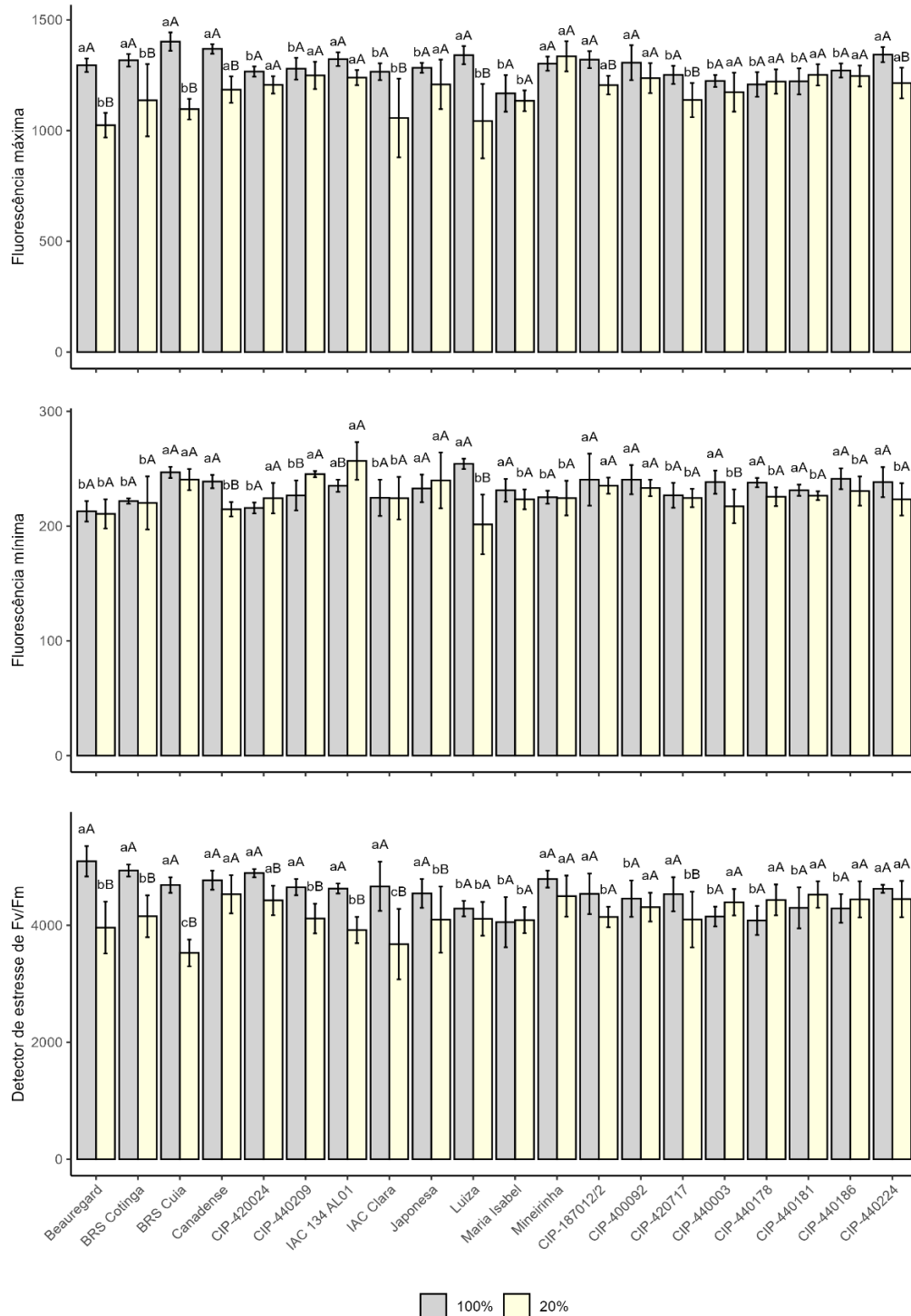
Os resultados são apresentados como médias. Letras minúsculas comparam os genótipos e letras maiúsculas comparam as capacidades de vaso dentro de cada genótipo, letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os tratamentos

Em relação a razão F_v/F_0 (detector de estresse no F_v/F_m) a maioria dos genótipos permaneceram iguais estatisticamente, independente da imposição hídrica, esse resultado indica que não ocorreu detecção de estresse na eficiência quântica do fotossistema II. Os genótipos 'CIP-420717', 'CIP-440209', 'CIP-420024', 'Beauregard', 'Japonesa', 'BRS Cuia', 'IAC Clara', 'BRS Cotinga' e 'IAC 134 AL01' apresentaram menor valor de razão F_v/F_0 na condição de 20% de capacidade de vaso indicando que há estresse na eficiência quântica do fotossistema II (Figura 3).

Os genótipos 'CIP-440224', 'CIP-400092', 'CIP-440186', 'CIP-440178', 'CIP-187012/2', 'CIP-440209', 'Mineirinha' apresentaram maior valor de estágio estacionário do fotossistema II (Figura 4).

Observou-se diminuição da fluorescência máxima nos genótipos 'CIP-420717', 'CIP-420024', 'Luiza', 'Beauregard', 'BRS Cuia', 'IAC Clara', 'Maria Isabel' e 'BRS Cotinga' que estavam na condição de déficit hídrico (Figura 4). De forma geral o rendimento quântico do fotossistema II não foi afetado pelo regime de irrigação na maioria dos genótipos avaliados. Ocorreu redução no $Y(II)$ dos genótipos 'BRS Cuia' e 'Maria Isabel' na condição de 20% de capacidade de vaso (Figura 5).

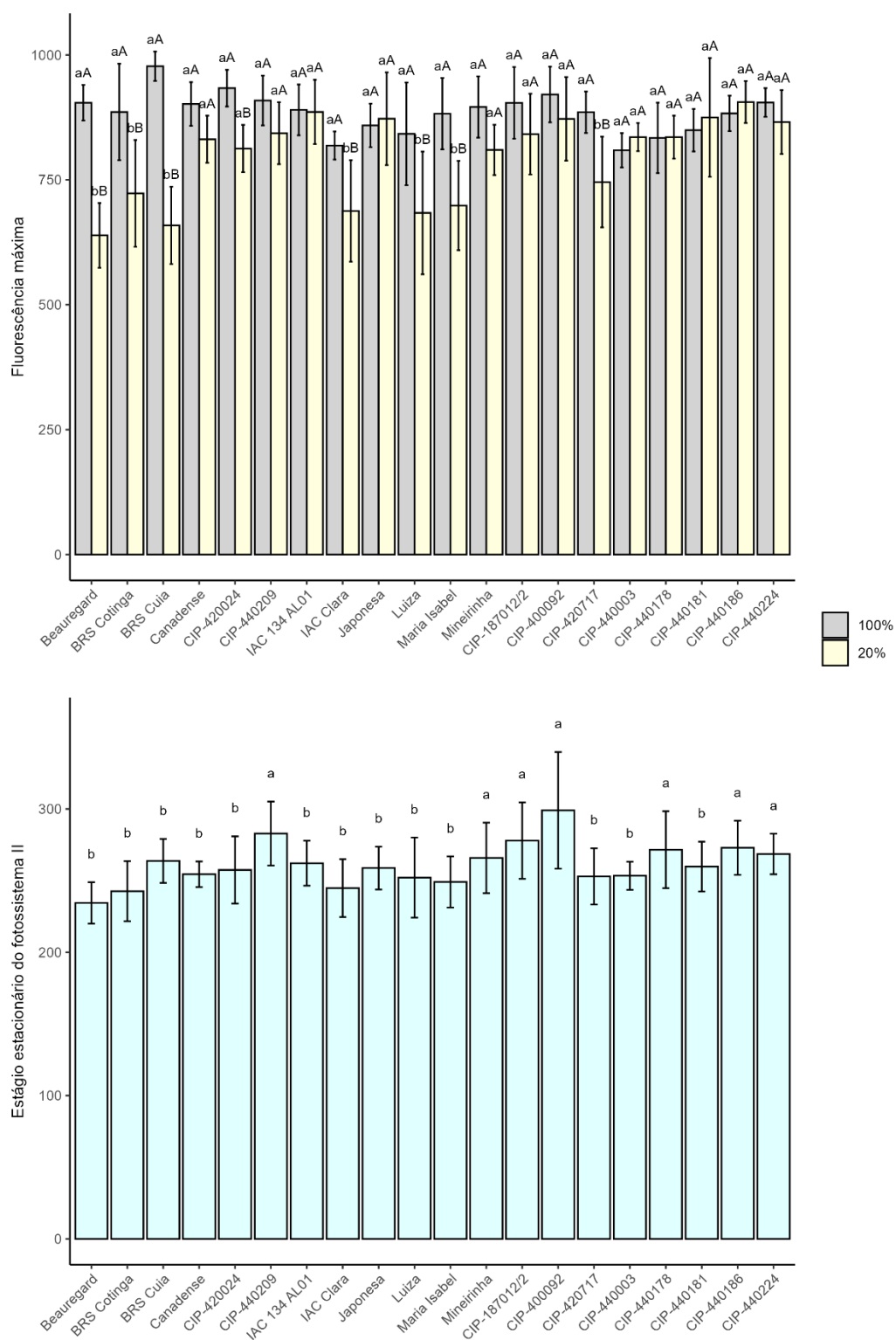
Figura 3 — Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para fluorescência mínima da clorofila (F_0), fluorescência máxima da clorofila (F_m) e detector de estresse em F_v/F_m (F_v/F_0).



Fonte: A autora.

Os resultados são apresentados como médias. Letras minúsculas comparam os genótipos e letras maiúsculas comparam as capacidades de vaso dentro de cada genótipo, letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade entre os tratamentos. (**) Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. (NS) não significativo

Figura 4 — Fluorescência máxima (Fms) e Estágio estacionário do fotossistema II em 20 genótipos de batata-doce submetidos a capacidade de vaso de 20% e 100%.



Fonte: A autora.

Os resultados são apresentados como médias. Letras minúsculas comparam os genótipos e letras maiúsculas comparam as capacidades de vaso dentro de cada genótipo.

Na análise de taxa de transporte de elétrons (ETR) os resultados para o fator genótipos foi significativo. Seis dos genótipos avaliados apresentaram desempenho inferior para ETR quando comparados aos demais, foram eles: 'CIP-440224', 'CIP-440181', 'CIP-420024', 'Luiza', 'Canadense' e 'BRS Cotinga' (Figura 5). A taxa de transporte de elétrons foi cerca de 14% menor na capacidade de vaso de 20% (283,96) em comparação a capacidade de 100% (333,90), ou seja, o déficit hídrico afetou negativamente a ETR, houve danos ao aparato fotossintético.

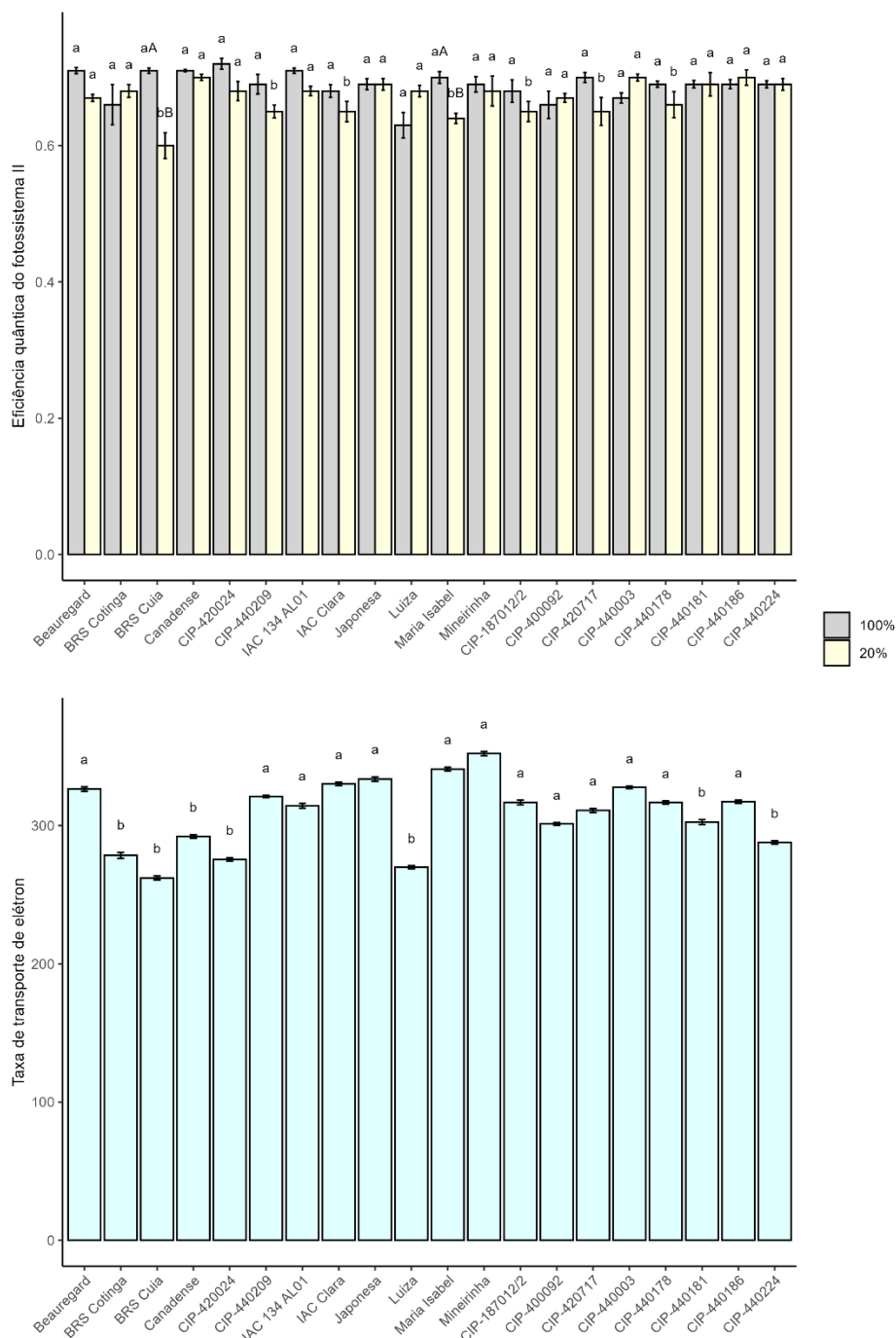
O gráfico de regressão quadrática (Figura 6) mostra como a taxa de transporte de elétrons varia ao longo do tempo nas condições de 20 e 100% da capacidade de vaso. Nas avaliações realizadas aos 10, 20 e 25 dias após o início do manejo da irrigação é possível observar que a ETR foi maior na condição de déficit hídrico (20%), no restante dos dias a ETR se manteve igual para ambas as condições.

3.3 Potencial hídrico foliar

Verificou-se redução do potencial hídrico para os genótipos 'CIP-420717', 'CIP-440003', 'CIP-187012/2', 'CIP-420024', 'Mineirinha', 'Beauregard' e 'IAC 134 AL01' que estavam na imposição hídrica de 20% (Figura 7). A redução do potencial hídrico foliar ocasionada pela diminuição do potencial hídrico do solo irá afetar o movimento dos estômatos e as trocas gasosas.

O potencial hídrico em ambas as condições se manteve igual ao longo do tempo. O tratamento de 20% (linha vermelha) mostra um potencial hídrico consistentemente menor que o tratamento de 100% (linha azul) no último dia de avaliação. Isso era esperado, já que 20% representa uma condição de menor disponibilidade de água (Figura 8).

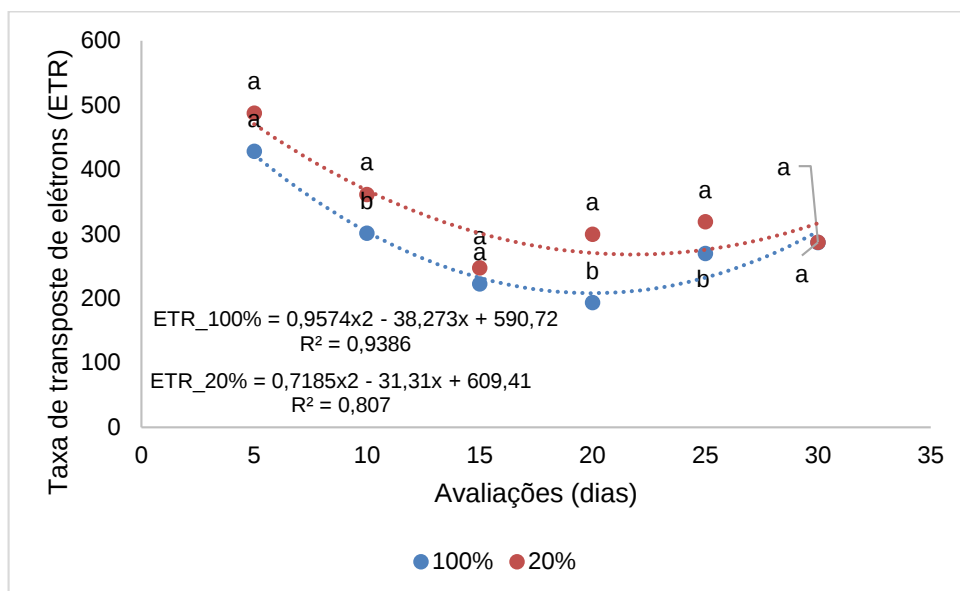
Figura 5 — Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para eficiência quântica do fotossistema II (Y (II)) e taxa de transporte de elétron (ETR) em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.



Fonte: A autora.

Os resultados são apresentados como médias. Letras minúsculas comparam os genótipos e letras maiúsculas comparam as capacidades de vaso dentro de cada genótipos, letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

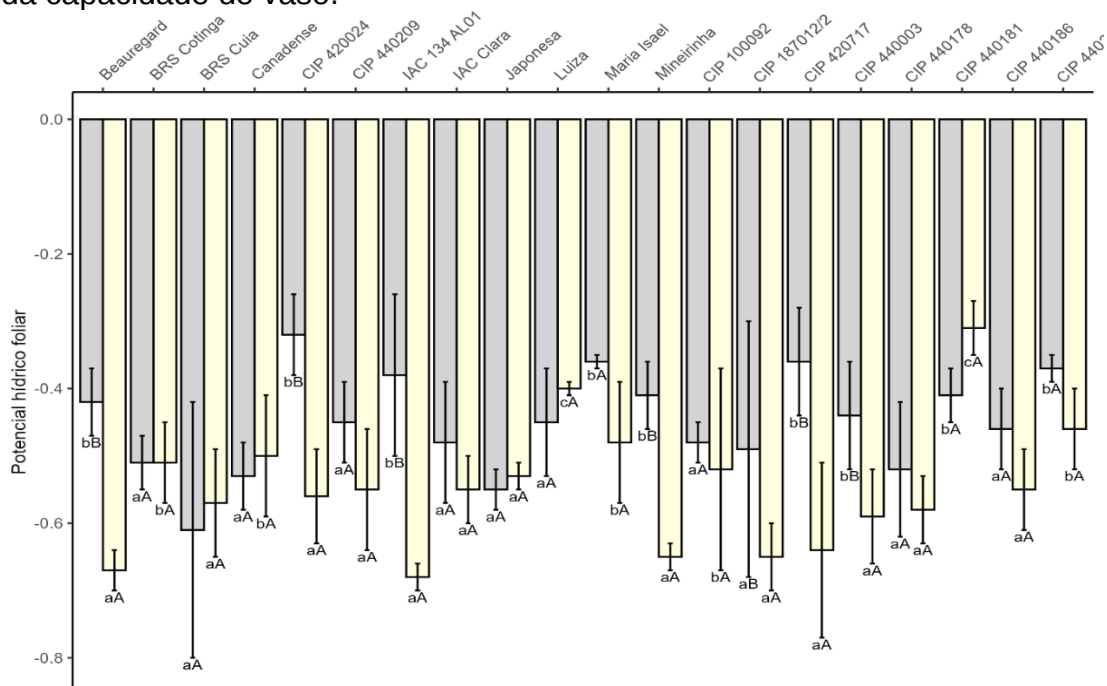
Figura 6 — Gráfico de regressão para taxa de transporte de elétrons (ETR) para a interação capacidade de vaso x avaliações (dias) para 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.



Fonte: A autora.

Os resultados são apresentados como médias. Letras minúsculas comparam as capacidades de vaso dentro de cada genótipos, letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

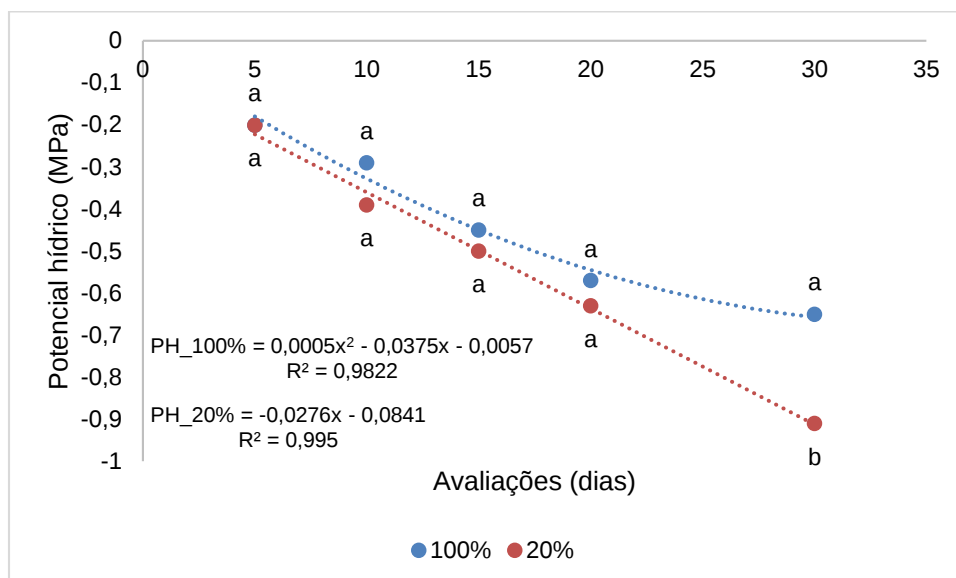
Figura 7 — Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para potencial hídrico em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.



Fonte: A autora.

Os resultados são apresentados como médias. Letras minúsculas comparam os genótipos e letras maiúsculas comparam as capacidades de vaso dentro de cada genótipos, letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

Figura 8 — Gráfico de regressão para potencial hídrico para a interação capacidade de vaso x avaliações (dias) para 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.



Fonte: A autora.

Os resultados são apresentados como médias. Letras minúsculas comparam as capacidades de vaso dentro de cada genótipos, letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

3.4 Análises de trocas gasosas

Não houve interação tripla para nenhum dos parâmetros avaliados nas análises de trocas gasosas (Tabela 3). Ocorreram interação entre genótipos e capacidade de vaso para praticamente todas as variáveis, com exceção da fotossíntese líquida (A), que só obteve resultados significativos isolados para capacidade de vaso e avaliações. Observou-se interação entre capacidade de vaso e avaliação para concentração intercelular de CO_2 (Tabela 3).

O déficit hídrico exerceu um impacto significativo sobre a fotossíntese das plantas de batata-doce. A taxa fotossintética foi reduzida em aproximadamente 54% nas plantas que estavam sob estresse hídrico (20% da capacidade de vaso), quando comparadas às plantas que receberam água em quantidade suficiente (100% da capacidade de vaso).

Os genótipos 'CIP-400092', 'CIP-440186' e 'CIP-440003' apresentaram maior condutância estomática na capacidade de vaso de 20%, o oposto ocorreu com os genótipos 'CIP-440209', 'IAC Clara' e 'BRS Cotinga' que marcaram maior condutância estomática na condição controle (100%). O restante dos genótipos não se diferiu

estatisticamente, permanecendo com a mesma taxa de condutância estomática em qualquer uma das capacidades de vaso (Figura 9).

Tabela 3 — Resumo da análise de variância com os valores de teste F e coeficiente de variação para os parâmetros de Fotossíntese líquida (A), Condutância estomática (g_s), Concentração intercelular de CO_2 (C_i), Taxa de transpiração (E), Eficiência instantânea de carboxilação (EiC) e Eficiência instantânea do uso da água (EUA) de diferentes genótipos (G) de batata-doce (20) submetidos a capacidade de vaso de 20% e 100% (C) ao longo do tempo (A).

	G	C	A	G x C	G x A	C x A	GxCxA	CV %
A ⁺⁺	1,18 ^{NS}	4,91*	115,01**	1,69 ^{NS}	0,88 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,74 ^{NS}	22,29
g_s ⁺⁺	2,15*	3,39 ^{NS}	35,18**	2,65**	1,05 ^{NS}	1,03 ^{NS}	0,50 ^{NS}	5,29
C_i	1,78*	16,67**	41,31**	2,51**	0,89 ^{NS}	6,32*	1,13 ^{NS}	18,73
E ⁺⁺	2,42**	16,11**	25,20**	2,32**	1,04 ^{NS}	3,8 ^{NS}	0,67 ^{NS}	19,62
Eic ⁺⁺	2,40**	6,18*	77,11**	2,21**	0,53 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,46 ^{NS}	1,30
EUA ⁺⁺	4,76**	9,56**	49,64**	2,43**	1,43 ^{NS}	5,08 ^{NS}	1,11 ^{NS}	13,15

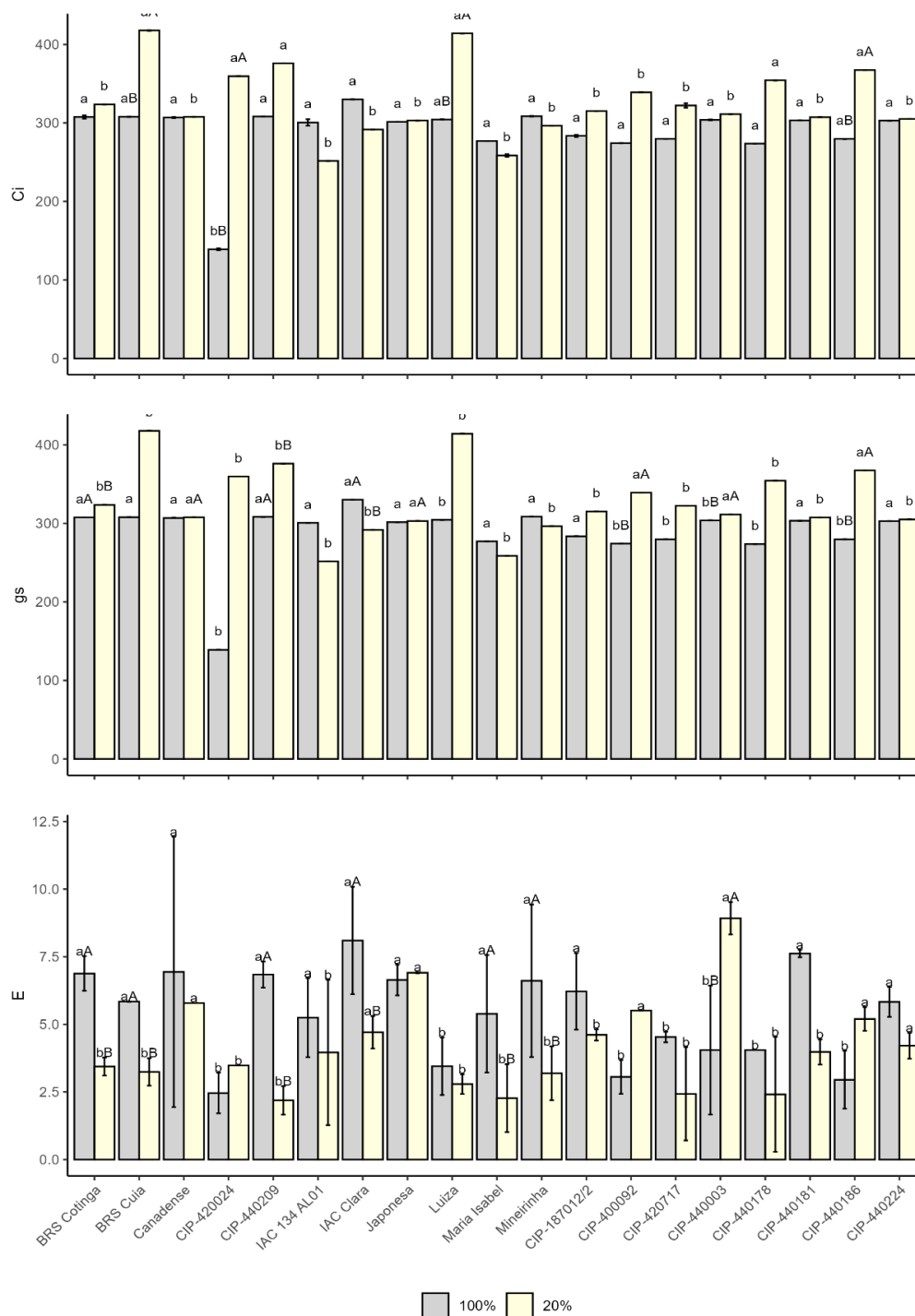
Fonte: A autora.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$);

^{NS} não significativo. (++) dados transformados em $\sqrt{x + 1}$.

Quando as plantas foram cultivadas com irrigação plena (100% da capacidade de vaso), não houve diferenças entre os genótipos em relação à concentração interna de CO_2 . Por outro lado, ao submeter as plantas a condições de estresse hídrico (20% da capacidade de campo), a C_i variou significativamente entre os genótipos. Nesse cenário, os genótipos 'CIP-440186', 'CIP-420024', 'Luiza' e 'BRS Cuia' apresentaram aumento na concentração interna de CO_2 em comparação às condições de disponibilidade hídrica (Figura 9).

Figura 9 — Desdobramento da interação entre genótipos de batata-doce e capacidade de vaso (20 e 100%) para concentração interna de CO_2 (Ci), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.



Fonte: A autora.

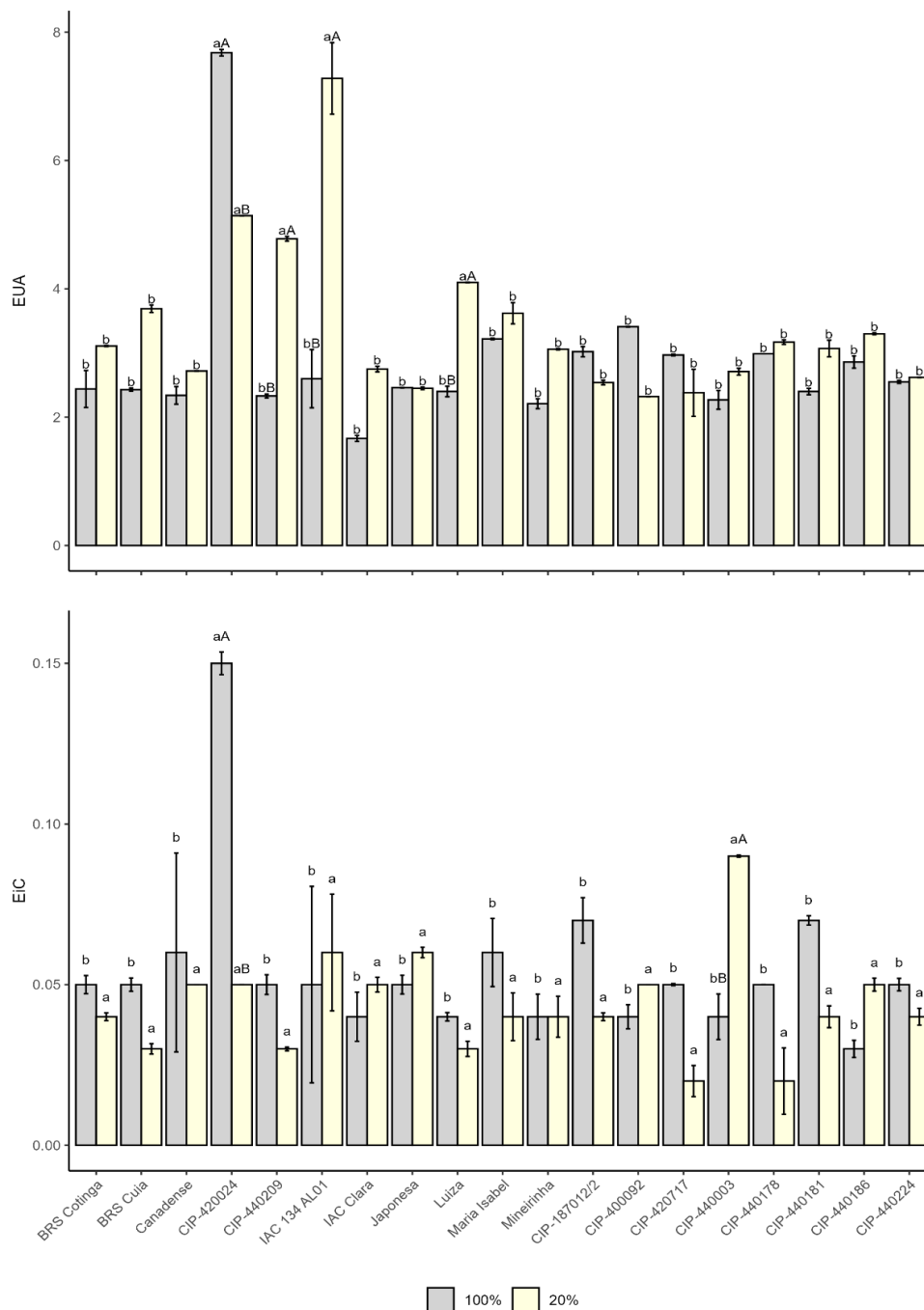
Os resultados são apresentados como médias. Letras minúsculas comparam os genótipos e letras maiúsculas comparam as capacidades de vaso dentro de cada genótipos, letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

O déficit hídrico ocasionou a diminuição da taxa de transpiração nos genótipos 'CIP 440209', 'Mineirinha', 'BRS Cuia', 'IAC Clara', 'Maria Isabel' e 'BRS Cotinga' (Figura 9). Houve uma redução de aproximadamente 23% na taxa de transpiração das plantas que se encontravam na condição de 20% de capacidade de vaso. 'CIP 440003' foi o único entre os avaliados a ter taxa de transpiração aumentada na condição estressante (Figura 9). Do total avaliado, doze genótipos não foram afetados pelo déficit hídrico de forma negativa.

A análise da eficiência instantânea de carboxilação (EiC) revelou respostas distintas entre os genótipos submetidos a déficit hídrico (20% da capacidade de campo). O acesso 'CIP-420024' apresentou redução significativa na EiC sob essas condições, indicando menor eficiência na conversão de CO₂ em biomassa. Por outro lado, o genótipo 'CIP-440003' mostrou aumento considerável na EiC, sugerindo maior adaptação ao déficit hídrico. Os demais genótipos avaliados não apresentaram alterações significativas na EiC em resposta ao manejo da irrigação, indicando que a eficiência de carboxilação desses genótipos não foi afetada pelo estresse hídrico (Figura 10).

'CIP-440209', 'Luiza' e 'IAC 134 AL01' demonstraram maior eficiência instantânea do uso da água em condições de déficit hídrico (20% da capacidade de vaso), indicando maior adaptação à seca. 'CIP-420024' se destacou por apresentar a maior EUA na condição de 100% da capacidade de vaso, sugerindo uma alta eficiência intrínseca (Figura 10). De maneira geral, a maioria dos genótipos não apresentou diferenças significativas na EUA entre as condições de 100% e 20% da capacidade de vaso, indicando menor sensibilidade ao déficit hídrico.

Figura 10 — Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para eficiência instantânea de carboxilação (EiC) e eficiência instantânea do uso da água (EUA) em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.



Fonte: A autora.

Os resultados são apresentados como médias. Letras minúsculas comparam os genótipos e letras maiúsculas comparam as capacidades de vaso dentro de cada genótipos, letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

3.5 Análises bioquímicas

A interação entre genótipo e capacidade de vaso foi significativa para a maioria dos parâmetros, evidenciando que a resposta dos diferentes genótipos ao estresse hídrico é variável (Tabela 4). Não houve interação entre os fatores para açúcares totais e teor de antocianina, mas com efeito significativo para genótipos e capacidades de vaso, respectivamente.

Tabela 4 — Resumo da análise de variância com os valores de teste F e coeficiente de variação para os parâmetros de Açúcares totais, Clorofila A (Clor A), Clorofila B (Clor B), Clorofila total (Clor total), Antocianinas (Antoc.), Carotenoides (Carote.), Malondialdeído (MDA), Prolina, Fenois e Peróxido de diferentes genótipos de batata-doce (20) submetidos a capacidade de vaso de 20% e 100%.

	Genótipos (G)	Capac. de vaso (C)	G x C	CV %
Açúcares	2,51**	3,68 ^{NS}	0,92 ^{NS}	19,67
Clor A	37,32**	214,74**	36,25**	5,82
Clor B	4,71**	10,60**	4,81**	15,75
Clor total	19,25*	92,98**	18,96**	7,88
Antoc ⁺⁺	1,40 ^{NS}	4,52*	1,19 ^{NS}	4,30
Carote	219,82**	1054,84**	173,15**	2,20
MDA ⁺⁺	5,67**	13,92**	6,99**	0,26
Prolina ⁺⁺	2,22**	22,11**	2,13**	0,04
Fenois ⁺⁺	12,14**	10,34**	11,31**	15,71
Peróxido ⁺⁺	5,41**	1,19 ^{NS}	5,07**	21,63

Fonte: A autora.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$);

^{NS} não significativo. (++) dados transformados em $\sqrt{x + 1}$.

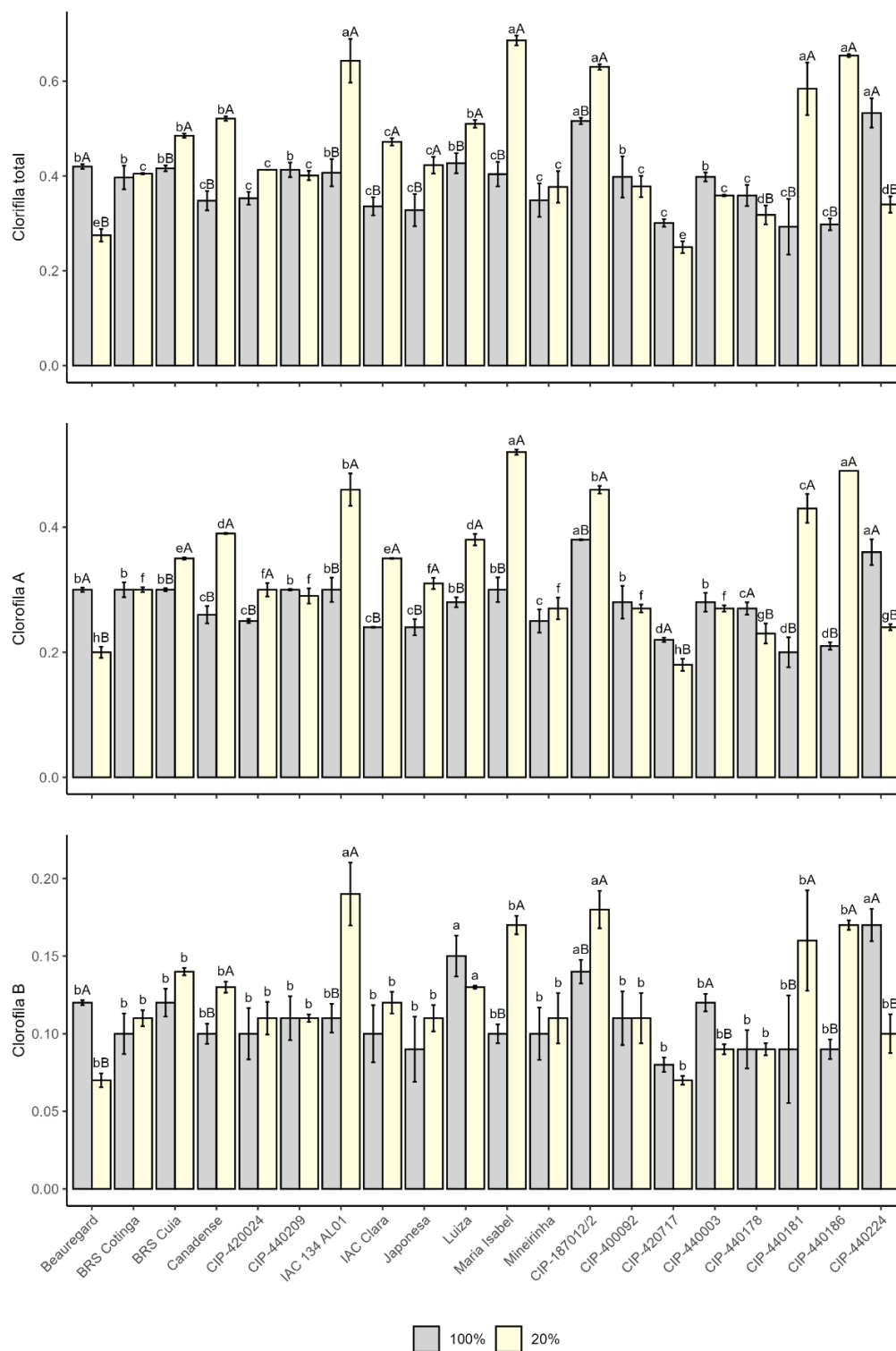
Apesar de não ter ocorrido interação entre os fatores (Genótipo x capacidade de vaso), o teor de açúcares foi maior nos genótipos 'CIP-420717', 'CIP-440181', 'Mineirinha', 'Japonesa' e 'BRS Cotinga' em comparação aos outros genótipos avaliados (Figura 12).

Observa-se grande variabilidade no teor de clorofila A entre os genótipos, tanto em condições de irrigação plena quanto em déficit hídrico. Já o teor de clorofila B apresentou menor variação. Sob irrigação plena, 'CIP-420717', 'CIP-440178', 'CIP-

440224' e 'Beauregard' apresentaram maior teor de clorofila A, sendo que os dois últimos também apresentaram aumento no teor de clorofila B, assim como 'CIP-440003'. Em condições de déficit hídrico, seis genótipos ('CIP-440186', 'CIP-440181', 'CIP-187012/2', 'Canadense', 'Maria Isabel', 'IAC 134 AL01') apresentaram aumento em ambos os pigmentos, enquanto outros cinco ('CIP 420024', 'Luiza', 'Japonesa', 'BRS Cuia' e 'IAC Clara') apresentaram aumento apenas no teor de clorofila A (Figura 11).

A análise do conteúdo de clorofila total revelou variabilidade entre os genótipos avaliados, evidenciando a existência de diferentes estratégias adaptativas ao estresse hídrico. Metade dos genótipos avaliados (CIP-440186, CIP-440181, CIP-187012/2, Luiza, Canadense, Japonesa, BRS Cuia, IAC Clara, Maria Isabel e IAC 134 AL01) apresentou maior conteúdo de clorofila em condições de menor disponibilidade de água (20% da capacidade de campo), sugerindo maior tolerância à seca. Em contrapartida, os genótipos 'CIP-440224' e 'Beauregard' demonstraram maior conteúdo de clorofila em condições de maior disponibilidade hídrica (100% da capacidade de campo), indicando possível preferência por condições mais úmidas (Figura 11).

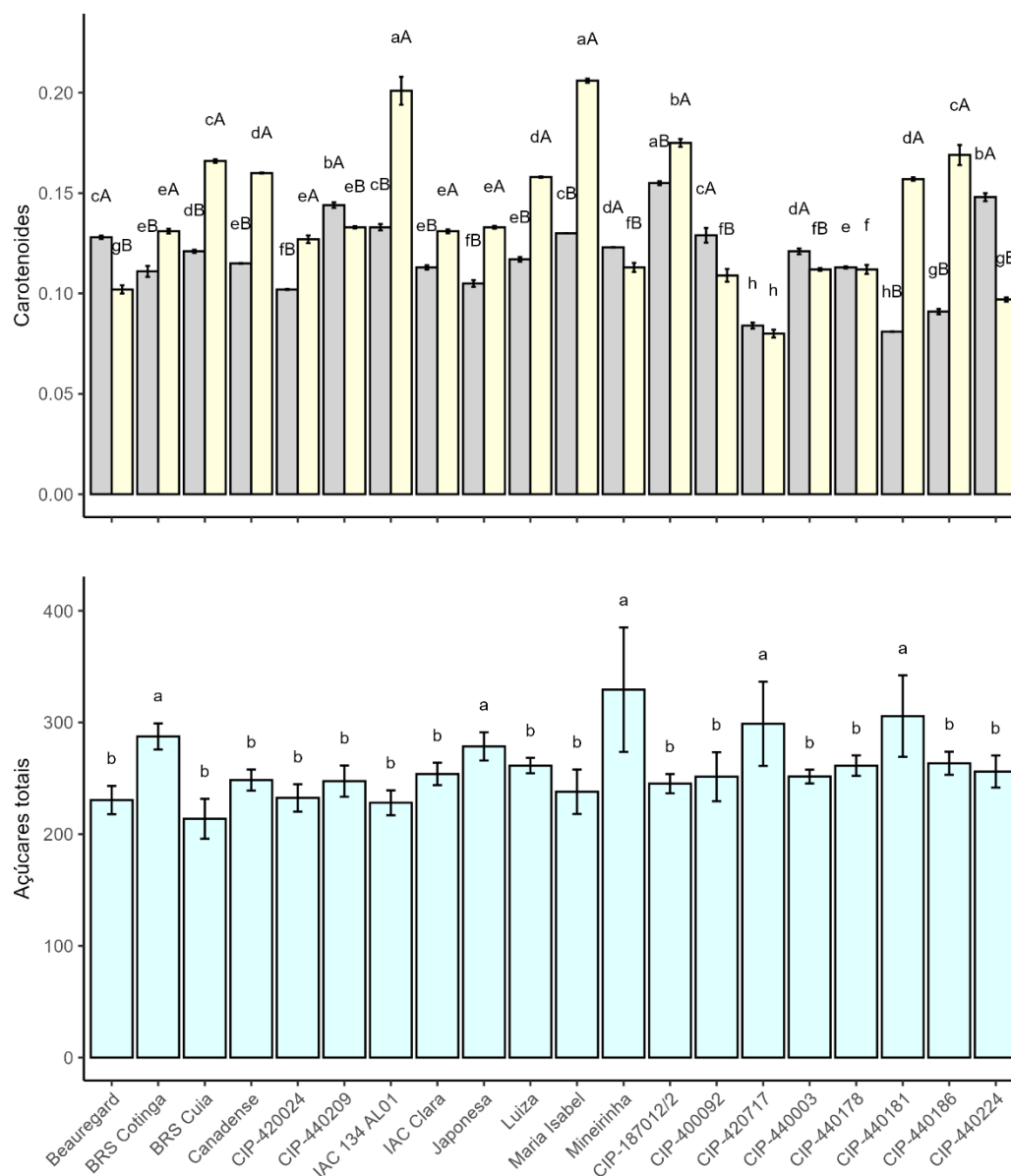
Figura 11 — Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para clorofila a, b e total em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.



Fontes: A autora.

Os resultados são apresentados como médias. Letras minúsculas comparam os genótipos e letras maiúsculas comparam as capacidades de vaso dentro de cada genótipos, letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

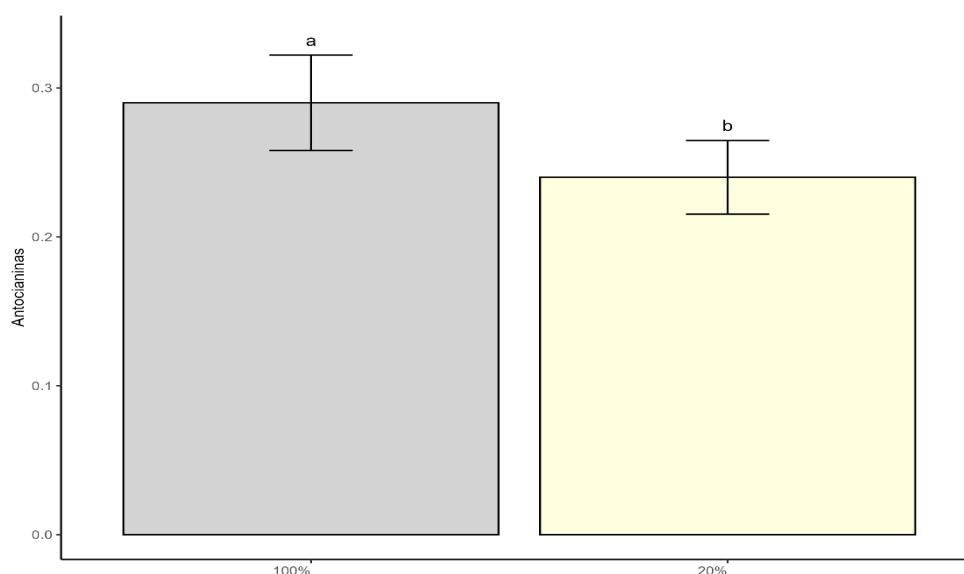
Figura 12 — Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para carotenoides e teor de açúcares totais em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.



Fonte: A autora.

Os resultados são apresentados como médias. Letras minúsculas comparam os genótipos e letras maiúsculas comparam as capacidades de vaso dentro de cada genótipo, letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

Figura 13 — Teor de antocianinas em genótipos de batata-doce submetidos a capacidade de vaso de 100% e 20%.



Fonte: A autora.

Os resultados são apresentados como médias. Letras minúsculas comparam as capacidades de vaso, letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

As plantas de batata-doce apresentaram teor de antocianinas nas folhas significativamente menor quando cultivadas em condições de déficit hídrico (20% da capacidade de vaso). Essa redução foi estimada em cerca de 17% em comparação com as plantas cultivadas com irrigação plena (100% da capacidade de vaso), indicando que o estresse por déficit hídrico influenciou negativamente a produção de antocianinas nas folhas (Figura 13).

Os genótipos apresentaram variabilidade quanto ao conteúdo de carotenoides, demonstrando diferentes respostas ao estresse por déficit hídrico. A maioria dos genótipos (CIP 440186, CIP 440181, CIP 187012/2, CIP 420024, Luiza, Canadense, Japonesa, BRS Cuia, IAC Clara, Maria Isabel, BRS Cotinga e IAC 134 AL01) apresentou maior acúmulo de carotenoides em condições de menor disponibilidade hídrica (20% da capacidade de campo), sugerindo possível estratégia adaptativa para lidar com o estresse hídrico. Por outro lado, os genótipos 'CIP 440224', 'CIP 400092', 'CIP 440003', 'CIP 420024', 'Mineirinha' e 'Beauregard' apresentaram maior conteúdo de carotenoides em condições de maior disponibilidade hídrica (100% da capacidade de campo) (Figura 12).

A análise do teor de malondialdeído, um biomarcador de peroxidação lipídica, revelou diferentes respostas dos genótipos de batata-doce ao déficit hídrico. Os

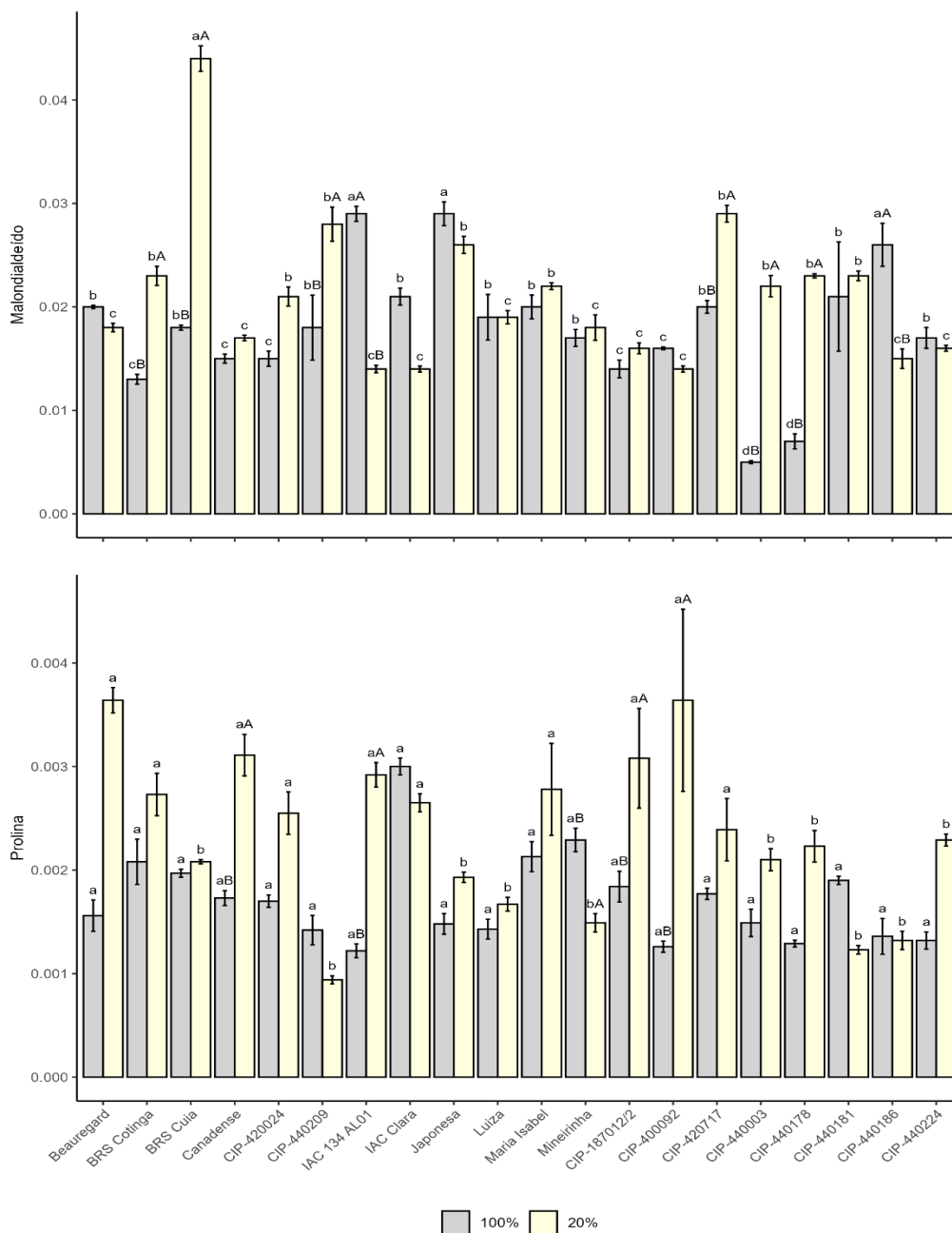
genótipos 'CIP-420717', 'CIP-440178', 'CIP-440003', 'CIP-440209', 'BRS Cuia' e 'BRS Cotinga' apresentaram aumento significativo no teor de MDA quando submetidos a 20% da capacidade de campo, indicando maior dano oxidativo. Em contraste, os genótipos 'CIP-440186' e 'IAC 134 AL01' apresentaram redução no teor de MDA sob déficit hídrico, sugerindo maior tolerância ao estresse oxidativo. Os demais genótipos não apresentaram alterações significativas no teor de MDA em resposta ao déficit hídrico (Figura 14).

A análise do teor de prolina foliar revelou que apenas cinco dos genótipos avaliados apresentaram aumento significativo desse aminoácido em resposta ao déficit hídrico. Os genótipos 'CIP-400092', 'CIP-187012/2', 'Canadense', 'Beauregard' e 'IAC 134 AL01' mostraram acúmulo de prolina sob condições de déficit hídrico, indicando possível estratégia de adaptação. Os demais genótipos e a condição de irrigação plena não apresentaram diferenças significativas no teor de prolina, conforme demonstrado na Figura 14.

Os genótipos 'CIP-440224', 'Mineirinha' e 'IAC 134 AL01' apresentaram redução no teor de fenóis quando submetidos a 20% da capacidade de campo, indicando possível diminuição na capacidade antioxidante. Em contraste, os genótipos 'CIP-400092', 'CIP-420024', 'Canadense', 'Beauregard' e 'Maria Isabel' mostraram aumento significativo no teor de fenóis sob déficit hídrico, sugerindo maior capacidade de resposta ao estresse oxidativo (Figura 15). Esses resultados indicam que a capacidade de acumular fenóis em resposta ao déficit hídrico varia entre os genótipos.

A análise do teor de peróxido de hidrogênio revelou diferentes respostas dos genótipos ao déficit hídrico. Quatro genótipos ('CIP-187012/2', 'CIP-440209', 'BRS Cuia' e 'Maria Isabel') apresentaram aumento significativo no teor de peróxido sob déficit hídrico, indicando maior nível de estresse oxidativo. Esses resultados sugerem que esses genótipos são mais suscetíveis ao dano oxidativo causado pela falta de água. Em contraste, os genótipos 'CIP-440224', 'CIP-420024' e 'IAC 134 AL01' mostraram redução no teor de peróxido sob déficit hídrico, indicando maior tolerância ao estresse oxidativo (Figura 15).

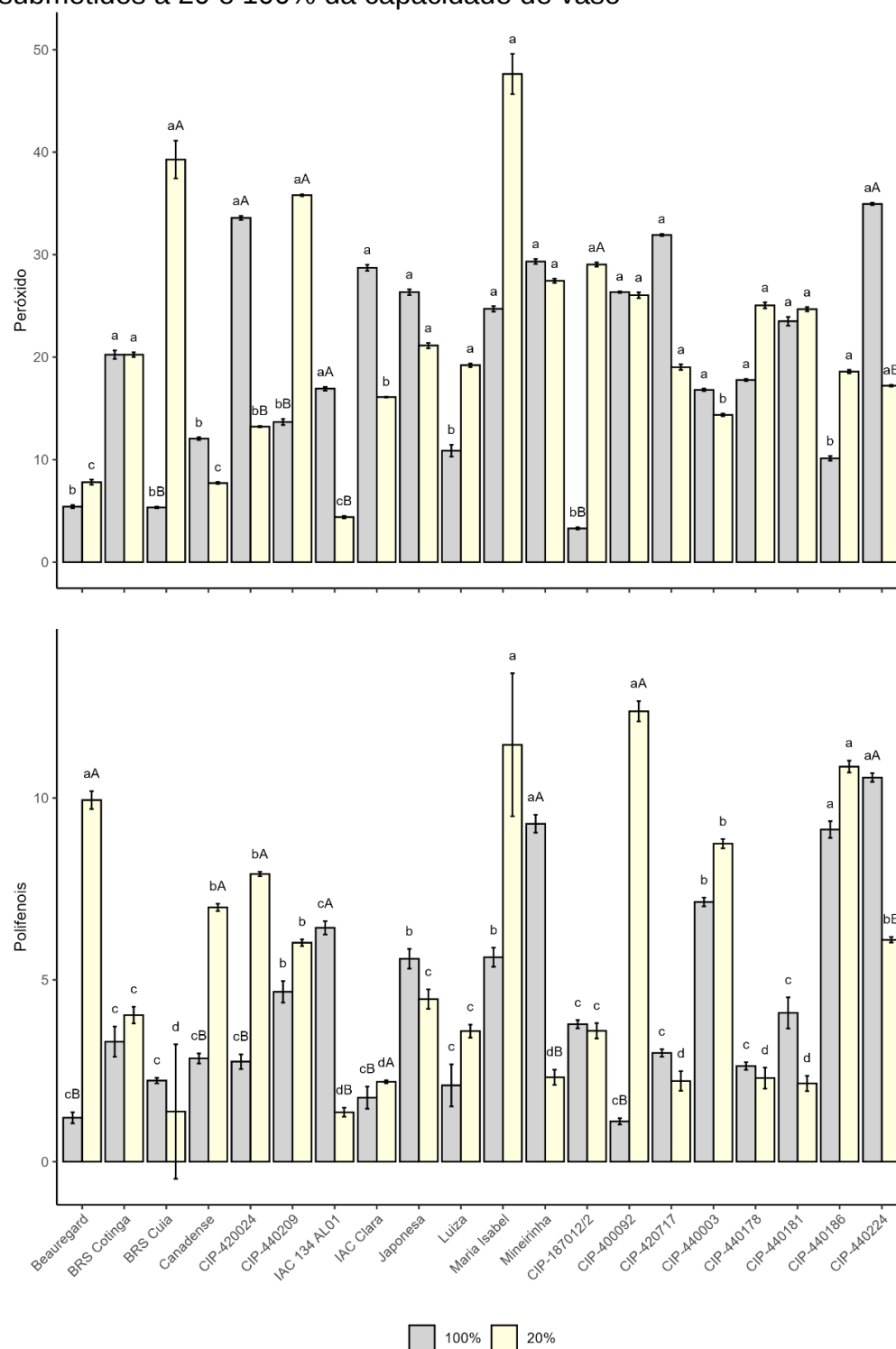
Figura 14 — Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para teor de malondialdeído (MDA) e prolina em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.



Fonte: A autora.

Os resultados são apresentados como médias. Letras minúsculas comparam os genótipos e letras maiúsculas comparam as capacidades de vaso dentro de cada genótipos, letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

Figura 15 — Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para polifenóis e peróxido de hidrogênio em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso



Fonte: A autora.

Os resultados são apresentados como médias. Letras minúsculas comparam os genótipos e letras maiúsculas comparam as capacidades de vaso dentro de cada genótipos, letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

3.6 Análises radicular

Houve interação significativa entre genótipos e capacidade de vaso para a relação comprimento/volume das raízes, para o número de pontas e comprimento de raízes (Tabela 5). Os genótipos diferiram quanto ao diâmetro das raízes.

A avaliação do comprimento de raiz revelou importante variabilidade entre os genótipos avaliados (Figura 16). O genótipo 'Luiza' apresentou maior comprimento de raiz em condições de menor disponibilidade hídrica (20% da capacidade de vaso), sugerindo estratégia adaptativa para explorar o solo em busca de água. Por outro lado, os genótipos 'BRS Cotinga' e 'IAC 134 AL01' demonstraram maior desenvolvimento radicular em condições de maior disponibilidade hídrica (100% da capacidade de vaso). Para a maioria dos genótipos, não foram observadas diferenças significativas entre as condições de cultivo.

Tabela 5 — Resumo da análise de variância com os valores de teste F e coeficiente de variação para os parâmetros de Comprimento de raiz (Comp. (cm)), Diâmetro médio (Diame. (mm)) e Comprimento/volume (Comp/vol (cm/m³)) de genótipos (G) de batata-doce (20) submetidos a capacidade de vaso (C) de 20% e 100%.

	G	C	G x C	CV %
Comp. ⁺⁺	4,18 ^{**}	0,19 ^{NS}	2,76 ^{**}	16,27
Diame. ⁺⁺	2,32 ^{**}	1,88 ^{NS}	1,47 ^{NS}	4,92
Comp/vol. ⁺⁺	3,92 ^{**}	2,29 ^{NS}	1,88 [*]	20,69

Fonte: A autora.

^{**} significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ^{*} significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$);

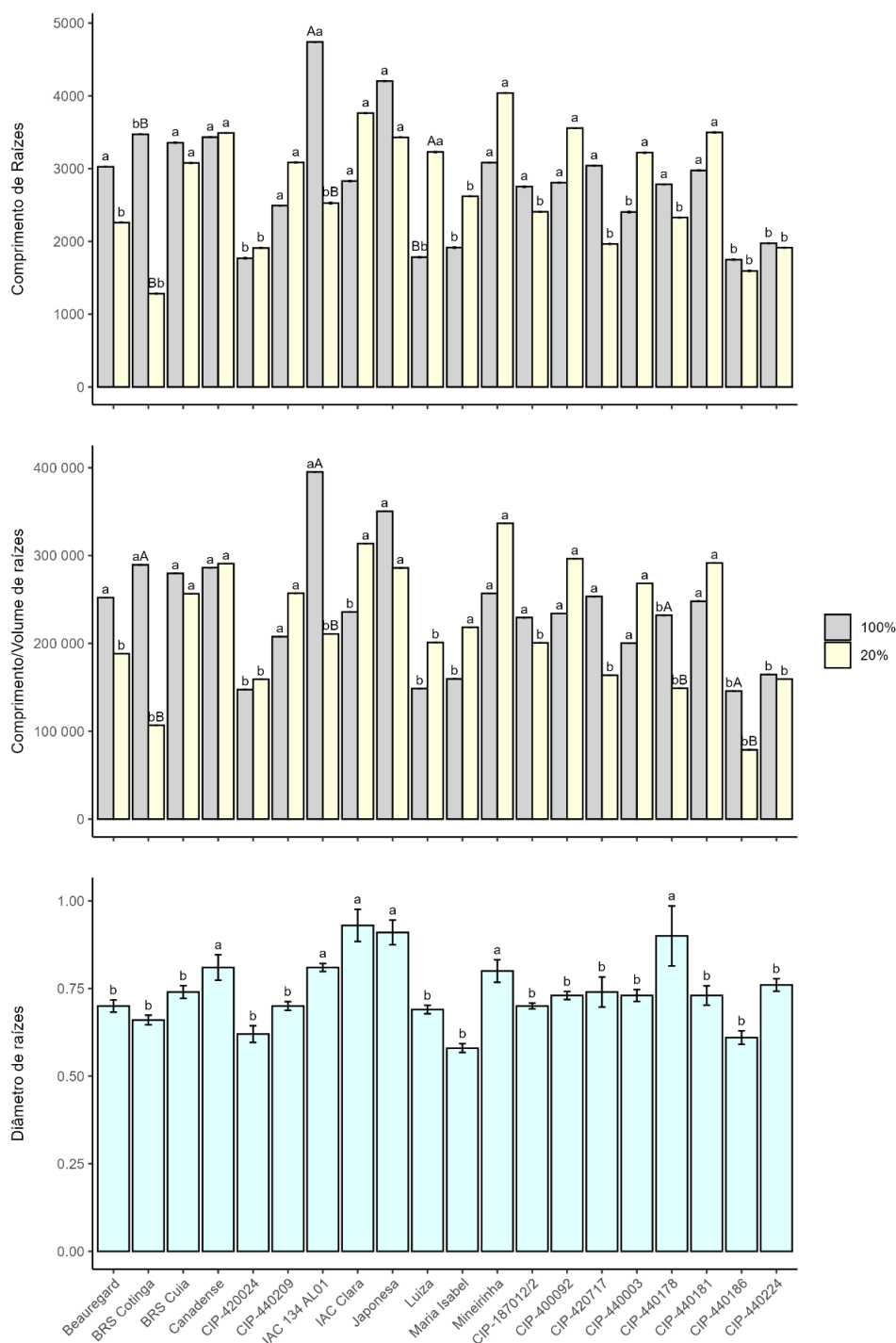
^{NS} não significativo. (⁺⁺) dados transformados em $\sqrt{x + 1}$.

Os resultados apresentados na Figura 16 demonstram que o diâmetro das raízes é uma característica que varia entre os genótipos estudados. Os genótipos 'CIP-440178', 'Canadense', 'Mineirinha', 'Japonesa', 'IAC Clara' e 'IAC 134 AL01' se destacaram por apresentar maior diâmetro radicular.

Conforme demonstrado na Figura 17, a análise dos dados obtidos pelo Winrhizo revelou redução significativa na razão comprimento/volume das raízes nos acessos 'CIP-440186', 'CIP-440178', 'Japonesa', 'BRS Cotinga' e 'IAC 134 AL01' na condição de déficit hídrico. Essa queda nos parâmetros radiculares indica que esses

genótipos foram sensíveis ao déficit hídrico, apresentando desenvolvimento radicular comprometido.

Figura 16 — Desdobramento da interação entre genótipos e capacidade de vaso (20 e 100%) para comprimento, comprimento/volume e diâmetro de raiz em 20 genótipos de batata-doce submetidos a 20 e 100% da capacidade de vaso.



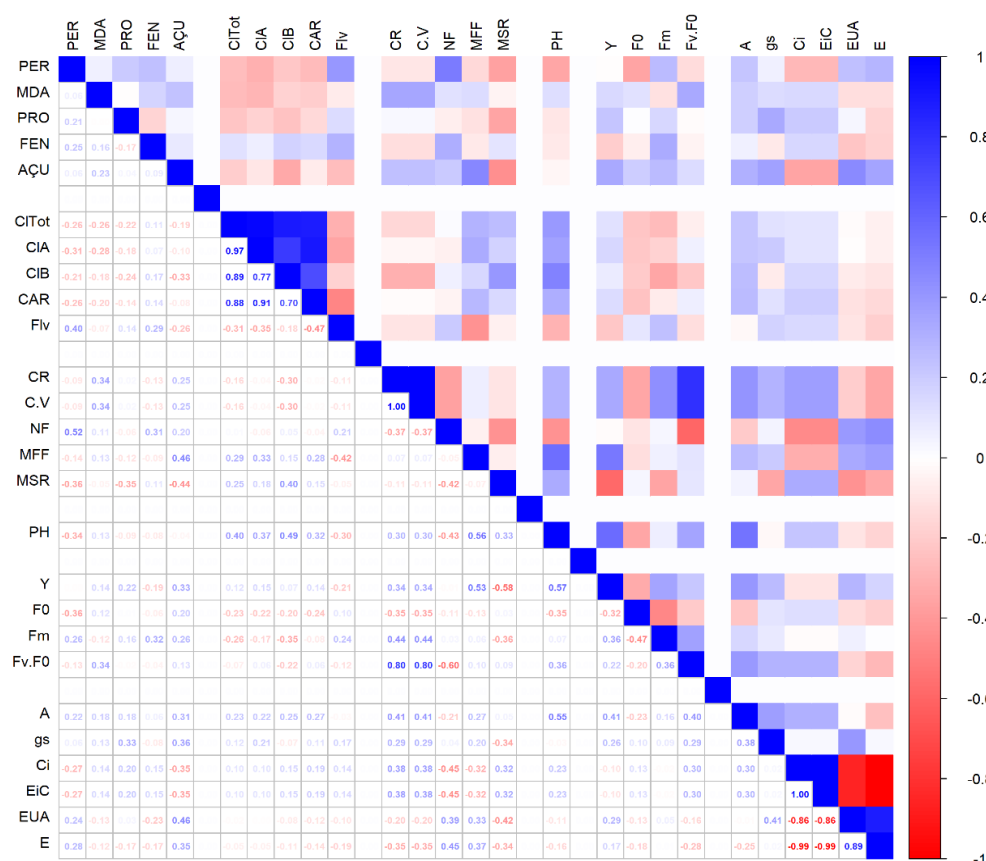
Fonte: A autora.

Os resultados são apresentados como médias. Letras minúsculas comparam os genótipos e letras maiúsculas comparam as capacidades de vaso dentro de cada genótipos, letras diferentes indicam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade entre os tratamentos.

3.7 Correlação entre as características e comportamento geral dos genótipos

Em condição hídrica adequada, verificou-se correlação positiva entre os teores de clorofila total, clorofila a, clorofila b e carotenoides (Figura 17). Alta correlação positiva também foi observada para as características de raiz (CR e C.V), as quais também tiveram correlação positiva com Fv.F0 (Figura 17). Entre as características de trocas gasosas foliares, alta correlação positiva foi observada entre EiC e Ci e entre E e EUA, enquanto E e EUA tiveram alta correlação negativa com Ci e EiC (Figura 17).

Figura 17 — Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros de fluorescência da clorofila, biomassa, potencial hídrico, trocas gasosas, parâmetros bioquímicos e de compostos secundários em genótipos de batata-doce submetidos a condição hídrica adequada (100%).

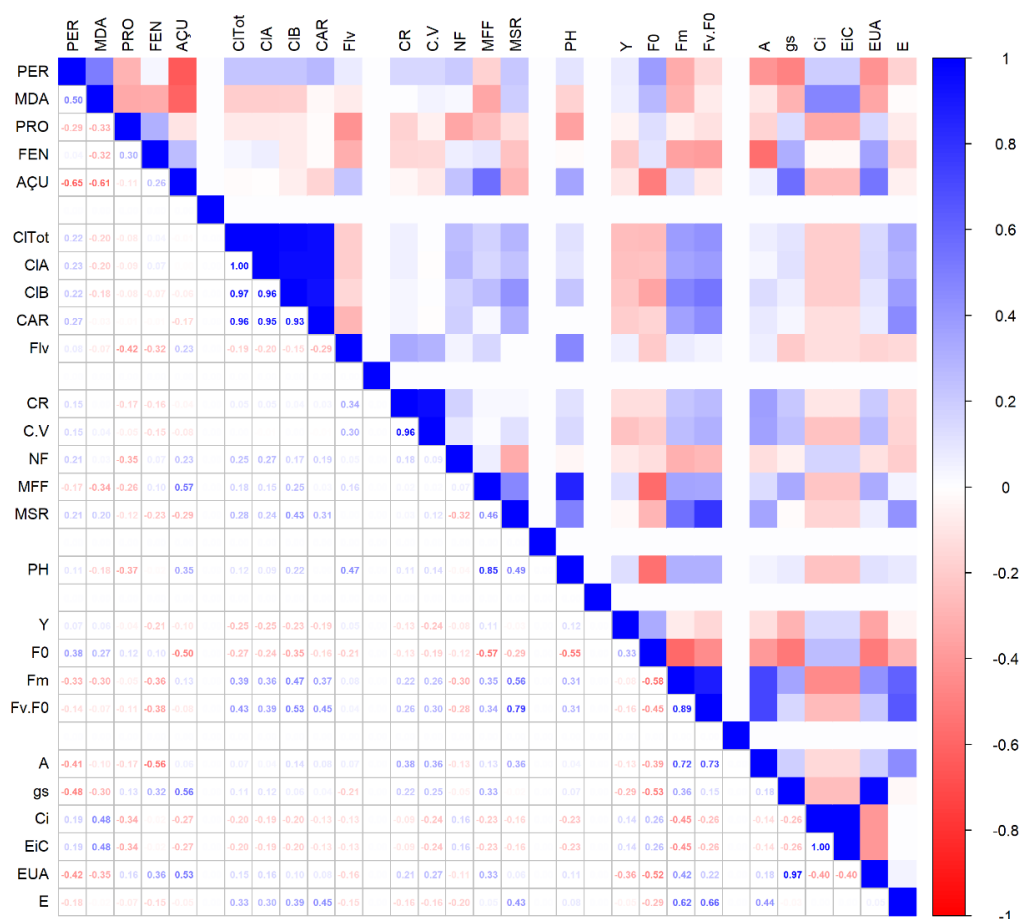


Fonte: A autora.

PER- Peróxido de hidrogênio; MDA- Malondialdeído; PRO- Prolina; FEN- Fenois; Y- Eficiência quântica do fotossistema II; ClTot- Clorofila Total; CIA- Clorofila A; CIB- Clorofila B; CAR- Carotenoides; AÇU- Açúcares totais; CR- Comprimento radicular; C.V- Comprimento/volume raiz; PH- Potencial hídrico; Fms- Fluorescência Máxima; F0- Fluorescência mínima; Fv.F0- Detector de estresse em Fv/Fm; Flv- Flavonoides; NF- Número de folhas; MFF- Massa foliar fresca; MSR- Massa seca de raiz; A- Fotossíntese; gs- Condutância estomática; Ci- Concentração intracelular de CO₂; EiC- Eficiência instantânea de carboxilação; EUA- Eficiência instantânea do uso da água; E- Transpiração.

Assim como para a condição hídrica adequada, na condição estressante, verificou-se interação entre as clorofilas (a, b e total) e carotenoides, entre as características de raiz e entre Ci e EiC (Figura 18). Verificou-se alta correlação positiva entre o potencial hídrico foliar e a massa fresca da parte aérea. Fv.F0 correlacionou-se positivamente com massa seca de raiz e Fm. A taxa fotossintética apresentou alta correlação positiva com os parâmetros de fluorescência da clorofila Fm e Fv.F0. Alta correlação positiva também foi observada entre EUA e a condutância estomática.

Figura 18 — Coeficiente de correlação (r) entre os parâmetros de fluorescência da clorofila, biomassa, potencial hídrico, trocas gasosas, parâmetros bioquímicos e de compostos secundários em genótipos de batata-doce submetidos a condição hídrica estressada (20%).

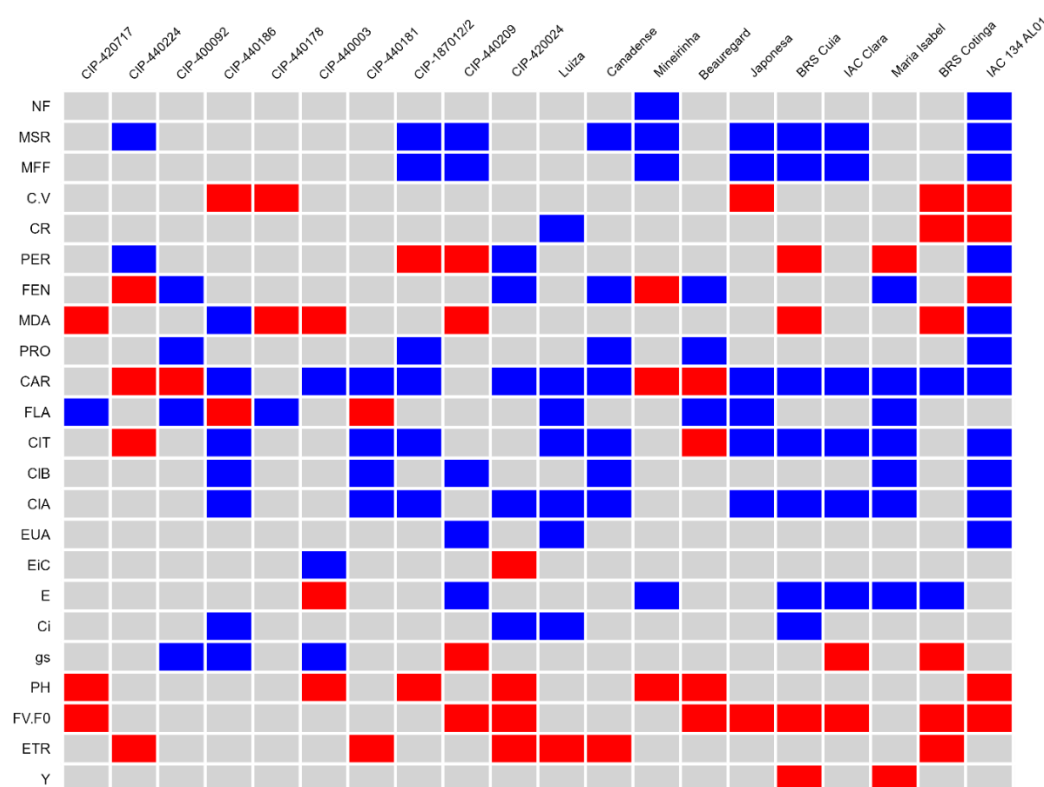


Fonte: A autora.

PER- Peróxido de hidrogênio; MDA- Malondialdeído; PRO- Prolina; FEN- Fenois; Y- Eficiência quântica do fotossistema II; CITot- Clorofila Total; CIA- Clorofila A; CIB- Clorofila B; CAR- Carotenoides; AÇU- Açúcares totais; CR- Comprimento radicular; C.V- Comprimento/volume raiz; PH- Potencial hídrico; Fms- Fluorescência Máxima; F0- Fluorescência mínima; Fv.F0- Detector de estresse em Fv/Fm; Fiv- Flavonoides; NF- Número de folhas; MFF- Massa foliar fresca; MSR- Massa seca de raiz; A- Fotossíntese; gs- Condutância estomática; Ci- Concentração intracelular de CO₂; EiC- Eficiência instantânea de carboxilação; EUA- Eficiência instantânea do uso da água; E- Transpiração.

O resumo apresentado na Figura 19 permite visualizar a diferença de desempenho dos genótipos para as características estudadas em condições hídricas contrastantes. O detector de estresse em Fv/Fm (Fv/F0), o potencial hídrico foliar e a taxa de transporte de elétrons foram as características mais afetadas pelo déficit hídrico, pois nove, sete e seis genótipos, respectivamente, tiveram desempenho inferior em condições de déficit hídrico.

Figura 19 — Resumo da resposta de genótipos de genótipos submetidos a déficit em hídrico (20% da capacidade de vaso) e comparação a condição hídrica adequada (100% da capacidade de vaso). As células cinzas indicam comportamento semelhante nas duas condições hídricas, as células vermelhas indicam piora da característica nas condições de déficit hídrico e as células azuis indicam melhora da característica nas condições de déficit hídrico, com base no teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.



Fonte: A autora.

PER- Peróxido de hidrogênio; MDA- Malondialdeído; PRO- Prolina; FEN- Fenois; Y- Eficiência quântica do fotossistema II; CITot- Clorofila Total; CIA- Clorofila A; CIB- Clorofila B; CAR- Carotenoides; AÇU- Açúcares totais; CR- Comprimento radicular; C.V- Comprimento/volume raiz; PH- Potencial hídrico; Fms- Fluorescência Máxima; F0- Fluorescência mínima; Fv.F0- Detector de estresse em Fv/Fm; Flv- Flavonoides; NF- Número de folhas; MFF- Massa foliar fresca; MSR- Massa seca de raiz; A- Fotossíntese; gs- Condutância estomática; Ci- Concentração intracelular de CO₂; EiC- Eficiência instantânea de carboxilação; EUA- Eficiência instantânea do uso da água; E- Transpiração.

4 DISCUSSÃO

A compreensão das respostas fisiológicas e bioquímicas de diferentes genótipos de batata-doce ao déficit hídrico é fundamental para o desenvolvimento de cultivares tolerantes à seca. O déficit hídrico é um dos principais fatores limitantes da produção agrícola em diversas regiões do mundo. A batata-doce, embora considerada rústica, também é suscetível aos efeitos do déficit hídrico, o que pode comprometer sua produtividade e qualidade, especialmente quando o estresse é imposto durante estágios críticos de crescimento (Omotobora *et al.*, 2014; Kivuva *et al.*, 2015; Yooyongwech *et al.*, 2017; LI *et al.*, 2021; Ramírez *et al.*, 2023).

Neste estudo, 20 genótipos foram submetidos a condições de estresse por déficit hídrico, visando identificar aqueles com maior potencial de tolerância. Os resultados obtidos demonstram que os genótipos apresentaram diferentes respostas aos tratamentos, evidenciando a variabilidade genética para a tolerância à seca nessa cultura.

Alguns dos genótipos avaliados apresentaram maior número de folhas, massa fresca da parte aérea e massa seca de raiz ('Mineirinha' e 'IAC-134 AL01'), de forma geral, houve grande variabilidade de resposta entre os genótipos para os parâmetros biométricos avaliados (Figura 1). Em condição de estresse por déficit hídrico, o número de folhas é reduzido, assim como o seu tamanho, ou seja, ocorre redução na área foliar. A redução da área foliar induzida pela seca é atribuída à supressão da expansão foliar ocasionada pela redução da fotossíntese (Rucker *et al.*, 1995). Outro efeito comumente observado é a redução da massa foliar, tanto fresca como seca (Zhao *et al.*, 2006). De fato, o estresse por déficit hídrico causa ampla variedade de respostas nas plantas, que vão desde alterações na expressão genética e no metabolismo celular até mudanças no crescimento e na produtividade (Anjum *et al.*, 2011).

As avaliações fisiológicas dos 20 genótipos selecionados sob condições controladas de seca revelaram diferenças significativas no conteúdo de pigmentos, parâmetros de fluorescência da clorofila e potencial hídrico foliar.

Ocorreram variação na produção de flavonoides entre os genótipos, sendo 'CIP-420717', 'CIP-400092', 'CIP-440178', 'Luiza', 'Beauregard', 'Japonesa' e 'Maria Isabel' apresentaram maior produção do composto nas plantas que estavam em déficit hídrico (Figura 2). Os compostos fenólicos é uma classe que apresenta grande

diversidade e divide-se em flavonoides (polifenóis) e não-flavonoides (fenóis simples ou ácidos) (Rice-Evans; Miller; Paganga, 1996). Quando ocorre estresse oxidativo celular nos tecidos vegetais, frequentemente ocorre aumento na biossíntese e no acúmulo de compostos fenólicos (Hernández *et al.*, 1999; Bettaieb *et al.*, 2011; Rodziewicz *et al.*, 2014).

A redução da fluorescência máxima (F_m) observada nos genótipos ('CIP-420717', 'CIP-440224', 'CIP-187012/2', 'Luiza', 'Canadense', 'Beauregard', 'BRS Cuia', 'IAC Clara' e 'BRS Cotinga') submetidos ao déficit hídrico pode indicar danos nos centros de reação do fotossistema II (PSII), comprometendo a eficiência fotoquímica (Figura 3). No entanto, a manutenção da razão F_v/F_0 em alguns genótipos sugere que o PSII desses genótipos está funcionando de forma correta, indicando a presença de mecanismos de fotoproteção (Figura 3).

A interação significativa entre genótipos e capacidade de vaso para a fluorescência máxima (F_m s) indica que a sensibilidade ao déficit hídrico varia entre os genótipos. A redução da F_m s sob déficit hídrico evidencia danos nos centros de reação do fotossistema II (PSII) dos genótipos 'CIP-420717', 'CIP-420024', 'Luiza', 'Beauregard', 'BRS Cuia', 'IAC Clara', 'Maria Isabel' e 'BRS Cotinga', ou seja, estão com a eficiência fotoquímica comprometida (Figura 4).

A maioria dos genótipos não apresentaram redução do rendimento quântico do fotossistema II ($Y(II)$), o que sugere a presença de mecanismos de fotoproteção que permitem a dissipação de energia em excesso, minimizando os danos causados pelo estresse hídrico. 'BRS Cuia' e 'Maria Isabel' foram os únicos que apresentaram redução tanto da F_m s (fluorescência máxima) quanto do $Y(II)$ (eficiência quântica do fotossistema II) sob condições de déficit hídrico (Figuras 3 e 4). Essa resposta diferencial entre os genótipos sugere que 'BRS Cuia' e 'Maria Isabel' podem ser mais sensíveis ao estresse hídrico em comparação com os demais genótipos avaliados. A redução da F_m s indica um possível dano ao fotossistema II, enquanto a diminuição do $Y(II)$ sugere uma menor eficiência na utilização da energia luminosa para a fotossíntese. A taxa de transporte de elétrons variou entre os genótipos, porém, não foi afetada pelo déficit hídrico.

A razão F_v/F_0 (Detector de estresse) reflete a eficiência com que a energia luminosa capturada pelo fotossistema II é utilizada na fotossíntese. Valores elevados desse parâmetro indicam que os centros de reação do PSII estão funcionando de forma eficiente, permitindo a conversão da energia luminosa em energia química. O

rendimento quântico primário do PSII ($Y(II)$) complementa essa informação, quantificando a proporção da luz absorvida pelo PSII que é efetivamente utilizada na fotossíntese. A diminuição desses parâmetros indica danos ao fotossistema II e comprometimento da fotossíntese, sugerindo menor tolerância ao estresse hídrico (Figura 5).

A razão F_v/F_m , a razão F_v/F_0 e a eficiência quântica do PSII ($Y(II)$) são amplamente utilizados como marcadores da eficiência fotoquímica e da saúde do fotossistema II. Genótipos que mantiveram altos valores para esses parâmetros durante o período de déficit hídrico demonstraram maior capacidade de preservar a integridade do seu aparelho fotossintético, sugerindo maior tolerância à seca. Por outro lado, os genótipos que apresentaram redução significativa nesses parâmetros provavelmente sofreram danos fotossintéticos mais severos, o que pode comprometer o seu crescimento e desenvolvimento.

A redução do potencial hídrico foliar observada nos genótipos 'CIP-420717', 'CIP-440003', 'CIP-187012/2', 'Mineirinha', 'Beauregard' e 'IAC 134 AL01' submetidos à imposição hídrica de 20% indica maior sensibilidade desses genótipos ao déficit hídrico (Figura 7). Essa resposta diferenciada entre os genótipos pode ser atribuída a diferenças em suas características anatômicas e fisiológicas, como a densidade estomática, a espessura da cutícula e a eficiência no uso da água. Mesmo em potenciais hídricos altos como de -0,3 a -0,5 MPa o declínio na taxa fotossintética é rápido e substancial (Basu; Sharma; Sukumaran, 1998).

Estudos prévios demonstraram que a diminuição do potencial hídrico foliar resulta em uma série de respostas fisiológicas, como redução na concentração de clorofila, na assimilação de CO_2 , na condutância estomática e na taxa de transpiração (Gajanayake; Reddy, 2016). A batata-doce, de acordo com Daryanto; Wang e Jacinthe *et al.* (2016), apresenta murcha permanente quando o potencial hídrico foliar atinge aproximadamente -1,3 MPa.

O déficit hídrico, ou seja, a falta de água disponível para as plantas, exerce impacto negativo significativo sobre a taxa fotossintética, especialmente em culturas como a batata-doce. A fotossíntese é processo fundamental para a produção de energia e matéria orgânica nas plantas, e qualquer fator que a comprometa pode afetar diretamente o crescimento e desenvolvimento vegetal (Taiz *et al.*, 2017).

A variação na condutância estomática entre os genótipos de batata-doce em resposta ao déficit hídrico indica a existência de diferentes estratégias de adaptação

ao estresse hídrico. Normalmente ocorre a diminuição da condutância em condição de seca, para a planta evitar a desidratação do tecido foliar o que pode acabar afetando a atividade fotossintética ('CIP-440209', 'IAC Clara' e 'BRS Cotinga'), genótipos que apresentaram aumento da gs na condição de 20% ('CIP-400092', 'CIP-440186' e 'CIP-440003') podem ser considerados menos adaptados ao déficit hídrico (Figura 9).

A transpiração desempenha papel fundamental na fisiologia vegetal, sendo essencial para o transporte de água e nutrientes minerais do solo até as folhas. Além disso, esse processo auxilia na regulação da temperatura das plantas, evitando o superaquecimento foliar. Conforme destacado por Kerbauy (2008) e Taiz *et al.* (2017), a transpiração é mecanismo crucial no fluxo de massa, que movimenta diversas substâncias inorgânicas através do xilema.

O déficit hídrico induz redução na taxa de transpiração em diferentes genótipos de batata-doce, sendo essa resposta um mecanismo adaptativo comum. O declínio de transpiração está associado ao fechamento dos estômatos, e variações na abertura estomática causam alterações no potencial hídrico, por atuarem sobre a E (Taiz *et al.*, 2017). No entanto, essa redução varia significativamente entre os genótipos, indicando a existência de variabilidade genética para a tolerância à seca.

Quatro genótipos de batata-doce ('CIP-440186', 'CIP-420024', 'Luiza' e 'BRS Cuia') apresentaram aumento na concentração interna de CO₂ quando submetidos ao déficit hídrico (Figura 9). A concentração de carbono nas folhas (Ci) é um parâmetro fisiológico crucial, pois indica a capacidade da planta de fixar carbono durante a fotossíntese. Diversos fatores ambientais, incluindo a disponibilidade hídrica, a radiação solar e a concentração de CO₂ atmosférico, podem influenciar o Ci. No entanto, a abertura estomática desempenha papel central nesse processo, uma vez que regula a entrada de CO₂ nas folhas (Ometto, 2003; Lima, 2018).

A eficiência instantânea de carboxilação (EiC) reflete a eficácia com que as plantas utilizam o CO₂ para a fotossíntese. Calculada pela razão entre a taxa fotossintética e a concentração interna de CO₂ nas folhas, a EiC está diretamente relacionada à difusão do gás carbônico desde a atmosfera até os cloroplastos, atravessando diversas barreiras como a câmara subestomática, paredes celulares e membranas. Diversos fatores podem influenciar essa difusão, limitando a EiC (Flexas *et al.*, 2012; Ferreira, 2022). O acesso 'CIP-420024' foi o único que apresentou redução da EiC em condição de déficit hídrico (Figura 10).

A eficiência do uso da água (EUA) representa a quantidade de biomassa produzida por unidade de água transpirada. Esse parâmetro é influenciado por diversos fatores, sendo a abertura estomática um dos mais importantes. Os estômatos, ao controlarem as trocas gasosas, também regulam a perda de água por transpiração. Assim, a EUA está diretamente ligada à capacidade das plantas de equilibrar a fotossíntese e a transpiração (Concenção *et al.*, 2007; Silva, 2007).

A eficiência instantânea do uso da água (EUA), pode ser definida como a razão fotossíntese e a transpiração (Xu; Hsiao, 2004). Os resultados revelam que os genótipos 'CIP-440209', 'Luiza' e 'IAC 134 AL01' se destacaram por apresentar maior EUA em condições de déficit hídrico (20% da capacidade de vaso) (Figura 10). Essa maior eficiência instantânea do uso da água indica melhor adaptação desses genótipos às condições de seca, sugerindo a presença de mecanismos fisiológicos e bioquímicos que lhes permitem otimizar o uso da água disponível.

De maneira geral, a maioria dos genótipos não apresentou diferenças significativas na EUA entre as condições de 100% e 20% da capacidade de vaso, indicando menor sensibilidade ao déficit hídrico. Sob condições de déficit hídrico, as plantas costumam reduzir a taxa de fotossíntese e ajustam-se para utilizar a água disponível de forma eficiente para o seu benefício máximo (Yooyongwech *et al.*, 2013).

Os resultados das análises bioquímicas demonstraram que os diferentes tratamentos promoveram alterações significativas nos níveis de pigmentos fotossintéticos (clorofila, antocianina e carotenoides), no marcador de peroxidação lipídica (malondialdeído), no conteúdo de prolina, de polifenóis (compostos antioxidantes) e de peróxidos. A maioria dos genótipos apresentou maior conteúdo de clorofila em condições de menor disponibilidade de água (20% da capacidade de campo) (Figura 11). Esse resultado corrobora com estudo realizado com dez genótipos de batata-doce, onde ocorreu um aumento de cerca de 23% no teor de clorofila nos genótipos submetidos a déficit hídrico (Ramamoorthy *et al.*, 2022). Essa resposta pode ser interpretada como um mecanismo de adaptação, onde a planta aumenta a produção de clorofila como uma forma para maximizar a captação de luz e compensar a redução da fotossíntese causada pelo déficit hídrico, algumas plantas modificam a síntese de pigmentos fotossintéticos como mecanismos de defesa (Doupis *et al.*, 2013).

No entanto, os genótipos 'CIP-440224' e 'Beauregard' apresentaram um padrão diferente, com maior conteúdo de clorofila em condições de maior

disponibilidade hídrica (Figura 11). O estresse oxidativo pode causar diminuição no conteúdo de clorofila e esse fenômeno também ocorre em plantas sob déficit hídrico (Egert; Tevini, 2002; Sepehri; Golparvar, 2011; Hinge; Kale; Pawar, 2015)

O conteúdo de carotenoides nas folhas foi maior na condição de déficit hídrico nos genótipos 'CIP-440186', 'CIP-440181', 'CIP-187012/2', 'CIP-420024', 'Luiza', 'Canadense', 'Japonesa', 'BRS Cuia', 'IAC Clara', 'Maria Isabel', 'BRS Cotinga' e 'IAC 134 AL01' (Figura 12). Os carotenoides atuam nas plantas como absorvedores de luz em complexos de captação de luz e reguladores de estresse impedindo danos causados pelo excesso de produção de EROS (Divya *et al.*, 2018).

As antocianinas, pigmentos do tipo flavonoides com alta capacidade antioxidante devido à presença de grupos hidroxila e ligações duplas em sua estrutura, são frequentemente associadas à proteção contra o estresse oxidativo. A literatura relata que uma maior concentração de antocianinas está correlacionada com maior tolerância à seca (Rodziewick *et al.*, 2014). No entanto, os resultados deste estudo indicam que os genótipos de batata-doce apresentaram redução nos níveis de antocianinas em condições de déficit hídrico, sugerindo menor capacidade de neutralizar os radicais livres e, conseqüentemente, maior suscetibilidade ao dano oxidativo (Rice-Evans *et al.*, 1996).

MDA é um produto da peroxidação lipídica nas membranas celulares, menor teor de MDA significa maior capacidade antioxidante e tem sido associado à tolerância à seca em várias plantas (Marcinska *et al.* 2013). Em estudo realizado por Zhang *et al.* (2020), observou-se que o déficit hídrico precoce na batata-doce causou danos oxidativos nas folhas (alto teor de MDA), e tais danos continuaram até o final do estágio de crescimento. Os genótipos 'CIP-440186' e 'IAC 134 AL01' apresentaram menor acúmulo de MDA, indicando maior tolerância à seca. Além desses, outros doze genótipos mantiveram níveis normais de MDA sob déficit hídrico, demonstrando boa adaptação a condições de estresse (Figura 14).

A prolina é um aminoácido que atua como osmoprotetor e antioxidante, protegendo as membranas celulares e proteínas de danos causados pelo estresse oxidativo induzido pela seca, conforme demonstrado por Delauney e Verma (1993) e Hare *et al.* (1998). Os genótipos 'CIP-400092', 'CIP-187012/2', 'Canadense', 'Beauregard' e 'IAC 134 AL01' mostraram um aumento no teor de prolina sob condições de estresse hídrico, o acúmulo de prolina em resposta ao déficit hídrico é

uma estratégia comum em plantas tolerantes à seca, contribuindo para a manutenção da integridade celular e aumentando a capacidade de sobrevivência (Figura 14).

Quando submetidas ao déficit hídrico, as plantas aumentam a produção de compostos fenólicos, como foi observado em alguns dos genótipos estudados ('CIP-400092', 'CIP-420024', 'Canadense', 'Beauregard' e 'Maria Isabel') (Figura 15). Esses compostos atuam como antioxidantes, neutralizando as espécies reativas de oxigênio (EROs) geradas durante o estresse oxidativo. Dessa forma, os compostos fenólicos contribuem para a proteção das células vegetais e conferem maior tolerância à seca (Akula; Ravishankar, 2011; Bettaieb *et al.*, 2011).

'CIP-440224', 'CIP-420024' e 'IAC 134 AL01' mostraram uma redução no teor de peróxido na capacidade de vaso de 20% (Figura 15). O déficit hídrico desencadeia aumento na produção de peróxido de hidrogênio, que pode causar danos às células vegetais. No entanto, as plantas possuem mecanismos de defesa para lidar com esse estresse, como a ativação de sistemas antioxidantes e a produção de osmoprotetores. A compreensão desses mecanismos é fundamental para o desenvolvimento de estratégias para melhorar a tolerância das plantas à seca.

Os parâmetros bioquímicos analisados revelaram diferentes respostas entre os genótipos submetidos ao déficit hídrico. O aumento nos níveis de peróxido e MDA, marcadores de dano oxidativo, indicou menor tolerância ao estresse. Por outro lado, o acúmulo de prolina, um osmoprotetor, e de polifenóis, antioxidantes, esteve associado a maior tolerância. O genótipo 'IAC 134 AL01' se destacou por apresentar os melhores resultados, com menor produção de espécies reativas de oxigênio e maior acumulação de compostos protetores.

A variação no comprimento de raiz entre os genótipos avaliados indica diferentes estratégias adaptativas para explorar o solo e adquirir água em condições de déficit hídrico. O genótipo 'Luiza' se destacou por apresentar maior comprimento de raiz em condições de menor disponibilidade hídrica (Figura 16). Essa resposta sugere que este genótipo possui uma estratégia adaptativa para explorar camadas mais profundas do solo em busca de água, o que pode conferir uma maior tolerância à seca. Por outro lado, os genótipos 'BRS Cottinga' e 'IAC 134 AL01' demonstraram maior desenvolvimento radicular em condições de maior disponibilidade hídrica (Figura 16). Essa resposta pode indicar que esses genótipos possuem uma estratégia de crescimento radicular mais dependente da disponibilidade de água no solo. Em experimento com cultivares de batata-doce expostas ao déficit hídrico, observou-se

uma diminuição significativa no comprimento total da raiz, área da superfície da raiz e volume da raiz (Ramamoorthy *et al.*, 2022).

A análise de correlação revelou associações importantes entre diferentes parâmetros. Houve uma alta correlação positiva entre o potencial hídrico foliar e a massa fresca da parte aérea, indicando que plantas com maior potencial hídrico tendem a apresentar maior desenvolvimento da parte aérea. A relação F_v/F_0 , um indicador da eficiência do fotossistema II, correlacionou-se positivamente com a massa seca de raiz, sugerindo que plantas com maior eficiência no fotossistema II podem apresentar maior crescimento radicular (Figura 18).

A taxa fotossintética apresentou alta correlação positiva com os parâmetros de fluorescência da clorofila F_m e F_v/F_0 . Esses resultados reforçam a importância da fluorescência da clorofila como ferramenta para estimar o desempenho do fotossistema II e a taxa fotossintética em plantas. Uma alta correlação positiva também foi observada entre a eficiência do uso da água (EUA) e a condutância estomática. Esse resultado sugere que plantas com maior condutância estomática podem apresentar maior capacidade de fixação de carbono por unidade de água perdida (Figura 18).

A figura 19 revela que o déficit hídrico afetou negativamente o desempenho de diversos genótipos, principalmente em relação ao F_v/F_0 , potencial hídrico foliar e taxa de transporte de elétrons evidenciando que a fisiologia das plantas foi impactada pelo estresse por déficit hídrico.

A batata-doce é uma cultura de grande importância econômica e nutricional, sendo sua tolerância à seca um fator crucial para a produção em regiões com escassez hídrica. A avaliação das respostas fisiológicas, bioquímicas e de desenvolvimento dos genótipos de batata-doce submetidos ao déficit hídrico revelou uma grande diversidade de respostas. A tolerância à seca é um traço complexo, influenciado por múltiplos fatores, e os resultados deste estudo demonstram a importância de uma abordagem multifatorial para identificar genótipos mais promissores. Embora tenhamos obtido informações valiosas sobre os mecanismos de tolerância à seca, futuros estudos deverão aprofundar a análise da produtividade desses genótipos em condições de campo, para uma avaliação mais completa de seu potencial agrônomo.

5. CONCLUSÃO

Os genótipos 'Luiza', 'Canadense', 'CIP 420717', 'Maria Isabel' e 'CIP 440186' demonstraram desempenho superior em relação à tolerância à seca, com base nos parâmetros avaliados.

REFERÊNCIAS

AKULA, R.; RAVISHANKAR, G. A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. **Plant signaling & behavior**, v. 6, n. 11, p. 1720-1731, 2011. DOI: 10.4161/psb.6.11.17613.

ANJUM, S. A.; WANG, L. C.; FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; XUE L. L.; ZOU, C .M.; Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, n. 3, p. 177-185, 2011. DOI: 10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. **AgroEstat**: sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2015. 396 p.

BASU, P. S.; SHARMA, A.; SUKUMARAN, N. P. Changes in net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in potato leaves induced by water stress. **Photosynthetica**, v. 35, p. 13-19, 1998. DOI: 10.1023/A:1006801311105.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973. DOI: 10.1007/BF00018060.

BETTAIEB, I.; HAMROUNI-SELLAMI, I.; BOURGOU, S.; LIMAM, F.; MARZOUK, B. Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, p. 1103-1111, 2011. DOI: 10.1007/s11738-010-0638-z.

CONCENÇO, G.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G.; D'ANTONINO, L.; VARGAS, L.; FIALHO, C. M. T. Uso da água em biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) em condição de competição. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 449-455, 2007. DOI: 10.1590/S0100-83582007000300003.

DARYANTO, S.; WANG, L.; JACINTHE, P. A. Drought effects on root and tuber production: a meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 176, p. 122–131, out. 2016. DOI: 10.1016/j.agwat.2016.05.019.

DELAUNEY, Ashton J.; VERMA, Desh Pal S. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. **The plant journal**, v. 4, n. 2, p. 215-223, 1993. DOI: 10.1046/j.1365-313X.1993.04020215.x.

DIVYA, P.; PUTHUSSERI, B.; SAVANUR, M. A.; LOKESH, V.; NEELWARNE, B. Effects of methyl jasmonate and carotenogenic inhibitors on gene expression. And carotenoids accumulation in coriander (*Coriandrum sativum* L.) foliage. **Food Research International**, V. 111, p. 11-19, 2018. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.04.040.

DOUPIS, G.; BERTAKI, M.; PSARRAS, G.; KASAPAKIS, I.; CHARTZOULAKIS, K. Water relations, physiological behavior and antioxidant defence mechanism of olive plants subjected to different irrigation regimes. **Scientia Horticulturae**, v. 153, p. 150-156, 2013. DOI: 10.1016/j.scienta.2013.02.010.

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

EGERT, M.; TEVINI, M. Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*). **Environmental and Experimental Botany**, v. 48, n. 1, p. 43-49, 2002. DOI: 10.1016/S0098-8472(02)00008-4.

FERREIRA, J. A. B. **Mitigação das alterações climáticas em batata-doce por meio de filme de partículas de cálcio**. 2022. 72 f. Tese (Doutorado em Agricultura e Biodiversidade) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2022.

FLEXAS, J.; BARBOUR, M. M.; BRENDEL, O.; CABRERA, H. M.; CARRIQUÍ, M.; DÍAZESPEJO, A.; DOUTHE, C.; DREYER, E.; FERRIO, J. P.; GAGO, J.; GALLÉ, A.; GÁLMÉS, J.; KODAMA, N.; MEDRANO, H.; NIINEMETS, Ü.; PEGUERO-PINA, J. J.; POU, A.; RIBAS-CARBÓ, M.; TOMÁS, M.; TOSENS, T.; WARREN, C. R. Mesophyll diffusion conductance to CO₂: An unappreciated central player in photosynthesis. **Plant Science**, v.193–194, p.70–84, 2012. DOI: 10.1016/j.plantsci.2012.05.009.

GUIMARÃES, G. F.; GORNI, P. H.; VITOLO, H. F.; CARVALHO, M. E. A.; PACHECO, A. C. Sweetpotato tolerance to drought is associated to leaf concentration of total chlorophylls and polyphenols. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 33, p. 385-396, 2021. DOI: 10.1007/s40626-021-00220-2.

HARE, P. D.; CRESS, W. A.; VAN STADEN, J. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. **Plant, cell & environment**, v. 21, n. 6, p. 535-553, 1998. DOI: 10.1046/j.1365-3040.1998.00309.x.

HERNÁNDEZ ÁNGEL, M.; PRIETO GONZÁLEZ, E. A. Plantas que contienen polifenoles: Antioxidantes dentro del estilo de vida. **Revista cubana de investigaciones biomédicas**, v. 18, n. 1, p. 12-12, 1999.

HINGE, P.; KALE, A.; PAWAR, B. D.; JADHAV, A. Effect of PEG induced water stress on chlorophyll content, membrane injury index, osmoprotectants and antioxidant enzymes activities in sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench). **Maydica**, v. 60, n. 1, 2015.

KERBAUY, G. B. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

KIVUVA, B. M.; GITHIRI, S. M.; YENCHO, G. C.; SIBIYA, Julia. Screening sweetpotato genotypes for tolerance to drought stress. **Field Crops Research**, v. 171, p. 11–22, 2015. DOI: 10.1016/j.fcr.2014.10.018.

LI, S.; ZHAO, L.; SUN, N.; LIU, Q.; LI, H. Photosynthesis product allocation and yield in sweetpotato with different irrigation levels at mid-season. **Agricultural Water Management**, v. 246, p. 106708, 2021. 10.1016/j.agwat.2020.106708.

LIMA, Dawyson de. **Respostas fisiológicas e agronômicas da cultura de batata-doce desenvolvida para produção de etanol em função da aplicação de herbicidas**. 2018.107f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2018.

MARCINSKA, Izabela; CZYCZYLO-MYSZA, I.; SKRZYPEK, E.; GRZESIAK, M. T., JANOWIAK, F.; FILEK, M.; DZIURKA, M.; DZIURKA, K.; WALIGÓRSKI, P.; JUZÓN, K.; CYGANIEK, K.; GRZESIAK, S. Alleviation of osmotic stress effects by exogenous application of salicylic or abscisic acid on wheat seedlings. **International journal of molecular sciences**, v. 14, n. 7, p. 13171-13193, 2013. DOI: 10.3390/ijms140713171.

OMETTO, J. P. H. B. Variação temporal do isótopo estável do carbono em material arbóreo em florestas da região Amazônica. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOLOGIA, 4., 2003, Fortaleza. **Anais [...]** Rio Claro: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2003.

OMOTOBORA, B. O.; ADEBOLA, P. O.; MODISE, D. M.; LAURIE, S. M.; GERRANO, A. S. Greenhouse and field evaluation of selected sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) LAM) accessions for drought tolerance in South Africa. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 21, p. 3328-3339, 2014. DOI: 10.4236/ajps.2014.521348.

RAMÍREZ, D. A. GRÜNEBERG, W., ANDRADE, M. I.; BOECK, B.; LOAYZA, H.; MAKUNDE, G. S.; NINANYA, J.; RINZA, J.; HECK, S.; CAMPOS, H. Phenotyping of productivity and resilience in sweetpotato under water stress through UAV-based multispectral and thermal imagery in Mozambique. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 209, n. 1, p. 41–55, 2023. DOI: 10.1111/jac.12565.

RAMAMOORTHY, P.; BHEEMANAHALLI, R.; MEYERS, S. L.; SHANKLE, M. W.; REDDY, K. R. Drought, low nitrogen stress, and ultraviolet-B radiation effects on growth, development, and physiology of sweetpotato cultivars during early season. **Genes**, v. 13, n. 1, p. 156, 2022. DOI: 10.3390/genes13010156.

RICE-EVANS, C. A.; MILLER, N. J.; PAGANGA, G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. **Free radical biology and medicine**, v. 20, n. 7, p. 933-956, 1996. DOI: 10.1016/0891-5849(95)02227-9.

RODZIEWICZ, P.; SWARCEWICZ, K.; WOJAKOWSKA, A.; STOVIECKI, M. Influence of abiotic stresses on plant proteome and metabolome changes. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, p. 1-19, 2014. DOI: 10.1007/s11738-013-1402-y.

RUCKER, K. S.; KVIEN, C. K.; HOLBROOK, C. C.; HOOK J. E. Identification of peanut genotypes with improved drought avoidance traits. **Peanut science**, v. 22, n. 1, p. 14-18, 1995. DOI: 10.3146/pnut.22.1.0003.

SAPAKHOVA, Z.; RAISSOVA, N.; DAUROV, D.; ZHAPAR, K.; DAUROVA, A.; ZHIGAILOV, A.; ZHAMBAKIN, K.; SHAMEKOVA, M. Sweet Potato as a Key Crop for Food Security under the Conditions of Global Climate Change: a review. **Plants**, v. 12, n. 13, p. 2516, 2023. DOI: 10.3390/plants12132516.

SEPEHRI, A.; GOLPARVAR, A. R. The effect of drought stress on water relations, chlorophyll content and leaf area in canola cultivars (*Brassica napus* L.). **Electronic Journal of Biology**, v. 7, n. 3, p. 49-53, 2011.

SILVA, A. A. Herbicidas: classificação e mecanismo de ação. In: SILVA A. A.; SILVA J. F. (ed.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa-MG: Editora UFV, 2007. 367 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TOROCO, B. R.; SILVA, E. H. C.; LEAL, M. H. S.; OLIVEIRA, G. J. A.; SILVA JÚNIOR, A. D.; GOMES, G. F. P.; RESENDE, J. T. V.; ZEIST, A. R. Performance of orange-fleshed sweet potato genotypes is affected by the planting date. **Scientia Horticulturae**, v. 321, p. 112361, 2023. DOI: 10.1016/j.scienta.2023.112361.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of plant physiology**, v. 144, n. 3, p. 307-313, 1994. DOI: 10.1016/S0176-1617(11)81192-2.

XU, L. K.; HSIAO, T. C. Predicted versus measured photosynthetic water-use efficiency of crop stands under dynamically changing field environments. **Journal of experimental botany**, v. 55, n. 407, p. 2395-2411, 2004. DOI: 10.1093/jxb/erh271.

YOOYONGWECH, S.; THEERAWITAYA, C.; SAMPHUMPHUANG, T.; CHA-UM, S. Water-deficit tolerant identification in sweet potato genotypes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) in vegetative developmental stage using multivariate physiological indices. **Scientia Horticulturae**, v. 162, p. 242-251, 2013. DOI: 10.1016/j.scienta.2013.07.041.

YOOYONGWECH, S.; SAMPHUMPHUNG, T.; TISARAM, R.; THEERAWITAYA, C.; CHA-UM, S. Physiological, Morphological Changes and Storage Root Yield of Sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] under PEG-Induced Water Stress. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 45, n. 1, p. 164–171, 2017. DOI: 10.15835/nbha45110651.

ZHANG, H.; DUAN, W.; XIE, B.; WANG, B.; HOU, F.; LI, A.; DONG, S.; QIN, Z.; WANG, Q.; ZHANG, L. Root yield, antioxidant capacities, and hormone contents in different drought-tolerant sweet potato cultivars treated with ABA under early drought

stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 42, p. 1-15, 2020. DOI: 10.1007/s11738-020-03116-x.

ZHAO, T. J. Sun S, Liu Y, Liu JM, Liu Q, Yan YB, Zhou HM. Regulating the drought-responsive element (DRE)-mediated signaling pathway by synergic functions of trans-active and transinactive DRE binding factors in Brassica napus. **Journal of Biological Chemistry**, v. 281, n. 16, p. 10752-10759, 2006.

SEÇÃO II

Seleção de genótipos de batata-doce tolerantes a seca por meio do índice multivariado MGIDI

Resumo

O déficit hídrico afeta negativamente a produtividade e qualidade da batata-doce. O desenvolvimento de cultivares tolerantes a seca é estratégico, mas trata-se de fenômeno complexo e influenciado por muitas características. Neste sentido, a adoção de abordagens estatísticas multivariadas possibilita aumentar as chances de identificar genótipos promissores. Este estudo visou identificar genótipos tolerantes à seca utilizando o índice multivariado de distância genótipo-ideótipo (MGIDI). Vinte genótipos foram avaliados em condições de déficit hídrico e controle. Foram analisadas características fisiológicas, bioquímicas e morfológicas. O índice foi obtido para as duas condições hídricas separadamente. Na condição hídrica adequada dentre as dez características avaliadas, oito apresentaram diferencial de seleção (DS) com valores positivos ou negativos esperados, representando 80% de taxa de sucessos para a seleção de características de interesse, a seleção não foi bem-sucedida para as características FEN e EUA. Na condição de déficit hídrico obteve-se 80% de taxa de sucesso para a seleção, com exceção para as características de DRM e EUA. 'Minerinha', 'Canadense', 'IAC Clara', 'Japonesa', 'CIP 440003', 'CIP 400092', 'CIP 440178', 'Luiza', 'CIP 187012/2' e 'Maria Isabel' são os genótipos mais próximos do ideótipo na condição de déficit hídrico. Cinco genótipos foram selecionados para ambas as condições hídricas, sendo 'Canadense', 'IAC Clara', 'Japonesa', 'CIP-187012/2' e 'Maria Isabel'.

Palavras-chaves: *Ipomoea batatas* (L.) Lam.; estresse abiótico; déficit hídrico; fisiologia vegetal; índice de seleção; melhoramento genético.

Selection of drought-tolerant sweet potato genotypes using the multivariate index MGIDI

Abstract

Water deficit negatively affects sweet potato productivity and quality. The development of drought-tolerant cultivars is strategic, but it is a complex phenomenon influenced by many traits. In this sense, the adoption of multivariate statistical approaches makes it possible to increase the chances of identifying promising genotypes. This study aimed to identify drought-tolerant genotypes using the multivariate genotype-ideotype distance index (MGIDI). Twenty genotypes were evaluated under water deficit and control conditions. Physiological, biochemical and morphological traits were analyzed. The index was obtained for the two water conditions separately. In the adequate water condition, among the ten traits evaluated, eight presented selection differential (DS) with expected positive or negative values, representing 80% of success rate for the selection of traits of interest. Selection was not successful for the FEN and EUA traits. In the water deficit condition, 80% of success rate for selection was obtained, except for the DRM and EUA traits. 'Minerinha', 'Canadense', 'IAC Clara', 'Japonesa', 'CIP 440003', CIP 400092', 'CIP 440178', 'Luiza' 'CIP 187012/2' and 'Maria Isabel' are the genotypes closest to the ideotype in the water deficit condition. Five genotypes were selected for both water conditions, being 'Canadense', 'IAC Clara', 'Japonesa', 'CIP-187012/2' and 'Maria Isabel'.

Keywords: *Ipomoea batata* L.; abiotic stress; water deficit; plant physiology; photosynthesis; chlorophyll fluorescence.

1 INTRODUÇÃO

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) é considerada uma das dez principais culturas essenciais para a segurança alimentar e nutricional, com área cultivada estimada em 9 milhões de hectares (FAOSTAT, 2020). O cultivo de batata-doce tem crescido ao longo do tempo, e os números mais recentes do CIP (International Potato Centre) indicam que 150 milhões de toneladas de batata-doce são produzidas anualmente em todo o mundo (Alam *et al.*, 2024a).

As mudanças climáticas estão reduzindo a produção de alimentos em todo o mundo, especialmente nas regiões tropicais, onde secas, calor extremo e inundações são cada vez mais frequentes. Essa situação coloca em risco a segurança alimentar global (Razzaq *et al.*, 2021; Rosero *et al.*, 2023). Dentre os diversos tipos de estresse, o déficit hídrico vem ganhando destaque devido às suas implicações para o cultivo de plantas alimentícias (Mckiernan *et al.*, 2014).

A literatura apresenta divergências sobre a tolerância da batata-doce à seca, com estudos classificando-a tanto como sensível quanto moderadamente tolerante (Laurie *et al.*, 2009; Motsa; Modi; Mabhaudhi, 2015). A resposta da planta ao déficit hídrico é influenciada por diversos fatores, incluindo genótipo, condições ambientais e manejo cultural. O potencial de produção e a resposta à seca variam significativamente entre as cultivares (Karakas; Kurunc; Dincer, 2021).

O estresse por déficit hídrico compromete processos fisiológicos essenciais como a fotossíntese e a translocação de fotoassimilados (Mundree *et al.*, 2002), podendo ocasionar a morte da planta. Diante desse desafio, algumas espécies desenvolveram estratégias de tolerância à seca (Carvalho, 2008; Kivuva *et al.*, 2015). A identificação e o cultivo de genótipos tolerantes à seca são cruciais para garantir a produção agrícola em regiões com escassez hídrica, uma vez que esses genótipos apresentam maior capacidade de manter a produtividade sob condições de estresse hídrico (Kivuva *et al.*, 2015).

A tolerância a seca é característica essencialmente multivariada, pois as plantas podem adotar mecanismos diversos nessas condições. Além de componentes de produtividade, faz-se necessário investigar as respostas fisiológicas e bioquímicas e a morfologia de raízes como características potencialmente relacionadas a tolerância a seca. Nesse sentido, o volume de dados gerado é alto e a adoção de

ferramentas estatísticas que permitam analisar conjuntamente é estratégico na seleção de genótipos resistentes.

Para analisar grandes quantidades de dados genéticos, são utilizadas técnicas estatísticas como análise multivariada, análise de cluster e análise de componentes principais (PCA). Essas técnicas ajudam a identificar genótipos promissores (Elameen *et al.*, 2011; Slonecki *et al.*, 2023). Dentre as estratégias multivariadas, o índice multivariado de distância genótipo-ideótipo (MGIDI) é metodologia inovadora para seleção de genótipos (Olivoto; Nardino, 2021). Ao considerar múltiplas caracteres simultaneamente e utilizar a análise fatorial para evitar problemas de colinearidade, o MGIDI permite seleção mais precisa e eficiente de genótipos que se aproximam do ideótipo desejado (Olivoto; Nardino, 2021). Essa ferramenta tem demonstrado grande potencial em diversas culturas (Alam *et al.*, 2024b).

Diante da necessidade de desenvolver cultivares de batata-doce mais adaptadas a condições de estresse por déficit hídrico, o presente estudo utilizou o MGIDI, uma ferramenta robusta para análise multivariada de dados, com o objetivo de identificar genótipos promissores de batata-doce tolerante à seca, considerando características fisiológicas, bioquímicas e de desenvolvimento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação do CEOFOP-UNOESTE, em Presidente Prudente - SP, com o objetivo de identificar genótipos de batata-doce tolerantes à seca. Adotou-se delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 2x20. O primeiro fator foi constituído de dois regimes hídricos, 20 e 100% da capacidade de vaso. O segundo fator foi constituído de 20 genótipos, incluindo cultivares (Beauregard, Canadense, Japonesa, Luiza, Mineirinha, BRS Cuia, IAC Clara, Maria Isabel Unesp, BRS Cotinga e IAC 134 AL01), acessos oriundos do CIP (420717, 440224, 400092, 440186, 440178, 440003, 440181, 187012/2, 440209 e 420024).

As ramas-semente foram plantadas em vasos plásticos de 12 L preenchidos com solo de barranco e areia na proporção 2:1. Após o estabelecimento das plantas, período em que as plantas receberam água normalmente durante cinco semanas, os tratamentos de regimes hídricos (20% e 100% da capacidade de vaso) foram iniciados e mantidos por quatro semanas, coincidindo com o início da formação de raízes

tuberosas. A umidade do solo foi monitorada por sensores de TDR, com prévia calibração.

2.1 Análises fisiológicas e de crescimento

a) Trocas gasosas:

As trocas gasosas foliares foram avaliadas em analisador de gases por infravermelho (IRGA, Li-6400XTR) sob condições controladas de luz ($1000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e CO_2 ($400 \mu\text{mol mol}^{-1}$). As medidas foram realizadas aos 29 dias após a suspensão da irrigação, entre 09h e 11h. Foram determinados os seguintes parâmetros: taxa de assimilação de CO_2 e transpiração. A partir desses dados, foram calculados a eficiência do uso da água (EUA).

b) Fluorescência da Clorofila:

A fluorescência da clorofila foi avaliada em um fluorômetro (Plant Stress Kit, ADC) aos 30 dias após a suspensão da irrigação. Foi medida o rendimento quântico do fotossistema II ($Y(\text{II})$).

c) Potencial hídrico foliar (Ψ_a):

O potencial hídrico foliar foi determinado em uma câmara de Scholander aos 30 dias após a imposição do déficit hídrico.

d) Biomassa:

A biomassa seca das raízes foi determinada após secagem em estufa a 65°C .

e) Avaliação das raízes:

As raízes foram digitalizadas e analisadas utilizando um escaneador de raízes e o software WinRhizo para determinar parâmetros como comprimento, volume e número de sub-raízes.

2.2 Análises bioquímicas indicadoras de estresses

a) Determinação do teor do malondialdeído (MDA):

O nível de peroxidação de lipídeos foi medido em termos de conteúdo de malondialdeído, usando a reação do ácido tiobarbitúrico (TBA), segundo metodologia de Heath e Packer (1968).

b) Teor de prolina foliar:

A prolina livre nos tecidos foliares foi extraída e analisada de acordo com a metodologia de Bates *et al.* (1973).

2.3 Análises de metabólicos secundários

a) Teor de compostos fenólicos totais

A determinação foi realizada de acordo com o método Folin-Cicalteu e solução de cabornato de sódio 25% (Stagos *et al.*, 2012).

2.4 Análise estatística

A seleção dos melhores genótipos foi realizada utilizando o índice multivariado de distância genótipo-ideótipo (*Multi-trait Genotype-Ideotype Distance Index* - MGIDI) (Olivoto; Nardino, 2020). Primeiramente, procedeu-se o reescalonamento das características para que todas apresentem intervalo entre 0 e 100, seguindo a equação que segue, conforme (Olivoto; Nardino, 2021):

$$rX_{ij} = \frac{\eta_{nj} - \varphi_{nj}}{\eta_{0j} - \varphi_{0j}} x(\theta_{ij} - \eta_{0j}) - \eta_{nj}$$

Onde η_{nj} e φ_{nj} são os novos valores máximo e mínimo para a característica j após o reescalonamento, respectivamente; η_{0j} e φ_{0j} são os valores originais máximos e mínimos para a característica j , respectivamente; e, θ_{ij} é o valor original para a j -ésima característica do i -ésimo genótipo. Para MDA em que se busca valores menores, considerou-se $\eta_{nj} = 0$ e $\varphi_{nj} = 100$. Para todas as outras características, as quais se busca valores maiores, considerou-se $\eta_{nj} = 100$ e $\varphi_{nj} = 0$. Dessa maneira, o genótipo ideal seria aquele que apresentasse 100 para todas as características após o reescalonamento.

Após o reescalonamento das características, visando agrupar características relacionadas e reduzir a dimensionalidade dos dados, procedeu-se análise fatorial exploratória com rX_{ij} , conforme Olivoto e Nardino (2021). As cargas fatoriais para cada genótipo foram obtidas por meio da equação que segue:

$$X = \mu + Lf + \varepsilon$$

Onde X é um vetor $p \times 1$ de observações reescaladas; μ é um vetor $p \times 1$ de média padronizadas; f é um vetor $p \times 1$ de fatores comuns; e ε é um vetor $p \times 1$ de resíduos, sendo p e f o número de características e fatores comuns retidos, respectivamente. Os autovalores e autovetores são obtidos da matriz de correlação de rX_{ij} . Para ser retido, os fatores devem apresentar autovalor maior que um. Os escores foram obtidos pela equação que segue:

$$F = Z(A^T R^{-1})^T$$

Onde F é uma matriz $g \times f$ com os escores fatoriais; Z é a matriz $g \times p$ com médias reescaladas (padronizadas); A é a matriz $p \times f$ de cargas canônicas; e R é uma matriz de correlação $p \times p$ entre as características. G , f e p representam o número de genótipos, fatores retidos e características analisadas, respectivamente.

O índice multivariado MGIDI foi calculado usando a função `mgidi()` do pacote `metan` do R (Olivoto; Nardino, 2020), por meio da equação:

$$MGIDI_i = \left[\sum_{j=1}^f (Y_{ij} - Y_j)^2 \right]^{0.5}$$

Onde $MGIDI_i$ é o índice multivariado de distância genótipo-ideótipo para o i -ésimo genótipo; Y_{ij} é o escore do i -ésimo genótipo no j -ésimo fator ($i = 1, 2, \dots, g$; $j = 1, 2, \dots, f$), sendo g e f o número de genótipos e fatores, respectivamente; e Y_j é o j -ésimo escore do ideótipo. Quanto menor for o valor do MGIDI, mais próximo o genótipo estará do ideótipo. O índice foi calculado considerando pesos iguais para todas as características. O diferencial de seleção para todas as características foi

calculado considerando intensidade de seleção de 50%, logo os dez genótipos mais próximos do ideótipo, ou seja, com menor valor MGIDI, foram selecionados.

Com o intuito de visualização de pontos fortes e fracos dos genótipos, a proporção do índice MGIDI do i -ésimo genótipo explicado pelo j -ésimo fator (ω_{ij}) foi calculada pela equação que segue, conforme Olivoto e Nardino (2020):

$$\omega_{ij} = \frac{\sqrt{D_{ij}^2}}{\sum_{j=1}^f \sqrt{D_{ij}^2}}$$

Onde D_{ij} é a distância entre o i -ésimo genótipo e o ideótipo para o j -ésimo fator. Valores de contribuição baixos de um determinado fator indicam que as características relacionadas a este fator estão próximas do ideótipo.

3 RESULTADOS

3.1 Aplicação do índice multivariado de distância genótipo-ideótipo (MGIDI) para vinte genótipos de batata-doce em condições hídricas adequadas (100% da capacidade de vaso)

Dentre as dez características avaliadas, oito apresentaram diferencial de seleção (DS) com valores positivos ou negativos esperados, representando 80% de taxa de sucessos para a seleção de características de interesse (Tabela 1). Espera-se valores positivos de DS para características onde o objetivo é aumentar e negativos para aquelas que se busca diminuir. A seleção não foi bem-sucedida para as características FEN e EUA.

TABELA 1 — Diferenciais de seleção (DS) e análise de fatores para as dez características relacionadas à fisiologia, bioquímica e desenvolvimento de genótipos batata-doce em condição hídrica adequada (100% da capacidade de vaso).

Característica	Objetivo	Fator	X ₀	h ²	DS(%)
RL (cm)	Aumentar	FA1	2830.0	0.715	7.18
RV (cm ³)	Aumentar	FA1	14.1	0.672	11.5
NSR	Aumentar	FA1	13653.0	0.671	5.62
MDA (nmol g ⁻¹ MF)	Diminuir	FA2	0.0185	0.695	6.88
FEN (mg/g)	Aumentar	FA2	4.47	0.840	-13.0
PH (MPa)	Aumentar	FA2	-0.700	0.887	1.60
PRO (μmol g ⁻¹ MF)	Aumentar	FA3	0.00171	0.726	4.56
DRM (g)	Aumentar	FA4	3.33	0.643	7.11
Y_Fm	Aumentar	FA4	676.0	0.804	2.95
EUA (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹	Aumentar	FA5	2.12	0.960	-5.42

Fonte: A autora.

X₀ = média original. h² = herdabilidade. DS(%) = diferencial de seleção. RL = Comprimento de raiz. RV = Volume de raiz. NSR = Número de sub-raízes. MDA = Malonaldeído. FEN = Fenois. PH = Potencial hídrico. PRO = Prolina. DRM = Massa seca de raiz. Y_Fm = Eficiência quântica do fotossistema II. EUA = Eficiência instantânea do uso da água.

Com base no autovalor da análise, cinco fatores foram obtidos na avaliação de 100% da capacidade de vaso, os quais retem 84,7% da variância (Tabela 2). Após a aplicação da rotação ortogonal *varimax*, que destaca a estrutura latente ao preservar a ortogonalidade entre os fatores, observou-se comunalidade média de 0,85. Esse valor indica que uma elevada proporção da variância de cada característica foi explicada pelos fatores, refletindo considerável proporção de variância compartilhada entre as características. A comunalidade das características variou de 0,72 a 0,93.

As dez características foram agrupadas em cinco fatores (FA) da forma que segue: FA1 associado ao sistema radicular da planta; FA2 relacionado a defesa da planta ao estresse por déficit hídrico; FA3 para disponibilidade hídrica da planta e a produção de prolina foliar; FA4 para dano oxidativo; e FA5 tem relação com a eficiência do uso da água, que é a capacidade da planta produzir biomassa por unidade de água transpirada.

TABELA 2 — Autovalores, variância explicada por cada fator, cargas fatoriais após a rotação varimax e comunalidade obtidos na análise fatorial de 20 genótipos de batata-doce em condições hídricas adequadas (100% da capacidade de vaso).

Característica	FA1	FA2	FA3	FA4	FA5	Comunalidade
RL (cm)	-0.94	-0.01	-0.1	0.04	-0.08	0.90
RV (cm ³)	-0.88	-0.13	-0.08	0.35	-0.11	0.93
NSR	-0.90	-0.02	0.19	-0.04	-0.08	0.85
DRM (g)	-0.28	0.02	-0.42	0.72	-0.26	0.83
MDA (nmol g ⁻¹ MF)	0.45	-0.70	0.09	-0.11	-0.09	0.72
PRO (μmol g ⁻¹ MF)	0.06	0.02	-0.92	-0.07	-0.03	0.85
FEN (mg/g)	0.15	0.61	0.32	0.08	-0.57	0.84
Y_Fm	-0.02	0.07	0.27	0.87	0.11	0.85
Pot_Hidr (MPa)	0.31	0.86	-0.04	-0.02	0.13	0.85
EUA (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹) ⁺⁺	0.21	0.16	0.12	0.00	0.87	0.85
Média						0.85
Autovalores	3.23	1.75	1.26	1.14	1.10	
Variância	32.3	17.4	12.6	11.4	11.0	
% acumulada	32.3	49.8	62.4	73.8	84.7	

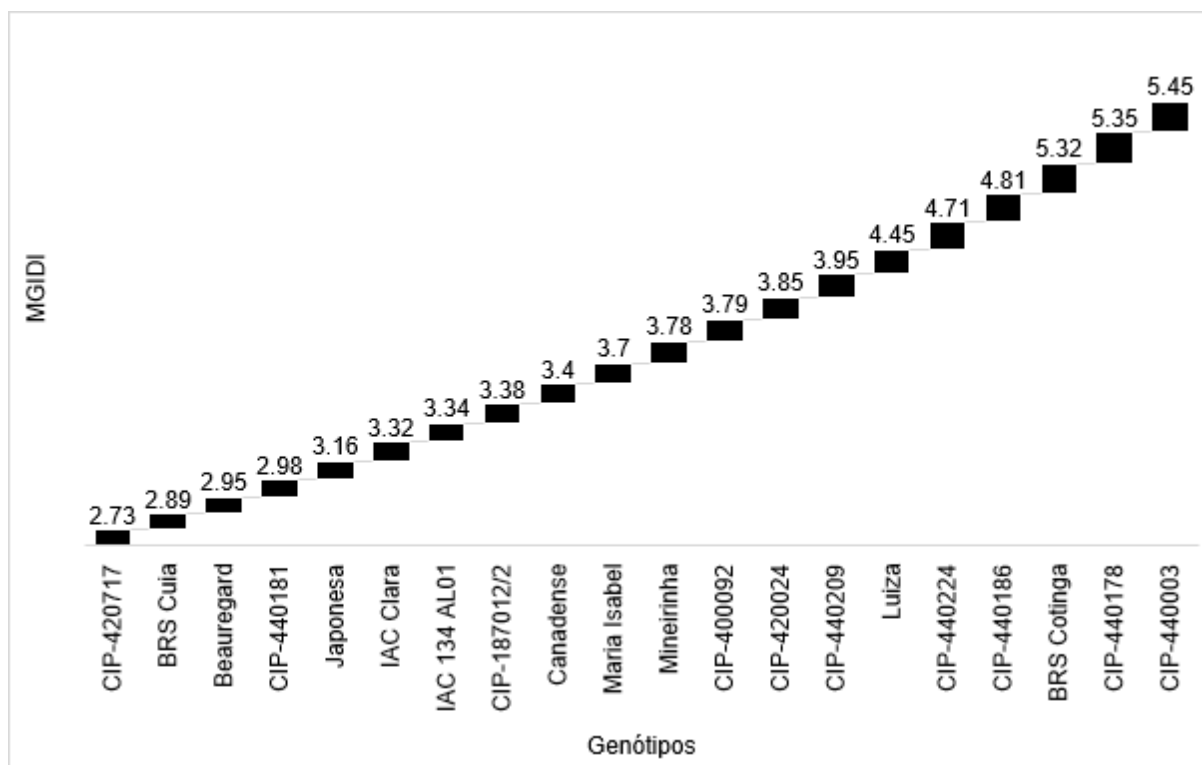
Fonte: A autora.

RL = Comprimento de raiz. RV = Volume de raiz. NSR = Número de sub-raízes. MDA = Malonaldeído. FEN = Fenois. Pot.Hidr = Potencial hídrico. PRO = Prolina. DRM = Massa seca de raiz. Y_Fm = Eficiência quântica do fotossistema II. EUA = Eficiência instantânea do uso da água.

Dentre os dez genótipos selecionados pelo índice MGIDI em condições hídricas não estressantes (100% da capacidade de vaso), 'CIP- 420717' apresentou estimativa mais próxima do ideótipo (2,73), superando os dos genótipos mais cultivados no estado de São Paulo (Canadense e Mineirinha) (Figura 1). O ranqueamento dos 20 genótipos em ordem crescente para o índice MGIDI está ilustrado na Figura 2. Os genótipos selecionados com base neste índice são exibidos em vermelho. O círculo

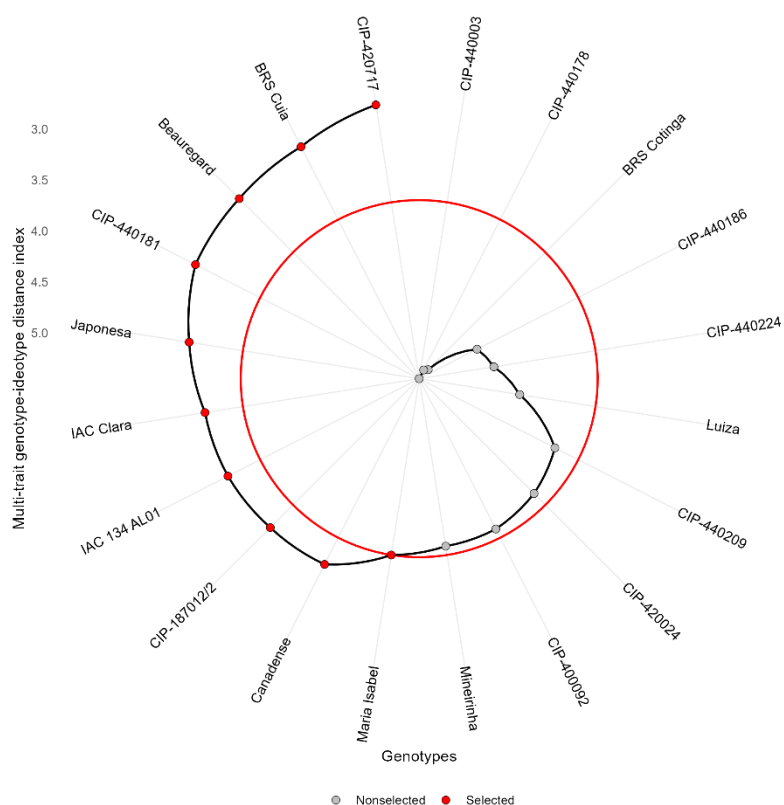
vermelho central representa o ponto de corte de acordo com a intensidade de seleção de 50%.

FIGURA 1 — Ranqueamento dos genótipos de batata-doce em condições hídricas adequadas (100% da capacidade de vaso) por meio do Índice Multivariado de Distância Genótipo-Ideótipo (MGIDI) utilizando dez características relacionadas a respostas fisiológicas e bioquímicas e morfologia radicular.



Fonte: A autora.

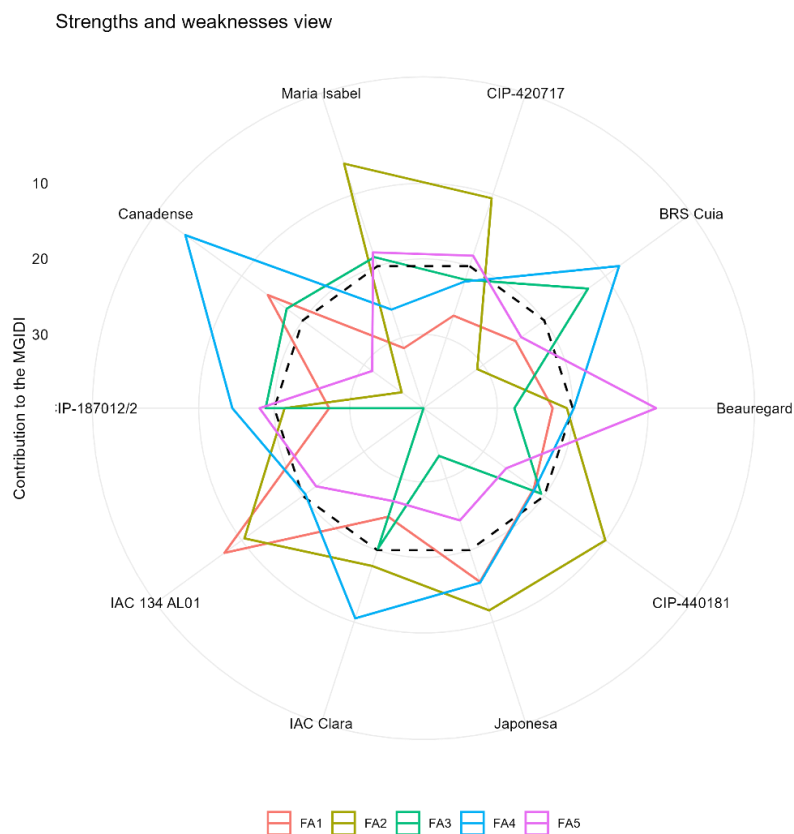
FIGURA 2 — Índice de distância genótipo-ideótipo de 20 genótipos de batata-doce submetido a condições hídricas adequadas (100% da capacidade de vaso) selecionados por meio do índice multivariado de distância genótipo-ideótipo (MGIDI) considerando dez características relacionadas a respostas fisiológicas e bioquímicas e morfologia radicular.



Fonte: A autora.

Os pontos fortes e fracos dos dez genótipos selecionados na condição sem déficit hídrico estão representados na Figura 3. A contribuição de cada fator é classificada de forma que os fatores com maior contribuição fiquem próximos à borda da figura e aqueles com menor contribuição fiquem próximos ao centro da figura. Quanto mais próximo da borda externa, mais próximas as características dentro do fator em questão estão próximas do ideótipo (Olivoto; Nardino, 2021).

FIGURA 3 — Visualização dos pontos fortes e fracos dos genótipos selecionados de batata-doce em condição hídrica adequada (100% da capacidade de vaso) como a proporção de cada fator no Índice Multivariado de Distância Genótipo-Ideótipo (MGIDI). Quanto maior a proporção explicada por um fator (mais próximo da borda externa), mais próximos os traços dentro desse fator estão do ideótipo. A linha tracejada indica o valor teórico se todos os fatores tivessem contribuído igualmente.



Fonte: A autora.

Comparando os genótipos com base no FA-1, o genótipo que se destacou para esse fator foi 'IAC 134 AL01', sugerindo que esse genótipo teve maior desenvolvimento de raízes. O FA-2 representa as características de MDA e fenois; os genótipos 'CIP 440717', 'Maria Isabel', 'Japonesa' e 'CIP 440181' têm pontos fortes relacionados a esse fator. O genótipo 'BRS Cuia', obteve bom desempenho para potencial hídrico foliar e produção de prolina, pois apresenta maior contribuição do FA-3. Os genótipos 'Canadense', 'BRS Cuia' e 'CIP 187012/2' e 'IAC Clara' apresentaram altos valores para as características presentes em FA-4, ou seja, massa seca de raízes e rendimento quântico do FSII. FA-5 contribuiu para 'Beauregard', indicando que este genótipo apresenta melhor uso da água (Figura 3).

3.2 Aplicação do índice multivariado de distância genótipo-ideótipo (MGIDI) para vinte genótipos de batata-doce em condições hídricas estressantes (20% da capacidade de vaso)

Dentre as dez características avaliadas, oito apresentaram diferencial de seleção (DS) com valores positivos ou negativos esperados, representando 80% de taxa de sucesso para a seleção de características de interesse (Tabela 3). Espera-se valores positivos de DS para características onde o objetivo é aumentar e negativos para aquelas que se busca diminuir. A seleção não foi bem-sucedida para as características DRM e EUA.

Conforme autovalores, quatro fatores foram obtidos na condição hídrica estressante (20% da capacidade de vaso), os quais retem 76,6% da variância (Tabela 4). Verifica-se comunalidade média de 0,77, variando de 0,54 (EUA) a 0,94 (RL). A comunalidade média na condição estressante foi menor do que na condição adequada principalmente pela redução da comunalidade observada para EUA.

As dez características foram agrupadas em quatro fatores (FA). O primeiro fator (FA-1) mantém sua relação com o sistema radicular da planta. O segundo fator (FA-2) está relacionado à capacidade da planta de resistir ao estresse oxidativo. O terceiro fator (FA-3) pode ser interpretado como um indicador de estresse. Por fim, o quarto fator (FA4) está relacionado a eficiência dos processos fisiológicos da planta (Tabelas 3 e 4). O número e composição dos fatores divergem dos fatores encontrados na condição hídrica adequada, ou seja, com 100% capacidade de vaso.

TABELA 3 — Diferenciais de seleção (DS) e análise de fatores para as dez características relacionadas à fisiologia, bioquímica e desenvolvimento de genótipos batata-doce em condição hídrica estressante (20% da capacidade de vaso).

Característica	Objetivo	Fator	X ₀	h ²	DS(%)
RL (cm)	Aumentar	FA1	2760	0.721	11.7
RV (cm ³)	Aumentar	FA1	12,9	0.507	15.0
NSR	Aumentar	FA1	10600	0.715	9.42
DRM (g)	Aumentar	FA2	3,07	0.726	-1.42
FEN (mg/g)	Aumentar	FA2	5,5	0.937	5.17
PRO (μmol g ⁻¹ MF)	Aumentar	FA3	0,00234	0.506	2.78
Pot.Hidr (MPa)	Aumentar	FA3	-0,922	0.836	2.17
MDA (nmol g ⁻¹ MF)	Diminuir	FA4	0,0216	0.955	-8.80
Y_Fm	Aumentar	FA4	676	0.899	6.69
EUA (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹) ⁺⁺	Aumentar	FA4	3,1	0.908	-6.04

Fonte: A autora.

X₀ = média original. h² = herdabilidade. DS(%) = diferencial de seleção. RL = Comprimento de raiz. RV = Volume de raiz. NSR = Número de sub-raízes. DRM = Massa seca de raiz. FEN = Fenois. PRO = Prolina. Pot.Hidr = Potencial hídrico. MDA = Malonaldeído. Y_Fm = Eficiência quântica do fotossistema II. EUA = Eficiência instantânea do uso da água.

TABELA 4 — Autovalores, variância explicada por cada fator, cargas fatoriais após a rotação varimax e comunalidade obtidos na análise fatorial de 20 genótipos de batata-doce em condições hídricas estressantes (20% da capacidade de vaso).

Característica	FA1	FA2	FA3	FA4	Comunalidade
RL (cm)	-0.95	0.09	-0.19	-0.05	0.94
RV (cm ³)	-0.73	0.42	0.02	-0.14	0.73
NSR	-0.86	0.05	0.13	-0.19	0.8
DRM (g)	-0.28	0.78	0.17	-0.12	0.74
MDA (nmol g ⁻¹ MF)	-0.05	-0.14	0.49	-0.74	0.81
PRO (μmol g ⁻¹ MF)	-0.06	-0.38	0.75	0.02	0.71
FEN (mg/g)	0.1	-0.86	0.2	-0.07	0.79
Y_Fm	-0.03	0.31	-0.31	-0.82	0.86
Pot.Hidr (Mpa)	-0.11	-0.3	-0.78	-0.18	0.74
EUA (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹) ⁺⁺	0.29	0.07	0.11	0.66	0.54
Média					0.85
Autovalores	3.13	1.81	1.51	1.21	
Variância	31.3	18.1	15.1	12.1	

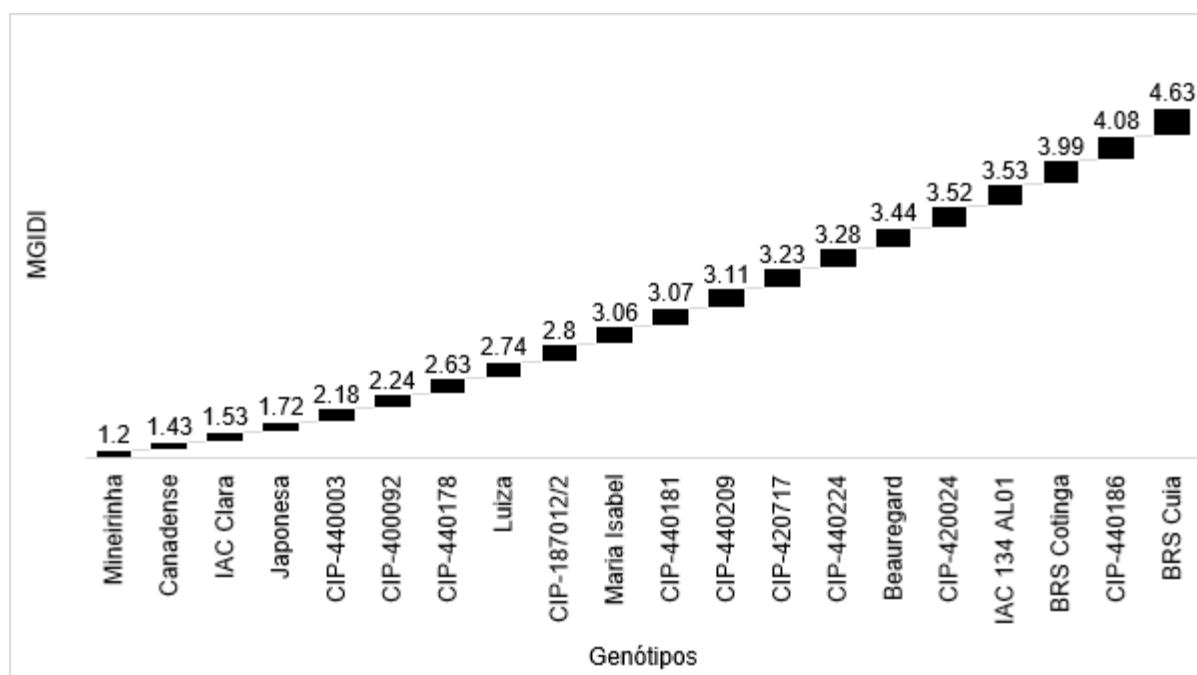
% acumulada	31.3	49.4	64.5	76.6
-------------	------	------	------	------

Fonte: A autora.

RL = Comprimento de raiz. RV = Volume de raiz. NSR = Número de sub-raízes. MDA = Malonaldeído. FEN = Fenois. Pot.Hidr = Potencial hídrico. PRO = Prolina. DRM = Massa seca de raiz. Y_Fm = Eficiência quântica do fotossistema II. EUA = Eficiência instantânea do uso da água.

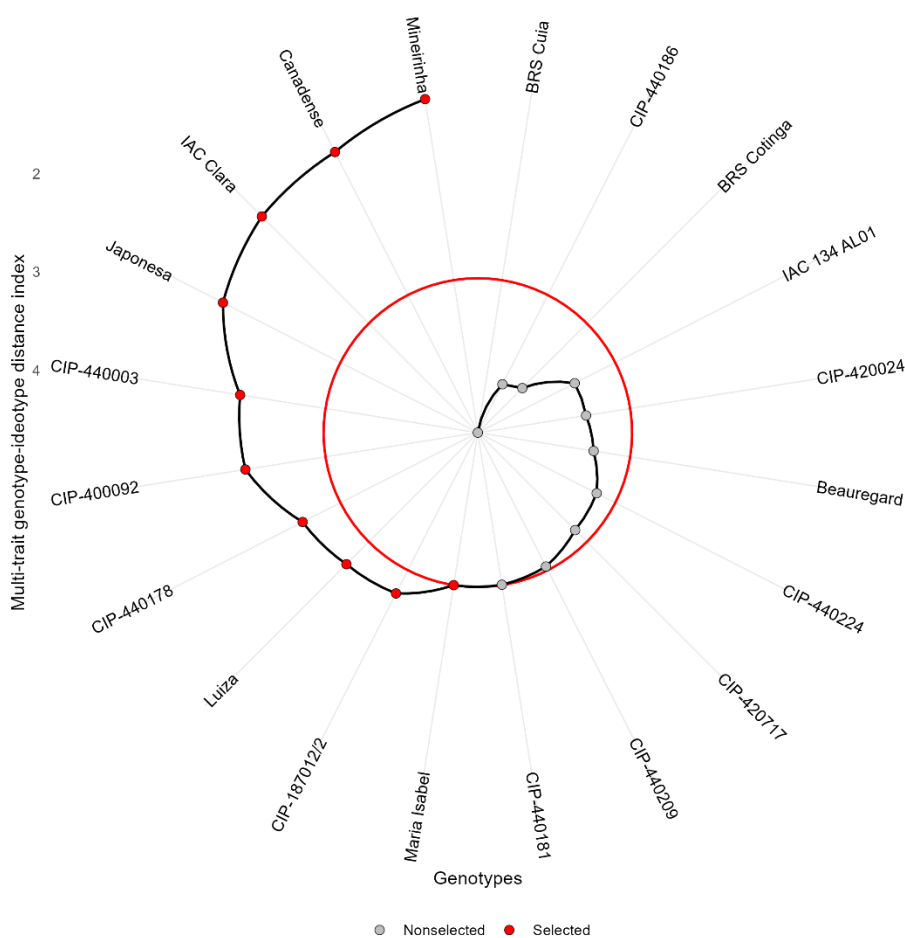
Dentre os dez genótipos selecionados pelo índice MGIDI em condições hídricas estressantes (20% da capacidade de vaso), 'Mineirinha' apresentou estimativa mais próxima do ideótipo (1,2) (Figura 4). O ranqueamento dos 20 genótipos em ordem crescente para o índice MGIDI está ilustrado na Figura 4. Os genótipos selecionados com base neste índice são exibidos em vermelho. O círculo vermelho central representa o ponto de corte de acordo com a intensidade de seleção de 50% (Figura 5).

FIGURA 4 — Ranqueamento dos genótipos de batata-doce em condições hídricas estressantes (20% da capacidade de vaso) por meio do Índice Multivariado de Distância Genótipo-Ideótipo (MGIDI) utilizando dez características relacionadas a respostas fisiológicas e bioquímicas e morfologia radicular.



Fonte: A autora.

FIGURA 5 — Índice multivariado de distância genótipo-ideótipo de 20 genótipos de batata-doce submetido a condições hídricas estressantes (20% da capacidade de vaso) selecionados por meio do índice multivariado de distância genótipo-ideótipo (MGIDI) considerando dez características relacionadas a respostas fisiológicas e bioquímicas e morfologia radicular.

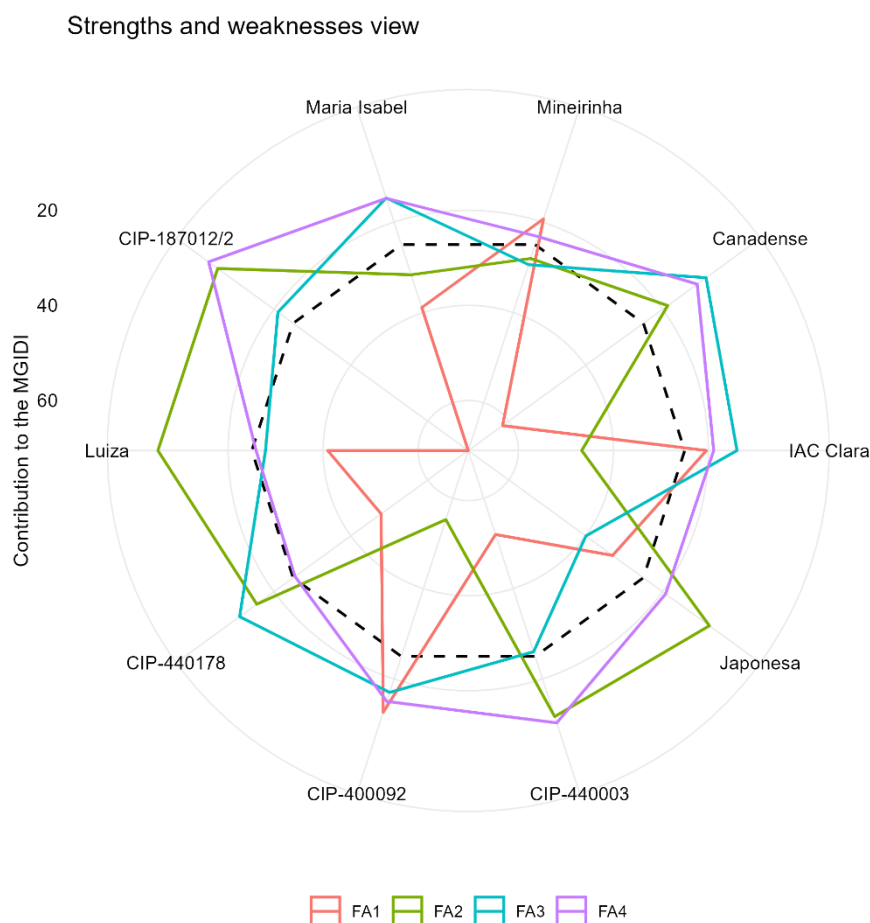


Fonte: A autora.

Os pontos fortes e fracos dos genótipos selecionados em condições de déficit hídrico estão apresentados na Figura 6. ‘Mineirinha’ e ‘CIP-400092’ apresentaram valores próximos ao ideal para as características relacionadas ao desenvolvimento do sistema radicular, pois houve maior contribuição do FA-1. ‘Luiza’ e ‘Japonesa’ demonstraram alta capacidade de tolerar o estresse oxidativo, como demonstrado pelo FA-2. ‘CIP 440178’, ‘CIP 440003’ e ‘CIP 187012/2’ também apresentaram valores mais elevados para as características presentes no FA-2.

‘Canadense’, ‘IAC Clara’ e ‘CIP 440178’ apresentaram valores elevados de teor de prolina e potencial hídrico foliar, pois houve maior contribuição do FA-3 (Figura 6). ‘CIP 187012/2’ e ‘CIP 440003’ apresentaram menor dano oxidativo, maior eficiência fotossintética e melhor uso da água em condição hídrica estressante, pois apresentaram menor contribuição do FA-4. ‘Maria Isabel’ apresentou maior contribuição para os fatores 3 e 4.

FIGURA 6 — Visualização dos pontos fortes e fracos dos genótipos selecionados de batata-doce em condição hídrica adequada (20% da capacidade de vaso) como a proporção de cada fator no Índice Multivariado de Distância Genótipo-Ideótipo (MGIDI). Quanto maior a proporção explicada por um fator (mais próximo da borda externa), mais próximos os traços dentro desse fator estão do ideótipo. A linha tracejada indica o valor teórico se todos os fatores tivessem contribuído igualmente.



Fonte: A autora.

Entre os 20 genótipos avaliados neste estudo, dez foram selecionados pelo índice de MGIDI. Na capacidade de vaso de 100% foram selecionados em ordem

decrecente, 'CIP 420717', 'BRS Cuia', 'Beauregard', 'CIP 440181', 'Japonesa', 'IAC Clara', 'IAC 134 AL01', 'CIP 187012/2', 'Canadense' e 'Maria Isabel' (Figura 1).

Os genótipos 'Minerinha', 'Canadense', 'IAC Clara', 'Japonesa', 'CIP 440003', 'CIP 400092', 'CIP 440178', 'Luiza', 'CIP 187012/2' e 'Maria Isabel', foram os dez selecionados na condição de déficit hídrico (20%) (Figura 5).

Destaca-se cinco desses genótipos que foram selecionados pelo índice de MGIDI tanto na condição de 100% de capacidade de vaso quanto na de 20%, que foram eles, 'Canadense', 'IAC Clara', 'Japonesa', 'CIP 187012/2' e 'Maria Isabel' (Figura 2 e 5).

4 DISCUSSÃO

O estudo focou na avaliação de desempenho 20 genótipos de batata-doce submetidos ao déficit hídrico, usando características relacionadas à fisiologia, bioquímica e desenvolvimento.

Na condição de 100% da capacidade de vaso, dos 20 genótipos estudados, 10 genótipos considerados superiores foram selecionados.

O gráfico de radar de força e fraqueza descreveu particularidades de cada genótipo, o que é útil na tomada de decisão e posicionamento dos genótipos selecionados (Alam *et al.*, 2024b). Alguns genótipos mostraram forças relacionadas ao desenvolvimento radicular, como foi o caso do genótipo 'IAC 134 AL01' na condição sem déficit hídrico, e do genótipo 'Mineirinha' e 'CIP 400092' na condição estressante (20% capacidade de vaso), esses genótipos provavelmente possuem raízes mais desenvolvidas, o que pode indicar maior capacidade de absorção de água e nutrientes, tolerância a estresse hídrico e maior exploração do solo.

Foram selecionados metade dos genótipos avaliados na condição de 20% da capacidade de vaso (Figura 5).

Foram identificados cinco genótipos ('Canadense', 'IAC Clara', 'Japonesa', 'CIP 187012/2' e 'Maria Isabel') com desempenho superior tanto em condições de estresse por déficit hídrico quanto em condições de irrigação plena. Esses resultados são promissores, pois indicam que esses genótipos estão mais alinhados ao perfil ideal de planta que se busca, ou seja, tolerante à seca, mas também adaptável às práticas de manejo dos produtores (irrigado ou sequeiro).

Embora todos tenham apresentado bom desempenho, cada um possui suas particularidades na resposta ao déficit hídrico.

A análise dos resultados no gráfico de radar permitiu identificar que os genótipos 'Japonesa' e 'Luiza' apresentaram bom desempenho em relação ao fator 2, indicando maior capacidade antioxidante e melhor desenvolvimento radicular (massa seca de raiz). No entanto, esses genótipos apresentaram limitações em relação à produção de prolina e um menor potencial hídrico demonstrando menor capacidade de regulação hídrica e tolerância ao estresse oxidativo.

Os resultados obtidos neste estudo revelaram diferentes estratégias de tolerância à seca entre os genótipos de batata-doce avaliados. Os genótipos 'Canadense', 'CIP 440178' e 'IAC Clara', demonstrou alta tolerância à seca, possivelmente devido a um maior acúmulo de prolina e ao maior potencial hídrico, indicando eficiente regulação hídrica. Níveis elevados de prolina podem sugerir uma estratégia de defesa da planta contra o déficit hídrico, pois esse aminoácido atua como osmoprotetor e antioxidante, protegendo as membranas celulares e proteínas de danos causados pelo estresse oxidativo induzido pela seca.

Os genótipos 'CIP 440003', 'CIP 187012/2' e 'Maria Isabel' se mostraram mais adaptados às condições de seca, evidenciando maior capacidade de manter a eficiência fotossintética. A fotossíntese é processo fundamental para a produção de energia nas plantas e sua manutenção sob déficit hídrico é crucial para a sobrevivência. Paralelamente, a menor produção de malondialdeído (MDA) nesses genótipos indica menor dano oxidativo aos lipídios celulares. O MDA, um produto da peroxidação lipídica, é frequentemente utilizado como biomarcador de estresse oxidativo (Grotto *et al.*, 2008). Portanto, a combinação de alta eficiência fotossintética e baixo nível de MDA sugere que esses genótipos possuem mecanismos de proteção contra o estresse oxidativo, contribuindo para sua maior tolerância à seca.

É interessante notar que os genótipos 'Luiza' e 'Japonesa' se destacaram pela maior massa seca de raiz e maior conteúdo de fenóis. A maior massa seca de raiz pode estar relacionada a maior capacidade de armazenamento de água e nutrientes, enquanto os fenóis podem conferir proteção contra o estresse oxidativo e ação antioxidante, pois são capazes de sequestrar radicais livres e quelar metais de transição, evitando danos às moléculas biológicas (Angelo; Jorge, 2007; Anjum *et al.*, 2011).

A análise dos resultados sugere que não existe um único mecanismo de tolerância à seca em batata-doce, mas sim diferentes estratégias que podem ser combinadas para aumentar a tolerância a esse estresse. A identificação desses mecanismos é fundamental para o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas a condições de déficit hídrico.

5 CONCLUSÃO

‘Minerinha’, ‘Canadense’, ‘IAC Clara’, ‘Japonesa’, ‘CIP 440003’, ‘CIP 400092’, ‘CIP 440178’, ‘Luiza’ ‘CIP 187012/2’ e ‘Maria Isabel’ são os genótipos mais próximos do ideótipo na condição de déficit hídrico.

‘Canadense’, ‘IAC Clara’, ‘Japonesa’, ‘CIP 187012/2’ e ‘Maria Isabel’ apresentam desempenho superior tanto em condições de estresse por déficit hídrico quanto em condições de irrigação plena.

REFERÊNCIAS

ALAM, Z.; AKTER, S.; KHAN, M. A. H.; HOSSAIN, M. I.; AMIN, M. N.; BISWAS, A.; HABIB, E. R S.; ALI, M. A.; CHANDA, D.; RAHMAND, H. S.; KAWOCHARA, A.; ALAMA, S.; MOLLAA, M. M.; ISLAMA, M.; JAHANA, M.A.H.S. PRODHANA, Z. H.; KADIRA, M.; SARKERA, D. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) genotype selection using advanced indices and statistical models: A multi-year approach. **Heliyon**, v. 10, n. 10, 2024a.

ALAM, Z.; AKTER, S.; KHAN, M. A. H.; AMIN, N.; KARIM, R.; RAHMAN, H. S.; RASHID, H.; RAHMAN, M.; MOKARROMA, N.; SABUZ, A. A.; ALAM, J.; ROY, T. K.; HABIB, E. R S.; ALI, M. A.; CHANDA, D.; SARKER, U. Multivariate analysis of yield and quality traits in sweet potato genotypes (*Ipomoea batatas* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 328, p. 112901, 2024b. DOI: 10.1016/j.scienta.2024.112901.

ANJUM, S. A.; WANG, L. C.; FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; XUE L. L.; ZOU, C .M.; Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, n. 3, p. 177-185, 2011. DOI: 10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x.

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos uma breve revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 66, n. 1, p. 1, 2007.

CARVALHO, M. H. C. Drought stress and reactive oxygen species. **Plant signaling & behavior**, v. 3, n. 3, p. 156-165, 2008. DOI: 10.4161/psb.3.3.5536.

ELAMEEN, A.; LARSEN, A.; KLEMSDAL, S. S.; FJELLHEIM, S.; SUNDHEIM, L. MSOLLA, S.; MASUMBA, E.; ROGNLI, O. A. Phenotypic diversity of plant morphological and root descriptor traits within a sweet potato, *Ipomoea batatas* (L.) Lam., germplasm collection from Tanzania. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 58, p. 397-407, 2011. DOI: 10.1007/s10722-010-9585-1.

Food and Agriculture Organization. Production and area harvested statistics for sweet potato. 2020. Disponível em: <https://data.un.org/Data.aspx?d=FAO&f=itemCode%3A122>. Acesso em: 2 dez. 2024.

GROTTO, D.; VALETINI, J.; BOEIRA, S.; PANIZ, C.; SANTA M. L.; VICENTINI, J., MORO, A., CHARÃO, M., CARDOSO, S. G. Avaliação da estabilidade do marcador plasmático do estresse oxidativo malondialdeído. **Química Nova**, v. 31, n. 2, p. 275-279, 2008. DOI: 10.1590/S0100-40422008000200016.

KARAKAS, M. C.; KURUNC, A.; DINCER, C. Effects of water deficit on growth and performance of drip irrigated sweet potato varieties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 7, p. 2961-2973, 2021. DOI: 10.1002/jsfa.10929.

KIVUVA, B. M.; GITHIRI, S. M.; YENCHO, G. C.; SIBIYA, Julia. Screening sweetpotato genotypes for tolerance to drought stress. *Field Crops Research*, v. 171, p. 11–22, 2015. DOI: 10.1016/j.fcr.2014.10.018.

LAURIE, R. N.; PLOOY, C. D.; LAURIE, S. M. Effect of moisture stress on growth and performance of orange fleshed sweetpotato varieties. **African Crop Science Society**, v. 9, p. 235–239, 2009.

MCKIERNAN, A. B.; HOVENDEN, M. J.; BRODRIBB, T. J.; POTTS, B. M.; DAVIES, N. W.; O'REILLY-WAPSTRA, J. M. Effect of limited water availability on foliar plant secondary metabolites of two Eucalyptus species. **Environmental and Experimental Botany**, v. 105, p. 55-64, 2014. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2014.04.008.

MOTSA, N.; MODI, A.; MABHAUDHI, T. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) as a drought tolerant and food security crop. **South African Journal of Science**, v. 111, n. 11, p. 1-8, 2015. DOI: 10.17159/sajs.2015/20140252.

MUNDREE, S. G.; BAKER, B.; MOWLA, S.; PETERS, S.; MARAIS, S.; WILLIGEN, C. V.; GOVENDER, K.; MAREDZA, A.; MUYANGA, S.; FARRANT, J. M.; THOMSON, J. A. Physiological and molecular insights into drought tolerance. **African Journal of Biotechnology**, v. 1, n. 2, p. 28-38, 2002. DOI: 10.5897/AJB2002.000-006.

OLIVOTO, T.; NARDINO, M. MGIDI: Toward an effective multivariate selection in biological experiments. **Bioinformatics**, v. 37, n. 10, p. 1383-1389, 2021. DOI: 10.1093/bioinformatics/btaa981.

RAZZAQ, A.; KAUR, P.; AKHTER, N.; WANI, S. H.; SALEEM, F. Next-generation breeding strategies for climate-ready crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 620420, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2021.620420.

ROSETO, A.; BURGOS-PAZ, W.; ARAUJO, H.; PASTRANA-VARGAS, I. J.; MARTÍNEZ, R.; PÉREZ, J. L.; ESPITIA, L. Sweet potato varietal selection using combined methods of multi-trait index, genetic gain and stability from multi-environmental evaluations. **Horticulturae**, v. 9, n. 9, p. 974, 2023. DOI: 10.3390/horticulturae9090974.

SLONECKI, T. J.; RUTTER, W. B.; OLUKOLU, B. A.; YENCHO, G. C.; JACKSON, D. M.; WADL, P. A. Genetic diversity, population structure, and selection of breeder germplasm subsets from the USDA sweetpotato (*Ipomoea batatas*) collection. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1022555, 2023. DOI: 10.3389/fpls.2022.1022555.

SEÇÃO III

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tolerância à seca é fundamental para a produção sustentável de batata-doce em regiões com escassez hídrica. Este estudo, ao avaliar diversos parâmetros e genótipos, revelou significativa variabilidade de respostas para tolerância à seca, indicando que se trata de fenômeno complexo, que envolve ajustes fisiológicos, bioquímicos e morfológicos que permitem às plantas otimizarem o uso da água.

O índice de seleção multivariado MGIDI demonstrou ser ferramenta eficaz na seleção de genótipos de batata-doce que apresentam tolerância ao déficit hídrico. Sua aplicabilidade pode ser vantajosa em estudos que envolvem a avaliação de muitos genótipos e parâmetros, otimizando o processo de seleção.

Os genótipos 'Canadense', 'Maria Isabel' e 'Luiza' se destacaram por serem selecionados em ambos os métodos utilizados, evidenciando sua tolerância ao déficit hídrico. Outros genótipos promissores incluem 'Mineirinha', 'IAC Clara', 'Japonesa', 'CIP-440003', 'CIP-400092', 'CIP-440178', 'CIP-420717', 'CIP-440186' e 'CIP-187012/2'.

Os resultados deste trabalho são promissores para a seleção de genótipos de batata-doce tolerantes à seca no Oeste Paulista. No entanto, para que se possa traçar um panorama mais completo acerca do tema, faz-se necessário a realização de estudos complementares, abrangendo trabalhos de campo que avaliem a produtividade e qualidade de raízes tuberosas dos genótipos avaliados.