

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE DOUTORADO**

**CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DE MAMOEIROS  
HÍBRIDOS (*Carica papaya* L.) TOLERANTES À  
LIMITAÇÃO HÍDRICA**

**Rosangela Nascimento da Silva Ribeiro**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA  
JANEIRO - 2023**

# CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DE MAMOEIROS HÍBRIDOS (*Carica papaya* L.) TOLERANTES À LIMITAÇÃO HÍDRICA

Rosangela Nascimento da Silva Ribeiro  
Engenheira Agrônoma, MSc., UFRB, 2012

Tese apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Ciências Agrárias (Área de Concentração: Fitotecnia).

**Orientador:** Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo  
**Coorientador:** Dr. Mauricio Antônio Coelho Filho

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA  
JANEIRO - 2023

## FICHA CATALOGRÁFICA

R484c	<p>Ribeiro, Rosangela Nascimento da Silva. Caracterização e seleção de mamoeiros híbridos (<i>Carica papaya</i> L.) tolerantes à limitação hídrica / Rosangela Nascimento da Silva Ribeiro. _ Cruz das Almas, BA, 2023. 165f.; il.</p> <p>Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Doutorado em Ciências Agrárias.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo. Coorientador: Prof. Dr. Maurício Antônio Coelho Filho.</p> <p>1.Mamão – Produtividade agrícola. 2.Mamão – Irrigação com déficit hídrico – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD: 634.6</p>
-------	--

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB. Responsável pela Elaboração Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE DOUTORADO**

**CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DE MAMOEIROS HÍBRIDOS  
(*Carica papaya* L.) TOLERANTES À LIMITAÇÃO HÍDRICA**

Comissão Examinadora da Defesa de Tese de

Rosangela Nascimento da Silva Ribeiro

Aprovada em 30 janeiro de 2023

Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo  
Embrapa Mandioca e Fruticultura – CNPMF/UFRB  
Orientador

Prof. Dr. Diego Fernando Marmolejo Cortes  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB  
Examinador Externo

Dr. Francisco Airdesson Lima do Nascimento  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB  
Examinador Externo

Dra. Hellen Cristina da Paixão Moura  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB  
Examinador Externo

Dr. Renato Santa Catarina  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF  
Examinador Externo

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Firmino Gomes da Silva e Luiza Vieira do Nascimento da Silva (*In memoriam*), exemplos em minha vida, pelo amor, educação e apoio incondicionais.

Aos meus irmãos, Fernando e Danilo.

Ao meu marido Sinésio, às minhas filhas, Amanda e Isabella.

Dedico

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me guiar e manter-me forte diante das dificuldades da vida.  
Ao Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (PPGCA) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia pela oportunidade de realizar esta capacitação.

Aos meus orientadores Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo e Dr. Maurício Antônio Coelho Filho, pela orientação, paciência e oportunidade de realização do trabalho, por acreditar e confiar em mim.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Mandioca e Fruticultura) pela concessão do material, apoio e suporte na execução do experimento.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia por conceder a infraestrutura e as condições necessárias para a execução do trabalho.

Ao CNPq pelo financiamento de algumas etapas do experimento.

Ao meu irmão Danilo e às minhas filhas Amanda e Isabella pela colaboração na coleta de dados e ao meu esposo pela companhia aos finais de semana e feriados quando precisei irrigar o experimento.

Ao amigo Luiz Antônio pela amizade e pelo apoio na condução do experimento e principalmente nos momentos difíceis nos quais pensei várias vezes em desistir.

À Equipe de Mamão, em especial a Celeste, Sr. Pereira e Liliane pela amizade e por suas inestimáveis contribuições no meu aprendizado e na condução do experimento.

À analista Mabel, do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal e Meteorologia da Embrapa, pela paciência e os ensinamentos compartilhados.

Ao professor Luciano de Souza, sempre paciente e solícito em todas as vezes que recorri a ele com dúvidas e pela concessão da sonda para monitoramento da umidade do solo.

Aos queridíssimos Diego Fernando Marmolejo Cortes e Helen Cristina da Paixão Moura que me ajudaram na definição dos capítulos e nas análises estatísticas, sempre dispostos a ajudar.

Aos amigos Renato, Romy, Luiz Augusto, Deny, Luiz do Carmo, Ademar, Elizângela e a todos os colaboradores da Fazenda Experimental, muito obrigada pelo carinho, força e colaboração.

Aos amigos servidores do CCAAB, Elielson, Luiz Haroldo, Edson, Everaldo, Luiz Edmundo, Erivaldo, Emmanuel, Luciana, Pedro, Lilian, Matheus e Zuleide pelos momentos alegres e de descontração e encorajamento durante essa caminhada.

A todos os professores pelos ensinamentos transmitidos, em especial ao professor Clóvis Pereira Peixoto (*In memoriam*).

A todos os amigos de longa data da Embrapa que sempre me apoiaram e torceram por mim.

Ao professor Marcos Roberto por ceder a área para implantação do experimento.

À minha grande e amada família.

A todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

## EPIGRAFE

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

(Madre Teresa de Calcutá)

# CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DE MAMOEIROS HÍBRIDOS (*Carica papaya* L.) TOLERANTES À LIMITAÇÃO HÍDRICA

## RESUMO GERAL

Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do déficit hídrico sobre o crescimento, a produção de frutos e as variáveis fisiológicas de sete híbridos de mamoeiro, visando selecionar híbridos tolerantes a limitação hídrica. O experimento foi instalado na Fazenda Experimental do Campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do déficit hídrico sobre o crescimento, a produção de frutos e as variáveis fisiológicas de sete híbridos de mamoeiro, visando selecionar híbridos tolerantes a limitação hídrica. O experimento foi instalado na Fazenda Experimental do Campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em delineamento de blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, com dez genótipos, cinco repetições e dois regimes de irrigação (ITR2 e ITR10 com turno de rega de dois e dez dias, respectivamente). A restrição de água imposta no ITR10 reduziu o crescimento das plantas e o diâmetro do fruto, aumentou o número de nós sem frutos e o início da colheita em 46 dias. Os híbridos CMF-L54×CMF-L78, CMF-L56×CMF-L78, apresentaram maior número de frutos comerciais e produtividade que os cultivares comerciais em ITR2 e ITR10, e as menores perdas sob restrição hídrica. Os híbridos CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78 apresentaram regulação estomática sob déficit e maior eficiência agrônômica no uso da água. As trocas gasosas e o rendimento quântico máximo do FSII nas plantas sob déficit foram reduzidas com o aumento do secamento do solo entre cinco e nove dias após a irrigação. Não houve variabilidade nas taxas fotossintéticas entre os genótipos estudados. A combinação linear de índices de tolerância selecionou os híbridos CMF-L54×CMF-L78 (Solo) e CMF-L56×CMF-L78 (Solo x Formosa) como os mais tolerantes nas condições do estudo.

**Palavras-chave:** Déficit hídrico, Desempenho agrônômico, Recursos genéticos, Índices de tolerância, Eficiência fotossintética.

# CHARACTERIZATION AND SELECTION OF HYBRID PAPAYA TREES (*Carica papaya* L.) THAT ARE TOLERANT TO WATER LIMITATION

## GENERAL ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effects of water deficit on growth, fruit production and regulatory factors of seven papaya hybrids, attempting to select hybrids that are tolerant to water stress. The experiment was set up at the Experimental Farm on the Campus of the Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, in a randomized block design in a split-plot scheme, with ten genotypes, five redundancies and two irrigation regimes (ITR2 and ITR10 with two-day and ten-day irrigation shifts, respectively). The water restriction imposed in ITR10 was followed by a decrease in the growth of the plants and the diameter of the fruit, it has also increased the number of fruitless nodes and the beginning of the harvest in 46 days. Hybrids CMF-L54×CMF-L78, CMF-L56×CMF-L78 showed higher number of marketable fruits and productivity than commercial cultivars in ITR2 and ITR10, and the lowest losses under water restriction. The hybrids CMF-L54×CMF-L78 and CMF-L56×CMF-L78 showed stomatal regulation under deficit and greater agronomic efficiency in water use. Gas exchanges and the maximum quantum yield of PSII in plants under deficit were reduced with increasing soil drying between five and nine days after irrigation. There was no variability in photosynthetic rates between the studied genotypes. The linear combination of tolerance indices selected the hybrids CMF-L54×CMF-L78 (Soil) and CMF-L56×CMF-L78 (Soil x Formosa) as the most tolerant under the study conditions.

**Keywords:** Water deficit, Agronomic performance, Genetic resources, Tolerance index, Photosynthetic efficiency.

## LISTA DE ABREVIATURAS

A – Taxa de assimilação de carbono  
A/E – Eficiência instantânea do uso da água  
A/gs – Eficiência intrínseca do uso da água  
ABA – Ácido abscísico  
AD – Água disponível  
AFT – Área foliar total  
AIPF – Altura de inserção do primeiro fruto  
AP – Altura de planta  
ASF – Área foliar  
ATP – Adenosina trifosfato  
BA – Bahia  
BAG – Banco Ativo de Germoplasma  
CCAAB – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas  
CF – Comprimento do fruto  
Ci – Concentração mesofílica de CO<sub>2</sub>  
Cl – Cloro  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono  
CTE – Cadeia transportadora de elétrons  
DAI - Dias após a irrigação  
DAT – Dias após o transplantio  
DC – Diâmetro do caule  
DF – Diâmetro do fruto  
DPV – Déficit de pressão de vapor  
E – Taxa de transpiração  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
ERO's – Espécies reativas de oxigênio  
Eto – Evapotranspiração de referência  
EUA – Eficiência do uso da água  
FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura  
FDR – Reflectometria no domínio da Frequência  
FS II – Fotossistema II  
gs – Condutância estomática  
ha – Hectare  
ID – Irrigação deficitária  
Incaper – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural  
K – Potássio  
Kc – Coeficiente de cultivo  
m<sup>2</sup> – metro quadrado  
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
MF – Massa do fruto  
MPa – Mega Pascal  
Na – Sódio  
NADP<sup>+</sup> – Fosfato dinucleotídeo de nicotinamida adenina  
NFC – Número de frutos comerciais  
NFD – Número de frutos deformados  
NNSF – Número de nós sem frutos  
P – Precipitação

PRD – Secagem parcial da zona radicular  
PRECO – Precocidade  
PROD – Produtividade  
RDI – Déficit hídrico regulado  
Rs – Radiação solar  
Rubisco – Ribulose - 1,5 – bifosfato  
Qa – Quinona a  
Qb – Quinona b  
T<sub>máx</sub> – Temperatura máxima  
T<sub>med</sub> – Temperatura média  
T<sub>mín</sub> – Temperatura mínima  
UENF – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro  
UFRB – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
UR<sub>med</sub> – Umidade relativa média  
V<sub>2</sub> – Velocidade do vento a 2m de altura

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

- Tabela 1.** Identificação e caracterização dos híbridos avaliados quanto a genealogia e grupo heterótico. .... 49
- Tabela 2.** Características físico-hídrica de um Latossolo Amarelo Distrocoeso coletado na camada de 0-0,40 m na área do Campus Experimental do CCAAB/UFRB Cruz das Almas-BA. .... 50
- Tabela 3.** Análise química do solo da área experimental, Cruz das Almas-BA.... 50
- Tabela 4.** Valores mensais de evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ , mm mês<sup>-1</sup>), precipitação total (P, mm mês<sup>-1</sup>), temperatura média ( $T_{med}$ , °C), temperatura máxima ( $T_{max}$ , °C), temperatura mínima ( $T_{min}$ , °C), umidade relativa ( $UR_{med}$ , %), radiação solar ( $R_s$ , W m<sup>-2</sup>) e velocidade do vento a 2 m de altura ( $U_2$ , m s<sup>-1</sup>), durante o período de condução do experimento em Cruz das Almas-BA. .... 57
- Tabela 5.** Resumo da análise de variância para características morfoagronômicas de mamoeiros cultivados sob dois regimes de irrigação (ambientes). Cruz das Almas, BA, 2021. .... 65

### CAPÍTULO 2

- Tabela 1.** Identificação e caracterização dos híbridos quanto a genealogia e grupo heterótico .....98
- Tabela 2.** Características físico-hídrica de um Latossolo Amarelo Distrocoeso coletado na camada de 0-0,40 m na área do Campus Experimental do CCAAB/UFRB Cruz das Almas-BA. ....99
- Tabela 3.** Análise da fertilidade do solo coletado na camada de 0-0,40m na área experimental do Campus do CCAAB/UFRB, Cruz das Almas-BA.....99

### CAPÍTULO 3

- Tabela 1.** Identificação e caracterização dos híbridos quanto a genealogia e grupo heterótico. .... 141
- Tabela 2.** Lâminas totais de água aplicada nos regimes hídricos com turno de rega de dois dias (ITR2) e turno de rega de dez dias (ITR10) no período de julho de 2020 a julho de 2021, em Cruz das Almas, Bahia. .... 144
- Tabela 3.** Resumo da análise de variância para os caracteres NFC, PROD e para oito índices de tolerância ao déficit hídrico de mamoeiros cultivados sob dois regimes de irrigação (ambientes NS e WS). Cruz das Almas, BA, 2021. .... 147
- Tabela 4.** Médias para NFC, PROD e oito índices de tolerância ao déficit hídrico avaliados em sete híbridos de mamoeiro e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') cultivados sob dois regimes de irrigação e avaliadas aos 270 dias após o transplântio. Cruz das Almas, BA, 2021. .... 149

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Localização da área experimental e identificação das parcelas e blocos.....52
- Figura 2.** Umidade inicial do solo nas parcelas controle (ITR2) e deficitária (ITR10) após a irrigação para elevação da água do solo até o limite superior da capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ). Cruz das Almas, BA, 2021.....53
- Figura 3.** Esquema da disposição do sistema de irrigação por microaspersão na área experimental.....54
- Figura 4.** Balanço hídrico climatológico sequencial ocorrido entre julho de 2020 a julho de 2021, no município de Cruz das Almas- BA. DEF=déficit; EXC=excesso; REP=reposição; RET=retirada.....58
- Figura 5.** Valores totais da evapotranspiração da cultura (Etc) (estimados a partir da evapotranspiração de referência–ETO e do coeficiente de cultura do mamoeiro–Kc); precipitação (Prec), déficit de pressão de vapor (DPV) e lâminas de irrigação aplicadas no tratamento controle (ITR2) e no tratamento com limitação hídrica (ITR10), durante o período de 21 de julho de 2020 a 20 de julho 2021, Cruz das Almas-BA.....59
- Figura 6.** Variação da água disponível no solo nos dois regimes de irrigação: irrigação com turno de rega de dois (ITR2) e dez dias (ITR10), e limite inferior da disponibilidade de água no solo para o mamoeiro (f), em Cruz das Almas – BA, 2021.....62
- Figura 7.** Taxa de crescimento média de altura de plantas (AP), diâmetro de caule (DC) e área foliar total (AFT) de genótipos de mamoeiros cultivados sob dois regimes de irrigação avaliadas dias após o transplântio (DAT). Cruz das Almas, BA, 2021.....63
- Figura 8.** Médias de altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC) e área foliar de sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') de mamoeiro, cultivados sob dois regimes de irrigação e avaliadas aos 210 dias após o transplântio. Cruz das Almas, BA, 2021.....67
- Figura 9.** Médias das características morfoagronômicas de sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') de mamoeiro cultivados sob dois regimes de irrigação e avaliadas aos 270 dias após o transplântio. Cruz das Almas, BA, 2021.....69
- Figura 10.** Médias das características físicas de frutos de sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') de mamoeiro cultivados sob dois regimes de irrigação e avaliadas aos 270 dias após o transplântio. Cruz das Almas, BA, 2021.....72
- Figura 11.** Médias de nós sem frutos (a, b) e precocidade (c, d) de sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') de mamoeiro cultivados sob dois regimes de irrigação e avaliadas aos 270 dias após o transplântio. Cruz das Almas, BA, 2021.....74

**Figura 12.** Genótipos de mamoeiro cultivados no regime de irrigação plena (imagens superiores) e sob condição de déficit hídrico (imagens inferiores). Cruz das Almas-BA, 2021.....76

## CAPÍTULO 2

**Figura 1.** Valores de umidade do solo e déficit de pressão de vapor do ar (DPVar) avaliados aos 3 (a, b) e 5 (c, d) DAI (dias após a irrigação), durante as fases de desenvolvimento e crescimento dos frutos e aos 9 DAI (e, f) na fase de amadurecimento. Cruz das Almas, BA, 2021.....106

**Figura 2.** Valores médios de fluorescência inicial (A), fluorescência máxima (B), fluorescência variável (C) e eficiência quântica do Fotossistema II (FSII) para sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') avaliados aos 3 dias após a irrigação (DAI).....107

**Figura 3.** Valores médios da taxa fotossintética líquida (A) no período de 08:00 às 11:00h (A) e de 13:00 às 15:00h (B); e da condutância estomática (Gs) e transpiração (E) no período de 08:00 às 11:00h (C, D), avaliados aos 5 dias após a irrigação.....108

**Figura 4.** Valores médios da transpiração (E, mmol m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) no período entre 08:00 às 11:00h, e taxa fotossintética líquida (A, μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (ci, mmol de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), eficiência instantânea do uso da água (EUA, μmol CO<sub>2</sub> mmol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>), condutância estomática (Gs, mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e transpiração (E, mmol m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) no período de 13:00 às 15:00h, avaliados aos 5 dias após a irrigação.....109

**Figura 5.** Valores médios de fluorescência inicial (A), fluorescência máxima (B), fluorescência variável (C) e eficiência quântica do Fotossistema II (FSII) para sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') avaliados aos 5 DAI, no período de 08:00 às 11:00 (A, B, C, D) e de 13:00 às 15:00h (E, F, G, H).....111

**Figura 6.** Valores médios da taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (Gs) e transpiração (E) no período de 08:00 às 11:00h e de 13:00 às 15:00h; e concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (ci) e eficiência instantânea do uso da água (EUA), de 13:00 às 15:00h, avaliados aos 9 dias após a irrigação.....112

**Figura 7.** Valores médios de fluorescência inicial (F<sub>0</sub>), fluorescência máxima (F<sub>m</sub>), fluorescência variável (F<sub>v</sub>) e eficiência quântica do Fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) no período de 08:00 às 11:00 (A, B, C e D) e de 13:00 às 15:00h (D, E, F, G), avaliados aos 9 DAI.....113

**Figura 8.** Valores médios de fluorescência inicial (F<sub>0</sub>), fluorescência máxima (F<sub>m</sub>), fluorescência variável (F<sub>v</sub>) e eficiência quântica do Fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>) para sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') avaliados aos 9 DAI, no período de 08:00 às 11:00 (A, C, E, G) e de 13:00 às 15:00h (B, D, F, H).....114

**Figura 9.** Eficiência agrônômica do uso da água (EAUA) de sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') de mamoeiro, cultivados sob dois regimes de irrigação e avaliadas aos 210 dias após o transplante. Cruz das Almas, BA, 2021.....115

<b>Figura 10.</b> Plantas dos híbridos CMF-L54xCMF-L78 e CMF-L56xCMF-L78 na parcela irrigada (A e C) e na parcela deficitária (B e D), respectivamente.....	126
---	-----

### CAPÍTULO 3

<b>Figura 1.</b> Variação climática na área experimental registradas durante o cultivo do mamoeiro, em Cruz das Almas, Bahia. Prec= precipitação, T méd= temperatura média do ar, T máx= temperatura máxima do ar, T mín= temperatura mínima do ar, UR = Umidade relativa do ar.....	142
--	-----

<b>Figura 2.</b> Coeficientes de correlação entre o número de frutos comerciais por planta na condição NS (ProdNS) e na condição WS (NFCWS) e os índices de tolerância para sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78').....	153
---	-----

<b>Figura 3.</b> Coeficientes de correlação entre a produtividade (t.ha-1) na condição NS (ProdNS) e na condição WS (ProdWS) e os índices de tolerância para sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78').....	154
--	-----

<b>Figura 4.</b> Biplot para índices de tolerância à seca com base no rendimento de frutos comerciais por planta (NFC) de sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') de mamoeiro cultivados sob dois regimes de irrigação e avaliadas aos 270 dias após o transplântio. Cruz das Almas, BA, 2021 .....	156
--	-----

<b>Figura 5.</b> Biplot para índices de tolerância à seca com base na produtividade (PROD, t.ha-1) de sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') de mamoeiro cultivados sob dois regimes de irrigação e avaliadas aos 270 dias após o transplântio. Cruz das Almas, BA, 2021 .....	157
--	-----

## Sumário

<b>RESUMO</b> .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>17</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>19</b>
2.1. Aspectos botânicos da cultura .....	19
2.2. Aspectos socioeconômicos da cultura .....	21
2.3. Estresse por déficit hídrico nas plantas.....	23
2.4. Déficit hídrico no mamoeiro.....	27
2.5. Melhoramento genético do mamoeiro no Brasil .....	29
2.6. Melhoramento e seleção para déficit hídrico.....	31
<b>3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>35</b>
<b>CAPITULO 1</b> .....	<b>44</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>45</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>46</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>47</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>48</b>
2.1. Material vegetal e local de condução do experimento .....	48
2.2. Aplicação do déficit hídrico.....	53
2.3. Sistema de irrigação .....	53
2.4. Manejo da irrigação.....	54
2.5. Condições climáticas.....	56
2.6. Variáveis morfoagronômicas.....	59
2.7. Delineamento experimental e análise estatística .....	61
<b>3. RESULTADOS</b> .....	<b>61</b>
3.1. Irrigação e teor de água no solo.....	61
3.2. Efeito do regime de irrigação no crescimento e produtividade .....	62
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>77</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>85</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>86</b>
<b>CAPITULO 2</b> .....	<b>92</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>93</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>94</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>95</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>97</b>
2.1. Material vegetal.....	97
2.2. Localização e caracterização da área experimental .....	98
2.3. Sistema de irrigação .....	100
2.4. Manejo da irrigação.....	100
2.5. Determinação das trocas gasosas e da eficiência fotoquímica.....	102
2.6. Déficit de pressão de vapor.....	103
2.7. Água disponível.....	103
2.8. Eficiência agronômica do uso da água .....	104
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>104</b>
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>116</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>127</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>129</b>
<b>CAPITULO 3</b> .....	<b>136</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>137</b>

<b>ABSTRACT</b> .....	138
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	139
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	141
2.1. Material vegetal e condição experimental .....	141
2.2. Sistema e manejo de irrigação .....	142
2.3. Índices de tolerância .....	144
2.4. Delineamento experimental e análise estatística .....	146
<b>3. RESULTADOS</b> .....	147
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	157
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	160
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	161

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O mamoeiro é uma espécie tropical, mas cultivado também em regiões subtropicais, sendo mundialmente conhecido principalmente por seus frutos adocicados com excelentes propriedades nutricionais e medicinais. O Brasil é o segundo maior produtor e exportador da fruta (FAOSTAT, 2023) e, apesar da sua importância econômica e social, e dos trabalhos de melhoramento voltados ao desenvolvimento de cultivares com ampla adaptabilidade aos diversos ecossistemas e condições ambientais, ainda são escassos trabalhos que visem selecionar genótipos com maior adaptabilidade aos estresses abióticos, especialmente ao déficit hídrico.

Durante o processo de domesticação, melhoramento e seleção do mamoeiro para altos rendimentos sob condições favoráveis, os genótipos comerciais perderam genes importantes de tolerância à seca comuns nas populações silvestres originais, limitando a plasticidade fenotípica para superação de condições de baixa disponibilidade de água (ESTRELLA-MALDONADO *et al.*, 2021; GIRÓN-RAMÍREZ *et al.*, 2021).

O interesse pelo estudo de características capazes de conferir maior tolerância das plantas à seca, vem se tornando cada vez maior devido à escassez de água e pelos potenciais impactos das mudanças climáticas, decorrentes do aquecimento global, sobre a agricultura (ZHAO *et al.*, 2017; LIU *et al.*, 2020; DONG *et al.*, 2022). As características relacionadas a tolerância ao estresse por déficit hídrico são geralmente de natureza quantitativa e são influenciadas por um grande número de loci genéticos (QTLs), cujo mapeamento depende de muitos processos, que são dificultados pelas alterações desencadeadas pelo estresse em todo o genoma da planta (KAUR *et al.*, 2021).

Estudos recentes têm buscado identificar genes candidatos para a tolerância a seca em mamoeiro (GAMBOA-TUZ *et al.*, 2018; GIRÓN-RAMÍREZ *et al.*, 2021) e apesar da natureza poligênica dos mecanismos de resposta à seca, a identificação de características como: maior eficiência no uso da água, sistema radicular mais robusto, ajustamento osmótico e maior atividade do sistema antioxidativo (GIRÓN-RAMÍREZ, *et al.*, 2021), permitem a identificação de genótipos tolerantes a deficiência hídrica. Portanto, essas características devem ser objeto de estudo dentro dos programas de melhoramento genético com vistas a garantia ou aumento

de produção sob condições de escassez de água (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009; CAVATTE *et al.*, 2011; GAGO *et al.*, 2020).

A fotossíntese está diretamente relacionada com o estado hídrico da planta e, portanto, é o processo fisiológico mais sensível à escassez de água. O cultivo de mamoeiros sob condições de déficit hídrico pode desencadear respostas ao estresse fisiológico ligadas a limitações estomáticas e não estomáticas, que podem resultar em menor assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, acúmulo de biomassa e produtividade. As trocas gasosas e a fluorescência da clorofila são, via de regra, utilizadas para detectar os efeitos do estresse no funcionamento do sistema fotossintético, com o objetivo de identificar genótipos capazes de manter produções satisfatórias sob condições limitantes de água (CLEMENTE; MARLER, 1996; MARLER; MICKELBART, 1998; REIS; CAMPOSTRINI, 2008).

Alguns índices têm sido utilizados como forma de selecionar genótipos tolerantes ao déficit hídrico em diferentes culturas, como arroz (LARASWATI *et al.*, 2021; SABOURI *et al.*, 2022), cominho (ARCHANGI *et al.*, 2022), sorgo (RAD *et al.*, 2023), trigo (GUENDOUZ; GUESSOUM; HAFSI, 2012; THIRY *et al.*, 2016; SEMAHEGN *et al.*, 2020), milho (JAFARIA *et al.*, 2009; BORGES *et al.*, 2016) e beterraba (TALEGHANI *et al.*, 2020). Esses índices são baseados em uma relação matemática entre o desempenho sob condições estressantes e condições ótimas, classificando os genótipos como tolerantes ou suscetíveis ao estresse (FISHER; MAURER, 1978; ROSIELLE; HAMBLIN, 1981; BOUSLAMA; ACHAPAUGH, 1984; FERNANDEZ, 1992; GAVEZZI *et al.*, 1997).

O melhoramento genético do mamoeiro, por meio da identificação e seleção de genótipos com tolerância ao déficit hídrico, pode contribuir para a melhoria da produtividade e qualidade de frutos, incrementando a rentabilidade do produtor e seu nível socioeconômico, como também atendendo às exigências de mercados internacionais. Assim, objetivou-se nesse trabalho avaliar, caracterizar e selecionar via combinação linear de índices, híbridos de mamoeiro com tolerância ao déficit hídrico, oriundos do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura (BAG-Mamão), baseada no número de frutos comerciais e na produtividade do primeiro cacho.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Aspectos botânicos da cultura

*Carica papaya* L. é a única espécie dentro da família Caricaceae com importância econômica (CHÁVEZ-PESQUEIRA; NÚÑEZ-FARFÁN, 2017). Esta família engloba 35 espécies distribuídas em seis gêneros, sendo um deles de ocorrência restrita às florestas úmidas da África (*Cylicomorpha*) e os gêneros *Jarilla*, *Vasconcellea*, *Jacaratia*, *Horovitzia* e *Carica* de ocorrência na América Central (CARVALHO; RENNER, 2014). O mamoeiro está entre as fruteiras tropicais mais importantes do mundo, sendo a terceira cultura mais produzida nas regiões tropicais e subtropicais (GIRÓN-RAMIREZ *et al.*, 2021).

Há evidências de que *C. papaya*, única espécie descrita do gênero (BADILLO, 2000), tenha origem no sul do México; local de maior diversidade genética de populações silvestres de mamoeiro; e que sua domesticação tenha sido realizada pelos povos mesoamericanos há milhares de anos (CARVALHO; RENNER, 2012; CHÁVEZ-PESQUEIRA; NÚÑEZ-FARFÁN, 2017).

O mamoeiro é considerado uma planta arbustiva, herbácea ou semilenhosa podendo crescer até 10 m de altura (CAMPOSTRINI *et al.*, 2018). Possui caule cilíndrico, oco e esponjoso, com coloração variando de verde-clara no ápice a acinzentada na base (DANTAS; CASTRO NETO, 2000). O crescimento é do tipo ortotropico com gema apical persistente e sistema de ramificação monopodial, com gemas axilares reprodutivas (gemas florais) e, portanto, não ramificado com meristema vegetativo e crescimento indeterminado (ALMEIDA; ALMEIDA, 2014; CHÁVEZ-PESQUEIRA; NÚÑEZ-FARFÁN, 2017).

Exibe sistema radicular pivotante com a raiz principal bem desenvolvida, podendo explorar até um metro de profundidade, com maior distribuição de raízes até 0,30 ou 0,50 m, variando em função do tipo de solo e do sistema de irrigação adotado (DANTAS; CASTRO NETO, 2000; COELHO *et al.*, 2005; ESPÍNDULA NETO; SILVA, 2007). As folhas são simples, grandes e alternadas com filotaxia espiralada na configuração 3:8, e longos pecíolos que beneficiam maior eficiência no aproveitamento de luz em todo o dossel (CAMPOSTRINI *et al.*, 2018).

O polimorfismo floral da espécie permite a existência de indivíduos ginóicos, andróicos e andromonóicos classificados em função do tipo de flor (ZERPA-CATANHO *et al.*, 2019). As flores pistiladas, próprias de indivíduos ginóicos, são

grandes com pedúnculos curtos nas axilas das folhas e possuem pétalas livres até a base, originando frutos normalmente de formato esférico ou ovalados com grande cavidade interna e menor espessura de polpa (MARIN *et al.*, 1995). As flores estaminadas, típicas de plantas andróicas, normalmente não produzem frutos devido à ausência de estigma e pistilo rudimentar. Esse tipo floral frequentemente se apresenta como inflorescências de panículas longas e pendentes que sob determinadas condições ambientais podem produzir algumas flores hermafroditas alongadas e originar frutos, comumente denominados de “mamões-de-corda” (DANTAS; CASTRO NETO, 2000).

O mamoeiro apresenta ainda indivíduos andromonóicos (hermafroditas), com flores perfeitas (bissexuais) do tipo alongadas, muito apreciados em plantios comerciais devido a autopolinização, o formato do fruto piriforme, a reduzida cavidade interna e a maior espessura de polpa, juntas estas características garantem maior produtividade aos cultivos (LIAO *et al.*, 2021). A flor hermafrodita apresenta ovário alongado com cinco estigmas e de cinco a dez estames funcionais e as pétalas são soldadas da base até a metade do seu comprimento (MARIN *et al.*, 1995). Esse tipo floral, porém, é mais suscetível às anomalias induzidas por condições ambientais e de ocorrência variável em função do genótipo. A esterilidade de verão ou esterilidade feminina, ocorre sob altas temperaturas e/ou restrição de água, quando o pistilo não se desenvolve induzindo o abortamento floral, provocando queda na produção (MOREIRA *et al.*, 2019).

Além do tipo alongada, as flores hermafroditas podem apresentar outras formas dando origem a frutos pentândricos e carpelóides sem valor comercial (PEREIRA *et al.*, 2018). A carpeloidia ocorre quando os estames das flores se fundem à parede do ovário causando a deformação do fruto e desqualificando-os para comercialização, com maior ocorrência em baixas temperaturas. Já a pentandria ocorre quando há encurtamento e redução no número de estames de 10 para 5, formando sulcos profundos na parede do ovário da flor originando frutos arredondados, semelhantes aos frutos femininos (DAMASCENO JUNIOR; PEREIRA; PEREIRA; 2018). Tanto a carpeloidia quanto a pentandria são influenciadas por fatores ambientais, a primeira tem maior ocorrência sob baixas temperaturas enquanto a segunda tem maior probabilidade de ocorrência em temperaturas elevadas.

O sistema de reprodução preferencial de mamoeiros andromonóicos é autógeno facultativo com cleistogamia (DAMASCENO *et al.*, 2009), ou seja, a polinização e fecundação do estigma pode ocorrer antes mesmo da abertura floral (FERREIRA *et al.*, 2022). Ferreira *et al.* (2022) avaliando a receptividade do estigma de 10 acessos de mamoeiro do tipo Solo e Formosa, pertencentes ao BAG - Mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura, observaram cleistogamia em alguns genótipos, com maior receptividade estigmática da antese até 24h pós-antese. Esses resultados são importantes pois indicam a necessidade de emascação das flores, ou ainda, a necessidade de utilizar plantas ginóicas evitando assim a autofecundação e garantindo maior eficácia nas hibridações.

A determinação do sexo no mamoeiro é controlada por um par de cromossomos sexuais, com XX representando plantas ginóicas, XY plantas andróicas e  $XY^h$  plantas andromonóicas (MING *et al.*, 2007). A origem do cromossomo  $Y^h$  e a reduzida diversidade de nucleotídeos presente nele, em comparação com Y permite inferir sobre o gargalo genético causado pela domesticação da espécie uma vez que as populações silvestres de mamoeiro, encontrados na região de dispersão, são estritamente dióicas, com 50% das plantas ginóicas e 50% andróicas, enquanto os mamoeiros cultivados são ginodióicos, com dois terços de plantas andromonóicas e um terço de plantas ginóicas, uma vez que as combinações YY,  $YY^h$  e  $Y^hY^h$  são letais e não formam zigotos (CHÁVEZ-PESQUEIRA; NÚÑEZ-FARFÁN, 2017; LIAO *et al.*, 2021)

O fruto é uma baga polposa, de formato variando em função da flor entre as formas arredondada, oblonga, alongada e piriforme de tamanho pequeno, médio, grande ou muito grande, pesando entre 121 g a 7,8 kg (MANICA *et al.*, 2006). Os frutos possuem sabor adocicado, ricos em vitaminas e sais minerais e com propriedades digestivas, podendo ser consumidos “*in natura*” quando maduros, ou usados verdes na produção de saladas, doces ou ainda como fonte de papaína, enzima encontrada no látex da fruta e amplamente utilizada pela indústria (CAMPOSTRINI *et al.*, 2018).

## **2.2. Aspectos socioeconômicos da cultura**

A produção mundial de mamão em 2021 foi de 14,09 milhões de toneladas de frutos, tendo como principais produtores a Índia, Brasil, Indonésia, República

Dominicana e México. O Brasil, segundo maior produtor, concentra aproximadamente 8,9% do que se produz no mundo, com uma produção de 1,2 milhão de toneladas de frutos em uma área colhida de 28,5 mil hectares (FAOSTAT, 2023).

O Brasil figura também na segunda posição no ranking dos maiores exportadores da fruta, atrás do México e Guatemala, segundo estimativas da FAO (2023). No entanto, devido a grande demanda interna, à alta competitividade e a exigência por produtos de alta qualidade pelo mercado internacional, as exportações brasileiras representam menos de 4% do mamão produzido no país (INCAPER, 2019). Ainda assim, a atividade possui relevante importância para o agronegócio brasileiro. Em 2021 o volume exportado foi de mais de 50,2 mil toneladas, gerando mais de 46 milhões de dólares para o Brasil (ABRAFRUTAS, 2021).

Segundo dados da FAO (2023), os Estados Unidos é o maior importador de mamão, cerca de 199.510 toneladas de frutos foram importadas pelo país em 2021, sendo também o principal destino das exportações brasileiras juntamente com a União Europeia.

No Brasil o mamão é cultivado em grande parte do território, no entanto os estados, Espírito Santo (439.550 toneladas), Bahia (400.438 toneladas), Ceará (140.979 toneladas), Rio Grande do Norte (103.431 toneladas) e Minas Gerais (48.415 toneladas) se destacam como os maiores produtores e juntos respondem por cerca de 90,1% da produção brasileira. Portanto, concentra-se nas regiões Sudeste e Nordeste os principais polos de produção de mamão (IBGE, 2023).

No Espírito Santo, maior exportador da fruta, principalmente para países da União Europeia, destacam-se os municípios de Pinheiros, maior produtor de mamão do grupo Solo, destinado principalmente ao mercado interno, e os municípios de Linhares e Sooretama como maiores produtores das variedades Golden e Sunrise Solo (grupo Solo) destinados à exportação e mercado interno (SERRANO; CATTANEO, 2010). Na Bahia, os municípios de Prado e Porto Seguro se destacam na produção do mamão Formosa, em sua maioria o híbrido importado 'Tainung nº1'.

A produção sustentável do mamoeiro no Brasil é limitada pelo reduzido número de cultivares adotado pelos produtores. As cultivares de mamão mais exploradas pertencem aos grupos Solo e Formosa. O grupo Solo (Sunrise Solo,

Improved Sunrise Solo, Baixinho de Santa Amália e Sunrise Golden) caracteriza-se por produzir frutas de menor tamanho, com polpa avermelhada e peso variando de 300 a 650 g, sendo preferidas pelo mercado externo. As frutas do grupo Formosa ('Tainung nº1' e 'Calimosa') têm polpa laranja-avermelhada e tamanho médio, com peso variando de 1.000 g a 1.300 g e mais destinado ao mercado interno (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

A baixa variabilidade genética nos pomares comerciais representa o maior gargalo para a cultura, deixando o cultivo do mamoeiro vulnerável a fatores bióticos e abióticos além dos elevados custos com a importação das sementes híbridas, especialmente do 'Tainung nº1' (DANTAS; LUCENA; VILAS BOAS, 2015). Considerando as condições climáticas favoráveis e os índices produtivos, a mamoneira brasileira expressa elevado potencial de crescimento, com possibilidade de expansão do cultivo e abertura de novos mercados internacionais.

A importância social da cultura reside principalmente na geração de empregos e absorção de mão de obra durante o ano inteiro à vista da necessidade de renovação dos pomares a cada dois ou três anos e ainda pela produção constante de frutos (LUCENA *et al.*, 2021). Apesar da grande importância econômica e social e do crescente volume de exportações da fruta, observa-se queda na área colhida do mamoeiro. Em 2017, a área cultivada com mamão nas principais regiões produtoras sofreu uma redução de 9,8% comparada à área dedicada ao cultivo da fruta em 2016 (HF BRASIL, 2018).

Essa redução foi resultado, principalmente, das estiagens que ocorreram tanto no Norte do Espírito Santo e no sul da Bahia, regiões tradicionais de cultivo, assim como no Norte de Minas Gerais, no oeste da Bahia e em áreas produtoras do Rio Grande do Norte e Ceará (HF BRASIL, 2018; CUNHA *et al.*, 2019). A combinação entre deficiência hídrica e altas temperaturas prejudica a floração, aumenta o número de frutos pentândricos e carpelóides e a mancha fisiológica, depreciando o padrão comercial do fruto, reduzindo a produtividade e desestimulando o plantio (DANTAS *et al.*, 2011; LUCENA *et al.*, 2016).

### **2.3. Estresse por déficit hídrico nas plantas**

Os vegetais, durante seu ciclo de vida, inevitavelmente enfrentam condições ambientais adversas com potencial para desencadear algum tipo de estresse ao

qual a planta responde com uma série de mudanças a nível fisiológico, bioquímico, molecular e morfológico (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009; MOHANTA *et al.*, 2017; MA *et al.*, 2019; GAGO *et al.*, 2020; GIRÓN-RAMÍREZ, *et al.*, 2021). Tais respostas variam em função do genótipo, do tipo, duração e intensidade do estresse imposto e afetam sobremaneira o crescimento, o desenvolvimento vegetal e a fotossíntese, com conseqüente redução do potencial produtivo das culturas agrícolas e colocando em risco a segurança alimentar (MOHANTA *et al.*, 2017).

Normalmente, estresses abióticos induzidos por diferentes fatores ambientais desencadeiam danos e respostas comuns, sugerindo assim a existência de um mecanismo universal de defesa em nível celular, e danos e mecanismos específicos para cada condição ou ainda para cada espécie vegetal (VADEZ, 2014; GAMBOA-TUZ *et al.*, 2018; VINCENT; SCHAFFER; ROWLAND, 2018). Dentre os estresses abióticos, o déficit hídrico é o fator mais limitante e que tem causado grandes perdas de produtividade em culturas no mundo todo (NADAL; FLEXAS, 2019).

De maneira geral, o déficit hídrico no tecido foliar pode ser condicionado tanto pela redução da água do solo como pela alta demanda evaporativa da atmosfera, ou pela interação de ambos (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009). A deficiência hídrica na planta afeta o processo fotossintético direta e indiretamente, pelos efeitos estomáticos e não estomáticos (KAUR *et al.*, 2021).

A fotossíntese, processo vital para o crescimento e produtividade vegetal, está intimamente relacionada com a disponibilidade de água no solo e no ar, e, dentre outros fatores, é afetada principalmente por períodos de seca e temperaturas elevadas. Esses fatores afetam a fotossíntese regulando negativamente os processos de assimilação de carbono, seja por alterações nas condutâncias estomática e mesofílica, por danos na maquinaria fotossintética, ou ainda pela redução da área foliar (FLEXAS *et al.*, 2012).

As folhas são os sítios de absorção e conversão de CO<sub>2</sub> em fotoassimilados que, após a translocação, garantem o crescimento e desenvolvimento de todos os órgãos da planta. É através das folhas também que mais de 90% da água absorvida pelas raízes são transferidas para a atmosfera no processo de transpiração cuja força motriz é o déficit de pressão de vapor atmosférico (DPV<sub>ar</sub>) (TAIZ *et al.*, 2017). Tanto o influxo de carbono para o mesófilo foliar como a saída de água na forma de vapor ocorre através dos poros estomáticos, exigindo das plantas terrestres o

desenvolvimento de mecanismos evolutivos e de aclimação para evitar a desidratação (TAIZ *et al.*, 2017; GAGO *et al.*, 2020).

O sistema radicular, obviamente, também é essencial e determinante para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais. Além de fixar a planta ao solo e fornecer água e nutrientes, as raízes entre outras funções, atuam no reconhecimento e na sinalização das alterações ambientais na rizosfera e nos processos de resposta à seca (VADEZ, 2014; CAMPOSTRINI *et al.*, 2018; GAMBOA-TUZ *et al.*, 2018; GAGO *et al.*, 2020).

Um dos primeiros mecanismos de resposta ao déficit hídrico regulados pelas plantas é o fechamento dos estômatos (NADAL; FLEXAS, 2019). A redução da abertura estomática reduz a perda de água por transpiração e mantém o conteúdo relativo de água no tecido foliar, garantindo a continuidade dos processos metabólicos. A redução da condutância estomática pode ocorrer tanto em função da perda do turgor foliar, ou ainda como resultado de sinais químicos gerados pelas raízes em resposta ao déficit de água no solo (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009; GAGO *et al.*, 2020).

Sob condições de déficit hídrico resultante da depleção de água no solo, as raízes potencializam a síntese e a translocação de hormônios que irão atuar no controle do fechamento estomático por meio de sinais não hidráulicos. Esta sinalização química envolve a produção de ácido abscísico (ABA) nas raízes, que é transportado para as folhas, induzindo o fechamento estomático (MARTIN-VERTEDOR; DODD, 2011). Sob tais condições, um pequeno declínio na condutância estomática pode ter efeitos protetores contra o estresse, favorecendo a economia de água e aumentando a eficiência do uso da água pela planta (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009).

No entanto, sob condições de déficit prolongado, à medida que a restrição hídrica se intensifica, a redução da concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (ci) poderá travar as etapas bioquímicas da fotossíntese e reprimir a taxa líquida de assimilação de carbono (A). Tais limitações metabólicas podem ocorrer tanto pela redução na ci como por alterações no funcionamento dos fotossistemas e conteúdo dos pigmentos fotossintéticos, principalmente quando o déficit hídrico ocorre em associação com outros fatores estressantes, a exemplo de luminosidade e temperaturas elevadas (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009). Nestas condições a redução na disponibilidade de CO<sub>2</sub> à ribulose-1,5-bifosfato (RuBP-Rubisco)

predispõe o aparato fotossintético a aumentar a dissipação de energia, diminuindo a fotossíntese, na tentativa de amenizar os danos causados pelo estresse oxidativo, com conseqüente restrição no acúmulo de biomassa vegetal (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009).

A planta pode ainda experimentar o déficit hídrico nas folhas, provocado por alta demanda evaporativa da atmosfera combinada com alta resistência hidráulica radicular (efeito hidro passivo). Neste caso, quando a taxa de transpiração (E) excede a capacidade hidráulica das raízes de fornecerem água à parte aérea do dossel o fechamento estomático ocorrerá em decorrência da perda de turgor nas células guardas (GAGO *et al.*, 2020).

Quando o estresse imposto persiste lentamente, com intensidade de leve a moderada, a baixa disponibilidade de água provoca a desidratação dos tecidos, com redução do conteúdo celular e finalmente conduz a perda de turgor (TAIZ *et al.*, 2017). Segundo Taiz *et al.*, (2017) a perda da turgescência é o efeito biofísico mais precoce e significativo do estresse hídrico, afetando de maneira contundente outros processos, tanto em nível morfológico (inibição do crescimento celular e expansão de folhas e raízes), fisiológico (redução da condutância estomática e assimilação de CO<sub>2</sub>, ajuste osmótico), bioquímico (fotooxidação e alterações no metabolismo fotoquímico) quanto molecular (expressão gênica) (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009; CAMPOSTRINI *et al.*, 2018; CHAVES; GAGO *et al.*, 2020).

Uma vez que a exposição prolongada ao déficit hídrico começa a limitar a abertura estomática e a difusão de CO<sub>2</sub>, a tal ponto de reduzir a concentração e o fornecimento de carbono à enzima Rubisco (efeito estomático), os baixos níveis de CO<sub>2</sub> intercelular desativa a função carboxilase da Rubisco (KAUR *et al.*, 2021) e reduz a atividade de outras enzimas envolvidas no Ciclo de Calvin (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009).

Quando a fixação de CO<sub>2</sub> é reduzida, a regeneração do fosfato dinucleotídeo de nicotinamida adenina (NADP<sup>+</sup>), primeiro acceptor de elétrons, também se torna limitante, reduzindo a atividade da cadeia transportadora de elétrons (CTE), culminando com aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), como oxigênio singlete e radicais superóxidos (KAUR *et al.*, 2021). Portanto, a redução na concentração de CO<sub>2</sub> promove excesso de poder redutor que pode

causar fotoinibição e destruição fotooxidativa do aparato fotossintético (efeito não estomático) (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009).

Além da fotossíntese, a expansão celular é outro processo fisiológico sensível ao déficit hídrico afetado diretamente pela redução na pressão de turgor durante a gradação do déficit. As adaptações no desenvolvimento foliar em decorrência das limitações na expansão celular, incluem tanto alterações no número como na área das células epidérmicas, afetando o funcionamento da folha e, conseqüentemente, a produção e o rendimento de toda a biomassa da planta. O déficit hídrico pode induzir ainda a senescência das folhas e, portanto, a redução da área foliar tanto individual como total tende a reduzir a fotossíntese como consequência dessas respostas adaptativas da planta à seca (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009).

Dessa maneira, o crescimento do caule e a expansão foliar são inibidos durante a escassez de água enquanto verifica-se um aumento na razão entre as biomassas da raiz e da parte aérea mediado pelo ABA (TAIZ *et al.*, 2017; KAUR *et al.*, 2021). A redução da disponibilidade de água nas camadas mais superficiais estimula a expansão do sistema radicular para zonas mais profundas e úmidas do perfil do solo em detrimento do crescimento da parte aérea. O equilíbrio funcional existente entre parte aérea e raiz é alterado quando o fornecimento de água às folhas é reduzido e a expansão foliar é inibida, reduzindo o consumo de carbono e energia, que é então deslocada para sustentar a expansão e crescimento radicular na tentativa de obter água em profundidade (VADEZ, 2014).

#### **2.4. Déficit hídrico no mamoeiro**

A restrição hídrica é um dos fatores que mais afeta o crescimento e a floração do mamoeiro, influenciando a produção e qualidade dos frutos e, portanto, o rendimento final da cultura. Essas alterações podem variar em função do genótipo e da intensidade do déficit e afetam direta e indiretamente a capacidade fotossintética das plantas (CAMPOSTRINI; GLENN, 2007).

Quando submetidas as condições de baixa umidade do solo, o fluxo de água através do sistema solo-planta é reduzido, e para evitar a perda excessiva de água nos tecidos, as plantas de mamoeiro reduzem a abertura estomática (REIS; CAMPOSTRINI, 2008). Dessa forma, esse mecanismo inicial de resposta evita a

perda excessiva de água e mantém a pressão de turgor das células sustentando as atividades metabólicas até certo ponto, normalmente sob deficiência hídrica moderada ou de curta duração, sem graves efeitos sobre a capacidade fotossintética, ainda que haja redução do influxo de CO<sub>2</sub> nas folhas (CAMPOSTRINI *et al.*, 2018).

Essa resposta inicialmente reduz a transpiração e ajuda a manter o teor de água dos tecidos vegetais, mas sob déficit prolongado pode comprometer a entrada de CO<sub>2</sub> no mesófilo, afetar o transporte de elétrons e a formação de ATP e NADPH, além da redução na atividade da Rubisco e outras enzimas do ciclo de Calvin-Benson. Dessa forma, o crescimento e o rendimento de plantas de mamoeiro podem ser afetados tanto pelos efeitos estomáticos e não estomáticos sob condições de deficiência hídrica (REIS *et al.*, 2004, REIS; CAMPOSTRINI, 2011).

O mamoeiro realiza o ajuste osmótico como tentativa de adiar a desidratação através do acúmulo de íons de Na, K e Cl nas folhas e raízes favorecendo o potencial hídrico celular e conferindo a ele relativa tolerância à seca (MAHOUACHI; SOCORRO; TALON, 2006). Segundo os autores, a restrição hídrica em plantas jovens de mamoeiro cultivadas em vasos em casa de vegetação inibiu o crescimento, promoveu a abscisão foliar e reduziu a fotossíntese após 34 dias de estresse sem que variações significativas na turgescência fossem observadas.

Por meio do ajustamento osmótico, as plantas de mamoeiro garantem a absorção radicular de água mesmo sob baixo potencial hídrico do solo, mantendo o turgor e a continuidade das atividades metabólicas da planta e a condutância estomática. Em resposta à desidratação leve, durante o estabelecimento gradual do déficit hídrico, na medida em que ocorre decréscimo no volume celular, aumenta a concentração de solutos nas células e reduz o potencial hídrico permitindo a aclimação osmótica do cloroplasto (GAGO *et al.*, 2020).

Silva *et al.* (2012) observaram que plantas jovens de mamoeiro, cultivadas em vasos sob cultivo protegido, quando submetidas a um déficit hídrico de 20 dias, acumularam em média duas vezes mais sacarose e carboidratos solúveis nas raízes e nas folhas. Esse acúmulo de solutos orgânicos nos tecidos de plantas expostas a deficiência hídrica constitui um mecanismo de proteção do metabolismo celular contra a desidratação excessiva, maior proteção da membrana celular contra estresse oxidativo e estabilização de macromoléculas.

Em mamoeiro Lima *et al.* (2015) não verificaram diferença significativa entre as respostas fisiológicas de plantas sob déficit hídrico regulado (RDI) e a secagem parcial da zona radicular (PRD), cultivados em casa de vegetação e submetidas a um déficit de 50%. No entanto, o déficit foi suficiente para reduzir a biomassa e matéria seca em relação as plantas no tratamento controle. Os autores atribuíram essa diminuição da biomassa à redução da taxa fotossintética líquida no dia de maior estresse hídrico para as plantas.

Para plantas cultivadas em campo, a redução de 30% da lâmina no PRD e RDI não afetou o crescimento vegetativo e os componentes de produção em comparação com as plantas sem déficit, porém o PRD afetou as trocas gasosas, com redução significativa da fotossíntese líquida, da transpiração e condutância estomática, enquanto o mesmo déficit imposto em RDI não diferiu do controle, indicando que a sinalização química da raiz no PRD é mais eficaz na redução das trocas gasosas (LIMA *et al.*, 2015).

Santos *et al.* (2021), em estudo de campo utilizando PRD, testaram reduções de 35% e 50% na lâmina de irrigação e frequências de alternância do lado irrigado a cada 0, 7, 14 e 21 dias em plantas de mamoeiro. Os autores concluíram que o PRD com frequência de alternância a cada 7 ou 14 dias, com redução de 35 % na lâmina de irrigação é tecnicamente viável para aumentar a eficiência agrônômica do uso da água em mamoeiro 'Tainung nº1'. Apesar de não verificarem diferença estatística nas trocas gasosas entre os tratamentos de irrigação, os maiores rendimentos de frutos foram obtidos nos tratamentos PRD7 35% e PRD14 35%, cuja frequência de alternância entre os lados irrigados promoveu menor redução da umidade do solo na zona radicular das plantas de mamoeiro, em média 13% e 18% do limite inferior (70%) do conteúdo de água disponível.

## **2.5. Melhoramento genético do mamoeiro no Brasil**

A vulnerabilidade dos sistemas de produção comercial de mamão às doenças, às pragas e às variações climáticas deve-se a reduzida variabilidade genética existente entre as poucas cultivares plantados pelos produtores para tolerância a estes fatores. Nesse sentido, os programas de melhoramento genético do mamoeiro buscam o desenvolvimento de cultivares resistentes às principais

doenças e frutos com características físico-químicas e sensoriais que atendam às demandas dos consumidores (REIS *et al.*, 2015).

Pensando na sustentabilidade do cultivo do mamoeiro, a Embrapa Mandioca e Fruticultura e outras instituições de pesquisa, como o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) e a parceria público-privada estabelecida entre a Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) e a Empresa Caliman Agrícola S.A., têm se empenhado na obtenção de variedades (híbridos e linhagens) adaptados e com resistências às principais doenças, contribuindo, sobremaneira, com a produção de frutos de melhor qualidade para o consumo interno e abertura de novos mercados internacionais, além de reduzir as importações de sementes (DANTAS; LIMA, 2001).

Assim, a Embrapa Mandioca e Fruticultura vem desenvolvendo, desde 1995, um programa de melhoramento com o objetivo de ampliar a variabilidade genética de *Carica papaya* visando principalmente a formação de populações base a partir da autofecundação de acessos segregantes com características de interesse (DANTAS; LUCENA; VILA BOAS, 2015).

Basicamente, a estratégia de melhoramento consiste em criar um banco de linhagens endogâmicas que, após caracterizadas, são submetidas a estudos sobre sua capacidade de combinação com outras linhagens ou podem ser recomendadas como cultivares com alta estabilidade fenotípica (OLIVEIRA *et al.*, 2012). As linhagens endogâmicas derivadas da autopolinização das gerações parentais requerem múltiplas gerações para fixar os genótipos segregantes, podendo levar de cinco a seis gerações de endogamia, representando uma média de 12 anos em testes de progênie (OLIVEIRA *et al.*, 2010a).

Algumas ações foram desenvolvidas pela Embrapa no sentido de selecionar genitores com potencial para combinação de alelos relacionados às características de importância econômica. Oliveira *et al.* (2010a), usando marcadores microsatélites (SSR), caracterizaram a diversidade genética contida em acessos de mamoeiro a partir de isoenzimas. O estudo permitiu ainda a identificação de linhagens endogâmicas de mamão de forma eficaz, por meio da genotipagem e da seleção de indivíduos homozigotos com características desejáveis em gerações iniciais. Os autores também observaram ampla diversidade genética entre as linhagens endogâmicas de mamão do BAG com a formação de grupos de similaridade.

Em um outro estudo, também utilizando marcadores moleculares, Oliveira *et al.* (2011) realizaram a caracterização molecular de acessos do BAG - Mamão e de cultivares locais coletadas nas principais regiões produtoras da Bahia. O estudo identificou alto nível de polimorfismo entre os genótipos comerciais e melhorados, inclusive, observou-se uma ampla diversidade genética entre as cultivares Sunrise Solo e Golden. Estudos dessa natureza permitiram a estruturação da diversidade genética em genótipos comerciais e melhorados e a identificação de diversidade alélica entre raças locais, permitindo a incorporação desses genótipos ao BAG da Embrapa com o intuito de aumentar a variabilidade para conservação e melhoramento da espécie (OLIVEIRA *et al.*, 2010b).

A partir desses conhecimentos, o número de linhagens e híbridos existentes no BAG-Mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura pôde ser ampliado por meio de cruzamentos entre linhagens dos diferentes grupos de similaridade. O desenvolvimento de híbridos de mamoeiro é realizado pelo cruzamento de linhagens endogâmicas, e a obtenção tanto dos híbridos como das linhagens só são possíveis porque o mamoeiro pode ser autofecundado sem expressiva perda de vigor, uma vez que não apresenta depressão por endogamia (DANTAS; LIMA, 2001; OLIVEIRA *et al.*, 2012).

As linhagens e híbridos obtidos, foram então submetidos às avaliações agronômicas sob diferentes condições ambientais para determinação do potencial de uso comercial. Dias *et al.* (2015) avaliaram 22 genótipos quanto às características físicas e físico-químicas dos frutos, com a finalidade de identificar os mais promissores como novas cultivares.

A linhagem CMF-234 ('BRS-L78'), pertencente ao grupo solo, e resultado do melhoramento genético da EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, reuniu as melhores características deste grupo no estudo dos caracteres morfoagronômicos e características físico-químicas dos frutos, adequadas às necessidades do mercado consumidor, em comparação com a testemunha 'Golden', no Recôncavo e extremo Sul Baiano (CARVALHO *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2010).

## **2.6. Melhoramento e seleção para déficit hídrico**

O sucesso no melhoramento genético depende, primordialmente, do conhecimento prévio da variabilidade genética existente no germoplasma disponível, através da caracterização e avaliação de acessos, tal qual do estudo da

herdabilidade das características agrônômicas de interesse (CORTES *et al.*, 2018). O estudo da herdabilidade consiste em determinar a natureza e a intensidade das variações genética e ambiental sobre determinada característica fenotípica. A estimativa dos parâmetros genéticos auxilia na escolha do método de seleção mais apropriado dentro das etapas de melhoramento genético e o conhecimento sobre a herança das características de interesse é essencial para a eficácia do melhoramento (DIAS; OLIVEIRA; DANTAS, 2011).

A capacidade das plantas de manter o crescimento e o rendimento sob condições adversas do ambiente envolve uma série de processos celulares, moleculares, morfológicos, bioquímicos e fisiológicos que imprime às plantas algumas respostas características ao estresse, permitindo a identificação de genótipos tolerantes (KAUR *et al.*, 2021). A homeostase, como é conhecida esse processo de aclimação e ajustes, mantém a plasticidade fenotípica para os atributos morfofisiológicos.

No entanto, a grande complexidade dos processos envolvidos na aclimação das plantas ao estresse por déficit de água e a natureza quantitativa dessas características, dificulta a seleção direta para tolerância a seca (SABOURI *et al.*, 2022). Além disso, devido a associação entre os vários caracteres de um genótipo, a seleção direta para maior produção pode ocasionar alterações indesejáveis em outras características importantes (SILVA *et al.*, 2008) e, portanto, a seleção combinada por meio de índices é mais indicada para o desenvolvimento de uma cultivar (SANTA-CATARINA *et al.*, 2020).

As chances de sucesso no melhoramento genético com a utilização simultânea de um conjunto de características de interesse são aumentadas, pois favorece a seleção baseada em características desejáveis, ao mesmo tempo que diminui as indesejáveis no processo de seleção combinada. Diferentes índices de seleção podem ser utilizados no melhoramento de plantas (ARCHANGI; MORAMMADI-NEJAD; HEIDAR, 2022), e são obtidos a partir de estimativas de parâmetros genéticos ou médias fenotípicas obtidas por análise de variância (MOREIRA *et al.*, 2019).

Alguns índices de seleção empregam pesos às características individuais com base em seus valores econômicos (SILVA *et al.*, 2008), permitindo selecionar genótipos com base em vários caracteres simultâneos em uma espécie (SMITH, 1936; HAZEL, 1943; PESEK; BAKER, 1969). Os índices de Smith (1936) e Hazel

(1943) por exemplo, baseia-se na atribuição de pesos econômicos às características e na estimativa de variâncias e covariâncias fenotípicas e genotípicas entre pares de características.

Além destes, outros índices foram propostos com o objetivo de aumentar a eficiência da seleção, porém os índices obtidos de parâmetros genéticos possuem um grau de complexidade e necessitam de programas estatísticos específicos. Índices de seleção baseados em valores fenotípicos padronizados, são mais simples, diretos e eficientes na seleção de indivíduos superiores (MOREIRA *et al.*, 2019).

Cortes *et al.* (2018) utilizaram a seleção combinada para identificação de linhagens endogâmicas recombinantes de mamoeiro do grupo heterótico Formosa. A seleção combinada para identificação das linhagens superiores foi realizada utilizando-se um índice baseado em pesos associados a valores genotípicos e foi apontada pelos autores como uma estratégia adequada para aumentar a eficiência na seleção das melhores progênies e linhagens de mamoeiro com base em várias características agrônômicas desejáveis simultaneamente (CORTES *et al.*, 2019).

Alguns programas de melhoramento empregam índices de tolerância/suscetibilidade para auxiliar na seleção de genótipos tolerantes à seca, com base em características direta ou indiretamente associadas à tolerância sob condições limitantes de água. Assim, a tolerância dos genótipos às condições de baixa disponibilidade de água pode ser definida por relações matemáticas entre os valores fenotípicos obtidos em ambiente estressado e sem estresse e o valor médio nos dois ambientes.

Outros trabalhos utilizando índices de tolerância associados com técnicas de genotipagem e fenotipagem estão sendo desenvolvidos em diversas culturas como trigo (GAHLAUT *et al.*, 2021; AHMED *et al.*, 2022 ; DAS *et al.*, 2022; LAN *et al.*, 2022 ; MAHDAVI *et al.*, 2022), arroz (LARASWAT *et al.*, 2021; SATRIO *et al.*, 2021; EL SHERBINY, *et al.*, 2022; SATRIO *et al.*, 2023;), feijão (MUTARI *et al.*, 2022), sorgo (GAO *et al.*, 2022; ), girassol (EI-MOUHAMADY *et al.*, 2022), milho (KHATIBI *et al.*, 2022; KUMAR *et al.*, 2022; ), algodão (SUN *et al.*, 2023), batata (ZAKI; RADWAN, 2022); beterraba (TALEGHANI *et al.*, 2020) e melancia (MANDIZVO *et al.*, 2022) por meio de características agrônômicas, morfológicas e fisiológicas relacionadas com aos mecanismos de tolerância à seca.

Segundo Lan *et al.* (2022), devido à natureza poligênica da tolerância à seca, é importante identificar e combinar as características que mais contribuem com o rendimento, e não apenas considerar a produtividade como único critério a ser analisado na seleção de genótipos tolerantes. O índice de tolerância a seca (STI), proposto por Fernandez (1992) foi utilizado por Balbaa *et al.* (2022) para auxiliar na seleção de linhagens de milho (*Zea mays* L.) a partir de características morfofisiológicas e produtivas em condições ótimas e de estresse hídrico. Grzesiak *et al.* (2018), avaliaram características agronômicas e fisiológicas, e aplicaram índices de tolerância à seca, análise de componentes principais e o método de Ward para avaliar as diferenças entre 20 genótipos de trigo (*Triticum easativum* L.) em resposta a deficiência hídrica.

As análises de correlação e multivariada são aplicadas por diversos autores como forma de aumentar a eficiência da seleção, a partir dos índices de tolerância, determinando os critérios e os índices mais adequados em condições ótimas de fornecimento de água e de déficit hídrico (LAN *et al.*, 2022; MAHDAVI *et al.*, 2022). Sabouri *et al.* (2022) propôs uma combinação dos melhores índices de tolerância para melhorar a precisão da classificação de genótipos de arroz quanto a tolerância à seca. Os autores compararam os resultados da seleção pelo índice proposto com os resultados obtidos pela análise multivariada e concluíram que o uso do índice combinado é eficaz, rápido e prático, sendo, portanto, um critério adequado para seleção de genótipos tolerantes à seca em programas de melhoramento

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAFRUTAS-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRUTAS E DERIVADOS, 2018. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2021/08/dados-de-exportacao-1a-semester-2021-2/> Acesso: 29 out. 2021.
- ALMEIDA, M.; ALMEIDA, C.V. **Morfologia da raiz de plantas com sementes**. Piracicaba: ESALQ, 2014. 71 p. (Coleção Botânica, 1).
- ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 463-472, out./dez. 2009.
- BADILLO, V. M. *Carica* L. vs *Vasconcella* St. Hil. (Caricaceae): com le rehabilitación de este ultimo. *Ernstia*, Macaray, v.10, n.10, p. 74-79, 2000.
- AHMED, A. A. M.; DAWOOD, M. F. A.; ELFARASH, A.; MOHAMED, E. A.; HYSSEIN, M. Y.; BORNER, A.; SALLAM, A. Genetic and morpho-physiological analyses of the tolerance and recovery mechanisms in seedling stage spring wheat under drought stress. *Frontiers in genetics*, v. 13, n. 1010272 p. 1-17, out. 2022.
- BALBAA, M. G., OSMAN, H. T.; KANDIL, E. E.; JAVED, T.; LAMLAM, S. F.; ALI, H. M.; KALAJI, H. M.; WRÓBEL, J.; TELESIŃSKI, A.; BRYSIWICZ, A.; GHAREEB, R. Y.; ABDELSALAM, A.; ABDELGHANY, A. M. Determination of morpho-physiological and yield traits of maize inbred lines (*Zea mays* L.) under optimal and drought stress conditions. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, n. 959203 p. 1-17, jul. 2022.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. **Melhoramento de plantas**. Viçosa, Editora UFV, 5a edição, 529p., 2009.
- CAMPOSTRINI, E.; SCHAFFER, B.; RAMALHO, J. D. C.; GONZÁLEZ, J. C.; RODRIGUES, W. P.; SILVA, J. R.; LIMA, R. S. N. Environmental factors controlling carbon assimilation, growth, and yield of papaya (*Carica papaya* L.) under water-scarcity scenarios. *In: (org).Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semi-arid Environment*. Londons: Academic Press, 2018, v.1, p.1-264.
- CAMPOSTRINI, E.; YAMANISHI, O. K. Influence of mechanical root restriction on gas-exchange of four papaya genotypes. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*. Lavras/MG, v. 13, n. 2, p. 129–138, 2001.
- CARVALHO, E. M. L.; REIS, R. C.; BORGES, V. P.; LEDO, C. A. S.; ARAÚJO, E. S.; DANTAS, J. L. L. Physicochemical and sensory properties of papaya fruits of elite lines and hybrids. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 41, n. 1, p. 121-130, jan./fev. 2020.
- CARVALHO, F. A.; RENNER, S. S. A dated phylogeny of the papaya family (Caricaceae) reveals the crop's closest relatives and the family's biogeographic history. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, v. 65, n. 1, p. 46–53, 2012.

CARVALHO, F. A.; RENNER, S. S. The Phylogeny of the Caricaceae. In: MING, R.; MOORE, P. H. (Org.). **Genetics and Genomics of Papaya**. New York: Springer New York, 2014, v. 10, p. 81-92.

CAVATTE, P. C.; MARTINS, S. C. V.; MORAIS, L. E.; SILVA, P. E. M; SOUZA, L. T.; DAMATTA, F. M. **A fisiologia dos estresses abióticos**. In: FRITSCHENETO, R.; BOREM, A. (Ed.) Melhoria de plantas para condições de estresses abióticos. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011, p. 39-79.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551–560, 2009.

CHÁVEZ-PESQUEIRA, M.; NÚÑEZ-FARFÁN, J. Domestication and genetics of papaya: A review. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 5, p. 1–9, dec. 2017.

COELHO, E. F.; SANTOS, M. R.; COELHO FILHO, M. A. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de irrigação localizada em latossolo de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 27, n. 1, p. 175-178, abr. 2005.

CORTES, D. F. M.; SANTA-CATARINA, R.; AZEVEDO, A. O. N.; POLTRONIERI, T. P. S.; VETTORAZZI, J. C. F.; MOREIRA, N. F.; FERREGUETTI, G.A.; RAMOS, H. C. C.; VIANA, A. P.; PEREIRA, M. G. Papaya recombinant inbred lines selection by image-based phenotyping. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 3, p. 208-215, mai.-jun. 2018.

CORTES, D. F. M.; SANTA-CATARINA, R.; VETTORAZZI, J. C. F.; RAMOS, H. C. C.; VIANA, A. P.; PEREIRA, M. G. Development of superior lines of papaya from the Formosa group using the pedigree method and REML/Blup procedure. **Bragantia**, Campinas, v. 78, n. 3, p. 350-360, fev. 2019.

CUNHA, A. P. M. A.; ZERI, M.; LEAL, K. D.; COSTA, L.; CUARTAS, L. A.; MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M.; BARBOSA, A. A.; CUNNINGHAM, C.; GARCIA, J. V. C.; BROEDEL, E.; ALVALÁ. R.; RIBEIRO-NETO, G. Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, v. 10, n. 642, p. 1-20, out. 2019.

DAMASCENO JUNIOR, P. C.; PEREIRA, T. N. S.; PEREIRA, M. G.; SILVA, F. F.; SOUZA, M. M.; NICOLI, R. G. Preferential reproduction mode of hermaphrodite papaya plant (*Carica papaya* L; *Caricaceae*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 31, n. 1, p. 182-189, mar. 2009.

DAMASCENO JUNIOR, P. C.; PEREIRA, T. N. S.; PEREIRA, M. G. Estimation of genetic parameters for flower anomalies in papaya. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, n. 1, p. 9–15, 2018.

DANTAS, J. L. L.; CASTRO NETO, M. T. **Aspectos botânicos e fisiológicos**. In: TRINDADE, A. V. (org.). Mamão, Produção: aspectos técnicos. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000, v. 1, p. 11-14.

DANTAS, J. L. L.; LIMA, J.F. Seleção e recomendação de variedades de mamoeiro - avaliação de linhagens e híbridos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, p.617- 621, 2001.

DANTAS, J. L. L.; OLIVEIRA, E. J.; PEREIRA, M. G.; CATTANEO, L. F. **Melhoramento genético do mamoeiro no Brasil**. In: SIMPÓSIO DO PAPAYA BRASILEIRO, 5., 2011, Porto Seguro. Inovação e sustentabilidade: anais. Porto Seguro: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2011. 1 CD-ROM. PDF. P\_2\_3.

DANTAS, J. L. L.; LUCENA, R. S.; BOAS, S. A. V. Avaliação agrônômica de linhagens e híbridos de mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 1, p. 138–148, 2015.

DAS, S., CHRISTOPHER, J.; CHOUDHURY, M. R.; APAN, A.; CHAPMAN, S.; MENZIES, N. W.; DANG, Y. P. Evaluation of drought tolerance of wheat genotypes in rain-fed sodic soil environments using highresolution UAV remote sensing techniques. **Biosystems engineering** , v. 217, p. 68 -82, mar. 2022.

DIAS, N. L. P.; OLIVEIRA, J. E. DE; DANTAS, J. L. L. Avaliação de genótipos de mamoeiro com uso de descritores agrônômicos e estimação de parâmetros genéticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1471–1479, 2011.

DIAS, M. A.; DIAS, D. C. F. S.; BORGES, E. E. L.; DIAS, L. A. S. Qualidade e compostos fenólicos em sementes de mamão alterados pela colheita e maturação dos frutos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.4, p.737-743, abr. 2015.

DODD, IAN C. Rhizosphere manipulations to maximize ‘crop per drop’ during deficit irrigation. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 9, p. 2454–2459, 2009.

DONG, X.; TANG, H.; ZHANG, Q.; ZHANG, C.; WANG, Z. Transcriptomic analyses provide new insights into jujube fruit quality affected by water deficit stress. **Scientia Horticulturae**, v. 291, p. 110558, 2022.

EL-MOUHAMADY, A. A.; HABOUH, M. A. F.; NAIF, E. Elicitation of novel sunflower lines tolerant to water deficit conditions through mutation breeding. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 21, n. 3, p. 360-378, 2022.

EL-SHERBINY, H. A.; EL-HASHASH, E. F.; EL-ENIM, M. M. A.; NOFAL, R. S.; EL-MAGEED, T. A. A.; BLEIH, E. M.; EL-SAADONY, M. T.; EL-TARABILY, K. A. Exogenously applied salicylic acid boosts morpho-physiological traits, yield, and water productivity of lowland rice under normal and deficit irrigation. **Agronomy** , n. 12, v. 1860, p. 1-21, ago. 2022.

ESPINDULA NETO, D.; SILVA, J. G. F. **Manejo da água no mamoeiro**. In: MARTINS, D. S. *et al.* (org.). **Papaya Brasil: Manejo, Qualidade e Mercado do Mamão**. Vitória - ES: Editora Lisboa, 2007, v. 1, p. 65-82.

ESPIRITO SANTO. Secretaria da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Polos de fruticultura -Mamão**. Vitória, 2019. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/fruticultura-mamao>. Acesso em: 08 nov. 2021.

ESTRELLA-MALDONADO, H.; GIRÓN-RAMIREZ, A.; ORTIZ, G. F.; PERAZA-ECHEVERRÍA, S.; VEGA, O. M.; GÓMGORA-CASTILLO, SANTAMARÍA, J. M. Transcriptomic analysis reveals key transcription factors associated to drought tolerance in a wild papaya (*Carica papaya*) genotype. *PloS ONE*, V, 16, n. 1, jan. 2021.

FAO. **Food and agriculture organization of the United Nations for a world without hunger**. 2023. Area harvested, yield and production in 2021/ FAOSTAT / FAO Statistics Division. Disponível em: [https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity](https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity). Acesso em: 07 fev. 2023.

FERREIRA, J. A. B.; LEDO, C. A. S.; SOUZA, F. V. D; CONCEIÇÃO, J. Q.; ROSSI, M. L.; SOUZA, E. H. Stigma structure and receptivity in papaya (*Carica papaya* L.). **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 93, p. 1–12, 2021.

FLEXAS, J.; BARBOUR, M. M.; BRENDEL, O.; CABRERA, H. M.; CARRIQUÍ, M.; DÍAZ-ESPEJO, A.; DOUTHE, C.; DREYER, E.; FERRIO, J. P.; GAGO, J.; GALLÉ, A.; GALMÉS, J.; KPDAMA, N.; MEDRANO, H.; NIINEMETS, U.; PEGUERO-PINA, J. J.; POU, A.; RIBAS-CARBÓ, M.; TOMÁS, M.; TOSENS, T.; WARREN, C. R. Mesophyll diffusion conductance to CO<sub>2</sub>: An unappreciated central player in photosynthesis. **Plant Science**, v. 193–194, p. 70–84, 2012.

GAGO, J.; DALOSO, D. M.; CARRIQUÍ, M.; NADAL, M.; MORALES, M.; ARAÚJO, W. L.; NUNES-NESE, A.; PERERA-CASTRO, A.V.; CLEMETE-MORENO, M. J.; FLEXAS, J. The photosynthesis game is in the “inter-play”: Mechanisms underlying CO<sub>2</sub> diffusion in leaves. **Environmental and Experimental Botany**, v. 178, n. Jun., p. 104174, 2020.

GAHLAUT, V.; JAISWAL, V.; BALYAN, H. S.; JOSHI, A. K.; GUPTA, P. K. Multi-Locus GWAS for Grain Weight-Related Traits Under Rain-Fed Conditions in Common Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. 758631 p. 1-13, out. 2021.

GAMBOA-TUZ, S. D.; PEREIRA-SANTANA, A.; ZAMORA-BRISEÑO, J. A.; CASTANO, E.; ESPADAS-GIL, F.; AYALA-SUMUANO, J. T.; KEB-LLANES, M. A.; SANCHEZ-TEYER, F.; RODRÍGUEZ-ZAPATA, L. C. Transcriptomics and co-expression networks reveal tissue-specific responses and regulatory hubs under mild and severe drought in papaya (*Carica papaya* L.). **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–16, 2018.

GIRÓN-RAMÍREZ, A; PEÑA-RODRÍGUEZ, L. M.; ESCALANTE-EROSA, F.; FUENTES, G.; SANTAMARÍA, J. M. Identification of the SHINE clade of AP2/ERF domain transcription factors genes in *Carica papaya*; Their gene expression and their possible role in wax accumulation and water deficit stress tolerance in a wild

and a commercial papaya genotypes. **Environmental and Experimental Botany**, v. 183, n. mar., p.1-15, 2021.

GRZESIAK, S.; HORDYŃSKA, N.; SZCZYREK, P.; GRZESIAK, M. T.; NOGA A.; A SZECHYŃSKA-HEBDA, M. Variation among wheat (*Triticum easativum* L.) genotypes in response to the drought stress: I – selection approaches, **Journal of Plant Interactions**, v.14, n.1, p. 30-44, 2019

HAZEL, L.N., 1943. The genetic basis for construction selection indexes. **Genetics** v. 28, p. 476–490, nov. 1943.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal, 2021**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.resultados>> Acesso em: 07 fev. 2023.

KAUR, H.; KOHLI, S. K.; KHANNA, K.; BHARDWAJ, R. Scrutinizing the impact of water deficit in plants: Transcriptional regulation, signaling, photosynthetic efficacy, and management. **Physiologia Plantarum**, v.172, n. 2, mar. 2021.

KHATIBI, A.; OMRANI, S.; OMRANI, A.; SHOJAEI, S. H.; MOUSAVI, S. M. N.; ILLÉS, A.; BOJTOR, C.; NAGY, J. Response of maize hybrids in drought-stress using drought tolerance indices. **Water**, v. 14, n. 1012, p. 1-10, mar. 2022.

KUMAR, A.; SINGH, V. K.; SARAN, B.; AL-ANSARI, N.; SINGH, V. P.; ADHIKARY, S.; JOSHI, A.; SINGH, N. K.; VISHWAKARMA, D. K. Development of novel hybrid models for prediction of drought- and stress-tolerance indices in teosinte introgressed maize lines using artificial intelligence techniques. **Sustainability**. v. 14, n. 2287, p. 1-17, fev.2022.

LAN, Y.; CHAWADE, A.; KUKTAITE, R.; JOHANSSON, E. Climate Change Impact on Wheat Performance - Effects on Vigour, Plant Traits and Yield from Early and Late Drought Stress in Diverse Lines. **International Journal of Molecular Sciences**,v. 23, n. 3333, mar. 2022.

LARASWATI, A. A.; PADJUNG, R.; FARID, M.; NASARUDDIN, N.; ANSHORI, M. F.; NUR, A.; SAKINAH, A. I. Image Based-Phenotyping and Selection Index Based on Multivariate Analysis for Rice Hydroponic Screening under Drought Stress. **Plant Breeding and Biotechnolgy**, v. 9, n. 4, p. 272-286, dez. 2021.

LIMA, D. S.; OLIVEIRA, E. J.; DANTAS, J. L. L.; FILHO, A. F.; LUCENA, R. S.; SANTOS, J. L. S. **Comportamento produtivo de novos híbridos e linhagens de mamoeiro no Sul da Bahia**. In: XXI Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2010, Natal. XXI Congresso Brasileiro de Fruticultura, v. 21.

LIAO, Z.; ZHANG, X.; ZHANG, S.; LIN, Z.; ZHANG, X.; MING, R. Structural variations in papaya genomes. **BMC Genomics**, v. 22, n. 1, p. 1–13, 2021.

LIU, Y.; GENG, X.; HAO, Z.; ZHENG, J. Changes in climate extremes in central asia under 1.5 and 2° c global warming and their impacts on agricultural productions. **Atmosphere**, v. 11, n. 10, p. 1–19, 2020.

LUCENA, C. C. **Polos de produção de mamão no Brasil**. Cruz das Almas, BA : Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2016. 47 p. (Documentos/ Embrapa Mandioca e Fruticultura, 217).

LUCENA, C. C.; GERUM, A. F. A. A.; SANTANA, M. A.; SOUZA, J. S. Aspectos Socioeconômicos. *In: A cultura do mamoeiro*. Oliveira, A, M. G.; MEISSNER FILHO, P. E. (editores técnicos) – Brasília, DF: Embrapa, 2021. PDF (426 p.): il. color. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/pt/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1136356/a-cultura-do-mamoeiro>>. Acesso em: 24 nov. 2021.

MA, Q. J.; SUN, M. H.; LU, J.; KANG, H.; YOU, C. X.; HAO, Y. J. An apple sucrose transporter MdSUT2.2 is a phosphorylation target for protein kinase MdCIPK22 in response to drought **Plant Biotechnology Journal**, v. 17, n. 3, p. 625-637, mar. 2019.

MAHDAVI, Z.; RASHIDI, V.; YARNIA, M.; AHARIZAD, S.; ROUSTAIL, M. Evaluation of yield traits and tolerance indices of different wheat genotypes under drought stress conditions. **Cereal Research Communications**, v. 22, p. 1-11, dez. 2022.

MANICA, I., MARTINS, D.S., VENTURA, J.A. **Mamão: tecnologia de produção pós-colheita, exportação, mercados**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2006. 361p.

MAHOUACHI, J.; SOCORRO, A. R.; TALON, M. Responses of papaya seedlings (*Carica papaya* L.) to water stress and re-hydration: Growth, photosynthesis and mineral nutrient imbalance. **Plant and Soil**, v. 281, n. 1–2, p. 137–146, mar. 2006.

MANDIZVO, T.; ODINDO, A. O.; MASHILO, J.; MAGWAZA, L. S. Drought tolerance assessment of citron watermelon (*Citrullus lanatus* var. *citroides* (L.H. Bailey) Mansf. ex Greb.) accessions based on morphological and physiological traits **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 180, n. p. 106–123, abr. 2022.

MARIN, S. L. D.; GOMES, J. A.; SALGADO, J. S.; MARTINS, D. S.; FULLIN, E. A. **Recomendações para a cultura do mamoeiro dos grupos Solo e Formosa no Estado do Espírito Santo**. 4. ed. Rev. e ampl. Vitória, ES: EMCAPA, 1995. 57p. (EMCAPA, Circular Técnica, 3).

MARTIN-VERTEDOR, A. I.; DODD, I. C. Root-to-shoot signalling when soil moisture is heterogeneous: Increasing the proportion of root biomass in drying soil inhibits leaf growth and increases leaf abscisic acid concentration. **Plant, Cell and Environment**, v. 34, n. 7, p. 1164–1175, 2011.

MING, R.; YU, Q.; MOORE P. H. Sex determination in papaya. **Seminars in Cell and Developmental Biology**, v. 18, n. 3, p. 401-408, 2007.

MOHANTA, T. K.; BASHIR, T.; HASHEM, A.; ABD-ALLAH, E. F. Systems biology approach in plant abiotic stresses. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 121, p. 58–73, oct. 2017.

MOREIRA, N. F.; PEREIRA, T. N. S.; SANTA-CATARINA, R.; CORTES, D. F. M.; VETTORAZI, J. C. F.; RAMOS, H. C. C.; VIANA, A. P.; PEREIRA, M. G. Quantification of loral abnormalities in a population generated from sexual polymorphism arising at recurrent selection in papaya. **Bragantia**, Campinas, v. 78, n. 2, p.158-165, 2019.

MUTARI, B.; SIBIYA, J. GASURA, E.; MATOVA, P. M.; SIMANGO, K.; KONDWAKWENDA, A. Genetic analysis of grain yield and yield-attributing traits in navy bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. **Euphytica**, v. 218, n.51, p. 1-20, abr. 2022.

NADAL, M.; FLEXAS, J. Variation in photosynthetic characteristics with growth form in a water-limited scenario: Implications for assimilation rates and water use efficiency in crops. **Agricultural Water Management**, v. 216, n. Aug. 2017, p. 457–472, may. 2019.

OLIVEIRA, E. J.; SILVA, A. S.; CARVALHO, F. M.; SANTOS, L. F.; COSTA, J. L.; AMORIM, V. B. O.; DANTAS, J. L. L. Polymorphic microsatellite marker set for *Carica papaya* L. and its use in molecular-assisted selection. **Euphytica**, v. 173, p. 279–287, 2010a.

OLIVEIRA, E. J.; AMORIM, V. B. O.; MATOS, E. L. S.; COSTA, J. L.; CASTELLEN, M. S.; PÁDUA, J. G.; DANTAS, J. L. L. Polymorphism of Microsatellite Markers in Papaya (*Carica papaya* L.). **Plant Mol Biol Rep**, v. 28, p. 519–530, 2010b.

OLIVEIRA, E. J.; COSTA, J. L.; SANTOS, L. F.; CARVALHO, F. M.; SILVA, A. S.; DANTAS, J. L. L. Molecular characterization of papaya genotypes using AFLP markers. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal-SP, v. 33, n. 3, p. 848–858, set. 2011.

OLIVEIRA, E. J.; OLIVEIRA, G. A. F.; COSTA, J. L.; OLIVEIRA, V. J. S.; DANTAS, A. C. V. L.; DANTAS, J. L. L.; PÁDUA, J. G. Genetic diversity and marker-assisted inbreeding in papaya. **Scientia Horticulturae**, v. 147, p. 20–28, 2012.

PEREIRA, M. G.; FERREGUETTI, G. A.; RAMOS, H. C. C.; SANTA-CATARINA, R.; VETTORAZZI, J. C. F.; POLTRONIERE, T. P. S.; ARÊDES, F. A. S.; BOECHAT, M. S. B.; AZEVEDO, A. O. N.; MOREIRA, N. F.; BOHRY, D.; PEREIRA, T. N. S.; SILVEIRA, S. F.; VIVAS, M. Melhoramento genético do mamoeiro: programa Uenf/Caliman. **Anais do VII Simpósio do papaya brasileiro**. p. 1–59, 2018.

REIS, R. C.; VIANA, E. S.; JESUS, J. L.; DANTAS, J. L. L.; LUCENA, R. S. Caracterização físico-química de frutos de novos híbridos e linhagens de mamoeiro. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 3, p. 210–217, 2015.

SABOURI, A.; DADRAS, A. R.; AZARI, M.; KOUCHESFAHANI, A. S.; TASLIMI, M.; JALALIFAR, R. Screening of rice drought-tolerant lines by introducing a new

composite selection index and competitive with multivariate methods. **Nature**, v. 12, n. 2163, p1-14, 2022.

SANTA CATARINA, R.; PEREIRA, M. G.; VETTORAZZI, J. C. F.; CORTES, D. F. M.; POLTRONIERI, T. P. S.; AZEVEDO, A. O. N.; MOREIRA, N. F.; MIRANDA, D. P.; MORAES, R.; PIROVANI, A. A. V.; RAMOS, H. C. C.; VIVAS, M.; VIANA, A. P. Papaya (*Carica papaya* L.) S1 family recurrent selection: Opportunities and selection alternatives from the base population. **Scientia Horticulturae**, v. 260, n. 108848, p.1-9, 2020.

SANTA CATARINA, R.; CORTES, D. F. M.; VETTORAZZI, J. C. F.; POLTRONIERI, T. P. S.; BARROS, G. B. A.; ARÊDES, F. A. S.; AZEVEDO, A. O. N.; RAMOS, H. C. C.; PEREIRA, M. G. Combining ability for fruit yield and quality in papaya recombinant inbred lines from the sexual conversion backcrossing. **Euphytica**, v. 215, n. 154, p. 1-10, set. 2019.

SANTOS, M. R.; COTRIM JUNIOR, P. R. F.; MESQUITA, N. L. S.; DONATO, S. L. R.; COELHO, E. F. Yield and water use efficiency in 'Tommy Atkins' and 'Palmer' mango trees under localized irrigation with water deficit. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 41, n. 6, p. 2509-2522, nov./dez. 2020.

SATRIO, R. D.; FENDIYANTO, M. H.; SUPENA, E. D. J.; SUHARSONO, S.; MIFTAHUDIN, M. Genome-wide SNP discovery, linkage mapping, and analysis of QTL for morpho-physiological traits in rice during vegetative stage under drought stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, v. 27, n. 11, p. 2635–2650, nov. 2021.

SATRIO, R. D.; FENDIYANTO, M. H.; SUPENA, E. D. J.; SUHARSONO, S.; MIFTAHUDIN, M. Mapping and identification of QTL for agro-physiological traits in rice (*Oryza sativa* L.) under drought stress. **Plant Gene**, v. 33, n. 100397, p. 1-9, 2023.

SERRANO, L. A. L.; CATTANEO, L. F. O cultivo do mamoeiro no brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 3, p. 657, 2010.

SILVA, F.F.; PEREIRA, M.G.; RAMOS, H.C.C.; DAMASCENO JÚNIOR, P.C.; PEREIRA, T.N.S.; GABRIEL, A.P.C.; VIANA, A.P.; FERREGUETTI, G.A. Selection and estimation of the genetic gain in segregation generations of papaya. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2008.

SMITH, H.F. A discriminate function for plant selection. **Annals of Eugenics**. v. 7, n. 3p. 240–250, nov. 1936.

SUN, F.; CHEN, Q.; CHEN, Q.; JIANG, M.; QU, Y. Yield-based drought tolerance index evaluates the drought tolerance of cotton germplasm lines in the interaction of genotype-by-environment. **PeerJ**, p.1-15, jan. 2023.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Mastroberti, A. A. *et al.* (trad.), OLIVEIRA, P. L. (revisão técnica). Porto Alegre: Artmed, 6. ed., 2017. 888p.

TALEGHANI, D.; RAJABI, A.; HEMAYATI, S. S.; SAREMIRAD, A. Improvement and selection for drought-tolerant sugar beet (*Beta vulgaris* L.) pollinator lines. **Results in Engineering**, v.13, n. 100367, p. 1-14, fev. 2022.

VADEZ, V. Root hydraulics: The forgotten side of roots in drought adaptation. **Field Crops Research**, v. 165, n. Aug., p. 15–24, 2014.

VINCENT, C.; SCHAFFER, B.; ROWLAND, D. Water-deficit priming of papaya reduces high-light stress through oxidation avoidance rather than anti-oxidant activity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 156, n. Jan., p. 106–119, dec. 2018.

VIVAS, M.; SILVEIRA, S. F.; CARDOSO, D. L.; JÚNIOR, A. T. A.; PEREIRA, M. G. Heterose para resistência a mancha-de-phoma em híbridos de mamoeiro obtidos a partir de cruzamentos entre e dentro de grupos heteróticos. **Summa Phytopathologica**, Botucatu v. 40, n. 4, p. 318–322, 2014.

XIN, Y.; GAO, L.; HU, W.; GAO, Q.; YANG, B.; ZHOU, J.; XU, C. Genome-wide association study based on plant height and drought-tolerance indices reveals two candidate drought-tolerance genes in sweet sorghum. **Sustainability**. v. 14, n. 14339, p.1-14, nov. 2022.

ZAKI, H. E. M.; RADWAN, K. S. A. Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars to drought stress under in vitro and field conditions. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 9, n. 1, p. 1-19, 2022.

ZERPA-CATANHO, D.; WAI, J.; WANG, M. L.; YU, L.; NGUYEN, J.; MING, R. Differential gene expression among three sex types reveals a MALE STERILITY 1 (CpMS1) for sex differentiation in papaya. **BMC Plant Biology**, v. 19, n. 1, dec. 2019.

ZHAO, C.; LIU, B.; PIAO, S.; WANG, X.; LOBELL, D. B.; HUANG, Y.; HUANG, M.; YAO, Y.; BASSU, S.; CIAIS, P.; DURAND, J. L.; ELLIOTT, J.; EWERT, F.; JANSSENS, I. A.; LI, T.; LIN, E.; LIU, Q.; MARTRE, P.; MULLER, C.; PENG, S.; PEÑUELAS, J.; RUANE, A. C.; WALLACH, D.; WANG, T.; WU, D.; LIU, Z.; ZHU, Y.; ZHU, Z.; ASSENG, S. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 114, n. 35, p. 9326–9331, aug. 2017.

## **CAPITULO 1**

**Resposta no crescimento e produtividade de mamoeiros híbridos (*Carica papaya* L.) sob duas condições de irrigação**

## **Resposta no crescimento e produtividade de mamoeiros híbridos (*Carica papaya* L.) sob duas condições de irrigação**

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do déficit hídrico no crescimento e produtividade de frutos de híbridos de mamoeiro desenvolvidos pela EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. O experimento foi instalado na Fazenda Experimental do Campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em delineamento de blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, com dez genótipos, cinco repetições e dois regimes de irrigação (ITR2 e ITR10, com turno de rega de dois e dez dias, respectivamente). Para todos os caracteres observaram-se diferenças significativas a 1% e 5% de probabilidade para a fonte de variação ambiente. Para genótipo as diferenças foram altamente significativas ( $p > 0,001$ ) em todas as características avaliadas. A interação ambiente e genótipo foi significativa a 5% para altura de planta (AP) e comprimento do fruto (CF), e altamente significativa para número de frutos comerciais (NFC), número de frutos deformados (NFD), produtividade (PROD), massa de fruto (MF) e altura de inserção do primeiro fruto (AIPF). A restrição de água imposta pelo maior intervalo entre irrigações reduziu o crescimento das plantas e o diâmetro do fruto (DF), aumentou o número de nós sem frutos (NNSF) e o início da colheita em 46 dias. O híbrido CMF-L54×CMF-L78 apresentou menor AP, AIPF e maior precocidade. Os híbridos CMF-L54×CMF-L78, CMF-L56×CMF-L78, CMF-L72×CMF-L78 e CMF-130×CMF-L78 apresentaram maior NFC que os cultivares comerciais em ITR2 e ITR10. Para PROD as maiores médias foram CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78 apresentando as menores reduções sob restrição hídrica. Os híbridos que apresentaram comportamentos satisfatórios para os principais caracteres foram: CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78, para PROD e NFC, e CMF-L72×CMF-L78 e CMF-130×CMF-L78 para NFC.

**Palavras-chave:** Desempenho agrônômico; Déficit hídrico; Avaliação de genótipo.

## Response in the growth and productivity of hybrid papaya trees (*Carica papaya* L.) under two irrigation conditions

**Abstract:** The objective of this work was to evaluate the effects of water deficit on the growth and productivity of papaya hybrid fruits that were developed by EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. The experiment was held at the Experimental Farm on the Campus of the Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, in a randomized block design in a split-plot scheme, with ten genotypes, five replications and two irrigation regimes (ITR2 and ITR10, with a two-day and ten-day watering shift, respectively). For all the samples, significant differences were observed at 1% and 5% probability for the source of environmental variation. Concerning genotype, the differences were highly significant ( $p > 0.001$ ) in all evaluated traits. The environment and genotype interaction were significant at 5% for plant height (AP) and fruit length (CF), and highly significant for marketable fruit number (NFC), deformed fruit number (NFD), production (PROD), fruit mass (MF) and first fruit insertion height (AIPF). The water restriction imposed by the longer interval between irrigations reduced the plant growth and fruit diameter (DF), and also increased the number of fruitless nodes (NNSF) and the beginning of the harvest in 46 days. The hybrid CMF-L54×CMF-L78 showed lower AP, AIPF and higher precociousness. Hybrids CMF-L54×CMF-L78, CMF-L56×CMF-L78, CMF-L72×CMF-L78 and CMF-130×CMF-L78 showed higher NFC than commercial cultivars in ITR2 and ITR10. For PROD the highest averages were CMF-L54×CMF-L78 and CMF-L56×CMF-L78 showing the smallest reductions under water restriction. The hybrids that presented satisfactory behavior for the main characters were: CMF-L54×CMF-L78 and CMF-L56×CMF-L78, for PROD and NFC, and CMF-L72×CMF-L78 and CMF-130×CMF-L78 for NFC.

**Keywords:** Agronomic performance; Water deficit; Genotype evaluation.

## 1. INTRODUÇÃO

O mamoeiro (*Carica papaya* L.), planta tipicamente tropical, se distribui entre as latitudes 23° N e S com notável importância econômica e social. Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAOSTAT, 2023), a produção mundial de mamão em 2021 foi de 14,09 milhões de toneladas de frutos, das quais mais de 50% produzidas na Ásia e 35,3% na América Latina e Caribe.

O Brasil ocupa atualmente a segunda posição na lista dos maiores produtores da fruta com produção de 1,2 milhão de toneladas de frutos em uma área colhida de 28.450 hectares (FAOSTAT, 2023). É também o segundo maior exportador, principalmente para países da União Europeia e EUA, no entanto, o percentual exportado representa apenas 4% da produção nacional (FAOSTAT, 2023). Isso demonstra o grande potencial de crescimento do setor produtivo. Para tanto é necessário melhorar a qualidade dos frutos, reduzir custos e aumentar a adoção de tecnologias por parte dos produtores de forma a atender às normas fitossanitárias e aos limites máximos de resíduos permitidos de agrotóxicos cada vez mais exigentes do mercado internacional (LUCENA *et al.*, 2016).

O mamoeiro é uma planta não lenhosa com elevado conteúdo de água em seus tecidos, com crescimento e florescimento contínuos e, portanto, sensível ao déficit hídrico (CAMPOSTRINI *et al.*, 2010). A restrição hídrica afeta o crescimento da planta e favorece a produção de flores estéreis, reduzindo assim a produção e qualidade dos frutos (FONTES *et al.*, 2002; DANTAS *et al.*, 2011). Com o objetivo de garantir a produtividade em sistemas comerciais de cultivo, mesmo as regiões com precipitação média anual superior a 1200 mm necessitam de irrigação complementar, devido a distribuição irregular das chuvas e veranicos frequentes promovidos por alterações nos regimes hídricos (CARVALHO, 2018). Atualmente 100% das lavouras de mamoeiro são irrigadas, sendo 70% com sistema por gotejamento (FERREGUETI, 2022).

As projeções climáticas preveem redução da água para irrigação num cenário onde a demanda por alimentos é crescente (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019). Os modelos de simulação climática indicam elevação da temperatura global e espera-se que a frequência, intensidade e duração das secas aumentem em todo o mundo (ZHAO *et al.*, 2017; LIU *et al.*, 2020). Um estudo sobre

mudanças climáticas e o manejo de irrigação do mamoeiro prevê uma redução da precipitação em 4% até 2080, e um aumento da evapotranspiração da cultura de 331 mm, com conseqüente aumento de 260,6 mm na lâmina de irrigação, significando acréscimo de cerca de 160% (DOHLER; KLIPPEL; XAVIER, 2016).

Diante dessa conjuntura de condições limitadas de água e maior frequência de eventos severos de seca, e considerando que a agricultura utiliza 70% da água doce disponível em todo o mundo, é fundamental selecionar plantas com alta eficiência no uso da água, seja pela maior eficácia de transpiração ou pelo maior particionamento de biomassa nos frutos (CAMPOSTRINI *et al.*, 2018).

Um estudo de Santos *et al.* (2021) indicou que o mamoeiro possui alta plasticidade ao déficit hídrico moderado, com capacidade de ajustar-se a diferentes lâminas de irrigação sem reduzir a fotossíntese, o crescimento e a floração. Essa relativa tolerância do mamão a deficiência de água no solo está associada à capacidade dessa espécie em retardar a desidratação por meio do ajustamento osmótico. Através desse mecanismo a planta consegue reduzir o potencial hídrico celular pelo acúmulo de íons e sais e, dessa forma, manter o conteúdo relativo de água nas folhas garantindo a continuidade dos processos metabólicos sob condições de déficit leve a moderado (MAHOUACHI; SOCORRO; TALON, 2006).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o crescimento e a produtividade de híbridos de mamoeiro desenvolvidos pela EMBRAPA Mandioca e Fruticultura sob dois regimes de irrigação.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Material vegetal e local de condução do experimento**

Foram avaliados dez genótipos de mamoeiro (*Carica papaya* L.), sendo sete híbridos e três cultivares: 'BRS-L78' (grupo Solo), Golden (grupo Solo) e Tainung nº1 (grupo Formosa). Os híbridos utilizados foram obtidos do cruzamento da 'BRS-L78' (CMF-L78) com sete acessos para do BAG da EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, conforme informações detalhadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Identificação e caracterização dos híbridos avaliados quanto a genealogia e grupo heterótico.

Híbridos	Código dos acessos no BAG	Grupo
CMF-L54*CMF-L78	CMF099	Solo
CMF-L56*CMF-L78	CMF114	Formosa
CMF-L58*CMF-L78	CMF118	Solo
CMF-L60*CMF-L78	CMF128	Solo
CMF-L72* CMF-L78	CMF230	Solo
CMF-L74*CMF-L78	CMF232	Solo
CMF-130*CMF-L78	CMF-130	Solo

Os cruzamentos entre a cultivar BRS-L78 e os sete genótipos foi realizado durante os meses de junho e julho de 2019 no BAG de mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura e, após 4 a 5 meses (novembro/2019 a fevereiro/2020), os frutos foram colhidos em estágio de maturação 1. As sementes foram extraídas de frutos totalmente maduros (estádio de maturação 5), lavadas em água corrente para remoção da sarcotesta e secas à sombra durante o período de 72 horas. Em seguida foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificados, e armazenadas em câmara fria à 10°C.

As sementes dos 10 genótipos foram submetidas à germinação em tubetes de polietileno (300 mL) contendo substrato composto de terra vegetal, vermiculita e esterco curtido, na proporção de 2:1:1. Foram semeadas três sementes por tubete e após germinação foi efetuado o desbaste, deixando-se apenas uma muda por recipiente.

O experimento foi instalado em julho de 2020 e conduzido até abril de 2021, no campo da Fazenda Experimental do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB), da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), localizado no município de Cruz das Almas, BA, nas coordenadas geográficas 12° 40' 19" de latitude Sul, 39° 06' 23" de longitude Oeste e altitude de 220 m. Pela classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw a Am, tropical quente e úmido, com pluviosidade média anual de 1.200 mm, umidade relativa de 80% e temperatura média anual de 24,5°C. Embora possua precipitação elevada, a região é caracterizada por um período seco de outubro a fevereiro, enquanto o período mais chuvoso vai de março a agosto.

O solo da área experimental é classificado como *Latossolo Amarelo* Distrocoeso típico e relevo plano (Embrapa, 2018), com classe textural

franco arenoso na profundidade de 0 a 0,30 m e franco argiloarenoso de 0,30 a 0,40 m de profundidade. A Tabela 2 apresenta a classificação granulométrica e as características de retenção de água do solo.

**Tabela 2.** Características físico-hídrica de um Latossolo Amarelo Distrocoeso coletado na camada de 0-0,40 m na área do Campus Experimental do CCAAB/UFRB Cruz das Almas-BA.

Camada (m)	Classificação granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Parâmetros da curva de retenção de água				
	Areia total	Silte	Argila	θ <sub>s</sub>	θ <sub>r</sub>	α	m	n
0,00-0,10	767	92	141	0,420	0,085	1,417	0,2555	2655
0,10-0,20	771	88	141	0,407	0,084	3,003	0,0836	4,692
0,20-0,30	732	77	191	0,303	0,093	2,258	0,1529	2,545
0,30-0,40	710	47	242	0,367	0,016	2,108	0,0302	5139

θ<sub>s</sub> - umidade de saturação, θ<sub>r</sub>-umidade residual.

A área escolhida para a instalação do experimento possui uma cobertura vegetal constituída por gramíneas e vinha desde 2010 sendo conduzida em cultivo mínimo e com rotação de culturas (*Crotalaria juncea*, mandioca e braquiária). O preparo da área consistiu apenas de calagem, com aplicação de calcário dolomítico na quantidade de 1,0 t ha<sup>-1</sup> (08/05/2019) para elevar a saturação de bases para 70%, de acordo com análise química do solo (Tabela 3).

A adubação de plantio foi realizada em 20/07/2020, utilizando-se dos seguintes fertilizantes por cova: esterco de gado (5 L), superfosfato simples (133 g) e FTE “Fritted Trace Elements” BR-12 (50 g). As adubações de cobertura foram feitas manualmente, a cada 15 dias com parcelamento das quantidades de fertilizantes recomendadas para os períodos vegetativos e de produção, conforme Oliveira e Coelho (2009).

**Tabela 3.** Análise química do solo da área experimental, Cruz das Almas-BA.

Prof.	pH (H <sub>2</sub> O)	P mg/dm <sup>3</sup>	K	Ca	Mg	Al	Na	H	CTC	V %	M.O g/kg
						cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>					
0-20	5.9	18	0.27	1.4	0.57	0	0.04	2.2	4.48	51	11
20-40	5.7	8	0.15	1.26	0.47	0	0.03	2.31	4.22	45	8

O transplântio das mudas foi realizado no dia 21 de julho de 2020, com aproximadamente 20 cm de altura, em covas nas dimensões 0,40 x 0,40 x 0,40 m, espaçadas em 3,0 x 2,0 m em sistema de fileiras simples resultando em 1.666 plantas ha<sup>-1</sup> (Figura 1). Foram colocadas três mudas por cova, em distribuição triangular de 0,30 x 0,30 x 0,30 m, as quais foram mantidas até o início da floração, entre o terceiro e quarto mês após o transplântio (outubro/novembro de 2020), quando foi iniciada a sexagem, eliminando as plantas femininas deixando apenas plantas hermafroditas para ser submetida às avaliações dos caracteres morfoagronômicos e fisiológicas.

**Figura1.** Localização da área experimental e identificação das parcelas ITR2, ITR10 (irrigação com turno de rega de dois e dez dias, respectivamente) e blocos.



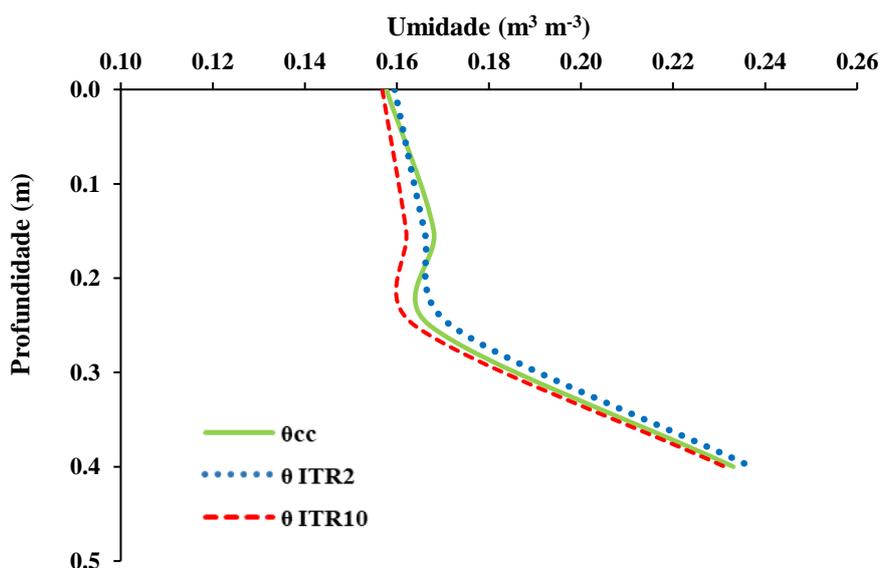
Autor: Tibério Santos Martins da Silva

## 2.2. Aplicação do déficit hídrico

A sexagem das plantas foi iniciada quando cerca de 80% das plantas entraram em floração, com o intuito de evitar desuniformidade entre as plantas sexadas e as não sexadas, e o tratamento só foi aplicado após sexagem de 90% das plantas.

Iniciou-se a aplicação dos tratamentos com elevação da umidade do solo ao limite superior da capacidade de campo na profundidade efetiva do sistema radicular (Figura 2). A reposição de água no solo era realizada com um intervalo de rega de dois dias (ITR2) e dez dias (ITR10), com o objetivo de simular uma estiagem.

**Figura 2.** Umidade inicial do solo nas parcelas controle (ITR2) e deficitária (ITR10) após a irrigação para elevação da água do solo até o limite superior da capacidade de campo ( $\theta_{cc}$ ). Cruz das Almas, BA, 2021.

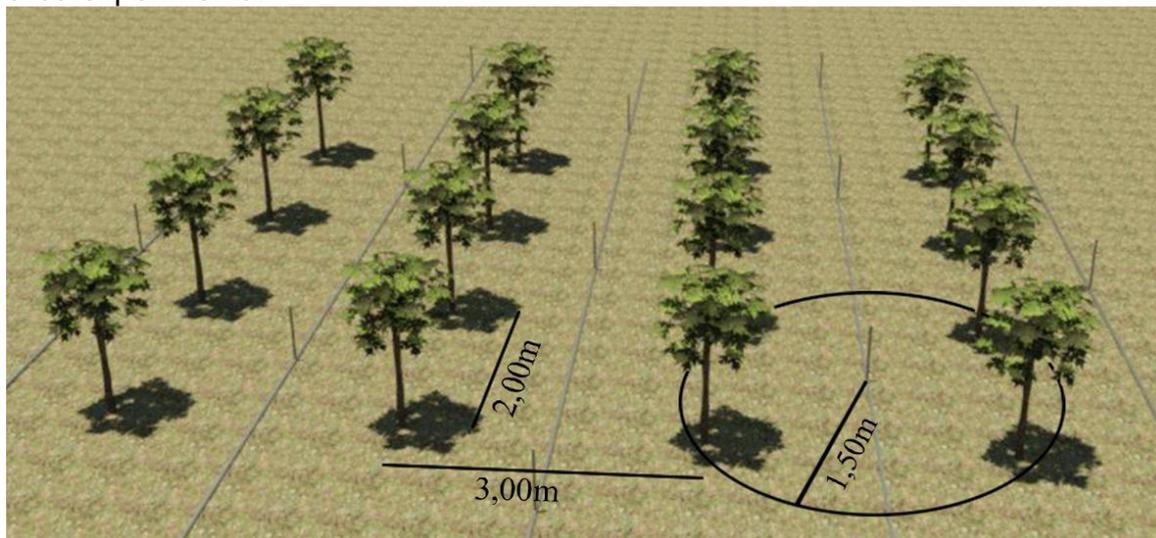


## 2.3. Sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi por microaspersão, com o objetivo de simular uma precipitação abaixo da copa, com aspersores dispostos de 3,0 m entre linhas e 4,0 m entre emissores, instalados entre as linhas de cultivo, posicionados a 1,5 m de distância das linhas de plantio. Cada emissor foi posicionado no centro de quatro plantas, e dispostos alternadamente entre linhas laterais subsequentes,

com um emissor para duas plantas (Figura 3). Essa configuração do sistema de irrigação permitiu uma área molhada de 100% em relação à área ocupada por cada planta ( $6 \text{ m}^2$ ). A vazão média nos microaspersores foi  $99 \text{ L h}^{-1}$ , com um raio de ação de 1,5 m, a uma pressão de serviço no cabeçal de controle, de 1,5 bar (0,15 MPa), e uniformidade de aplicação de 90%.

**Figura 3.** Esquema da disposição do sistema de irrigação por microaspersão na área experimental.



## 2.4. Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi realizado com o objetivo de elevar o conteúdo de água do solo ao limite superior de água disponível (capacidade de campo), e o volume de água aplicado foi estimado em função da disponibilidade de água na profundidade efetiva do sistema radicular (0,40m). A reposição de água no solo foi baseada no monitoramento da umidade do solo obtida pelo método indireto da Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR), através de tubos de acesso de PVC com 1,15 m de comprimento e 0,025 m de diâmetro interno.

Foi instalado um tubo de acesso por planta e três tubos por genótipo, totalizando 30 tubos na parcela de déficit, enquanto na parcela controle foram instalados apenas três tubos na cultivar Tainung nº1. O posicionamento dos tubos de acesso para monitoramento da água do solo foi na linha de plantio, na região de maior densidade de comprimento de raízes, a 0,35 m de distância do caule, para o

mamoeiro irrigado por microaspersão (COELHO; SANTOS; COELHO FILHO, 2005).

A sonda FDR utilizada foi Delta-T, modelo PR2/6, configurada para realizar, de uma só vez, leituras de umidade nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,60 e 1,00 m. As leituras foram realizadas pela manhã antes das irrigações. Em cada tubo de acesso foram realizadas três leituras, uma a cada giro de 120° do sensor, conforme recomendações descritas no manual SM 150T Soil Moisture Sensor versão 4.2.

As leituras realizadas pelo sensor, através dos tubos de acessos, eram registradas por um data logger em milivolts (mV), e após convertidas para volts foram transformadas para umidade volumétrica ( $m^3 m^{-3}$ ) por meio da curva de calibração da sonda, calibrada para o solo da área experimental por Ferreira (2019) por meio da Equação 1 ( $R^2 = 0,80^{**}$ ):

$$\theta = 0.5281V - 0,0683 \quad (1)$$

Em que:

$\theta$  – Umidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ );

V – Leitura da sonda em volts.

A lâmina de irrigação foi estimada pela variação da armazenagem de água do solo entre as irrigações, e os valores de umidade considerados para o cálculo da lâmina de irrigação foram os valores médios de umidade dos tubos de acesso em cada parcela antes da irrigação, conforme equação 2. A lâmina bruta, a intensidade de aplicação e o tempo de irrigação foram calculados com base nas equações 3, 4 e 5, respectivamente.

$$IRN = \sum (\theta_{cc} - \theta_{atual}) \times Z \quad (2) \quad (6)$$

Em que:

IRN – irrigação real necessária, mm;

$\theta_{cc}$  – umidade na capacidade de campo,  $m^3 m^{-3}$ ,

$\theta_{atual}$  – umidade atual,  $m^3 m^{-3}$ .

Z=profundidade efetiva do sistema radicular (m)

$$ITN = \frac{IRN}{Ea} \quad (3)$$

Em que:

ITN – irrigação total necessária, mm;

IRN– irrigação real necessária, mm;

Ea – Eficiência de aplicação (90%).

$$Ia = \frac{Ne \times Ve}{Aw} \quad (4)$$

Em que:

Ia – Intensidade de aplicação de água, mm h<sup>-1</sup>;

Ne – Número de emissores por planta;

Ve – Vazão de cada emissor, L h<sup>-1</sup>;

Aw – Área molhada por planta, m<sup>2</sup>.

$$Ti = \frac{ITN}{Ia} \quad (5)$$

Em que:

Ti – Tempo de irrigação, horas;

ITN – irrigação total necessária, mm;

Ia – Intensidade de aplicação de água, mm h<sup>-1</sup>.

## 2.5. Condições climáticas

Os dados agrometeorológicos (temperatura, precipitação pluvial, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento) foram registradas pela estação meteorológica automática instalada no próprio *Campus* da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, distante 1,5 km da área experimental. Os dados climatológicos, valores totais e mensais, para cada mês de cultivo do mamoeiro (21/07/2020 à 20/07/21) estão apresentados na Tabela 4. Os maiores valores de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) ocorreram entre os meses de outubro a março, com valores médios diários de 3,9 mm. Durante o período de setembro de 2020 a março de 2021 o total de precipitação foi inferior à ET<sub>o</sub>, caracterizando este como o período mais seco do ano experimental. A média dos valores da

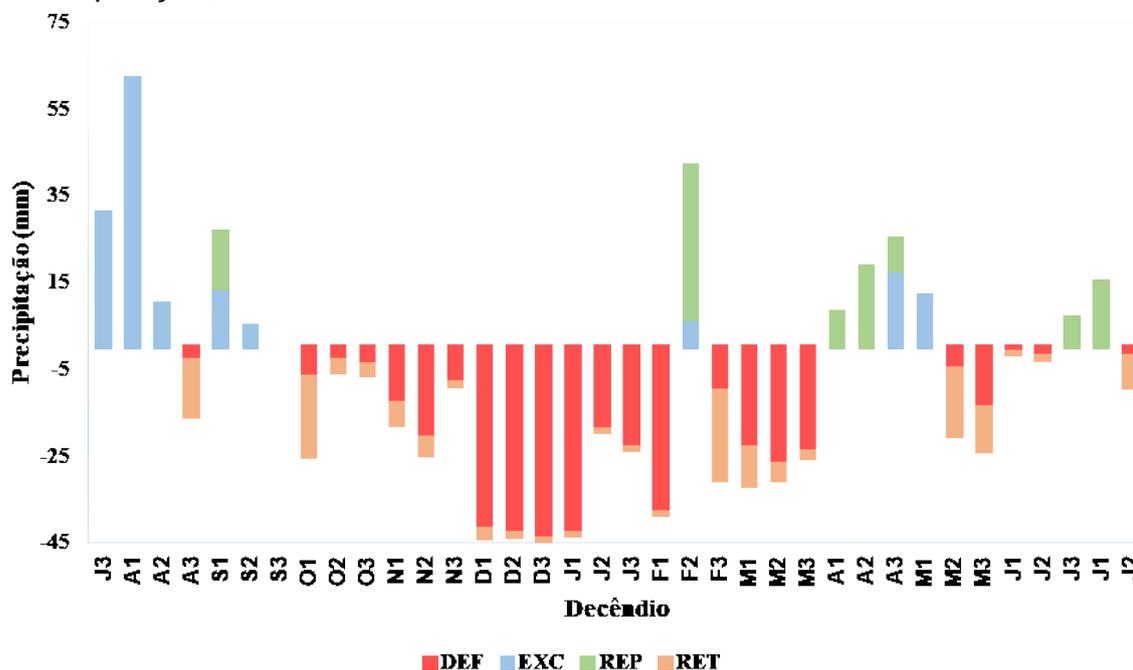
temperatura ficou em torno de 24,6 °C, alcançando valores máximos horários entre 34 °C até 36,5 °C durante o período de outubro a abril. A umidade relativa média esteve em torno de 84,4%, com valor máximo observado durante os meses de junho e julho. Durante todo o período (12 meses) o total precipitado foi de apenas 792,3 mm, ficando bem abaixo da média para a região que é em torno de 1200 mm anuais.

**Tabela 4.** Valores mensais de evapotranspiração de referência (ETo, mm mês<sup>-1</sup>), precipitação total (P, mm mês<sup>-1</sup>), temperatura média (Tmed, °C), temperatura máxima (Tmax, °C), temperatura mínima (Tmin, °C), umidade relativa (URmed, %), radiação solar (Rs, W m<sup>-2</sup>) e velocidade do vento a 2 m de altura (U2, m s<sup>-1</sup>), durante o período de condução do experimento em Cruz das Almas-BA.

Mês	Dias	Eto	P	Tmax	Tmin	Tmed	URmed	Rs	U2
jul/20	11	27,0	41,0	22,3	21,2	21,7	90,1	165,5	2,2
ago/20	31	82,5	98,6	22,3	21,2	21,7	89,5	175,3	2,1
set/20	30	97,6	95,0	23,3	22,1	22,7	88,1	207,7	2,0
out/20	31	123,3	41,4	26,7	25,3	26,0	78,6	341,3	2,1
nov/20	30	111,8	62,7	25,6	24,4	25,0	81,6	211,1	2,0
dez/20	31	130,2	1,50	26,5	25,1	25,8	77,7	233,8	2,1
jan/21	31	112,1	29,5	26,2	25,0	25,6	81,2	206,3	2,1
fev/21	28	110,0	85,6	26,9	25,6	26,2	78,6	200,5	1,9
mar/21	31	117,9	30,5	26,2	24,9	25,6	79,9	218,0	1,8
abr/21	30	88,4	141,6	25,3	24,3	24,8	87,3	172,5	1,7
mai/21	31	76,6	45,4	23,6	22,5	23,0	88,4	162,6	1,8
jun/21	30	61,1	69,6	22,8	21,8	22,3	91,4	135,0	1,7
jul/21	20	39,7	49,9	22,0	22,0	21,1	91,7	223,2	2,0
Média				24,6	23,6	24,2	84,4	202,5	2,0
Total	365	1178,4	792,3						

A partir dos valores médios mensais de Eto e da precipitação acumulada registrados durante o período experimental, considerando a capacidade de armazenamento de água do solo até 0,40 m (AD=36 mm) e a demanda de água do mamoeiro para cada fase fenológica, obteve-se o balanço hídrico climatológico para a cultura nas condições edafoclimáticas de Cruz das Almas (Figura 4). Na Figura 3, é possível notar que houve um pronunciado período de déficit hídrico de aproximadamente seis meses (outubro de 2020 a março 2021).

**Figura 4.** Balanço hídrico climatológico sequencial ocorrido entre julho de 2020 a julho de 2021, no município de Cruz das Almas- BA. DEF=déficit; EXC=excesso; REP=reposição; RET=retirada.

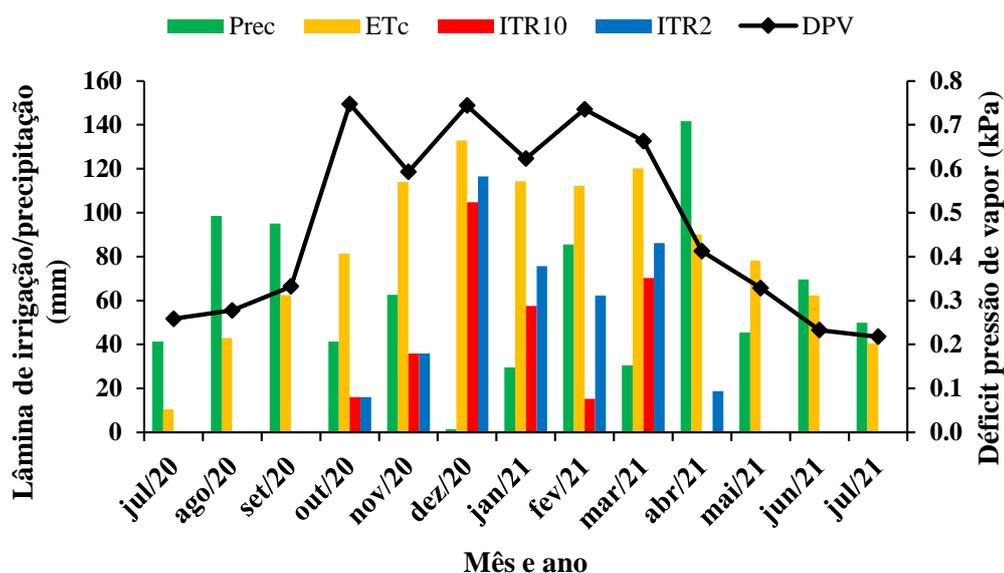


Embora, tenha sido registrada precipitação superior a 85 mm no segundo decêndio de fevereiro, cerca de 95% da chuva precipitou em apenas dois dias (18 e 19 de fevereiro de 2021) e, portanto, essa água não foi efetivamente utilizada pela planta, o que é mostrado pela depleção da água do solo durante o último decêndio de fevereiro e perdurando todo o mês de março, quando inicia o período das chuvas na região. Portanto, o período escolhido para o transplântio das mudas foi apropriado, uma vez que as plantas com menor frequência do turno de rega (ITR10) foram submetidas ao estresse por déficit hídrico, ou seja, as precipitações não foram suficientes para mascarar o efeito do turno de rega entre as parcelas.

Durante o período de outubro/2020 a abril/2021, o volume de água aplicada no tratamento com turno de rega de dois dias (ITR2) foi 411,5 mm, enquanto nas plantas da parcela com limitação hídrica a lâmina de irrigação total fornecida foi 27% menor (299,8 mm), o equivalente a uma redução de 670 L de água por planta. Observa-se pela Figura 4 que este foi o período de maior demanda hídrica da cultura (90 a 240 DAT), e que até março de 2021, ocorreram também os menores valores mensais de precipitação acumulada combinados com os maiores déficits de pressão de vapor do ar ( $DPV_{ar}$ ). Muito embora o  $DPV_{ar}$  não tenha ultrapassado valores de 0,75 kPa (Figura 5), as temperaturas mais elevadas com umidade

relativa menor, durante os dias mais quentes do período, promoveram uma elevação do  $DPV_{ar}$  a valores em torno de 2,5 kPa.

**Figura 5.** Valores totais da evapotranspiração da cultura (Etc) (estimados a partir da evapotranspiração de referência– $ETo$  e do coeficiente de cultura do mamoeiro– $Kc$ ); precipitação (Prec), déficit de pressão de vapor (DPV) e lâminas de irrigação aplicadas no tratamento controle (ITR2) e no tratamento com limitação hídrica (ITR10), durante o período de 21 de julho de 2020 a 20 de julho 2021, Cruz das Almas-BA.



## 2.6. Variáveis morfoagronômicas

As avaliações dos genótipos foram efetuadas segundo a “Caderneta de Campo para Ensaio Nacional com Mamão”, que foi baseada no Manual de Descritores para Mamão [Catálogo de Germoplasma de Mamão (*Carica papaya* L.)], ajustado pela Embrapa Mandioca e Fruticultura a partir dos descritores estabelecidos pelo *International Board for Plant Genetic Resources* (IBPGR, 1988), atualmente *Bioversity International*, com alterações recomendadas por Dantas *et al.* (2000).

Os caracteres morfoagronômicos avaliados foram:

- Altura da planta (AP): expressa em cm, com auxílio de uma régua de madeira mediu-se a distância entre a superfície do solo até o ponto de inserção da folha mais nova, localizado no ápice caulinar, avaliada aos 30, 60, 90, 120, 180 e 210 DAT (dias após o transplante);

- b) Diâmetro do caule (DC): expressa em cm, medido a 20 cm acima do nível do solo, com auxílio de um paquímetro de madeira com régua graduada, avaliado aos 30, 60, 90, 120, 180 e 210 DAT;
- c) Área foliar total (AFT): expressa em m<sup>2</sup>, avaliada aos 30, 60, 90, 120, 180 e 210 DAT, estimada pelo somatório das áreas das superfícies foliares (equação 6), conforme a equação 7, proposta por Alves e Santos (2002), e adaptado por Coelho Filho *et al.* (2005).

$$AFT = \sum_{1}^{n} \left( \frac{0,0947L^{2,7352}}{10000} \right) \quad (6)$$

$$AF = 0,0947 \times L^{2,7352} \quad (7)$$

Em que:

AFT – área foliar total, m<sup>2</sup>;

AF – área foliar, cm<sup>2</sup>;

L – Comprimento do lóbulo central, cm.

- d) Altura de inserção dos primeiros frutos (AIPF): expressa em cm, com o auxílio de uma régua de madeira mediu-se a altura de inserção da primeira flor funcional (que produz frutos), no início da produção, a partir da superfície do solo, contígua ao colo da planta, até o ponto de inserção do primeiro fruto;
- e) Precocidade: avaliada mediante indicação da data da primeira colheita de frutos;
- f) Número de frutos comerciais por planta (NFC): avaliado aos nove meses após o transplântio, por meio da contagem de todos os frutos com características comerciais presentes em cada planta;
- g) Número de frutos deformados por planta (NFD): avaliado aos nove meses após o transplântio, por meio da contagem de frutos carpelóides, pentândricos e bananiformes presentes em cada planta;
- h) Número de nós sem frutos (NNSF): avaliado aos nove meses após o transplântio, na região denominada usualmente por “pescoço”, mediante contagem do número de nós que não produziram frutos;

Para as análises das características físicas dos frutos comerciais foram determinados: o comprimento (CF), diâmetro (DF) e massa dos frutos (MF). Para essas avaliações, foram amostrados seis frutos por parcela, dois frutos por planta, no estágio de maturação  $\frac{1}{4}$  maduro, com até 25% da casca amarela. O CF foi determinado por meio de medições no sentido longitudinal e o DF, medições no sentido transversal. Ambas leituras foram realizadas com um paquímetro. Na determinação na MF foi utilizada uma balança.

A produtividade (PROD), expressa em  $t\ ha^{-1}$ , foi estimada pela multiplicação do número de frutos comerciais por planta (NFC) pela massa média do fruto por planta (MF), considerando um estande de 1.666 plantas por  $ha^{-1}$ .

## **2.7. Delineamento experimental e análise estatística**

O experimento foi conduzido no delineamento de blocos casualizados, em parcela subdividida, composta por dois regimes de irrigação, a saber: irrigação com turno de rega de dois dias (ITR2) e irrigação com turno de rega de dez dias (ITR10); e com cinco repetições, sendo os regimes de irrigação distribuídos nas parcelas e os genótipos nas subparcelas, totalizando cem subparcelas experimentais. Cada subparcela consistia em cinco plantas, sendo uma planta entre as subparcelas considerada bordadura (três plantas úteis), totalizando 500 plantas no experimento.

As variáveis morfoagronômicas foram submetidas à análise de variância precedida do teste F e quando significativas, foi estudado o efeito dos fatores e os desdobramentos conforme as interações. As médias dos tratamentos foram submetidas à análise de agrupamento pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, pelo software R Core Team (2021) utilizando o pacote Expdes.pt (FERREIRA *et al.*, 2021).

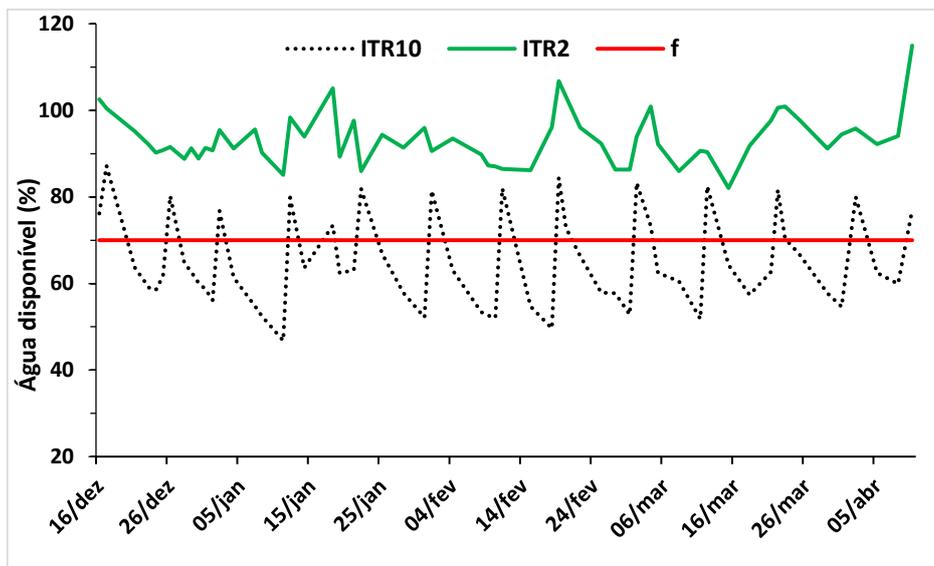
## **3. RESULTADOS**

### **3.1. Irrigação e teor de água no solo**

O uso da microaspersão para irrigação do mamoeiro no presente trabalho foi uma alternativa escolhida para simular uma chuva, e o turno de rega incomum para irrigação localizada (a cada dez dias) teve o objetivo de analisar o efeito do secamento do solo no desenvolvimento e na produtividade dos híbridos de mamoeiro.

A água disponível no solo no tratamento que recebeu irrigação a cada dois dias, manteve-se próximo ao limite superior da capacidade de campo, com valores superiores ao limite crítico de água disponível (f) exigido pelo mamoeiro (Figura 6). A limitação hídrica imposta pelo turno de rega de dez dias, promoveu a redução na disponibilidade da água, abaixo de 70%, em função da menor frequência de irrigação, e submeteu as plantas a um déficit hídrico. O menor valor médio de armazenamento observado na parcela com limitação hídrica foi 47%, registrado em 11/01/2021, período em que não ocorreu nenhuma precipitação dentro do intervalo entre irrigações (01/01/2021 a 11/01/2021).

**Figura 6.** Variação da água disponível no solo nos dois regimes de irrigação: irrigação com turno de rega de dois (ITR2) e dez dias (ITR10), e limite inferior da disponibilidade de água no solo para o mamoeiro (f), em Cruz das Almas – BA, 2021.

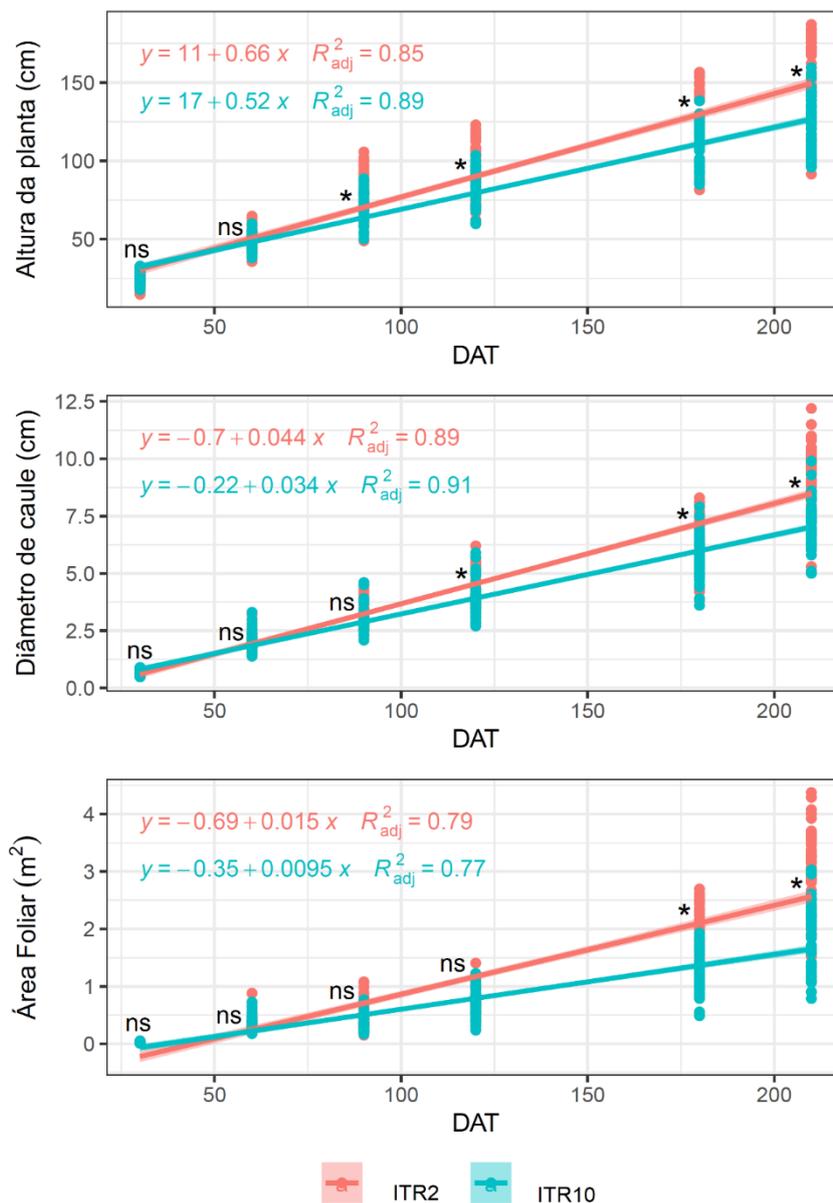


### 3.2. Efeito do regime de irrigação no crescimento e produtividade

Foram obtidos modelos de regressão para altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC) e área foliar total (AFT) do mamoeiro em função dos dias após o transplântio (DAT) para os dois regimes de irrigação, com coeficientes de regressão significativos a 5%, pelo teste F (Figura 7). As regressões polinomiais ajustadas apresentaram um comportamento linear crescente em relação a DAT e os coeficientes de regressão variaram de alto (AP e DC) a médio (AFT). Para AP não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre as médias dos genótipos aos 30 e 60 DAT. O déficit hídrico reduziu o DC dos genótipos aos 120, 180 e 210 DAT

enquanto a AFT média só apresentou diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) aos 180 e 210 DAT.

**Figura 7.** Taxa de crescimento média de altura de plantas (AP), diâmetro de caule (DC) e área foliar total (AFT) de genótipos de mamoeiros cultivados sob dois regimes de irrigação avaliados dias após o transplante (DAT). Cruz das Almas, BA, 2021.



As plantas analisadas apresentaram crescimento linear em altura nos dois ambientes até os 210 DAT, com altura média estimada de 31,7 cm e 49,4cm aos 30 e 60 DAT, respectivamente. Analisando o efeito da disponibilidade de água na altura das plantas de mamoeiro, houve redução significativa do crescimento das plantas submetidas à limitação hídrica a partir dos 90 DAT. A altura média estimada

das plantas na parcela controle (ITR2) aos 120 DAT, início da produção de frutos, foi de 90,2 cm contra 79,4 cm, apresentando estreita relação com as médias observadas (94,3 e 82,2 cm) e correspondendo a uma redução de 12,0% na altura média das plantas. Aos 180 e 210 DAT as reduções foram de 14,8% e 15,6% e a altura estimada das plantas na condição ITR10 foi de apenas 149,6 cm na última avaliação.

Observa-se que a restrição de água reduziu o diâmetro do caule das plantas ITR10 a partir dos 120 DAT. As plantas da parcela ITR2 apresentaram diâmetro médio de 9,1 cm contra 7,3 cm das plantas com limitação hídrica aos 7 meses de idade (210 DAT), sendo a maior redução observada em todas as épocas avaliadas. O diâmetro do caule também apresentou crescimento linear até os 210 DAT, quando o diâmetro estimado para as plantas em ITR2 foi de 9,94 cm, valor semelhante ao máximo encontrado por Coelho Filho e Coelho (2007) em mamoeiro cultivados em Cruz das Almas-BA, após a estabilização do crescimento aos 230 DAP (11,80 cm). Para as plantas na condição ITR10 o diâmetro médio estimado foi de 7,36 cm e a redução média do DC dos 120 aos 210 DAT foi de 26,8%.

O efeito da limitação hídrica foi ainda maior para a AFT cuja redução foi da ordem de 38,9% aos 210 DAT, passando de 3,84 m<sup>2</sup> no regime ITR2 para 2,35 m<sup>2</sup> em ITR10 (Figura 7). No geral, a restrição de água reduziu 39% da área foliar das plantas em ITR10 durante todo o período de imposição do estresse.

Houve diferença altamente significativa ( $p \leq 0,01$ ) para os caracteres AP, DC, AFT, NFC, NFD, PROD, DF, CF e MF nos tratamentos ITR2 e ITR10 (Tabela 5). Para os caracteres AIPF, PREC e NNSF o efeito do ambiente foi significativo a 5% ( $p \leq 0,05$ ). Para a fonte de variação genótipo as diferenças foram altamente significativas ( $p \leq 0,001$ ) em todas as características avaliadas. A interação genótipo por ambiente foi significativa a 5% para AP e CF, e altamente significativa para AIPF, NFC, NFD, PROD, MF. Para DC, AFT, PRECO, NNSF e DF não houve interação.

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância para características morfoagronômicas de mamoeiros cultivados sob dois regimes de irrigação (ambientes). Cruz das Almas, BA, 2021.

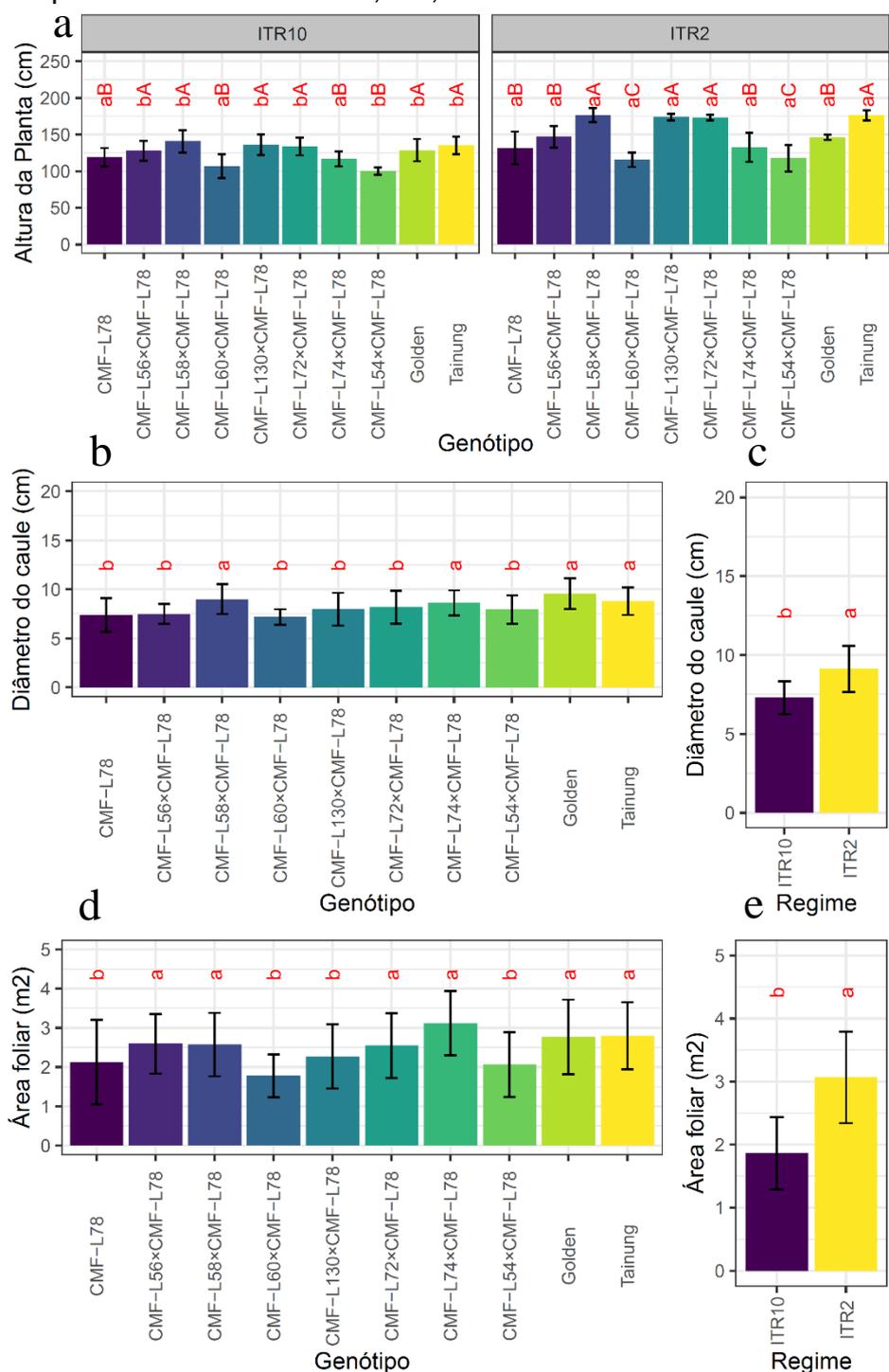
FV	Ambiente (A)	Bloco	Erro A	Genótipo (G)	G x A	Erro B	CV 1(%)	CV 2(%)
GL	1	4	4	9	9	72	-	-
Variáveis	QUADRADOS MÉDIOS							
AP	1941,2**	198,1 <sup>ns</sup>	363,2	3519,4***	384,1*	160	13,93	9,25
DC	83,72**	1,356 <sup>ns</sup>	1,298	5,966***	1,604 <sup>ns</sup>	1,084	13,88	12,68
AFT	36,108***	0,236 <sup>ns</sup>	0,471	1,612***	0,163 <sup>ns</sup>	0,317	27,85	22,86
AIPF	1045,0*	71,3 <sup>ns</sup>	110,55	2420,9***	214,7**	64,27	9,98	7,61
PRECO	2798,4*	340,8 <sup>ns</sup>	252,54	1603,1***	612,7 <sup>ns</sup>	383,22	5,28	6,50
NFC	5331***	20,3	31,5	412,1***	27,0***	6,4	27,37	12,34
NFD	51,12**	0,99 <sup>ns</sup>	0,70	17,7***	4,4***	1,03	35,53	42,97
NNSF	159,64*	3,73 <sup>ns</sup>	20,28	40,05***	8,99 <sup>ns</sup>	6,45	76,04	42,87
PROD	7176,0***	13,4 <sup>ns</sup>	22,8	773,1***	67,9***	7,8	23,83	13,97
DF	8,32***	0,014 <sup>ns</sup>	0,0096	7,33***	0,074 <sup>ns</sup>	0,07	1,12	3,02
CF	14,23***	0,415 <sup>ns</sup>	0,115	197,14***	0,962*	0,460	2,14	4,28
MF	271233***	2000 <sup>ns</sup>	1201	685509***	13468***	2169	5,85	7,87

AP= altura de planta (cm); DC= diâmetro de fruto (cm); AFT=área foliar total (m<sup>2</sup>); AIPF=altura de inserção do primeiro fruto (cm); PREC=precocidade (dias); NFC=número de frutos comerciais; NFD=número de frutos deformados; NNSF=número de nós sem frutos; PROD=produtividade (t ha<sup>-1</sup>); DF=diâmetro do fruto (cm); CF=comprimento do fruto (cm); MF=massa do fruto (g); CV1 = coeficiente de variação da parcela experimental; CV2= coeficiente de variação da subparcela. \*\*\* significativo ( $p \leq 0,001$ ); \*\* significativo ( $p \leq 0,01$ ); \* significativo ( $p \leq 0,05$ ); ns não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F.

Na Figura 8A estão apresentadas as médias dos genótipos para altura de plantas (AP), nos dois regimes de irrigação, comparadas pelo teste de Scott-Knott e avaliados ao final dos tratamentos de irrigação (210 DAT). Avaliando o efeito simples dos genótipos para altura de plantas, em ambos os regimes, verificou-se a formação de três grupos no regime ITR2 e dois no regime ITR10. O híbrido CMF-L58×CMF-L78 apresentou a maior altura média (176,40 cm), não diferindo das médias dos genótipos 'Tainung nº1' (176,33 cm), CMF-130×CMF-L78 (173,73 cm) e CMF-L72×CMF-L78 (173,13 cm). O segundo grupo com maiores alturas foi formado pelos híbridos CMF-L56×CMF-L78 (147,00 cm) e CMF-L74×CMF-L78 (132,67 cm) que foram estatisticamente iguais às médias das cultivares Golden (146,3 cm) e BRS-L78 (131,6 cm). Embora o déficit hídrico tenha reduzido a altura média dos genótipos 'Tainung nº1' (135,27 cm), CMF-L58×CMF-L78 (140,8 cm),

CMF-130×CMF-L78 (136,27 cm) e CMF-L72×CMF-L78 (133,80 cm), eles ainda se mantiveram superiores aos demais, não diferindo da testemunha 'Golden' (128,67 cm) e do híbrido CMF-L56×CMF-L78 (128,07 cm) no ambiente ITR10. Aos 210 DAT, a restrição hídrica promoveu redução na altura de todos os genótipos, exceto para 'BRS-L78', CMF-L60×CMF-L78, CMF-L74×CMF-L78, cujas médias não diferiram estatisticamente entre os dois ambientes. As menores alturas médias observadas nos dois regimes de irrigação foram dos híbridos CMF-L54×CMF-L78 (117,4 cm e 99,93 cm, respectivamente) e CMF-L60×CMF-L78 (115,60 cm e 106,34 cm, respectivamente), porém sob limitação hídrica não diferiram do CMF-L74×CMF-L78 (116,80 cm) e do parental 'BRS-L78' (119,00 cm).

**Figura 8.** Médias de altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC) e área foliar de sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung n°1', 'Golden' e 'BRS-L78') de mamoeiro, cultivados sob dois regimes de irrigação e avaliadas aos 210 dias após o transplante. Cruz das Almas, BA, 2021.



Desdobramento de efeitos da interação genótipo por ambiente. Médias seguidas de mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade para comparação de cada genótipo entre os regimes níveis de irrigação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade para comparação entre genótipos dentro de cada nível de irrigação.

O diâmetro de caule não variou muito entre os híbridos, com formação de dois grupos (figura 8b). Constatou-se que os híbridos com maiores DC médios foram CMF-L58×CMF-L78 (9,0 cm) e CMF-L74×CMF-L78 (8,6 cm) sem diferirem da cultivar Golden (9,6 cm) e Tainung nº1 (8,79 cm). Os demais genótipos não diferiram do parental 'BRS-L78' (7,4 cm) e apresentaram as menores médias para esta característica, variando de 7,2 cm (CMF-L60×CMF-L78) a 8,2 cm (CMF-L72×CMF-L78).

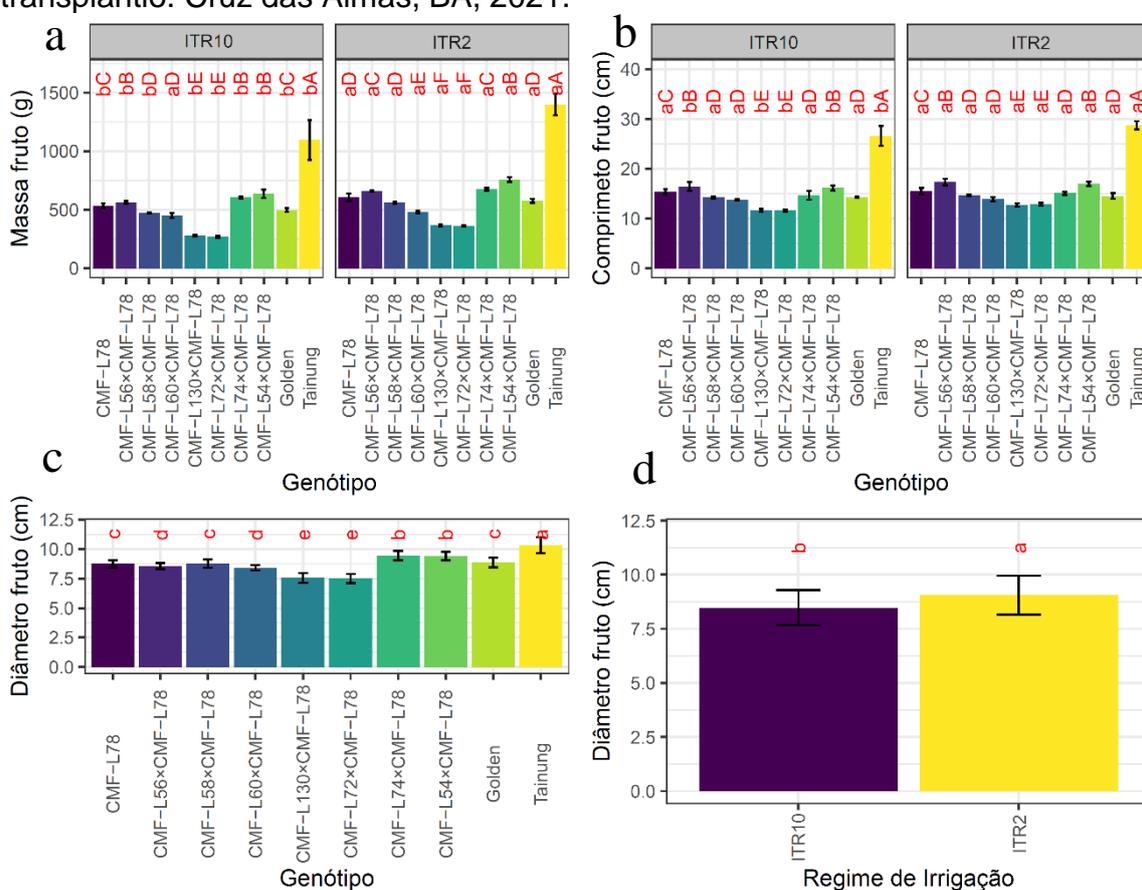
Observa-se que a restrição de água no solo, reduziu o diâmetro do caule das plantas submetidas ao regime ITR10. A redução promovida no DC pelo efeito da menor frequência de irrigação foi 19,8% (Figura 8c). As plantas da parcela ITR2 apresentaram diâmetro médio de 9,1 cm contra 7,3 cm das plantas com restrição hídrica avaliadas aos sete meses após o transplante.

Os híbridos CMF-L74×CMF-L78 (3,1 m<sup>2</sup>), CMF-L56×CMF-L78 (2,6m<sup>2</sup>) e CMF-L58×CMF-L78 (2,6m<sup>2</sup>) apresentaram os maiores valores médios de área foliar e estatisticamente iguais aos das testemunhas 'Tainung nº1' (2,8 m<sup>2</sup>) e 'Golden' (2,8 m<sup>2</sup>) formando o grupo com a maior área foliar média (Figura 7d). Os híbridos CMF-L54×CMF-L78 (2,0 m<sup>2</sup>), CMF-L60×CMF-L78 (1,8 m<sup>2</sup>), CMF-130×CMF-L78 (2,3 m<sup>2</sup>) e CMF-L72×CMF-L78 (2,5 m<sup>2</sup>) não diferiram da linhagem testadora 'BRS-L78' (2,1) apresentando valores estatisticamente menores que as cultivares comerciais. O déficit hídrico imposto pelo tratamento ITR10 reduziu em 39% a área foliar média das plantas, passando de 3,04 m<sup>2</sup> no regime ITR2 para 1,85 m<sup>2</sup> em ITR10 (Figura 8e).

Para o caráter AIPF (Figura 9a) houve ampla variabilidade com formação de quatro grupos, nos dois ambientes, com variação de 71,8 cm (CMF-L54×CMF-L78) a 130,9 cm ('Tainung nº1') no regime ITR2, e 72,4 cm (CMF-L54×CMF-L78) a 121,0 cm (CMF-130×CMF-L78) em ITR10. Considerando a média geral dos genótipos nas duas condições hídricas a AIPF variou de 121,3 cm (CMF-130×CMF-L78) a 72,1 (CMF-L54×CMF-L78), próximos aos valores encontrados por Silva *et al.* (2010), Dantas *et al.* (2015) e Barros *et al.* (2015). O híbrido CMF-L54×CMF-L78 se destacou por apresentar a menor média para altura de inserção dos primeiros frutos nos dois regimes hídricos, diferindo estaticamente dos demais genótipos. O segundo grupo com as menores médias foi formado pelos genótipos 'Golden' (97,7cm), CMF-L60×CMF-L78 (92,3 cm) e CMF-L74×CMF-L78 (102,7 cm) na condição ITR2 e apenas pelo CMF-L60×CMF-L78 (89,0 cm) sob limitação hídrica,

e foram inferiores às médias da linhagem testadora 'BRS-L78 (106,0 cm). As maiores médias para AIPF foram dos genótipos 'Tainung n°1' (130,9 cm), CMF-L58×CMF-L78 (127,6 cm), CMF-130×CMF-L78 (121,7 cm) e CMF-L72×CMF-L78 (122 cm) em ITR2. Apenas os genótipos 'Tainung n°1', CMF-L58×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78 apresentaram redução significativa da AIPF em função da baixa disponibilidade de água.

**Figura 9.** Médias das características morfoagronômicas de sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung n°1', 'Golden' e 'BRS-L78') de mamoeiro cultivados sob dois regimes de irrigação e avaliadas aos 270 dias após o transplântio. Cruz das Almas, BA, 2021.



Desdobramento de efeitos da interação genótipo x regime de irrigação. Médias seguidas de mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade para comparação de cada genótipo entre os regimes de irrigação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade para comparação entre genótipos dentro de cada regime de irrigação.

Em relação ao caráter NFC (Figura 9b), houve a formação de três grupos, para os dois regimes de irrigação. Na condição irrigada, o híbrido CMF-L54×CMF-

L78 (38 frutos) foi superior aos demais, seguido dos híbridos CMF-L56×CMF-L78 (34,8 frutos), CMF-130×CMF-L78 (33,5 frutos) e CMF-L72×CMF-L78 (32,5 frutos) que não diferiram entre si e foram estaticamente superiores às cultivares comerciais. O número de frutos comerciais foi drasticamente reduzido nas plantas de todos os genótipos em ITR10, em média 43%. Sob limitação de água o CMF-L56×CMF-L78 (24,3 frutos) não diferiu do CMF-L54×CMF-L78 (24,5 frutos) sendo superiores aos demais, com redução de apenas 29,9% e 35,8% do número de frutos comerciais, respectivamente. Os híbridos CMF-L74×CMF-L78 (6,6 frutos) e CMF-L58×CMF-L78 (10,1 frutos) tiveram o pior desempenho, não diferindo das cultivares Tainung nº1 (8,2 frutos), Golden (8,8 frutos) e BRS-L78 (7,9 frutos) em ITR10, com reduções superiores a 60% no NFC.

Para o caráter NFD (Figura 9c), houve formação de três e dois grupos, respectivamente em condições controle e de limitação hídrica. As médias para este descritor variaram de 0,2 frutos a 6,3 frutos nas plantas controle e de 0 a 2,8 frutos deformados em ITR10. O número de frutos deformados na condição controle foi, em média, 43% maior que na condição ITR10, em função do efeito negativo da menor disponibilidade de água na produção total de frutos. Comparando a média de NFD dos genótipos dentro da parcela controle destacam-se os genótipos CMF-L60×CMF-L78 (1,4 fruto) e CMF-L74×CMF-L78 (0,2 fruto) com os menores valores médios sem diferir estaticamente do parental 'BRS-L78' (1,5 fruto). As maiores médias para esta característica foram observadas para o CMF-L58×CMF-L78 e para a testemunha 'Tainung nº1' com uma média de seis frutos deformados por planta. Na parcela ITR10, além dos genótipos CMF-L74×CMF-L78 (0 fruto) e do parental 'BRS-L78' (0,5 fruto), os híbridos CMF-L72×CMF-L78 e CMF-130×CMF-L78 apresentaram as menores médias para esta característica, 1,2 fruto e 1,0 fruto, respectivamente, sem diferir entre si.

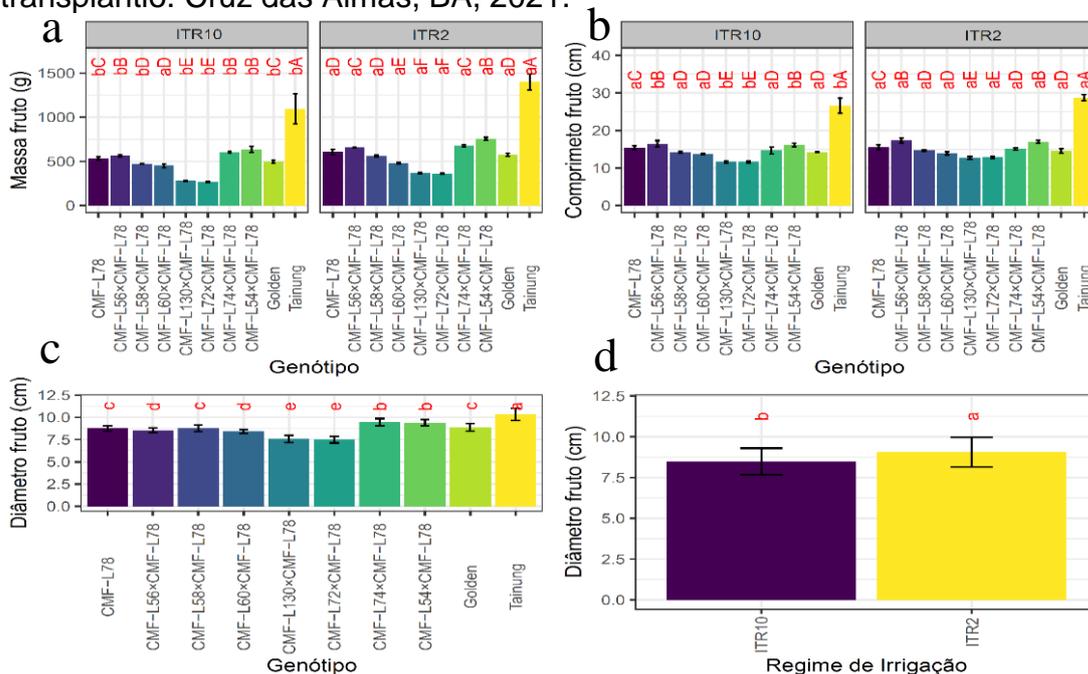
A produtividade dos genótipos de mamoeiros variou de 19,6 t ha<sup>-1</sup> a 47,9 t ha<sup>-1</sup> nas plantas controle e de 6,4 t ha<sup>-1</sup> a 26,1 t ha<sup>-1</sup> sob limitação hídrica, sendo as menores e as maiores médias observadas para os híbridos CMF-L72×CMF-L78 e CMF-L54×CMF-L78, respectivamente (Figura 9d). Na parcela controle, houve maior variabilidade para esta característica, com formação de cinco grupos enquanto na condição ITR10 apenas três grupos foram formados. O híbrido CMF-L54×CMF-L78 foi o mais produtivo, superando até mesmo o híbrido Formosa 'Tainung nº1' (43,6 t ha<sup>-1</sup>), seguidos pelo híbrido CMF-L56×CMF-L78 (38,1 t ha<sup>-1</sup>), com produtividade

média superior ao parental 'BRS-L78' (27,9 t ha<sup>-1</sup>), e da cultivar comercial Golden (22,6 t ha<sup>-1</sup>). Os demais híbridos apresentaram desempenho produtivo inferior a 22,6 t ha<sup>-1</sup> não diferindo estatisticamente do 'Golden'. No entanto, vale lembrar que a produtividade aqui estimada foi em função do período de aplicação do tratamento e considerando apenas a produção do primeiro cacho, até os 9 meses (270 DAT), não representando, portanto, o potencial produtivo dos genótipos.

Comparando as produtividades dos genótipos entre os ambientes, houve redução da produtividade média de todos os genótipos, porém as menores reduções foram observadas em relação aos híbridos CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78, com taxas correspondentes a 45,5% e 39,8%, respectivamente, sendo estes os híbridos com maiores produtividades médias sob limitação hídrica (26,9 t ha<sup>-1</sup> e 26,1 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente), diferindo da média do 'Tainung nº1' (15,2 t ha<sup>-1</sup>), enquanto os demais híbridos apresentaram produtividade inferior a 9,0 t ha<sup>-1</sup>, não diferindo das cultivares Golden (7,2 t ha<sup>-1</sup>) e BRS-L78 (7,0 t ha<sup>-1</sup>). Os demais genótipos apresentaram reduções de produtividade superiores a 55%, tendo sido observada a máxima de 74,8% de redução para o parental 'BRS-L78'.

Quanto a MF, foi observada ampla variabilidade com valores de 1398,0 g a 362,2 g, e de 1095,4 g a 268,4 g, nos regimes ITR2 e ITR10, com formação de seis e cinco agrupamentos, respectivamente (Figura 10a). Analisando o efeito do genótipo dentro de cada parcela, observa-se que o híbrido CMF-L54×CMF-L78 (757,6 g) apresentou MF superior aos frutos de todos os outros híbridos, inclusive das testemunhas 'Golden' (575 g) e 'BRS-L78' (606,8 g), e inferior a cultivar Tainung nº1 em ambos regimes de irrigação (1398,0 g e 1095,4 g). Sob limitação hídrica o híbrido CMF-L54×CMF-L78 (637 g) apresentou média estatisticamente igual as médias do CMF-L54×CMF-L78 (564,2 g) e CMF-L74×CMF-L78 (604,8 g). As menores médias, nos dois regimes de irrigação foram dos híbridos CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78 com MF média de 366,6 g e 362,2 g em ITR2 e 278,4 g e 268,4 g em ITR10. O déficit hídrico reduziu a massa média dos frutos de todos os genótipos exceto o CMF-L60×CMF-L78, para o qual não houve diferença significativa entre as médias nas duas parcelas. Na média geral, a redução de MF foi de 16%, com valores observados de 644 g (C) e 540 g (LH).

**Figura 10.** Médias das características físicas de frutos de sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung n°1', 'Golden' e 'BRS-L78') de mamoeiro cultivados sob dois regimes de irrigação e avaliadas aos 270 dias após o transplântio. Cruz das Almas, BA, 2021.



Desdobramento de efeitos da interação genótipo x regime de irrigação. Médias seguidas de mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade para comparação de cada genótipo entre os regimes de irrigação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade para comparação entre genótipos dentro de cada nível de irrigação.

Embora o CMF-L56×CMF-L78 seja resultante do cruzamento intergrupo (Formosa x Solo), o mesmo apresentou MF inferior à testemunha 'Tainung n°1' e ao híbrido CMF-L54×CMF-L78 (grupo Solo), com valores médios de 658 g e 564 g nas parcelas ITR2 e ITR10, respectivamente, porém superiores às cultivares 'Golden' e 'BRS-L78'.

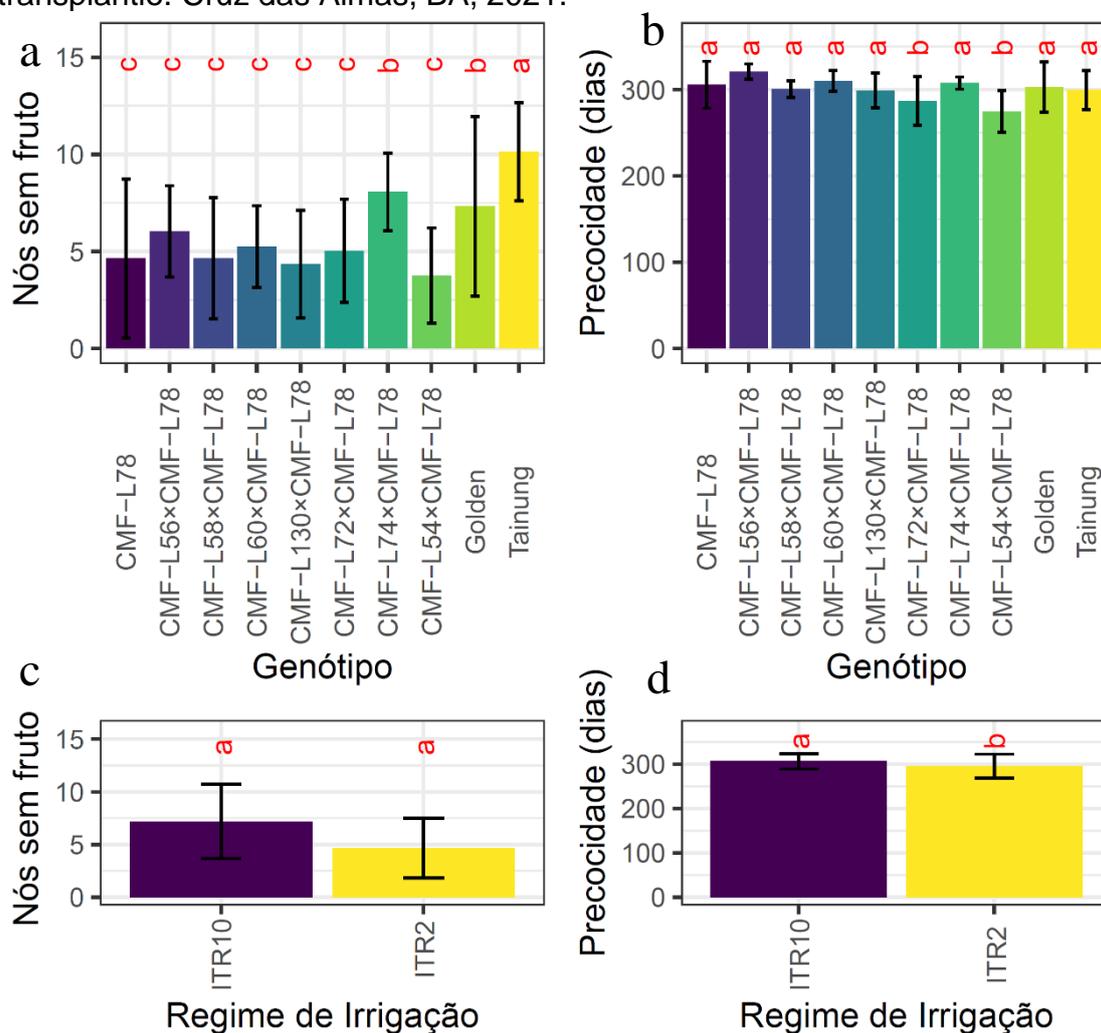
Observou-se ampla variabilidade para CF com a formação de cinco grupos (Figura 10b) para os genótipos nos dois ambientes. A variação no CF foi de 12,2 cm a 27,6 cm, valores próximos foram observados por Dantas e Lima (2011) em genótipos do grupo Solo (11,7 cm a 21,1 cm) e Formosa (17,2 cm a 35,1 cm), enquanto Dias *et al.* (2011) encontraram valores variando entre 11,7 cm a 24,1 cm em linhagens e híbridos dos dois grupos, ambos nas condições edafoclimáticas de Cruz das Almas, BA.

Os menores valores observados neste estudo para CF em ITR2 foram para os frutos dos híbridos CMF-130×CMF-L78 (12,7 cm) e CMF-L72×CMF-L78 (12,8 cm) que não diferiram entre si, e o maior comprimento para 'Tainung nº1'. O terceiro grupo foi formado pelas médias dos híbridos CMF-L54×CMF-L78 (Solo) e CMF-L56×CMF-L78 (Formosa x Solo), não diferindo entre si e superando os demais genótipos, com 16,9 e 17,3 cm, respectivamente. Os híbridos CMF-L58×CMF-L78 (14,7 cm), CMF-L60×CMF-L78 (13,9 cm) e CMF-L74×CMF-L78 (14,7 cm) não diferiram do 'Golden' (14,2 cm), porém tiveram médias menores que o parental 'BRS-L78' (15,4 cm). Na condição ITR10 os grupos mantiveram a mesma composição, no entanto o 'Tainung nº1', CMF-L54×CMF-L78, CMF-L56×CMF-L78, CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78 sofreram redução no comprimento do fruto em função do déficit hídrico.

A formação de cinco grupos indica ampla variabilidade para DF entre os genótipos (Figura 10c) independente do ambiente, com as médias variando de 7,5 cm a 10,3 cm. Os frutos dos híbridos CMF-130×CMF-L78 (7,51 cm) e CMF-L72×CMF-L78 (7,58 cm) apresentaram as menores médias e não diferiram entre si. O CMF-L54×CMF-L78 (9,41 cm) e CMF-L74×CMF-L78 (9,47 cm) apresentaram os maiores valores de DF dentre os genótipos do grupo Solo, superando as testemunhas 'Golden' (8,89 cm) e 'CMF-L78' (8,77 cm) que não diferiram do híbrido CMF-L58×CMF-L78 (8,77 cm). Pequenas variações foram detectadas no DF entre os dois regimes de irrigação (Figura 9d). As plantas expostas ao déficit hídrico produziram frutos menores, com DF médio de 8,5 cm, representando redução de 6% em relação aos frutos produzidos sob condições ideais de umidade do solo (9,0 cm).

Para NNSF houve formação de três grupos em que as médias variaram de 3,7 nós (CMF-L54×CMF-L78) a 10,0 ('Tainung nº1') nós sem frutos por planta (Figura 11a). O maior NNSF foi registrado no 'Tainung nº1', seguido dos híbridos CMF-L74×CMF-L78 (8,2 nós) e do 'Golden' (7,8 nós) sem diferir entre eles. Os demais híbridos apresentaram valores estatisticamente iguais ao parental 'BRS-L78' (5,1 nós). Observou-se redução drástica na produção de frutos em função da restrição hídrica, fato evidenciado pelo maior número de nós sem frutos (NNSF) e maior comprimento de pescoço (dados não apresentados) verificados para a condição de déficit, média de 7,2 nós contra 4,6 nós para a parcela ITR2 (Figura 11c).

**Figura 11.** Médias de nós sem frutos (a, b) e precocidade (c, d) de sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') de mamoeiro cultivados sob dois regimes de irrigação e avaliadas aos 270 dias após o transplante. Cruz das Almas, BA, 2021.



A precocidade (PREC) é indicada pelo tempo, em dias, decorrido entre o transplante e o início da colheita em mamoeiros, e normalmente está diretamente relacionada com a altura das primeiras florações e com a produtividade (SILVA *et al.*, 2010). Quanto mais cedo iniciar a floração, maior o tempo de colheita e maior será a produção por planta em ciclos mais avançados. Esse tempo variou de 274,7 a 320,9 dias, para os híbridos CMF-L54xCMF-L78 e CMF-L56xCMF-L78, respectivamente (Figura 11b). Para este caráter os genótipos apresentaram médias mais homogêneas, com formação de dois grupos apenas. As menores médias foram observadas para os híbridos CMF-L54xCMF-L78 (274,5 dias) e CMF-L72xCMF-L78 (270,8 dias) que diferiram estatisticamente dos demais. A condição

de déficit hídrico aumentou em 46 dias o início da colheita dos frutos (Figura 11d) quando comparado com o tempo médio observado para ITR2 (274,7 dias).

**Figura 12.** Genótipos de mamoeiro cultivados no regime de irrigação plena (imagens superiores) e sob condição de déficit hídrico (imagens inferiores). Cruz das Almas-BA, 2021.



**'Tainung nº1' 'Golden' 'BRS-L78' H54.78 H56.78 H58.78 H60.78 H130.78 H72.78 H74.78**



Autora: Rosangela Nascimento da Silva Ribeiro

#### 4. DISCUSSÃO

A expressão dos caracteres estudados variou significativamente entre os híbridos avaliados e como já era esperado entre os dois regimes de irrigação. Vale ressaltar que a análise do crescimento foi realizada dentro do período crítico de déficit de umidade no solo, e os componentes de produção e o desenvolvimento dos frutos produzidos foram correspondentes ao mesmo período.

A limitação hídrica imposta pelo turno de rega de dez dias, promoveu a redução na disponibilidade da água, em função da menor frequência de irrigação, submetendo as plantas a um déficit hídrico moderado. A redução do crescimento das plantas a partir dos 90 DAT ocorreu em função do maior secamento do solo, em um período onde a demanda hídrica da cultura foi crescente (dos 90 ao 240 DAT) e durante os meses em que a evapotranspiração da cultura foi maior que as precipitações (Figura 4).

Mesmo decorridos cinco dias após a irrigação no tratamento ITR10, as plantas foram capazes de manter a turgescência das folhas sem efeitos visíveis de murchamento. Com a progressão do déficit, para valores abaixo de 70% da água disponível, na segunda metade do ciclo de secagem do solo, foi perceptível a perda de turgescência foliar das plantas no regime ITR10, inclusive nas primeiras horas do dia, quando comparadas com as plantas do regime ITR2.

A redução na taxa de crescimento das plantas foi devido a privação de água no ITR10 em relação às plantas controle ITR2, o que pode estar relacionado a perda de turgor e redução do teor relativo de água das células. O déficit de água no solo pode reduzir a divisão e o alongamento celular, diminuindo a altura, diâmetro do caule e área foliar (MAHOUACHI *et al.* 2006). A perda da turgescência reduz o potencial de pressão e afeta os processos de divisão e expansão celular que são altamente dependentes do conteúdo relativo de água, afetando o crescimento vegetal (TAIZ *et al.*, 2017).

Mahouachi *et al.* (2006; 2007), verificaram redução da altura, diâmetro de caule e número de folhas em plantas de mamoeiro submetidas a estresse por déficit hídrico em casa de vegetação, e após a reidratação o crescimento foi retomado, no entanto foi menor que nas plantas controle ao final do experimento. Dessa forma a recuperação morfológica das plantas aos efeitos do estresse hídrico são reversíveis

quando o déficit é moderado, permitindo o restabelecimento da taxa de crescimento quando cessado o estresse. Para o período avaliado, apesar da retomada no crescimento com a reidratação no décimo dia, as plantas ITR10 apresentaram redução na altura, diâmetro do caule e área foliar total em função do tratamento.

O déficit de água afeta o crescimento das plantas porque ao reduzir a disponibilidade de água nos tecidos, influencia a fotossíntese e o metabolismo do nitrogênio bem como de várias enzimas envolvidas no crescimento e desenvolvimento (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009). A taxa fotossintética é fortemente influenciada pela condutância estomática (gs) e o mamoeiro possui alta sensibilidade estomática às variações ambientais conforme relatado por El-Sharkawy *et al.* (1985), Machado Filho *et al.* (2006) e Reis e Campostrini (2011). A radiação afeta diretamente a temperatura do ar e da folha aumentando o déficit de pressão entre a folha e o ar ( $DPV_{\text{folha-ar}}$ ) reduzindo a condutância estomática (gs) e a taxa de assimilação líquida (REIS; CAMPOSTRINI, 2008). Sob baixa umidade do solo e temperaturas elevadas a redução da taxa fotossintética acarreta menor acúmulo de fotoassimilados e sucessivamente menor percentual de biomassa e diminuição do crescimento nestas condições.

Cabrera *et al.* (2021) observaram redução da área foliar de mamoeiros em função da forte relação negativa entre o  $DPV_{\text{ar}}$  e a gs durante o verão, quando valores acima de 2 kPa foram registrados. A diminuição da gs próximo ao meio dia no período mais quente e seco, impede o resfriamento adequado das folhas e a absorção de nutrientes, reduz a taxa de emissão foliar e a área foliar da planta. Lima *et al.* (2015) observaram decréscimo linear da expansão foliar e da taxa fotossintética de mamoeiros quando a condutância estomática alcançava valores abaixo de  $0,4 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . No entanto, em condições de campo, independente do potencial hídrico do solo, em todos os tratamentos a gs ficou abaixo desse valor, ao que os autores atribuíram ao estresse térmico.

Além do efeito direto na redução da taxa fotossintética, causado pelo fechamento estomático, o déficit hídrico induziu outras respostas de aclimatação da planta ao estresse. A redução da área foliar observada nos genótipos é uma adaptação morfológica de resposta ao déficit hídrico e pode ocorrer tanto pela redução no número de folhas condicionada pela aceleração da senescência e abscisão foliar, como pela inibição da divisão e expansão das células como já

mencionado (BASU et al., 2016). Ambos os casos consistem em estratégias para restringir a perda excessiva de água por evapotranspiração e manter o status hídrico da planta, garantindo tanto a assimilação de CO<sub>2</sub> como outros processos metabólicos vitais das células (CHAVES et al., 2009).

Dentre os genótipos estudados a linhagem 'BRS-L78' e os híbridos CMF-L60×CMF-L78 e CMF-L74×CMF-L78 não apresentaram redução do crescimento em altura no ITR10, no entanto, o rendimento desses híbridos foi fortemente afetado, com redução de 72%, 53% e 64% na produção de frutos, respectivamente. Esse fato sugere que tais híbridos podem ter baixa eficiência na alocação de fotoassimilados sob condições de estresse ou mantiveram seu crescimento em detrimento da produção de frutos.

O mamoeiro é uma espécie cujo processo evolutivo encontra-se em fase intermediária entre plantas herbáceas e arbóreas (MING et al., 2008), evidenciada pelo baixo teor relativo de fibras, compreendendo apenas 5 a 8% de toda a massa do caule, que resulta em baixa lignificação dos tecidos caulinares (KEMPE et al., 2014). Dessa forma, a sustentação de elevada produção de frutos é dependente basicamente do conteúdo de água nas células do caule, necessária para manter a elevada pressão de turgor (0,82 e 1,25 MPa), além da disposição das fibras no floema secundário dessa espécie (MASSELTTER et al., 2017) que aumentam com a altura da planta (KEMPE et al., 2014). Dessa forma, plantas com maior diâmetro de caule produzem maior número de frutos (SALINAS, et al., 2021).

O déficit de água, independentemente dos genótipos, afetou negativamente o diâmetro do caule e a área foliar. O diâmetro do caule em mamoeiros é sugerido por Dias et al. (2011) como um excelente descritor para compor índices de seleção em programas de melhoramento visando genótipos mais produtivos devido à sua alta correlação genética com o rendimento. Silva et al. (2010) afirmam que maior número de folhas e maior diâmetro de caule conferem maior produtividade às plantas por haver alta correlação genética entre estas características, especialmente a AFT que está diretamente relacionada com a produção de fotoassimilados. Coelho Filho e Coelho (2007) verificaram correlação positiva e significativa entre a área foliar e diâmetro do caule com as produtividades do mamoeiro Sunrise Solo irrigado.

Barros *et al.* (2015), verificaram maior padrão de área foliar em plantas mais altas, no entanto existe uma desvantagem em relação a maior altura das plantas devido a internódios muito longos e menor longevidade de produção. Embora o CMF-L54×CMF-L78 tenha apresentado a menor altura entre os híbridos, sua área foliar e diâmetro do caule não diferiu de outros híbridos com maiores alturas como CMF-130×CMF-L78, por exemplo, e tanto sua produção de frutos como o rendimento foram superiores aos demais híbridos e cultivares comerciais.

A altura de inserção do primeiro fruto é uma característica que afeta diretamente a colheita e possui elevada herdabilidade (ALI *et al.*, 2022; DIAS *et al.*, 2011) possibilitando ganhos expressivos no processo de seleção para este descritor. Dantas *et al.* (2015) sugerem a seleção de plantas com altura de inserção inferior a 80 cm e de porte baixo, pois essas características seriam um indicativo da precocidade da planta, além de facilitar a colheita em ciclos tardios.

Em todas as épocas avaliadas, os genótipos com menor altura média foram o CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L60×CMF-L78 apresentando comportamento semelhante para AIPF (72 cm e 92 cm, respectivamente), mostrando-se promissores no que tange à seleção de genótipos do grupo Solo com menores alturas de frutos e de plantas. Cabrera *et al.* (2021) e Salinas *et al.* (2021) observaram que a menor altura de inserção dos primeiros frutos conferiu maior rendimento em plantas de mamoeiros e que essa diferença ocorreu em função do desenvolvimento mais rápido das plantas sob condições ambientais mais favoráveis.

O início da floração em mamoeiros ocorre normalmente de 3 a 4 meses após o transplântio, com início de colheita do oitavo ao décimo mês (DANTAS *et al.*, 2015). Segundo estes autores, a precocidade está associada a plantas de portes mais baixos e constitui um parâmetro importante para seleção de plantas dentro dos programas de melhoramento. De fato, essa relação foi confirmada para o híbrido CMF-L54×CMF-L78 que apresentou maior precocidade independentemente do turno de rega, com início de colheita dos primeiros frutos variando de 264 (ITR2) a 285 (ITR10) dias após o transplântio.

A expressão do sexo em flores de mamoeiros é fortemente influenciada pela interação genótipo por ambiente, e fatores como temperatura, umidade do solo e níveis de nitrogênio na planta são indutores de anomalias florais nas flores

hermafroditas (DAMASCENO JUNIOR; PEREIRA; PEREIRA; 2018). Damasceno Júnior *et al.* (2008) verificaram maior ocorrência de flores estéreis e conseqüentemente de nós sem frutos no verão. Dessa forma, a combinação de déficit hídrico e altas temperaturas, observadas durante o período de outubro a março (Figura 3), promoveu a reversão sexual das flores, aumentando a ocorrência da esterilidade de verão com efeito negativo no número de frutos e na produção dos genótipos submetidos ao estresse por déficit hídrico.

As condições estressantes a que as plantas foram submetidas também induziu o abortamento de flores e a queda prematura de frutos na fase inicial do crescimento e isso, somados ao efeito da reversão sexual, refletiu em aumento de 68% no número de nós sem frutos observados nas plantas sob déficit hídrico. Para Silva *et al.* (2008), as alterações da flor hermafrodita alongada é uma estratégia para superar os estresses sazonais e economizar energia para garantir a manutenção da planta, podendo ocorrer em maior ou menor grau em qualquer época do ano, devido às variações dos fatores climáticos, nutricionais e genéticos da planta. Em alguns casos a produção de frutos pode cessar completamente a depender do grau das condições ambientais desfavoráveis.

O número de frutos é o principal componente de produção, sendo, portanto, uma das características mais importantes no momento da seleção de genótipos produtivos e adaptados aos diferentes sistemas de produção (OLIVEIRA *et al.*, 2010). As cultivares Golden, Tainung nº1 e o híbrido CMF-L74xCMF-L78 apresentaram as maiores taxas de esterilidade de verão que resultou em menor número de frutos comerciais, com queda de produtividade sob condições de baixa umidade do solo. Embora o CMF-L74xCMF-L78 não tenha apresentado redução do vigor da parte aérea no regime ITR10, esse genótipo mostrou alta sensibilidade para a reversão sexual, embora tenha apresentado alta estabilidade para as anomalias florais do tipo carpeloidia e pentandria, confirmadas pelo baixo número de frutos deformados, equivalentes a 1% do total de frutos produzidos.

No presente estudo, o NFD está diretamente relacionado com o número de frutos produzidos por planta nos dois regimes hídricos. Assim, espera-se que as plantas da parcela submetida ao estresse hídrico, em que houve redução na produção de flores viáveis e maior abortamento de frutos, apresente por consequência menor número de frutos deformados também e, portanto, a análise

desse descritor seja melhor descrita observando as diferenças percentuais do NFD em relação ao número total de frutos de cada genótipo nos dois ambientes.

As plantas do CMF-L60×CMF-L78 apresentaram três vezes mais frutos deformados no regime ITR10 (16,7%), em relação ao total produzido, demonstrando elevada sensibilidade ao déficit hídrico, que promoveu a formação de frutos deformados 11% maior no regime ITR10 em relação ao regime ITR2, seguido da testemunha 'Golden' (7,3%) e do CMF-L58×CMF-L78 (4%). Para os demais genótipos as amplitudes entre a percentagem de frutos deformados nos regimes ITR2 e ITR10 foram menores e sugerem, portanto, que houve maior efeito do genótipo sobre as anomalias florais desses híbridos.

As plantas da cultivar Tainung nº1 apresentaram em média 23% de frutos deformados, principalmente bananiformes, no regime ITR2. O CMF-L58×CMF-L78 foi o que apresentou maior porcentagem de frutos deformados (21%) dentre os híbridos, enquanto para os híbridos CMF-L54×CMF-L78, CMF-L56×CMF-L78, CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78 esse valor ficou em torno de 8%, destacando-se com as menores taxas de anomalias florais sob condições ideais de umidade do solo. Barros *et al.* (2017a) encontraram uma proporção de 25% entre NFD e NFC e ressalta a importância da seleção de genótipos mais eficientes a fim de evitar prejuízos aos produtores. De maneira geral, a média de NFD verificado neste estudo foi inferior ao valor de 14,79 frutos deformados relatado por Luz *et al.* (2015) e considerado baixo, em estudo realizado nas condições de cultivo tradicional (Linhares, ES) e na região semiárida (Pureza, RN) avaliando sete híbridos de mamoeiro

O NFC médio foi de 27,8 frutos no regime ITR2, valor muito próximo ao encontrado por Barros *et al.* (2017a) para genótipos do tipo Solo avaliados aos 210 DAT, em condições de campo no município de Pinheiros, ES. Posse *et al.* (2008) estudando a sensibilidade do mamoeiro em relação ao fornecimento de água, verificou que a produção de frutos comerciais diminuía conforme a reposição de água era reduzida. Os autores verificaram que uma redução de 33,24% do fornecimento hídrico ocasionou uma queda na produtividade comercial de 51,13%. Efeito semelhante foi observado nesse estudo, considerando que a redução média da água disponível às plantas esteve em torno de 35% e promoveu uma redução de 60% no rendimento médio das plantas.

A obtenção de híbrido é sugerida como alternativa para aumentar a produtividade, devido aos maiores desvios de dominância para a produção de frutos por planta (PEREIRA *et al.*, 2022). Para os híbridos CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78, a produção de frutos foi intermediária em relação aos valores sugeridos por Campostrini e Lima (2015) para mamoeiros do grupo Solo e grupo Formosa, (50 e 25 frutos por planta, respectivamente), no entanto a produtividade média superou os 25 e 45 kg total.planta<sup>-1</sup> relatadas pelos autores. A produtividade do CMF-L54×CMF-L78 foi próxima ao valor encontrado por Posse *et al.* (2008) para a cultivar híbrida do grupo Formosa UENF/CALIMAN01, aos 13 meses de cultivo, com quatro meses de colheita e aplicação, por microaspersão, de uma lâmina de água de 1.414 mm, cultivado na região Norte do Estado do Rio de Janeiro. Para a condição ITR2 no presente estudo a lâmina total de água aplicada foi de 1203,8 mm e o CMF-L54×CMF-L78 superou a produtividade do híbrido Formosa 'Tainung nº1'.

A expressão de flores pentândricas e carpelóides seria, segundo Silva *et al.* (2008), uma tentativa de a planta retornar ao sexo feminino, uma vez que plantas femininas são mais estáveis e mais eficientes na alocação dos fotoassimilados para a produção de frutos. Para Moreira *et al.* (2019) genótipos superiores devem apresentar maior estabilidade floral em relação às flutuações ambientais, que afetam diretamente a taxa de reversão sexual e de anomalias, de modo a maximizar a produção de frutos comerciais e diminuir os frutos deformados e a esterilidade de verão. A menor queda de produtividade e maior número de frutos comerciais apresentados pelos híbridos CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78, sob deficiência hídrica, são indicativos de que os mesmos possuem potencial para sustentar produções satisfatórias em épocas ou regiões onde as condições climáticas não são muito favoráveis ao desenvolvimento de flores e frutos nas cultivares comerciais.

As características de qualidade física dos frutos CF, DF, e MF variaram nos dois regimes hídricos entre os genótipos. O déficit de água induzido pelo turno de rega de dez dias, reduziu a massa e o diâmetro de frutos de todos os genótipos, além de promover a redução no comprimento dos frutos do 'Tainung nº1', CMF-L54×CMF-L78, CMF-L56×CMF-L78, CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72CMF-L78. Silva *et al.* (2019), afirmam que as fases mais sensíveis à redução da eficiência da

fotossíntese são os períodos de formação e crescimento dos frutos. Durante essa fase a demanda por fotoassimilados aumenta exigindo maior atividade fotoquímica nas folhas para sustentar a síntese de compostos para formação de novas células. Nessa fase também é crítico o fornecimento de água para o alongamento celular e o metabolismo respiratório. Dessa forma, o comprimento, diâmetro e a massa dos frutos foram afetados pela redução na disponibilidade de água às plantas. Uma vez que no mamoeiro a produção é constante a partir do quarto mês, o déficit de água, ao afetar o desenvolvimento dos frutos e o NFC, impactou também o rendimento final.

Os valores de diâmetro e comprimento de fruto dos híbridos avaliados estão próximos aos observados por Dantas e Lima (2011) (6,7 cm a 9,9 cm e 11,7 cm a 21,1 cm, respectivamente) e por Dias *et al.* (2011) (6,91 cm a 15,89 cm e de 11,70 cm a 24,14 cm, respectivamente). Além dessas características, a média geral para massa de fruto dos híbridos, estão dentro da faixa de variação exigida para o grupo Solo, entre 300 g e 650 g (PEREIRA *et al.*, 2022), muito embora os híbridos CMF-L54×CMF-L78, CMF-L56×CMF-L78 e CMF-74×CMF-L78 tenha apresentado frutos com massa superior a 650 g quando cultivado com adequado suprimento hídrico. Além destes híbridos, outros dois, CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78, apresentaram maior estabilidade na expressão de características agrônômicas e produção de frutos nos dois regimes.

Geralmente híbridos do grupo Formosa tendem a ser mais produtivos que híbridos do grupo Solo, devido a maior massa de frutos, em torno de 1,4 kg (LUZ *et al.*, 2015), valores próximos aos observados nesse trabalho para o Tainung nº1. No entanto, o híbrido CMF-L54×CMF-L78 do grupo solo apresentou rendimento superior ao híbrido comercial do grupo Formosa, 'Tainung nº1', e ao híbrido CMF-L56×CMF-L78 (Formosa x Solo). Apesar dos frutos do 'Tainung nº1' possuírem massa 47% maior que os frutos do CMF-L56×CMF-L78, este último apresentou maior número de frutos comerciais por planta e menor número de nós sem frutos, que refletiram no maior rendimento de frutos desse genótipo nas condições hídricas. Os demais híbridos do grupo Solo não diferiram da cultivar Golden, porém foram menos produtivos do que seu parental 'BRS-L78' no regime ITR2. No regime ITR10 esses genótipos apresentaram rendimento médio equivalentes ao parental e ao concorrente comercial 'Golden'.

## 5. CONCLUSÃO

Houve diferenças significativas nas variáveis de crescimento e de produção com o aumento do turno de rega de dois para dez dias. A frequência de irrigação a cada dez dias promoveu maior secamento do solo e redução na altura, na área foliar e no diâmetro do caule das plantas.

Os híbridos CMF-L54×CMF-L78, CMF-L56×CMF-L78, CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78 apresentaram superioridade significativa para várias características agrônômicas em relação às cultivares comerciais, principalmente quando submetidos às condições limitantes de água.

A variabilidade para tamanho de frutos entre os híbridos oferece ótimas opções tanto para mercado interno como para exportação. Os híbridos do grupo solo, CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78 apresentaram os menores frutos, cujas dimensões podem ser interessantes para exportação em relação as embalagens e também pela preferência de alguns mercados por frutos menores. Além dessa característica, esses genótipos mostraram qualidades superiores em relação a cultivar Golden como, maior NFC nos dois regimes de irrigação e menor NFD sob condições limitantes de água.

Dentre os híbridos estudados, os CMF-L54×CMF-L78, CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78 do grupo Solo, e CMF-L56×CMF-L78, do cruzamento intergrupo Formosa x Solo, reuniram características morfoagronômicas desejáveis, apresentando maior número de frutos por planta e menores perdas de produtividade sob déficit hídrico quando comparados às testemunhas comerciais.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, F.; KANCHANA-UDOMKAN, C.; FORD, R. The Inheritance Pattern of Key Desirable Agronomic and Fruit Quality Traits in Elite Red Papaya Genotypes. **Horticulturae**, v. 8, n. 845, p 1-14, 2022.

ALVES, A.A.C.; SANTOS, E.L. Estimativa da área foliar do mamoeiro: método não destrutivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17; Belém, 2002. Belém: SBF, 2002. 1 CD – ROM.

BARROS, F. L. S.; KUHLCAMP, K. T.; MOREIRA, S. O.; ARANTES, S. D.; MONTEBELLER, C. A. Desempenho agrônômico de novos híbridos e linhagens de mamoeiro do grupo solo na região de Pinheiros-ES. In: **VI Simpósio do Papaya Brasileiro**. Tecnologia de produção e mercado para o mamão brasileiro. Vitória-ES, 10 a 13 de novembro de 2015, 6 p.

BARROS, F. L. S.; KUHLCAMP, K. T.; ARANTES, S. D.; MOREIRA, S. O. Productivity and quality of Formosa and Solo papaya over two harvest seasons. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.52, n.8, p.599-606, ago. 2017a.

BARROS, G. B. A.; AREDES, F. A. S.; RAMOS, H. C. C.; SANTA-CATARINA, R.; PEREIRA, M.G. Combining ability of recombinant lines of papaya from backcrossing for sexual conversion. **Revista de Ciências Agrônômicas**, v. 48, p. 166-174, 2017.

BARROS, G. B. A.; AREDES, F. A. S.; RAMOS, H. C. C.; SANTA-CATARINA, R.; PEREIRA, M. G. Capacidade combinatória de linhagens recombinadas de mamoeiro oriundas de retrocruzamento para conversão sexual. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 1, p. 166-174, jan.-mar. 2017b.

BASAVARAJU, S. N.; LAKSHMIKANTH, R. Y.; KUMARASWAMY, R.; MAKARLA, U. Genotypes with enhanced expressions of acquired tolerance mechanisms showed improved growth under stress. **Plant Physiology Reports**, v. 25, n. 1, p. 9-23, jan.-mar. 2020.

CABRERA, J.A.; RITTER, A.; RAYA, V.; PÉREZ, E.; LOBO, M.G. Papaya (*Carica papaya* L.) phenology under different agronomic conditions in the subtropics. **Agriculture**, v. 11, p. 173, 2021.

CAMPOSTRINI, E.; SCHAFFER, B.; RAMALHO, J. D. C.; GONZÁLEZ, J. C.; RODRIGUES, W. P.; SILVA, J. R.; LIMA, R. S. N. Environmental factors controlling carbon assimilation, growth, and yield of papaya (*Carica papaya* L.) under water-scarcity scenarios. In: (org). **Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment**. Londons: Academic Press, 2018, v.1, p.1-264.

CAMPOSTRINI, E.; GLENN, D. M.; YAMANISHI, O. K. Papaya: ecophysiology of growth and production. In: DAMATTA, F. (ed.). **Ecophysiology of tropical tree crops**. Nova Science Publishers, NY, pp 287–307, 2010.

CAMPOSTRINI, E.; GLENN, D.M., Ecophysiology of papaya: a review. **Brazilian Journal Plant Physiol.**, v. 19, n. 4, p. 413-424, 2007.

CAMPOSTRINI, E. *et al.* Environmental factors controlling carbon assimilation, growth, and yield of papaya (*Carica papaya* L.) under water-scarcity scenarios. p. 481-505. In: TEJERO, I.F.G, ZUAZO, V.H.D. (Eds.). **Water scarcity and sustainable agriculture in semiarid environment: tools, strategies, and challenges for woody crops**, Eds. Academic Press, 2018.

CARVALHO, E. M. L.; REIS, R. C.; BORGES, V. P.; LEDO, C. A. S.; ARAÚJO, E. S.; DANTAS, J. L. L. Physicochemical and sensory properties of papaya fruits of elite lines and hybrids. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 41, n. 1, p. 121-130, jan./fev. 2020.

CARVALHO, J. E. B. Manejo de solo de Tabuleiros Costeiros visando maior armazenamento de água. In: VII Simpósio do Papaya Brasileiro.2018, Produção e Sustentabilidade Hídrica. **Anais...** Vitória-ES. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/418737445/Manejo-do-solo-nos-tabuleiros-costeiros>>. Acesso em: 09 de novembro de 2022.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551–560, 2009.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F. Desenvolvimento e produção do mamoeiro irrigado por diferentes sistemas de microirrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 4, p. 531-543, out./dez., 2007.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; ALVES, A. A. C. **Método de estimativa da área foliar de plantas de mamoeiro do grupo solo e formosa**. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2005, Campinas. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, A. M. G.; SILVA, J. G. F.; COELHO FILHO, M. A. Irrigação e Fertirrigação na cultura do mamão. In: SOUZA, V. F. *et al.* (Org.). Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. 1ed.Brasília: Embrapa Informação tecnológica, 2011, v. 1440, p. 442-472.

COELHO, E. F.; SANTOS, M. R.; COELHO FILHO, M. A. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de Irrigação localizada em latossolo de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 27, n. 1, p. 175-178, abr. 2005.

DAMASCENO JUNIOR, P. C.; PEREIRA, T. N. S.; PEREIRA, M. G. Estimation of genetic parameters for flower anomalies in papaya. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, n. 1, p. 9–15, 2018.

DANTAS, J. L. L.; OLIVEIRA, E. J.; PEREIRA, M. G.; CATTANEO, L. F. **Melhoramento genético do mamoeiro no Brasil**. In: SIMPÓSIO DO PAPAYA BRASILEIRO, 5., 2011, Porto Seguro. Inovação e sustentabilidade: anais. Porto Seguro: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2011. 1 CD-ROM. PDF. P\_2\_3.

DANTAS, J. L. L.; LUCENA, R. S.; BOAS, S. A. V. Avaliação agrônômica de linhagens e híbridos de mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 1, p. 138–148, 2015.

DANTAS, J. L. L.; LIMA, J. F. Seleção e recomendação de variedades de mamoeiro-avaliação de linhagens e híbridos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n.3, p. 617-621, 2001.

DIAS, N. L. P.; OLIVEIRA, J. E. DE; DANTAS, J. L. L. Avaliação de genótipos de mamoeiro com uso de descritores agrônômicos e estimação de parâmetros genéticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1471–1479, 2011.

DOHLER, R. E.; KLIPPEL, A. H.; XAVIER, A. C. Efeito das mudanças climáticas na demanda de irrigação na cultura do café conilon e do mamoeiro no Espírito Santo. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 10, n. 1, p. 83 - 87, jan. -mar., 2016.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. (Rev. e amp.), Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 356 p.

ESPADAS, J. L.; CASTAÑO, H.; MARINA, M. L.; RODRÍGUEZ, L. C.; PLAZA, M. Phenolic compounds increase their concentration in *Carica papaya* leaves under drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 41, n.180, 2019.

ESPINDULA NETO, D.; SILVA, J. G. F. **Manejo da água no mamoeiro**. In: MARTINS, D. S. *et al.* (org.). Papaya Brasil: Manejo, Qualidade e Mercado do Mamão. Vitória - ES: Editora Lisboa, 2007, v. 1, p. 65-82.

ESTRELLA-MALDONADO, H.; GIRÓN-RAMIREZ, A.; ORTIZ, G. F.; PERAZA-ECHEVERRÍA, S.; VEGA, O. M.; GÓMGORA-CASTILLO, SANTAMARÍA, J. M. Transcriptomic analysis reveals key transcription factors associated to drought tolerance in a wild papaya (*Carica papaya*) genotype. *PloS ONE*, V, 16, n. 1, jan. 2021.

FAO. **Food and agriculture organization of the United Nations for a world without hunger**. 2023. Area harvested, yield and production in 2021/ FAOSTAT / FAO Statistics Division. Disponível em: <[https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity](https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity)>. Acesso em: 07 fev. 2023.

FARALLI, M.; MATTHEWS, J.; LAWSON, T. Exploiting natural variation and genetic manipulation of stomatal conductance for crop improvement. **Current Opinion in Plant Biology**, v.49, p.1-7, 2019.

FERREIRA, L. G. **Balço hídrico do solo sob pastagem e espécies arbóreas**, com uso da técnica de FDR. 59f. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Cruz das Almas, BA, 2019.

FONTES, R. V.; GALON, C.; FALQUETO, A. R.; COSTA, A. F. S.; LEITE, I. T. A.; SILVA, D. M. Ecofisiologia do mamoeiro (*Carica papaya* L.) cv. Sunrise durante o estresse hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2002, Belém. XVII Congresso Brasileiro de Fruticultura. Belém: Editoração eletrônica & Multimídia, 2002.

GAGO, J.; DALOSO, D. M.; CARRIQUÍ, M.; NADAL, M.; MORALES, M.; ARAÚJO, W. L.; NUNES-NESE, A.; PERERA-CASTRO, A.V.; CLEMETE-MORENO, M. J.; FLEXAS, J. The photosynthesis game is in the “inter-play”: Mechanisms underlying CO<sub>2</sub> diffusion in leaves. **Environmental and Experimental Botany**, v. 178, n. Jun., p. 104174, 2020.

GIRÓN- RAMÍREZ, A.; PEÑA-RODRÍGUEZ, L.M.; ESCALANTE-EROSA, F.; FUENTES, G.; SANTAMARÍA, J. M. A, Identification of the SHINE clade of AP2/ERF domain transcription factors genes in *Carica papaya*; Their gene expression and their possible role in wax accumulation and water deficit stress tolerance in a wild and a commercial papaya genotypes. **Environmental and Experimental Botany**, v. 183, n.104341, 2021.

IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change. 2020. Disponível: <https://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 10 out. 2021.

KEMPE, A.; LAUTENSCHLÄGER, T.; LANGE, A.; NEINHUIS, C. How to become a tree without wood-biomechanical analysis of the stem of *Carica papaya* L. **Plant Biology**, v. 16, p. 264-271, 2014.

LIMA, D. S.; OLIVEIRA, E. J.; DANTAS, J. L. L.; FILHO, A. F.; LUCENA, R. S.; SANTOS, J. L. S. **Comportamento produtivo de novos híbridos e linhagens de mamoeiro no Sul da Bahia**. In: XXI Congresso Brasileiro de Fruticultura, 2010, Natal. XXI Congresso Brasileiro de Fruticultura, v. 21.

LIMA, R. S. N.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A.; MARTINS, A. O.; DEUS, B. C. S.; FERRAZ, T. M.; GOMES, M. M. A.; SOUZA, E. F.; GLENN, D. M.; CAMPOSTRINI, E. Partial rootzone drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) effects on stomatal conductance, growth, photosynthetic capacity and water-use efficiency of papaya. **Scientia Horticulturae**, v. 183, p. 13–22, 2015.

LIU, Y.; GENG, X.; HAO, Z.; ZHENG, J. Changes in climate extremes in central asia under 1.5 and 2° c global warming and their impacts on agricultural productions. **Atmosphere**, v. 11, n. 10, p. 1–19, 2020.

LUCENA, C. C. **Polos de produção de mamão no Brasil**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2016. 47 p. (Documentos/ Embrapa Mandioca e Fruticultura, 217).

LUZ, L.N.; PEREIRA, M.G.; BARROS, F.R.; BARROS, G.D.B.; FERREGUETTI, G.A. Novos híbridos de mamoeiro avaliados nas condições de cultivo tradicional e no semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, p. 159-171, 2015.

MAHOUACHI, J.; ARBONA, V.; GÓMEZ-CADENAS, A. Hormonal changes in papaya seedlings subjected to progressive water stress and re-watering. **Plant Growth Regul**, v. 53, p. 3-51, 2007.

MAHOUACHI, J.; SOCORRO, A. R.; TALON, M. Responses of papaya seedlings (*Carica papaya* L.) to water stress and re-hydration: Growth, photosynthesis and mineral nutrient imbalance. **Plant and Soil**, v. 281, n. 1–2, p. 137–146, mar. 2006.

MARTIN-VERTEDOR, A. I.; DODD, I. C. Root-to-shoot signalling when soil moisture is heterogeneous: Increasing the proportion of root biomass in drying soil inhibits leaf growth and increases leaf abscisic acid concentration. **Plant, Cell and Environment**, v. 34, n. 7, p. 1164–1175, 2011.

MASSELTTER, T.; KEMPE, A.; CALIARO, S.; NEINHUIS, C.; SPECK, T. Comparing structure and biomechanics of extant *Carica papaya* and *Ochroma pyramidale* stems allows re-evaluating the functional morphology of the fossil 'seed fern' *Lyginopteris oldhamia*. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 246, p. 258–263, 2017.

MING, R. et al. The draft genome of the transgenic tropical fruit tree papaya (*Carica papaya* L.) **Nature**, v. 452, p.991-997, abr. 2008.

MOREIRA, N. F.; PEREIRA, T. N. S.; SANTA-CATARINA, R.; CORTES, D. F. M.; VETTORAZI, J. C. F.; RAMOS, H. C. C.; VIANA, A. P.; PEREIRA, M. G. Quantification of loral abnormalities in a population generated from sexual polymorphism in a population generated from recurrent selection in papaya. **Bragantia**, Campinas, v. 78, n. 2, p.158-165, 2019.

OLIVEIRA, A. M. G., COELHO, E. F. Calagem e adubação para mamoeiro. *In: Recomendações calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, laranja, tangerina, lima ácida, mamão, mandioca, manga e maracujá*. BORGES. A. L.; SOUZA L. S. (editores técnicos) – Brasília, DF: Embrapa, 2009.176 p.

OLIVEIRA, E. J.; LIMA, D. S.; LUCENA, R. S.; MOTTA, T. B. N.; DANTAS, J. L. L. Correlações genéticas e análise de trilha para número de frutos comerciais por planta em mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.8, p.855-862, ago. 2010.

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

REIS, F.O. *et al.* Estresse hídrico em plantas de mamoeiro Golden: efeitos estomáticos e efeitos não estomáticos. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 18, 2004, Anais... Florianópolis, SC.

REIS, F.O.; CAMPOSTRINI, E. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro Do grupo Solo cultivado em condição de campo. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.815-822, 2008.

REIS, O. R.; CAMPOSTRINI, E. Microaspersão de água sobre a copa: um estudo relacionado as trocas gasosas e à eficiência fotoquímica em plantas em plantas de mamoeiro. *Revista Brasileira Agrociência*, Pelotas, v.17, n.1-4, p.66-77, jan.-mar. 2011.

REIS, R. C.; VIANA, E. S.; JESUS, J. L.; DANTAS, J. L. L.; LUCENA, R. S. Caracterização físico-química de frutos de novos híbridos e linhagens de mamoeiro. *Fruticultura. Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 50, n. 3, p. 210-217, mar. 2015.

SALINAS, I.; HUESO, J. J.; CUEVAS, J. Active control of greenhouse climate enhances papaya growth and yield at an affordable cost. *Agronomy*, v. 11, p. 378, 2021.

SANTOS, D. L.; COELHO, E. F.; CUNHA, F. F.; DONATO, S. L. R.; BERNADO, W. P.; RODRIGUES, W. P.; CAMPOSTRINI, E. Partial root-zone drying in field-grown papaya: Gas exchange, yield, and water use efficiency. *Agricultural water management*, v. 243, n. 106421, 2021.

SILVA, F.F.; PEREIRA, M.G.; RAMOS, H.C.C.; DAMASCENO JÚNIOR, P.C.; PEREIRA, T.N.S.; GABRIEL, A.P.C.; VIANA, A.P.; FERREGUETTI, G.A. Selection and estimation of the genetic gain in segregation generations of papaya. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2008b.

SILVA, F. F.; GONZAGA, M.; CANCELA, H. C.; CORRÊA, P.; SANTANA, T. N.; IDE, C. D. Genotypic correlations of morpho-agronomic traits in papaya and implications for genetic breeding. *Crop Breeding Applied Biotechnology*, v. 7, p.345–352, 2007.

SILVA, M. M.; BROETTO, S. G.; VALBÃO, S. C.; COSTA, A. F. S.; SILVA, D. M. Características vegetativas e de frutos de mamoeiros obtidos por seleção massal. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v31, n. 1, p. 29-38, jan./mar., 2010.

SILVA, R. T. L.; OLIVEIRA NETO, C. F.; BARBOSA, R. B. N.; COSTA, R. C. L.; CONCEIÇÃO, H. E. O. Resposta fisiológica de plantas de mamoeiro submetidas ao déficit hídrico. *Nucleus*, v.9, n.2, out. 2012.

VIANA, E. D. S.; REIS, R. C.; SILVA, S. C. S.; NEVES, T. T.; JESUS, J. L. Avaliação físico-química e sensorial de frutos de genótipos melhorados de mamoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 45, n. 3, p. 297-303, jul. /set. 2015.

ZHAO, C.; LIU, B.; PIAO, S.; WANG, X.; LOBELL, D. B.; HUANG, Y.; HUANG, M.; YAO, Y.; BASSU, S.; CIAIS, P.; DURAND, J. L.; ELLIOTT, J.; EWERT, F.; JANSSENS, I. A.; LI, T.; LIN, E.; LIU, Q.; MARTRE, P.; MULLER, C.; PENG, S.; PEÑUELAS, J.; RUANE, A. C.; WALLACH, D.; WANG, T.; WU, D.; LIU, Z.; ZHU, Y.; ZHU, Z.; ASSENG, S. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 114, n. 35, p. 9326–9331, aug. 2017.

## **CAPITULO 2**

**Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de mamoeiros híbridos submetidos  
à limitação hídrica**

## **Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de mamoeiros híbridos (*Carica papaya* L.) submetidos à limitação hídrica**

**Resumo:** A fluorescência da clorofila e as trocas gasosas são análises eficientes na identificação das respostas e do desempenho fotossintético entre genótipos de mamoeiro em função dos fatores estressantes do ambiente. Dessa maneira, este estudo objetivou avaliar o efeito da limitação hídrica sobre a eficiência agrônômica do uso da água e no processo fotossintético de sete híbridos de mamoeiro do programa de melhoramento da Embrapa Mandioca e Fruticultura. O experimento foi instalado na Fazenda Experimental do Campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em delineamento de blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, com dez genótipos, cinco repetições e dois regimes de irrigação com turno de rega de dois (ITR2) e dez dias (ITR10). Foram realizadas três avaliações das trocas gasosas e de fluorescência da clorofila dentro do intervalo entre irrigações: três, cinco e nove dias após a irrigação (DAI). As trocas gasosas foram reduzidas conforme aumentava o secamento do solo. O prolongamento do déficit de água no solo até o 9º DAI, promoveram a redução do rendimento quântico máximo do FSII observado nas plantas sob ITR10. Os híbridos CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78 apresentaram regulação estomática sob déficit moderado e maior eficiência agrônômica no uso da água. Não houve variabilidade nas taxas fotossintéticas entre os genótipos estudados. Os híbridos CMF-L72×CMF-L78 e CMF-130×CMF-L78 apresentaram capacidade fotossintética distinta dos demais genótipos verificados pelos menores valores de fluorescência da clorofila a.

**Palavras-chave:** Fotossíntese, condutância estomática, fluorescência da clorofila.

## **Gas exchange and photochemical efficiency of hybrid papaya trees (*Carica papaya* L.) submitted to water limitation**

**Abstract:** Analyzing chlorophyll fluorescence and gas exchange are efficient ways for identifying responses and photosynthetic performance among papaya genotypes submitted to environmental stressors. Thus, this study aimed to evaluate the effect of water limitation on the agronomic efficiency of water use and on the photosynthetic process of seven papaya hybrids from the breeding program of Embrapa Mandioca e Fruticultura. The experiment was installed at the Experimental Farm on the Campus of the Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, in a randomized block design in a split-plot scheme, with ten genotypes, five replications and two irrigation regimes with irrigation shifts of two (ITR2) and ten days (ITR10). Three evaluations of gas exchange and chlorophyll fluorescence were performed within the interval between irrigations: three, five and nine days after irrigation (DAI). Gas exchanges were reduced as soil drying increased. The extension of the water deficit in the soil until the 9th DAI, led to a reduction of the maximum quantum yield of the PSII observed in the plants under ITR10. The hybrids CMF-L54×CMF-L78 and CMF-L56×CMF-L78 showed stomatal regulation under moderate deficit and greater agronomic efficiency in water use. There was no variability in photosynthetic rates among the studied genotypes. The hybrids CMF-L72×CMF-L78 and CMF-130×CMF-L78 showed distinct photosynthetic capacity from the other genotype s attested by the lowest values of chlorophyll a fluorescence.

**Keywords:** Photosynthesis, Stomatal conductance, Chlorophyll fluorescence.

## 1. INTRODUÇÃO

Distribuída amplamente nas regiões tropical e subtropical, a cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.) apresenta enorme importância socioeconômica nos países produtores. Atualmente o Brasil ocupa a terceira posição no ranking dos maiores produtores da fruta, sendo também o terceiro maior exportador, principalmente para países da União Europeia e EUA (FAOSTAT, 2023). Em 2021 a produção nacional foi de 1,2 milhão de toneladas de frutos, das quais 90,1% foram produzidas nos estados do Espírito Santo (439.550 toneladas), Bahia (400.438 toneladas), Ceará (140.979 toneladas), Rio Grande do Norte (103.431 toneladas) e Minas Gerais (48.415 toneladas), concentrando nas regiões Sudeste e Nordeste os principais polos de produção de mamão (IBGE, 2023).

É sabido que a produção sustentável do mamoeiro no Brasil é limitada pela baixa variabilidade genética nos pomares comerciais, tornando o cultivo vulnerável a fatores bióticos e abióticos (DANTAS; LUCENA; VILAS BOAS, 2015). O aumento pela demanda do fruto no comércio nacional e internacional, tem promovido a expansão do cultivo para outras regiões brasileiras, além do Sul da Bahia e Norte do Espírito Santo, regiões tradicionais de cultivo da fruta. E para atender a esse crescimento, com frutos de qualidade, é necessário desenvolver novas cultivares (híbridos e linhagens) adaptadas as mais variadas condições climáticas (LUZ *et al.*, 2018).

O aumento na frequência, intensidade e duração de eventos climáticos extremos, em decorrência das mudanças climáticas, tem aumentado nos últimos anos em todo o mundo, sobretudo os eventos de seca, que impactam seriamente a segurança hídrica, alimentar e energética. Sabe-se, portanto, que o mamoeiro é uma cultura altamente sensível ao déficit hídrico em todas as suas fases fenológicas, em função do crescimento e florescimento contínuo (CAMPOSTRINI *et al.*, 2010). A restrição de água no solo, combinada ou não com outros fatores abióticos, afeta o crescimento da planta e favorece a esterilidade feminina (MOREIRA *et al.*, 2019) e a ocorrência de anomalias florais que reduzem a qualidade dos frutos e o rendimento dos cultivos (PEREIRA *et al.*, 2018).

Em que pese a seleção de genótipos tolerantes à deficiência hídrica ser realizada basicamente em função da produção, a análise dos parâmetros

fisiológicos podem amparar nessa decisão, visto que, genótipos tolerantes podem otimizar os processos fotossintéticos de assimilação de CO<sub>2</sub> resultando em bons índices produtivos sob condições limitantes do ambiente (REIS; CAMPOSTRINI, 2008). A análise da fluorescência da clorofila é um indicador da eficiência fotoquímica bastante útil na compreensão dos mecanismos de fotoproteção associados à dissipação do excesso de energia de excitação e de tolerância aos estresses abióticos (SHEZI *et al.*, 2020).

Segundo Girón-Ramirez *et al.* (2021) os efeitos do déficit hídrico na transpiração e na taxa fotossintética podem ser detectados antes da redução acentuada no potencial hídrico da folha, indicando que a fisiologia radicular e a umidade do solo estão fortemente relacionadas com o fechamento estomático sob condições de baixa umidade no solo. Quando aliado ao aumento do déficit de pressão de vapor, o déficit hídrico causa considerável aumento na resistência estomática, diminuindo a disponibilidade de CO<sub>2</sub> e a produção de fotoassimilados (DANTAS; CASTRO NETO, 2000).

Sob condições de déficit moderado a redução da condutância estomática é responsável pela maior parte da diminuição da fotossíntese. Em geral, uma redução de 50% na gs representa uma redução de aproximadamente 35% na assimilação de CO<sub>2</sub> (NADAL; FLEXAS, 2019). A capacidade bioquímica também é afetada sob déficit hídrico, no entanto seus efeitos na fotossíntese tornam-se mais evidentes sob estresse severo, quando o fechamento estomático reduz a concentração interna de CO<sub>2</sub> e gera um excesso de poder redutor na cadeia transportadora de elétrons com produção de espécies reativas de oxigênio (EROs).

Alguns mecanismos protetores são desencadeados como resposta ao déficit, a exemplo da fotorrespiração e da dissipação térmica nos complexos coletores de luz (ciclo das xantofilas e luteína), que utilizam a energia da radiação interceptada não utilizada no ciclo de Calvin (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009, TAIZ *et al.*, 2017), esses mecanismos de “evitação” aos danos fotooxidativos, competem pela energia absorvida e conseqüentemente reduzem o rendimento quântico do FSII e a fotossíntese líquida (KAUR *et al.*, 2021).

Sabe-se que existe ampla variabilidade genética intraespecífica na taxa fotossintética de várias culturas, como arroz (GU *et al.*, 2017, YAMORI *et al.*, 2020), trigo (SILVA-PÉREZ *et al.*, 2020), amendoim (NAUTIYAL *et al.*, 2012) e cafeeiro

(DUBBERSTEIN *et al.*, 2021) e que essas diferenças resultam em maior ou menor rendimento entre os genótipos. Essas diferenças possuem diversas causas, já que a fotossíntese é um processo complexo que envolve uma série de fatores como anatomia e área foliar, condutância estomática e mesofílica, entre outras. A relação entre a quantidade de água aplicada com a taxa fotossintética líquida ou a quantidade de produto economicamente colhido expressa a eficiência de uso de água (EUA) pelas plantas. Assim, genótipos com maior capacidade de manter rendimentos satisfatórios sob condições limitadas de água possuem maior EUA e podem ser recomendados como genótipos tolerantes à seca.

Os efeitos do déficit de água na fisiologia, crescimento e produtividade do mamoeiro tem sido muito estudado em cultivares comerciais (CAMPOSTRINI e GLENN, 2007, CAMPOSTRINI *et al.*, 2010, VINCENT *et al.*, 2015), bem como a viabilidade de redução da lâmina de irrigação para melhorias na eficiência de uso da água pela cultura (LIMA *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2021). No entanto, não há estudos relacionados com a seleção de novos genótipos para tolerância ao déficit de água ou maior eficiência agrônômica no uso da água.

O melhoramento genético do mamoeiro com o objetivo de melhorar a eficiência do uso de água pelas plantas ajudará sobremaneira na redução dos impactos negativos do déficit hídrico sobre a produção da cultura diante de condições limitadas desse recurso. Assim, o conhecimento dos mecanismos de respostas e os efeitos do déficit hídrico sobre diferentes genótipos de mamoeiro permitirá selecionar plantas mais tolerantes e estabelecer estratégias de manejo, garantindo produções satisfatórias dentro de uma exploração sustentável. O objetivo deste trabalho foi estudar os efeitos do secamento do solo nas características de trocas gasosas, fluorescência da clorofila e eficiência de uso de água em híbridos de mamoeiro submetidos a um turno de rega de dez dias.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Material vegetal**

Foram avaliados dez genótipos de mamoeiro (*Carica papaya* L.), sendo sete híbridos e três cultivares como testemunhas: BRS-L78 (grupo “solo”), Golden (grupo Solo) e Tainung nº1 (grupo Formosa). Os híbridos utilizados foram obtidos

do cruzamento da 'BRS-L78' (linhagem testadora e doadora de pólen) com sete acessos do BAG da EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, conforme informações detalhadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Identificação e caracterização dos híbridos quanto a genealogia e grupo heterótico.

Híbridos	Código dos acessos no BAG	Grupo
CMF-L54×CMF-L78	CMF099	Solo
CMF-L56×CMF-L78	CMF114	Formosa
CMF-L58×CMF-L78	CMF118	Solo
CMF-L60×CMF-L78	CMF128	Solo
CMF-L72×CMF-L78	CMF230	Solo
CMF-L74×CMF-L78	CMF232	Solo
CMF-130×CMF-L78	CMF-130	Solo

## 2.2. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi instalado no campo da Fazenda Experimental do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB), da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), localizado no município de Cruz das Almas, BA, situada nas coordenadas geográficas 12° 40' 19" de latitude Sul, 39° 06' 23" de longitude Oeste e altitude de 220 m. Pela classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw a Am, tropical quente e úmido, com pluviosidade média anual de 1.200 mm, umidade relativa de 80% e temperatura média anual de 24,5°C. A região é caracterizada por um período seco de outubro a fevereiro, enquanto o período mais chuvoso vai de março a agosto.

O solo é classificado como *Latosolo Amarelo* Distrocoeso típico e relevo plano (Embrapa, 2018), com classe textural franco arenoso na profundidade de 0 a 0,30 m e franco argiloarenoso de 0,30 a 0,40 m de profundidade (Tabela 2). A Tabela 2 apresenta a classificação granulométrica e as características de retenção de água do solo.

**Tabela 2.** Características físico-hídrica de um Latossolo Amarelo Distrocoeso coletado na camada de 0-0,40 m na área do Campus Experimental do CCAAB/UFRB Cruz das Almas-BA.

Camada (m)	Classificação granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )			Parâmetros da curva de retenção de água				
	Areia total	Silte	Argila	$\theta_s$	$\theta_r$	$\alpha$	m	n
0,00-0,10	767	92	141	0,420	0,085	1,417	0,2555	2655
0,10-0,20	771	88	141	0,407	0,084	3,003	0,0836	4,692
0,20-0,30	732	77	191	0,303	0,093	2,258	0,1529	2,545
0,30-0,40	710	47	242	0,367	0,016	2,108	0,0302	5139

$\theta_s$  - umidade de saturação,  $\theta_r$ -umidade residual.

O preparo da área consistiu apenas de calagem, com aplicação de calcário dolomítico na quantidade de 1,0 t.ha<sup>-1</sup> para elevar a saturação de bases para 70%, de acordo com análise química do solo (Tabela 3). A adubação de plantio foi realizada utilizando-se dos seguintes fertilizantes por cova: esterco de gado (5 L), superfosfato simples (133 g) e FTE “Fritted Trace Elements” BR-12 (50 g). As adubações de cobertura foram feitas manualmente, a cada 15 dias com parcelamento das quantidades de fertilizantes recomendadas para os períodos vegetativos e de produção, conforme Oliveira e Coelho (2009).

**Tabela 3.** Análise da fertilidade do solo coletado na camada de 0-0,40m na área experimental do Campus do CCAAB/UFRB, Cruz das Almas-BA.

Prof.	pH (H <sub>2</sub> O)	P mg/dm <sup>3</sup>	K	Ca	Mg	Al	Na	H	CTC	V %	M.O g/kg
0-20	5.9	18	0.27	1.4	0.57	0	0.04	2.2	4.48	51	11
20-40	5.7	8	0.15	1.26	0.47	0	0.03	2.31	4.22	45	8

O transplântio foi realizado em fileira simples, com espaçamento de 3,0 x 2,0 m resultando em 1.666 plantas ha<sup>-1</sup>. Foram colocadas três mudas por cova, em distribuição triangular de 0,30 x 0,30 x 0,30 m, as quais foram mantidas até o início da floração, entre o terceiro e quarto mês após o transplântio, quando foi iniciada a sexagem, deixando-se a planta hermafrodita mais vigorosa para ser submetida às avaliações fisiológicas.

### **2.3. Sistema de irrigação**

O sistema de irrigação utilizado foi por microaspersão, com aspersores dispostos de 3,0 m entre linhas e 4,0 m entre emissores, instalados entre as linhas de cultivo, posicionados a 1,5 m de distância das linhas. Cada emissor foi posicionado no centro de quatro plantas, e dispostos alternadamente entre linhas laterais subseqüentes, com um emissor para duas plantas. Essa configuração do sistema de irrigação permitiu uma área molhada de 100% em relação à área ocupada por cada planta (6 m<sup>2</sup>). A vazão média nos microaspersores foi 99,0 L h<sup>-1</sup>, a uma pressão de serviço, no cabeçal de controle, de 1,5 bar (0,15 MPa), e uniformidade de aplicação de 90%.

### **2.4. Manejo da irrigação**

O manejo da irrigação foi realizado com o objetivo de elevar o conteúdo de água do solo ao limite superior de água disponível (capacidade de campo), e a reposição de água no solo foi baseada no monitoramento da umidade do solo, pelo método da Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR).

A sonda FDR utilizada foi Delta-T, modelo PR2/6, configurada para realizar, de uma só vez, leituras de umidade nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,60 e 1,00 m. As leituras foram realizadas antes e depois das irrigações ou após precipitação superior a 5mm. Foi instalado um tubo de acesso por planta e três tubos por genótipo totalizando 33 tubos na parcela de déficit, enquanto na parcela controle foram instalados apenas três tubos na cultivar Tainung nº1. O posicionamento dos tubos de acesso para monitoramento da água do solo foi na região de maior densidade de comprimento de raízes (0,35 m) para o mamoeiro irrigado por microaspersão (COELHO; SANTOS; COELHO FILHO, 2005).

A lâmina de irrigação foi estimada pela variação da armazenagem de água do solo entre as irrigações. Os valores de umidade considerados para o cálculo da lâmina de irrigação foram os valores médios de umidade dos tubos de acesso em cada parcela antes da irrigação. A lâmina de irrigação real e total necessária, a intensidade de aplicação e o tempo de irrigação foram calculados com base nas equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

$$IRN = \sum (\theta_{cc} - \theta_{atual}) \times Z \quad (1) \quad (6)$$

Em que:

IRN – irrigação real necessária, mm;

$\theta_{cc}$  – umidade na capacidade de campo,  $m^3m^{-3}$ ,

$\theta_{atual}$  – umidade atual,  $m^3m^{-3}$ .

Z=profundidade efetiva do sistema radicular (m)

$$ITN = \frac{Li}{Ea} \quad (2)$$

Em que:

ITN – irrigação total necessária, mm;

IRN– irrigação real necessária, mm;

Ea – Eficiência de aplicação (90%).

$$Ia = \frac{Ne \times Ve}{Aw} \quad (3)$$

Em que:

Ia – Intensidade de aplicação de água,  $mm\ h^{-1}$ ;

Ne – Número de emissores por planta;

Ve – Vazão de cada emissor,  $L\ h^{-1}$ ;

Aw – Área ocupada por planta,  $m^2$ .

$$Ti = \frac{ITN}{Ia} \quad (4)$$

Em que:

Ti – Tempo de irrigação, horas;

ITN – irrigação total necessária, mm;

Ia – Intensidade de aplicação de água,  $mm\ h^{-1}$ .

Os genótipos foram submetidos a dois regimes de irrigação com intervalo de rega de dois dias (ITR2) e de dez dias (ITR10) com o objetivo de promover um

déficit hídrico por meio do secamento do solo. Para garantir a imposição do estresse por déficit hídrico as plantas foram transplantadas no final do período das chuvas e as análises realizadas durante o verão. A reposição de água no solo no regime ITR2 manteve o solo próximo a capacidade de campo (-18 kPa) durante todo o período experimental. Enquanto nas plantas ITR10, a umidade variou entre o limite superior e inferior da água disponível, com valores abaixo de 70%, em função da menor frequência da irrigação. Foram realizadas três avaliações das trocas gasosas e de fluorescência da clorofila dentro do intervalo entre irrigações na parcela estressada, aos 3, 5 e 9 dias após a irrigação (DAI).

## **2.5. Determinação das trocas gasosas e da eficiência fotoquímica**

A fim de avaliar a resposta das plantas ao déficit hídrico, foram mensuradas em todos os tratamentos a taxa fotossintética líquida (assimilação de carbono) ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ao vapor de água ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), temperatura foliar ( $T_f$ , °C) e concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ,  $\text{mmol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), sendo, para isso, utilizado um analisador portátil de gás por infravermelho (IRGA) modelo LCpro-SD (ADC BioScientific, Hoddesdon, Inglaterra), em sistema fechado sob luz fixa de  $1.000 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e condições ambientes de temperatura e concentração de  $\text{CO}_2$ . Com os dados de trocas gasosa foi determinada a eficiência instantânea do uso da água ( $A/E$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$ ) e a eficiência instantânea de carboxilação ( $A/C_i$ ,  $\mu\text{mol CO}_2$ ).

No mesmo local da folha, dia e horário em que se determinaram as trocas gasosas, foram feitas as medições da fluorescência da clorofila com o auxílio de fluorômetro modulado portátil modelo OS5p, (OPTI-SCIENCES, Hudson, USA). Foram efetuadas as medidas das variáveis: fluorescência mínima da clorofila ( $F_0$ ), fluorescência máxima da clorofila ( $F_m$ ). A partir dessas foram calculadas: fluorescência variável ( $F_v$ ), o máximo rendimento quântico do FS II ( $F_v/F_m$ ). Para tanto, antes das determinações das variáveis da fluorescência, a área em que foram determinadas as variáveis, foi mantida no escuro durante 30 minutos, por meio de pinças, para que os centros de reação adquirissem a condição de “abertos”, ou seja, todo o sistema estivesse no estado oxidado.

As medidas fisiológicas foram realizadas sempre na região mediana da segunda folha totalmente expandida e exposta à radiação solar, a partir do ápice, em uma planta de cada genótipo, em quatro repetições. Foram realizadas três avaliações durante o período entre irrigações na parcela ITR10: 3, 5 e 9 dias após a irrigação (DAI) no período das 08h às 11h e de 13h às 15h. As duas primeiras avaliações foram realizadas aos 150 DAT (29/12/2020 e 31/12/2020), dois meses após o início do florescimento (início da frutificação). A terceira avaliação ocorreu aos 210 DAT, 4 meses depois do início do florescimento (fase de desenvolvimento final dos frutos).

## 2.6. Déficit de pressão de vapor

Os valores horários do déficit de pressão de vapor de água do ar ( $DPV_{ar}$ ) (Equação 5) foram calculados para os dias das análises fisiológicas, e obtidos pela diferença entre a pressão de saturação (Equação 5) e a pressão parcial de vapor de água no ar (Equação 7), a partir dos valores de temperatura do ar e da unidade relativa,

$$DPV = (e_s - e_a) \quad (5)$$

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\frac{7,5 T}{237,3+T}} \quad (6)$$

$$e_a = \frac{UR \times e_s}{100} \quad (7)$$

Em que:

DPV=déficit de pressão de vapor de água no ar (kPa);

$e_s$ =pressão de saturação de vapor de água no ar (kPa);

T= temperatura do ar (°C);

$e_a$ =pressão parcial de vapor de água (kPa)

UR=umidade relativa do ar (%)

## 2.7. Água disponível

Usando os valores de umidade do solo em cada tratamento, a água disponível no solo (Equação 8) foi calculado para cada dia da avaliação fisiológica.

$$ADS = \left( \frac{\theta_{atual} - \theta_{pmp}}{\theta_{cc} - \theta_{pmp}} \right) \cdot 100 \quad (8)$$

Em que:

ADS - Água disponível no solo, %;

$\theta_{\text{atual}}$  - Conteúdo real de água no solo,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;

$\theta_{\text{cc}}$  - Conteúdo de água do solo na capacidade de campo,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;

$\theta_{\text{pmp}}$  - Conteúdo de água do solo no ponto de murcha,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ .

## 2.8. Eficiência agronômica do uso da água

Para todos os genótipos nos dois regimes de irrigação, foram calculadas a eficiência agronômica de uso da água (EAUA) [equação 9] considerando a produção de frutos comerciais por planta e a lâmina bruta de água (irrigação + precipitação efetiva).

$$EAUA = \frac{Y}{VA} \quad (9)$$

Em que:

EAUA: Eficiência agronômica do uso da água, g fruta  $\text{L H}_2\text{O}^{-1}$

Y: Produção, g fruto planta<sup>-1</sup>

VA: Volume de água aplicado,  $\text{L H}_2\text{O planta}^{-1}$

Os dados de precipitação pluvial utilizados foram coletados em pluviômetro, instalado na área experimental e a pluviosidade foi registrada diariamente, no início da manhã, para todo o período experimental. Considerou-se como precipitação efetiva a lâmina de água necessária para elevar o conteúdo de água no solo até a capacidade de campo.

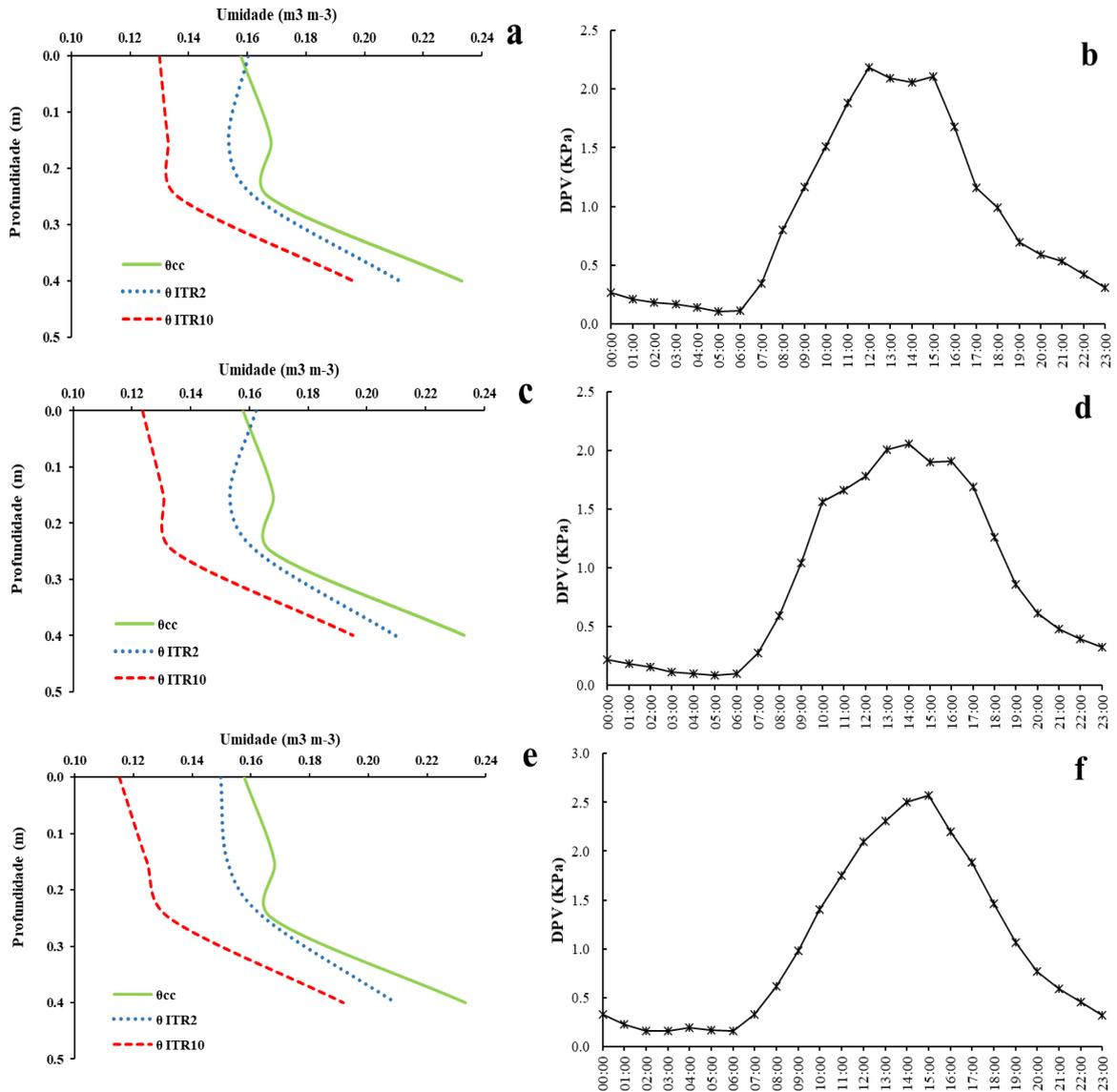
Os dados agrometeorológicos (temperatura, precipitação pluvial, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento) foram registradas pela estação meteorológica automática instalada no próprio *Campus* da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A imposição da limitação hídrica no solo e a realização das análises fisiológicas, ocorreu durante o período mais seco (verão), com registro de poucas e concentradas precipitações, altas temperaturas e alta radiação global. Na

primeira avaliação fisiológica (29/12/2020), três dias após a irrigação da parcela deficitária (3 DAI), e um dia após a irrigação na parcela controle a umidade do solo na zona radicular das plantas de mamoeiro, era em média 63% e 91% do conteúdo de água disponível, respectivamente (Figura 1a). O CO<sub>2</sub> atmosférico, a temperatura da folha e a temperatura do ar ficaram em torno de  $395,7 \pm 2,6 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ,  $34,6 \pm 2,1 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $33,7 \pm 2,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente. Não houve efeito do manejo ( $p \geq 0,05$ ) para nenhuma variável na primeira avaliação, indicando que o tratamento de três dias de déficit não foi suficiente para alterar as trocas gasosas das plantas na parcela ID. Com relação à utilização e a dissipação da energia, avaliada pelas variáveis da fluorescência da clorofila 'a', os genótipos apresentaram diferenças altamente significativas ( $p \leq 0,001$ ) para todas as variáveis analisadas ( $F_0$ ,  $F_m$ ,  $F_v$ ,  $F_v/F_m$ ).

**Figura 1.** Valores de umidade do solo e déficit de pressão de vapor do ar (DPV<sub>ar</sub>) avaliados aos 3 (a, b) e 5 (c, d) DAI (dias após a irrigação), durante as fases de desenvolvimento e crescimento dos frutos e aos 9 DAI (e, f) na fase de amadurecimento. Cruz das Almas, BA, 2021.

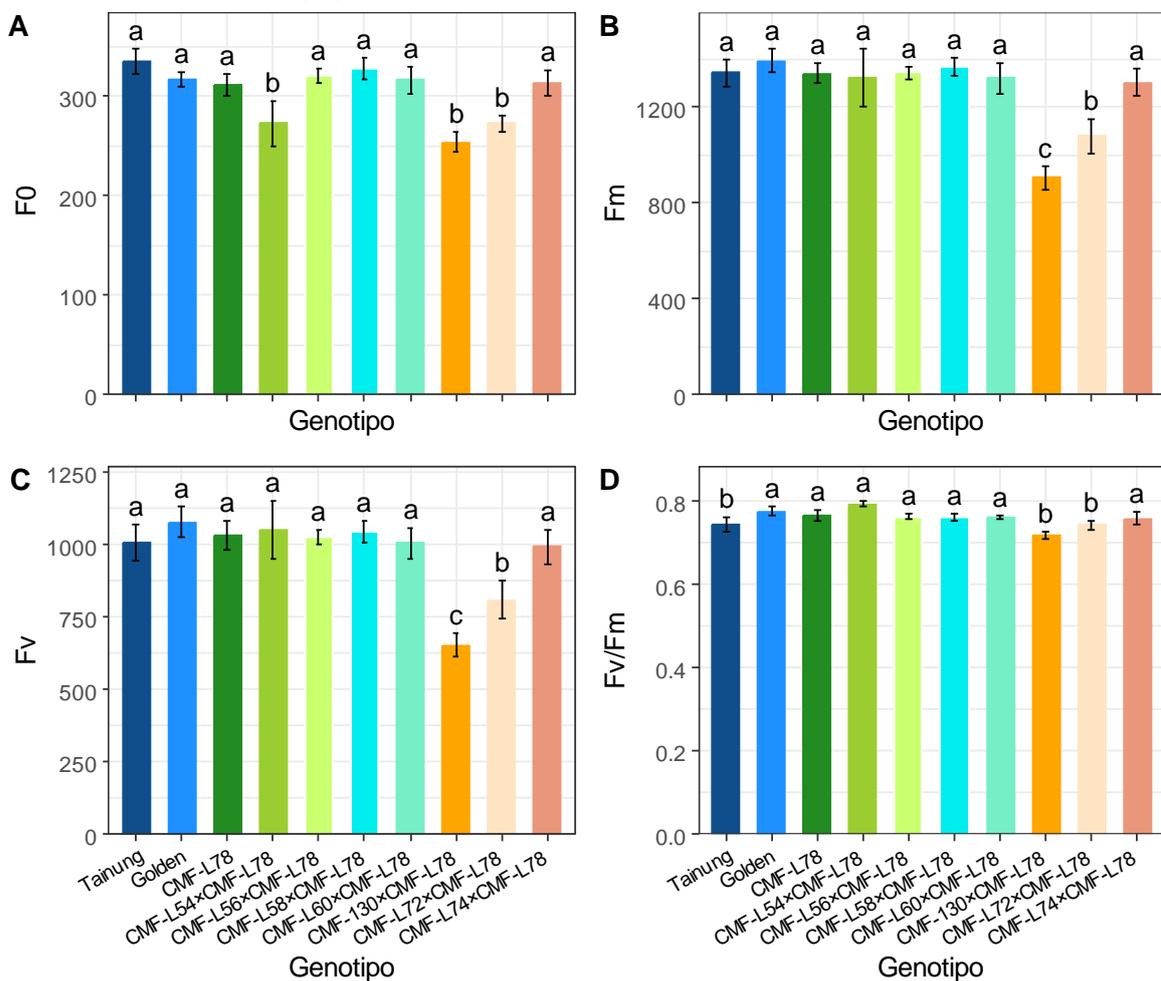


$\theta_{cc}$ =umidade do solo no limite superior da capacidade de campo;  $\theta_{ITR2}$ = umidade do solo no turno de rega de dois dias;  $\theta_{ITR10}$ = umidade do solo no turno de rega de dez dias.

Maiores valores significativos de  $F_0$  foram observados nos genótipos 'Tainung n<sup>o</sup>1' (335,4), CMF-L58×CMF-L78 (328,3), CMF-L56×CMF-L78 (320,6), 'Golden' (317), CMF-L60×CMF-L78 (316,5), CMF-L74×CMF-L78 (312,9) e 'BRS-L78' (312,4) (Figura 2a). Para  $F_m$  e  $F_v$  os menores valores significativos encontrados foram para CMF-130×CMF-L78 (903,4 e 649,4, respectivamente) e CMF-L72×CMF-L78 (903,4 e 806,4, respectivamente) (Figuras 2b e 2c), porém, as

diferenças encontradas podem ser mais bem analisadas quando se observa o rendimento quântico máximo do FSII, obtidos pelas razões FV/Fm (Figura 2d) que foram estatisticamente semelhantes ao da cultivar ‘Tainung nº1’ (0,74 e 0,72) e menores que 0,75. Valores menores que 0,75 indicam queda na eficiência quântica do FSII sob condições estressantes.

**Figura 2.** Valores médios de fluorescência inicial (A), fluorescência máxima (B), fluorescência variável (C) e eficiência quântica do Fotossistema II (FSII) para sete híbridos e três cultivares comerciais (‘Tainung nº1’, ‘Golden’ e ‘BRS-L78’) avaliados aos 3 dias após a irrigação (DAI).



Médias seguidas de mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o erro padrão, n=8.

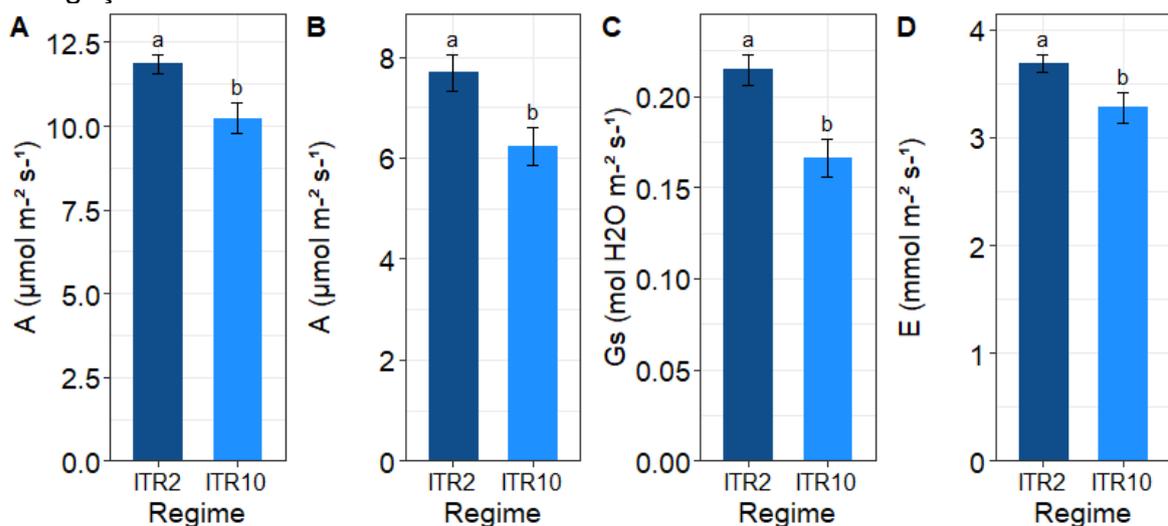
Em 31/12/2020, cinco dias após a irrigação (5 DAI), quando foi realizada a segunda avaliação das trocas gasosas e fluorescência da clorofila, a umidade na profundidade efetiva das raízes das plantas submetidas a irrigação deficitária foi 59%, equivalente a 11% do limite inferior da água disponível (0,7), enquanto no

regime ITR2 a água disponível manteve-se em 91% (Figura 1c). Os valores de CO<sub>2</sub> atmosférico, a temperatura da folha e a temperatura do ar foram em média 396,4 ± 2,6 μmol mol<sup>-1</sup>, 35,6 ± 1,5 °C e 34,7 ± 1,5 °C, respectivamente.

O tratamento com déficit hídrico de cinco dias causou uma redução significativa ( $p \leq 0,01$ ) em A, gs e E pelo teste F, em ambos os períodos avaliados (manhã e tarde). O efeito do genótipo foi significativo a 5% de probabilidade para a variável E, e altamente significativo ( $p \leq 0,01$ ) para F<sub>0</sub>, F<sub>m</sub>, F<sub>v</sub>, F<sub>m</sub>/F<sub>v</sub> no período da manhã (08:00 as 11:00h). No período entre 13:00 e 15:00h, o efeito do genótipo foi altamente significativo ( $p \leq 0,01$ ) para todas as variáveis, exceto para gs e E, cuja interação genótipo por ambiente foi significativa a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

O estresse por déficit hídrico reduziu a taxa fotossintética líquida (A) das plantas em 13,6% e 19,0% na avaliação realizada pela manhã e no período da tarde (Figuras 3a e 3b), respectivamente. A gs reduziu 23,8% (Figura 3c) e E foi 10,9% menor sob déficit hídrico (Figura 3d). Considerando que a intensidade do déficit de água no solo foi o mesmo para os dois períodos avaliados nesse dia, as maiores reduções observadas a tarde são resultado do efeito do DPV<sub>ar</sub> (Figura 1d).

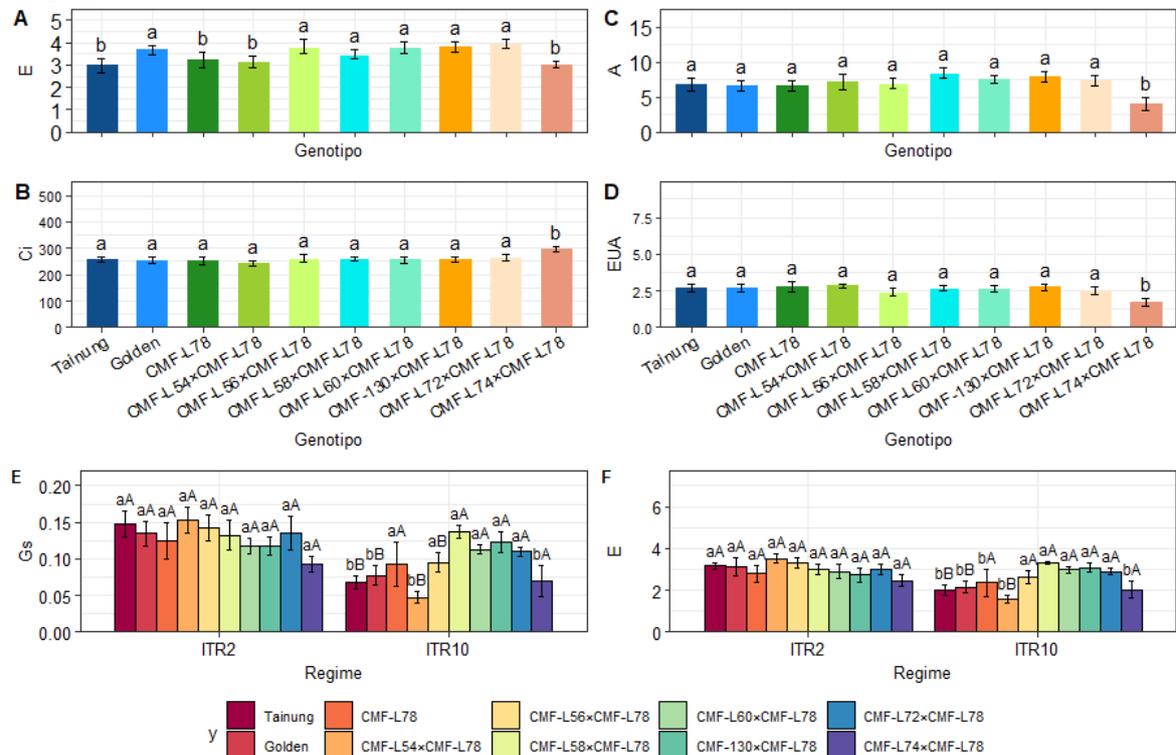
**Figura 3.** Valores médios da taxa fotossintética líquida (A) no período de 08:00 às 11:00h (A) e de 13:00 às 15:00h (B); e da condutância estomática (Gs) e transpiração (E) no período de 08:00 as 11:00h (C, D), avaliados aos 5 dias após a irrigação.



Médias seguidas de mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o erro padrão, n=40.

A Figura 4a apresenta os valores médios de E em função dos genótipos obtidos pela manhã. Os valores de gs variaram em média entre 2,97 mol (H<sub>2</sub>O) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para o ‘Tainung n°1’ a 3,94 mol (H<sub>2</sub>O) m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para o CMF-L72×CMF-L78. As menores taxas de transpiração foram observadas para os híbridos CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L74×CMF-L78, que foram estatisticamente iguais aos valores do parental ‘BRS-L78’ e da cultivar Tainung n°1.

**Figura 4.** Valores médios da transpiração (E, mmol m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) no período entre 08:00 às 11:00h, e taxa fotossintética líquida (A, μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (ci, mmol de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), eficiência instantânea do uso da água (EUA, μmol CO<sub>2</sub> mmol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>), condutância estomática (Gs, mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e transpiração (E, mmol m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) no período de 13:00 às 15:00h, avaliados aos 5 dias após a irrigação.



Desdobramento de efeitos da interação genótipo x regime de irrigação. Médias seguidas de mesma letra maiúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade para comparação de cada genótipo entre os regimes de irrigação (ambiente). Médias seguidas de mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade para comparação entre genótipos dentro de cada regime de irrigação. As barras verticais indicam o erro padrão, n=8 nos gráficos efeito genótipos, e n=4 nos gráficos interação genótipo x regime de irrigação.

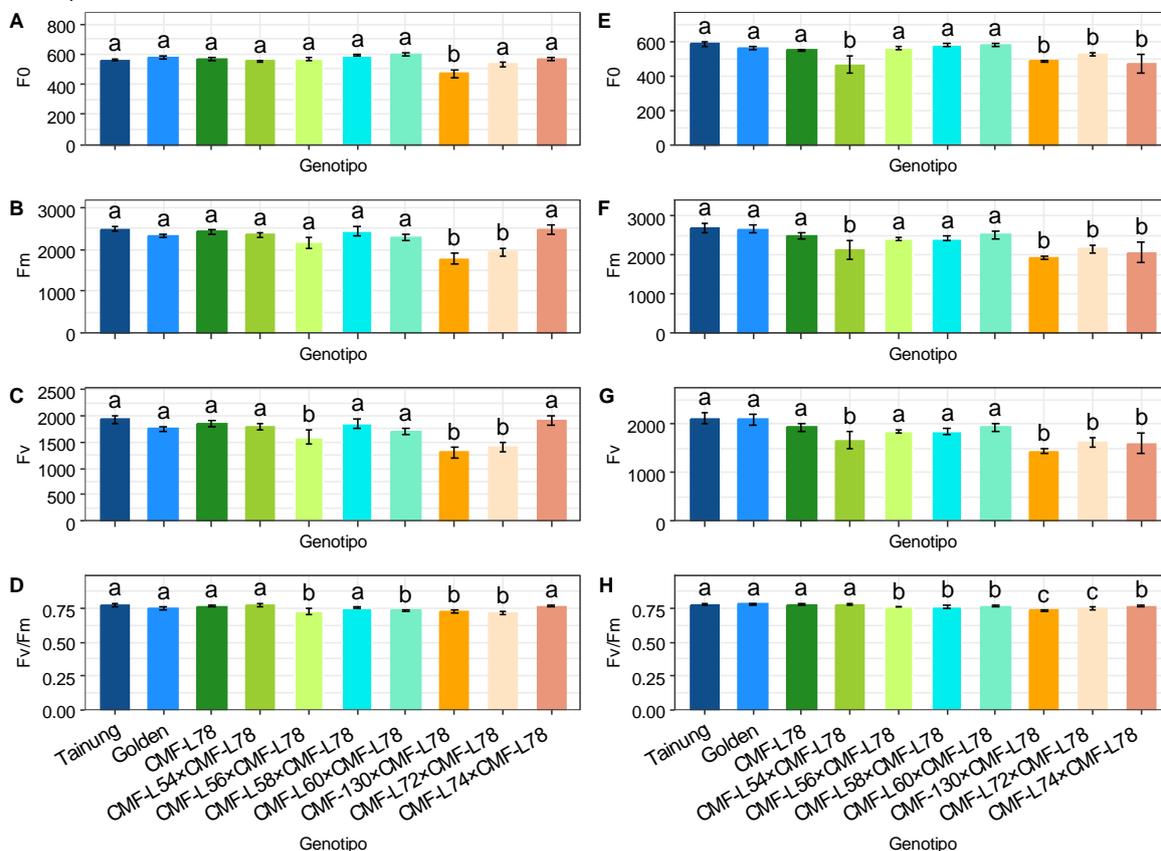
Para os genótipos na condição bem irrigada, não houve diferença significativa das variáveis gs e E na análise realizada entre 13:00 e 15:00h, porém os valores de gs variaram de 0,09 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (CMF-L74×CMF-L78) a 0,15 mol m<sup>-2</sup>

$s^{-1}$  (CMF-L54×CMF-L78) (Figura 4e) e a transpiração de  $2,46 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (CMF-L74×CMF-L78) a  $3,51 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (CMF-L54×CMF-L78) (Figura 4f). Sob limitação hídrica, os menores valores de  $g_s$  ( $0,05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e  $E$  ( $1,6 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) foram verificados no CMF-L54×CMF-L78, que não diferiu do CMF-L74×CMF-L78 e das cultivares Tainung nº1 e Golden para  $g_s$  ou do parental 'BRS-L78' para  $E$ .

O déficit hídrico reduziu significativamente a condutância estomática e a transpiração dos genótipos 'Tainung nº1', 'Golden', CMF-L54×CMF-L78 e para o CMF-L56×CMF-L78 apenas  $g_s$  foi afetada pela limitação de água no solo. As reduções mais pronunciadas em  $g_s$  e  $E$  foram observadas para os híbridos CMF-L54×CMF-L78 (66% e 54%, respectivamente) e 'Tainung nº1' (50% e 36,7%, respectivamente). No entanto, a regulação negativa da abertura estomática não afetou a taxa de assimilação líquida desses genótipos que não diferiram dos demais (Figura 4b), exceto pelo CMF-L74×CMF-L78 cuja taxa de assimilação de carbono foi a mais baixa entre os genótipos, mesmo tendo apresentado os menores percentuais de redução em  $g_s$  e  $E$  (22% e 17% respectivamente) (Figuras 4e e 4f). Por outro lado, observou-se aumento significativo na concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  ( $c_i$ ), no período da tarde (Figura 4c) para o CMF-L74×CMF-L78 e esse aumento não favoreceu a assimilação fotossintética de  $\text{CO}_2$  (Figura 4b), resultando em menor EUA (Figura 4d) desse híbrido em relação aos demais genótipos.

Embora não tenha sido detectado efeito significativo dos níveis de umidade do solo na fluorescência da clorofila, aos 5 DAI ocorreu um aumento nos valores de  $F_0$ ,  $F_m$  e  $F_v$  dos genótipos em relação ao primeiro dia de avaliação (29/12/2020). Os menores valores médios de fluorescência observados foram dos híbridos CMF-130×CMF-L78 (469,1; 1780,0 e 1310,9) em  $F_0$ ,  $F_m$  e  $F_v$  (Figura 5a, b e c), CMF-L72×CMF-L78 (1940,3 e 1404,4) em  $F_m$  e  $F_v$  (Figura 5b e c) e CMF-L56×CMF-L78 (1595,9) em  $F_v$  (Figura 5c). Em função dos menores valores de  $F_v$  e  $F_m$  verificados nesses genótipos, a eficiência quântica foi reduzida, ficando abaixo de 0,75.

**Figura 5.** Valores médios de fluorescência inicial (A), fluorescência máxima (B), fluorescência variável (C) e eficiência quântica do Fotossistema II (FSII) para sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung n°1', 'Golden' e 'BRS-L78') avaliados aos 5 DAI, no período de 08:00 às 11:00 (A, B, C, D) e de 13:00 às 15:00h (E, F, G, H).



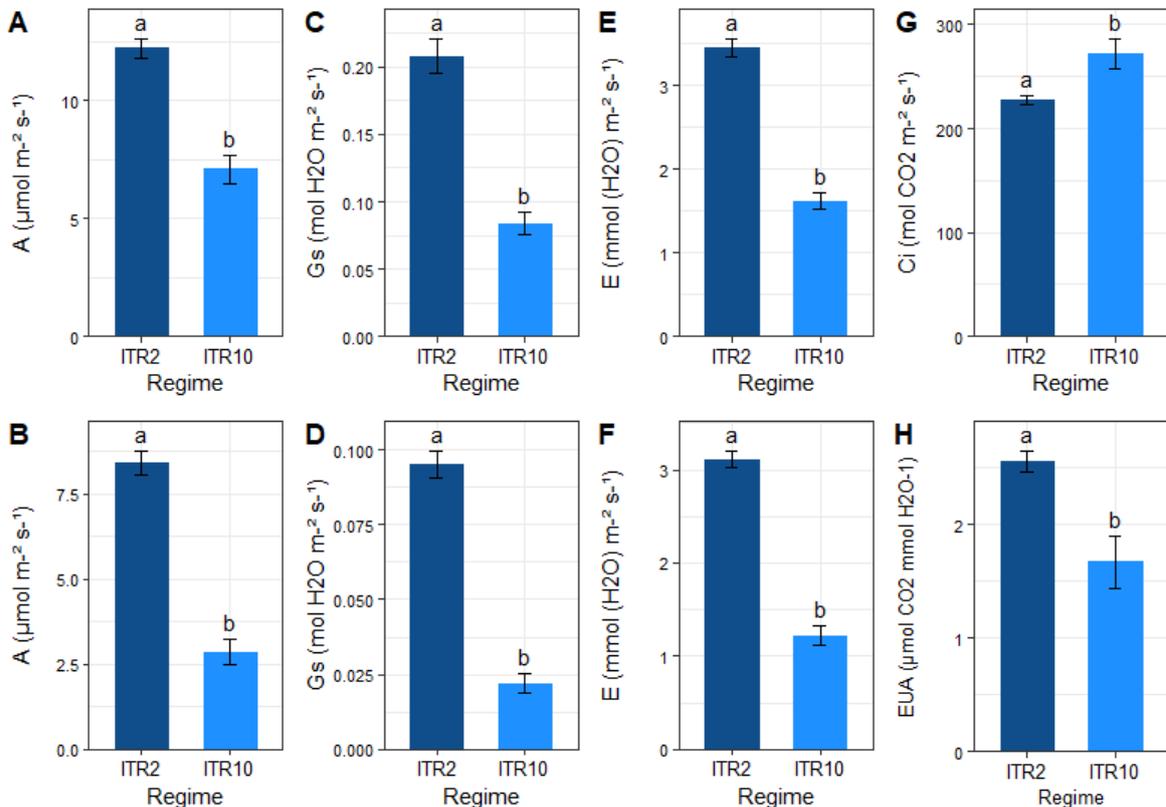
Médias seguidas de mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o erro padrão, n=8.

No período da tarde, os valores de F<sub>0</sub>, F<sub>m</sub> e F<sub>v</sub> permaneceram inferiores para os híbridos CMF-L72×CMF-L78 (520,6; 2148,9 e 1628,2) e CMF-L130×CMF-L78 (484,8; 2127,1 e 1441,8) sem diferir das médias do CMF-L54×CMF-L78 (463,1; 1926,6 e 1663,9) e CMF-L74×CMF-L78 (467,9; 2065,5 e 1597,6) (Figuras 5e, 5f e 5g), porém, apenas os dois primeiros apresentaram relação F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> significativamente menor e inferior a 0,75 (0,74 e 0,76, respectivamente) (Figura 5h).

No dia do estresse máximo (9 DAI), quando foi realizada a terceira avaliação, em 09/02/2021, a umidade do solo reduziu 47,3% da água disponível na parcela ID, mantendo-se a 87,3% na parcela IP (Figura 1e). Os valores de CO<sub>2</sub> atmosférico, a temperatura da folha e a temperatura do ar foram em média 397,9 ± 4,4 μmol mol<sup>-1</sup>

<sup>1</sup>,  $36,1 \pm 2,3$  °C e  $35,3 \pm 2,3$  °C, respectivamente. Na parte da manhã, houve efeito altamente significativo do manejo ( $p \leq 0,01$ ) para as variáveis A, gs, E, F<sub>0</sub>, F<sub>m</sub> e significativo ( $p \leq 0,05$ ) para F<sub>v</sub>. Houve efeito do genótipo ( $p \leq 0,01$ ) apenas para F<sub>m</sub> e F<sub>v</sub>. A tarde a análise de variância detectou efeito altamente significativo ( $p \leq 0,01$ ) do ambiente para todas as variáveis e efeito do genótipo ( $p \leq 0,01$ ) para F<sub>0</sub>, F<sub>v</sub>, F<sub>m</sub> e F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>.

**Figura 6.** Valores médios da taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (Gs) e transpiração (E) no período de 08:00 às 11:00h e de 13:00 às 15:00h; e concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (ci) e eficiência instantânea do uso da água (EUA), de 13:00 às 15:00h, avaliados aos 9 dias após a irrigação.



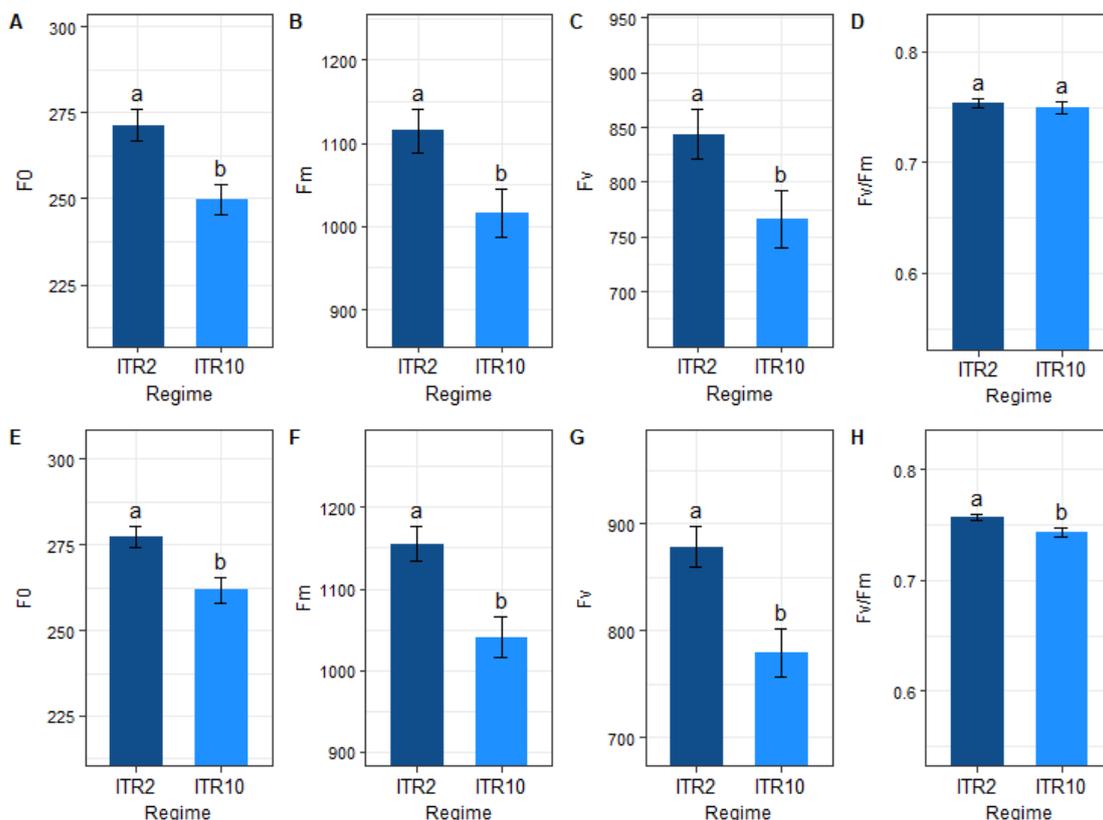
Médias seguidas de mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o erro padrão, n=40.

As trocas gasosas e a fluorescência da clorofila das plantas submetidas à deficiência hídrica foram significativamente afetadas após nove dias sem irrigação. No geral, o estresse por déficit hídrico diminuiu a A, gs e E (Figuras 6a, 6c e 6e) em 42%, 62% e 53% pela manhã, respectivamente. Reduções mais pronunciadas foram observadas nos horários entre 13:00 e 15:00h, para as trocas gasosas, chegando a reduzir 66% em A (Figura 6b), 76% em gs (Figura 6d) e 61,0% em E

(Figura 6e). Neste trabalho, a eficiência instantânea do uso da água (EUA) foi reduzida em 34,5%, sendo maior nas plantas sob irrigação plena com  $2,55 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$  (Figura 6h).

O efeito do manejo de água na fluorescência da clorofila foi menor, com reduções de 8%; 9% e 9,2% pela manhã (Figuras 7a, 7b e 7c) e de 5,6%; 10% e 11,3% no período da tarde para  $F_0$ ,  $F_m$  e  $F_v$  (Figuras 7e, 7f e 7g), respectivamente. No período da manhã não houve diferença entre a eficiência quântica do FSII, e  $F_v/F_m$  foi em média 0,75 (Figura 7d). À tarde, nas plantas sob irrigação plena a variável  $F_v/F_m$  média dos genótipos foi de 0,76 e na parcela deficitária, esse valor foi reduzido para 0,74 (Figura 7h). A concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  nesse período foi 16,5% maior nas plantas sob déficit de água no solo (Figura 6g).

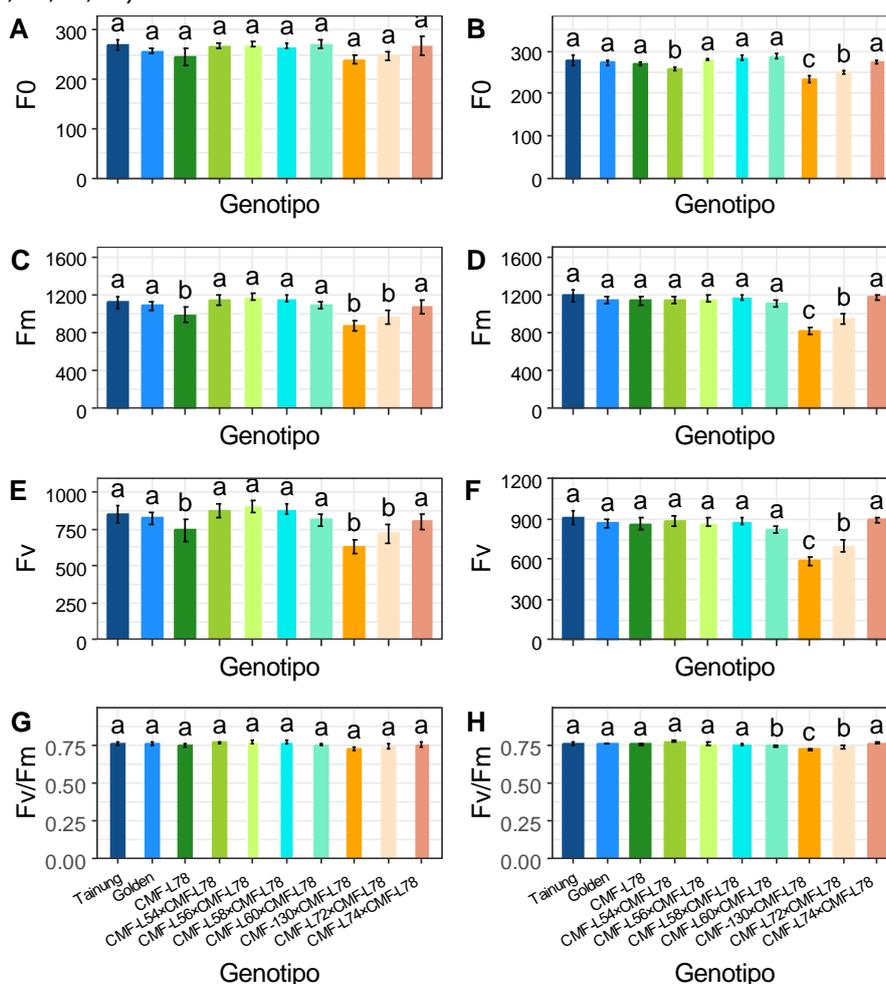
**Figura 7.** Valores médios de fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ) e eficiência quântica do Fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) no período de 08:00 às 11:00 (A, B, C e D) e de 13:00 às 15:00h (E, F, G, H), avaliados aos 9 DAI.



Médias seguidas de mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. As barras verticais indicam o erro padrão, n=40.

Em relação às diferenças entre os genótipos para as variáveis  $F_0$ ,  $F_m$  e  $F_v$ , os valores decresceram muito em relação ao segundo dia. No período entre 8:00 e 11:00h, os genótipos CMF-L54×CMF-L78, CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78 apresentaram os menores valores de  $F_m$  e  $F_v$  e a tarde para  $F_0$ , respectivamente (Figuras 8C, 8E e 8B). A tarde apenas os híbridos CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78 mantiveram esse padrão para  $F_m$  e  $F_v$  (Figuras 8D e 8F). A eficiência quântica máxima dos híbridos CMF-L60×CMF-L78, CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78 foram significativamente menores e abaixo de 0,75 (Figura 8H).

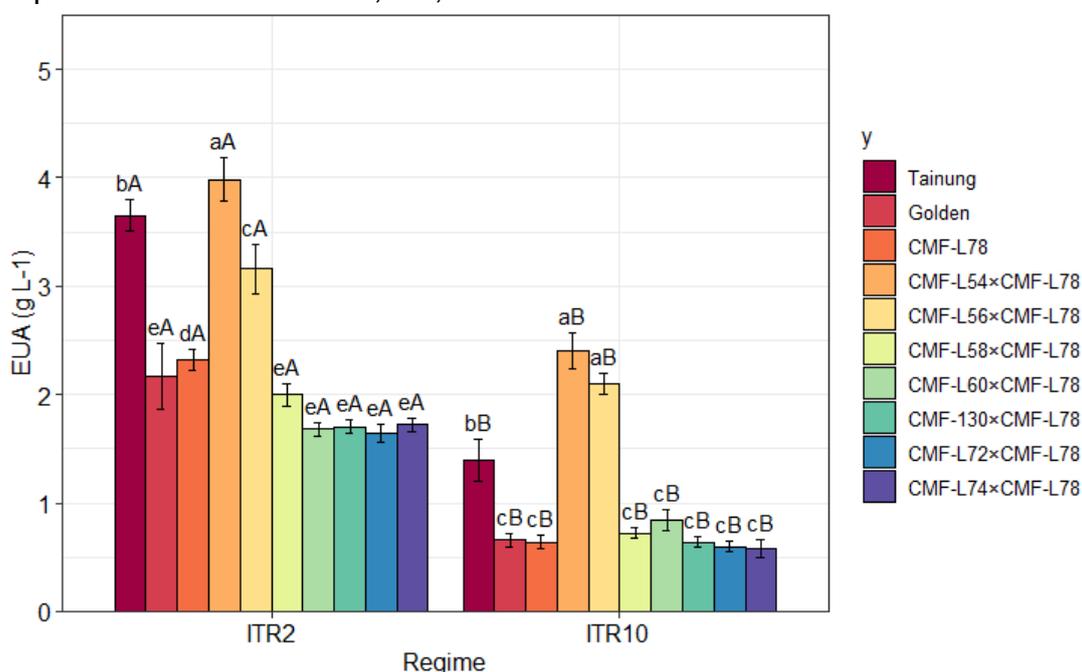
**Figura 8.** Valores médios de fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ) e eficiência quântica do Fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) para sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') avaliados aos 9 DAI, no período de 08:00 às 11:00 (A, C, E, G) e de 13:00 às 15:00h (B, D, F, H).



Médias seguidas de mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Houve efeito altamente significativo ( $p \leq 0,001$ ) da interação genótipo por ambiente para a eficiência agrônômica do uso da água (EAUA), avaliada pela produção média de frutos por planta aos 270 DAT. Na Figura 9 estão apresentados os valores médios para EAUA para os genótipos nas duas condições hídricas. A EAUA dos genótipos de mamoeiros variou de 1,62 a 4,0 g L<sup>-1</sup> sob irrigação plena e de 0,59 a 2,4 g L<sup>-1</sup> sob irrigação deficitária, sendo as menores e as maiores médias observadas para os híbridos CMF-L72×CMF-L78 e CMF-L54×CMF-L78, respectivamente. Comparando os valores de EAUA dos genótipos entre os ambientes bem irrigado e de déficit hídrico, houve redução da eficiência média de todos os genótipos, porém as menores reduções foram observadas em relação aos híbridos CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78, que diferiram dos demais híbridos na parcela estressada.

**Figura 9.** Eficiência agrônômica do uso da água (EAUA) de sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') de mamoeiro, cultivados sob dois regimes de irrigação e avaliadas aos 210 dias após o transplante. Cruz das Almas, BA, 2021.



Desdobramento de efeitos da interação genótipo por ambiente. Médias seguidas de mesma letra maiúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade para comparação de cada genótipo entre os regimes níveis de irrigação. Médias seguidas de mesma letra minúscula no gráfico não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade para comparação entre genótipos dentro de cada nível de irrigação. As barras verticais indicam o erro padrão, n=5.

#### 4. DISCUSSÃO

A fotossíntese determina a taxa de crescimento e a produtividade vegetal e está diretamente relacionada com a disponibilidade de água no solo e no ar (EL-SHARKWAY *et al.*, 1985; REIS; CAMPOSTRINI, 2008). Durante a imposição do déficit de água no solo e/ou na atmosfera, a taxa fotossintética diminui drasticamente (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009), principalmente em função do fechamento estomático (CAMPOSTRINI *et al.*, 2001; XIONG; FLEXAS, 2022), ou ainda pelos efeitos não estomáticos (KAUR *et al.*, 2021).

A condutância estomática (gs) está associada ao grau de abertura dos estômatos que determina as taxas transpiratórias (E) e a assimilação de carbono (A). Sob limitação de água na zona radicular das plantas, gs e A estão fortemente correlacionados, uma vez que, cerca de 80% da redução na assimilação de carbono são decorrentes de limitações difusivas do CO<sub>2</sub> através dos estômatos e do mesófilo (WANG *et al.*, 2018). No entanto os mecanismos que desencadeiam o fechamento do poro estomático nas angiospermas em resposta ao déficit hídrico ainda não estão bem elucidados (WANG *et al.*, 2018; GAGO *et al.*, 2020). Alguns autores atribuem ao ABA a sinalização inicial em resposta ao déficit de água no solo (MAHOUACHI *et al.*, 2007; MARTIN-VERTEDOR, DODD, 2011; LIMA *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2016), outros relatam a perda de turgor nas células guardas como causa principal da regulação estomática sob alta demanda atmosférica de vapor d'água (EL-SHARKWAY *et al.*, 1985; MARLER; MICKELBART, 1998; GAGO *et al.*, 2020).

Aos 3 DAI, não foram verificadas diferenças significativas para as trocas gasosas das plantas bem irrigadas e estressadas, possivelmente devido ao ajustamento osmótico em resposta à desidratação leve, durante o estabelecimento inicial do déficit hídrico e da aclimação das plantas. Lima *et al.* (2015), estudando o efeito da irrigação deficitária em mamoeiro, não verificaram diferença significativa entre as respostas fisiológicas de plantas sob secagem parcial do sistema radicular (PRD) e déficit hídrico regulado (RDI), cultivados em casa de vegetação e submetidas a um déficit de 50% da lâmina de irrigação. No entanto, o déficit foi suficiente para reduzir a biomassa e a matéria seca em relação as plantas no tratamento controle.

A resposta inicial ao estresse promovido pelo maior intervalo entre irrigações, foi a redução da taxa fotossintética a partir do 9º dia de aplicação dos tratamentos. Mahouachi et al. (2006) verificaram que ao final do período de estresse (34 DAT), a taxa fotossintética foi reduzida em 76%. Em outro estudo com irrigação deficitária, Santos *et al.* (2021) indicaram que o mamoeiro possui alta plasticidade ao déficit hídrico moderado, com capacidade de ajustar-se a diferentes lâminas de irrigação sem reduzir a fotossíntese, o crescimento e a floração.

Essa relativa tolerância do mamoeiro a deficiência de água no solo está associada à capacidade dessa espécie em retardar a desidratação por meio do ajustamento osmótico. Através desse mecanismo a planta consegue reduzir o potencial hídrico celular pelo acúmulo de íons e sais e, dessa forma, manter o conteúdo relativo de água nas folhas garantindo a continuidade dos processos metabólicos sob condições de déficit leve a moderado (MAHOUACHI; SOCORRO; TALON, 2006). Esse mecanismo pode ter ocorrido nas plantas sob déficit leve aos 3 DAI, permitindo a manutenção da condutância estomática, e a aclimação osmótica do cloroplasto garantiu a continuidade das atividades metabólicas (GAGO *et al.*, 2020).

Outra possibilidade é a grande variabilidade das leituras de trocas gasosa, observada pela barra de erros. A grande variação desses valores está relacionada com as variações do  $DPV_{ar}$  (Figuras 1b, 1d e 1f). É possível observar que entre 8:00 e 11:00h, as curvas do  $DPV_{ar}$  apresentaram uma tendência de crescimento linear positiva. A elevação das temperaturas em função do aumento na incidência da radiação (condição típica do verão na região), e a redução da umidade relativa, nas horas mais quentes, promoveram valores de  $DPV_{ar}$  crescentes, com picos em 2,4, 2,0 e 2,5 kPa entre às 14:00 e 15:00h, aos 3, 4 e 5 DAI, respectivamente.

Com efeito, é relatado por diversos autores que o mamoeiro é uma espécie altamente responsiva às variações ambientais (MACHADO FILHO *et al.*, 2006; REIS; CAMPOSTRINI, 2008) e o fechamento estomático ocorreria por meio da evaporação periestomatal sob valores elevados de  $DPV_{folha-ar}$ , em decorrência da alta resistência hidráulica entre o estômato e o mesofilo foliar (EL-SHARKWAY *et al.*, 1985). Nesse caso, o fechamento estomático pode ocorrer sem alterações na turgescência foliar, e mesmo sob adequada disponibilidade hídrica do solo

(MARLER; MICKELBART, 1998; MACHADO FILHO *et al.*, 2006; CHAVES *et al.*, 2009; CAMPOSTRINI *et al.*, 2018).

O mamoeiro pode alcançar taxas de assimilação líquida de carbono de 25 a 30  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , sob condições adequadas de umidade do solo e de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), porém esses valores podem variar com o genótipo e com níveis de RFA acima da saturação que diminuem a resposta fotossintética (CAMPOSTRINI; GLENN, 2007, CAMPOSTRINI *et al.*, 2018). Nesse trabalho, as taxas de assimilação de  $\text{CO}_2$  foram maiores no período entre 08:00 e 11:00h (12  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Durante o período de 13:00 até 15:00h quando o  $\text{DPV}_{\text{ar}}$  atingiu valores máximos de 2,0 e 2,5 kPa (5 e 9 DAI, respectivamente) a taxa de assimilação líquida de carbono foi reduzida em todas as plantas, inclusive nas plantas controle em relação aos valores observados pela manhã. Tal observação é corroborada pelo estudo de Marler e Mickelbart (1998). Os autores relataram que, em condição de campo, plantas de mamoeiro, com boa disponibilidade de água no solo ( $\psi_{\text{solo}} = -19\text{kPa}$ , controle), apresentaram regulação estomática e redução em A. Os autores atribuíram esse fenômeno ao elevado  $\text{DPV}_{\text{ar}}$  (2,4kPa) ao meio-dia, em dias de céu claro, já que não houve alterações na eficiência fotoquímica máxima do FSII ( $F_v/F_m > 0,75$ ).

De acordo com os resultados obtidos nesse estudo, as trocas gasosas das plantas controle e estressadas foram reduzidas em função dos valores mais elevados do  $\text{DPV}_{\text{ar}}$ , no período entre 13:00 e 15:00h, durante o verão. Os resultados obtidos nesse estudo corroboram também com os obtidos por Machado Filho *et al.* (2006). Os autores mostraram que valores de  $\text{DPV}_{\text{ar}}$  de aproximadamente 2,5 kPa às 15:00h, na época seca, causou significativas reduções em gs, A e E.

Esse fenômeno, conhecido como depressão da fotossíntese ao meio dia (DFMD), ocorre com frequência em muitas espécies de clima tropical, nos horários de maiores valores de  $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$  (EL-SHARKWAY *et al.*, 1985, REIS; CAMPOSTRINI, 2008), e ocorre com frequência em mamoeiro devido ao fato de que nessa espécie o controle estomático é altamente responsivo às variações de luz, temperatura e umidade relativa. Lima *et al.* (2015) observaram decréscimo linear da taxa fotossintética de mamoeiros quando a condutância estomática alcançou valores abaixo de 0,4 mol de  $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Neste estudo a condutância estomática foi menor que o valor relatado em todos os genótipos avaliados,

independente da umidade do solo e do período da avaliação, devido ao efeito da DFMD em IP e da combinação desta com o estresse hídrico em ID.

Maiores reduções das trocas gasosas foram observadas no período da tarde e nas plantas estressadas, de acordo com a intensidade do déficit hídrico. Nas avaliações realizadas pela manhã, a  $g_s$  das plantas bem irrigadas, não variou entre os dias, mantendo-se totalmente abertos ( $0,21 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Enquanto entre 13:00 às 15:00h, todos os genótipos apresentaram estômatos parcialmente abertos aos 5 DAI para todos os tratamentos. Apesar da redução em A, não foi observado efeito significativo do déficit hídrico na eficiência do FSII das plantas aos 5 DAI. Efeito semelhante foi verificado por MARLER e MICKELBART (1998). Mesmo sob limitação de água no solo, a eficiência do FSII, avaliado pela relação  $F_v/F_m$  em folhas do genótipo 'Red Lady' não foi comprometida. Embora haja menor influxo de carbono na folha em função da redução em  $g_s$ , os efeitos não-estomáticos em A são mais acentuados sob estresse severo (KAUR *et al.*, 2021).

Aos 9 DAI, a  $g_s$  das plantas bem irrigadas foi recuperada pela manhã, enquanto as plantas submetidas ao estresse mantiveram a condição de fechamento parcial dos estômatos, fechando completamente no período da tarde ( $g_s < 0,05$ ). Segundo FLEXAS *et al.* (2009), valores de  $g_s$  menores que  $0,05 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  são observados em plantas submetidas a déficit hídrico severo.

Com o prolongamento do estresse, a fixação de  $\text{CO}_2$  é reduzida e pode desencadear efeitos não-estomáticos com perturbações nos processos fotoquímicos (redução no transporte de elétrons, redução de ATP e NADPH) (FLEXAS, 2016) e nos processos bioquímicos (redução na eficiência carboxilativa e/ou na quantidade e atividade da Rubisco e de outras enzimas do metabolismo fotossintético). Dessa forma, a redução na concentração de  $\text{CO}_2$  promove excesso de poder redutor que pode causar fotoinibição e destruição fotooxidativa do aparato fotossintético pela ação de espécies reativas de oxigênio (EROs) (KAUR *et al.*, 2021).

Portanto, com o prolongamento do déficit até o dia de estresse máximo (9 DAI), a depleção de água no solo limitou a transpiração, mantendo o fechamento estomático e reduzindo o influxo de  $\text{CO}_2$  nas células. De fato, no período entre 13:00 e 15:00h, quando os valores de  $DPV_{ar}$  são máximos (Figura 1f) e com o prolongamento do déficit de água abaixo de 70 % da água disponível (Figura 1e),

os valores de Fv/Fm das plantas de mamoeiro na parcela deficitária foi reduzido para 0,74, indicando queda na eficiência quântica devido a fotoinibição. A eficiência quântica potencial do FSII (Fv/Fm) indica a capacidade fotossintética da planta e sob condições ambientais ótimas pode variar de 0,75 a 0,85 (LIU *et al.*, 2019). Por consequência, valores abaixo desse limite indica fotoinibição da fotossíntese induzida por estresse (SOUZA, *et al.*, 2022).

Reis *et al.* (2007) observaram redução nos valores do rendimento quântico máximo do FSII, por fotoinibição ao meio dia em fluxo de fótons fotossintetizantes (FFF) de 1500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (inverno) e de 2200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (verão), em plantas de mamoeiro 'Golden' cultivados em campo. Esses resultados indicam que o processo fotossintético em mamoeiro cultivado em condição de campo é afetado por efeitos não-estomáticos associados a danos no FSII, causados pelo excesso de FFF. Em outro estudo, Reis e Campostrini (2008) não observaram fotoinibição em mamoeiro 'Tainung nº1', irrigado por aspersão, sob valores de FFF próximos de 1.900  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e 2.400  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e  $\psi_s = -28,5$  e  $-12,1$  kPa, uma vez que os valores da relação FV/FM mantiveram-se entre 0,78 e 0,83. No entanto, a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> foi afetada pelo fechamento estomático.

Nesse experimento, nas plantas com irrigação deficitária, além do efeito estomático, houve queda da taxa fotossintética por efeitos não-estomáticos, em função do aumento da intensidade e duração do déficit aos 9 DAJ. A concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (ci) nesse período foi 16,5% maior nas plantas sob déficit de água no solo, contrariando o efeito esperado de que o fechamento estomático reduziria a pressão parcial de CO<sub>2</sub> nas câmaras subestomáticas (CAMPOSTRINI *et al.*, 2018). Nas primeiras horas do dia, sob valores reduzidos de DPV<sub>ar</sub>, as plantas estressadas mantiveram os estômatos parcialmente abertos permitindo algum influxo de CO<sub>2</sub> através do poro estomático, porém a condutância através do mesófilo tenha sido a causa das diferenças observadas em ci, ou ainda alguma limitação bioquímica nas reações enzimáticas de carboxilação do CO<sub>2</sub> indicando uma provável limitação bioquímica da fotossíntese (CHAVES, 1991, CAVATTE *et al.*, 2011).

O déficit hídrico e as temperaturas supra ótimas nas folhas, provocam alterações na fluidez e estabilidade da membrana lipídica e nos canais de aquaporina, aumentando as resistências difusivas do CO<sub>2</sub> até os cloroplastos

(TOSENS *et al.*, 2012; CAMPOSTRINI *et al.*, 2018), ou ainda por alterações físicas no apoplasto (CHAVES *et al.*, 2009). Tal efeito não ocorreu nas plantas controle, já que o processo transpiratório foi mantido, garantindo a regulação da temperatura foliar. Portanto, o aumento da resistência à difusão do carbono através do mesófilo, seja uma das causas da maior concentração de CO<sub>2</sub> intercelular nas plantas estressadas.

Embora seja indispensável ao processo fotossintético, a luz em excesso pode afetar a assimilação de carbono por danos fotooxidativos no FSII, e indiretamente, pode causar estresse térmico quando associada ao déficit de água no solo (BALFAGON, *et al.*, 2020). Sob luz excessiva, prolongada ou combinada com déficit de água, quando há redução de CO<sub>2</sub> nos sítios de carboxilação da Rubisco (efeito estomático), pode ocorrer fotoinibição crônica devido à fotooxidação dos pigmentos fotossintéticos pelo excesso de poder redutor. A fluorescência é emitida, primariamente, pela clorofila *a* presente no Fotossistema II (FSII), e se constitui em um modo de dissipação do excesso de energia.

Considerando que a fluorescência inicial ( $F_0$ ) expressa inversamente o potencial máximo do uso da energia de excitação no processo fotoquímico (SILVA *et al.*, 2019), os menores valores de  $F_0$  indicam maior eficiência quântica e maior capacidade fotoquímica. Os valores elevados de  $F_0$  para os genótipos 'Tainung nº1', 'Golden', 'BRS-L78', CMF-L56×CMF-L78, CMF-L58×CMF-L78, CMF-L60×CMF-L78 e CMF-L74×CMF-L78 (Figura 2A) indicam baixo potencial do aproveitamento da energia de excitação nesses genótipos em relação aos híbridos CMF-L54×CMF-L78, CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78 aos 3 DAI. No entanto, para CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78 foram observados declínio em  $F_v/F_m$ , em todas as avaliações.

Independente da disponibilidade de água e do período de avaliação, os híbridos CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78 apresentaram valores significativamente menores de  $F_m$ , que resultaram em valores de  $F_v/F_m$  menores que 0,75 em todas as avaliações (Figuras 2, 5 e 8), indicando que parte da energia luminosa que chegou à folha não foi usada para a fase fotoquímica da fotossíntese, ou inibição da transferência de elétrons ( $Q_a$  para  $Q_b$ ) ao longo da cadeia de transporte nas membranas dos tilacóides (DIAS; MARENCO, 2006; SOUZA *et al.*, 2022).

A relação  $F_v/F_m$ , representa a probabilidade de um fóton absorvido ser capturado pelos centros de reação do FSII, e desta maneira, ser capaz de reduzir a quinona A. A eficiência fotoquímica do FSII, de várias espécies de plantas, é marcadamente reduzida quando estas estão submetidas a alguma situação de estresse, sendo, portanto, um indicador de fotoinibição (PRADHAN *et al.*, 2019). Nesse estudo não foi verificada interação do genótipo com o manejo de água no solo sobre a fluorescência da clorofila a, no entanto, é provável que algum estresse por temperatura ou luminosidade supra ótimas tenha promovido essas diferenças na capacidade fotoquímica desses híbridos.

Nota-se também que, nos horários de menor tensão por luz, temperatura e  $DPV_{ar}$ , (manhã) os valores de  $F_0$  não diferem entre o CMF-L54×CMF-L78 e os genótipos 'Tainung nº1', 'Golden', 'BRS-L78', CMF-L56×CMF-L78, CMF-L58×CMF-L78, CMF-L60×CMF-L78 e CMF-L74×CMF-L78 (Figuras 5A e 8A), no entanto, entre 13:00 e 15:00h os valores de  $F_0$  desses genótipos são superiores aos valores de fluorescência inicial do CMF-L54×CMF-L78 (Figuras 5B e 8B). Embora a relação  $F_v/F_m$  não diferiram, esse aumento relativo e significativo de  $F_0$  nesses genótipos podem indicar baixa eficiência na transferência de energia de excitação das moléculas de clorofila no FSII sob condições mais estressantes em relação ao CMF-L54×CMF-L78 (SOUZA *et al.*, 2022).

Um aumento em  $F_0$  pode estar associado a um dano reversível (fotoinibição dinâmica) ou irreversível (fotoinibição crônica) à proteína D1 do FSII, enquanto um declínio em  $F_m$  é frequentemente associado à interconversão protetora de violaxantina em zeaxantina, no ciclo da xantofila, o que leva à dissipação de energia não fotoquímica (DIAS; MARENCO, 2006; SOUZA *et al.*, 2022). Reduções em  $F_m$  sem queda na eficiência fotoquímica indica a dissipação de energia não fotoquímica e maior desoxidação em função de maiores concentrações de fenóis mantendo a eficiência (CAVATTE *et al.*, 2011).

A relação entre a taxa de assimilação de carbono (A) e a transpiração (E) representa a eficiência instantânea de uso de água (EUA) e tem sido um importante atributo para seleção de plantas dentro de programas de melhoramento no mundo todo (MOTZO *et al.*, 2013; GLEASON *et al.*, 2019; ZHENG *et al.*, 2020; LIAO *et al.*, 2021). Nesse trabalho só foi possível observar diferenças na EUA entre os genótipos aos 5 DAI, no período entre 13:00 e 15:00h. A menor EUA do genótipo

CMF-L74\*CMF-L78 decorreu da sua baixa taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> que foi estaticamente inferior aos demais híbridos (Figura 4D). Entre 08:00 e 11:00h, o fechamento parcial dos estômatos fez com que as diferenças entre a transpiração nas plantas sob déficit e as bem irrigadas fossem mínimas (0,40 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e a taxa de assimilação de carbono também variou em menores proporções e, portanto, não houve diferenças na EUA das plantas em função do manejo de água no solo.

O mesmo não ocorreu aos 9 DAI, sob fechamento total dos estômatos devido a menor disponibilidade de água no solo e maiores valores de DPV<sub>ar</sub>. Dessa forma, a redução na EUA, observada na parte da tarde, foi devido principalmente, a maior regulação estomática das plantas sob déficit severo que afetou consideravelmente a taxa fotossintética líquida e reduziu a E em torno de 61% (Figura 6H). Sob leve redução da condutância estomática, a transpiração (E) é mais fortemente afetada do que A, e, portanto, a eficiência instantânea (A/E) do uso da água é elevada (CONESA *et al.*, 2022). No entanto, nas condições experimentais tanto A quanto E foram fortemente afetadas nas plantas sob estresse severo (9 DAI).

As condições de baixa umidade do ar podem causar excessivas perdas de água nas folhas, e conseqüentemente fechamento estomático, afetando significativamente as trocas de CO<sub>2</sub> entre a planta e o ar (REIS; CAMPOSTRINI, 2008). Sob limitação hídrica no solo, a transpiração é reduzida na tentativa de manter o potencial hídrico e o conteúdo relativo de água (WANG *et al.*, 2018). Neste experimento com mamoeiro, foi observado que, o déficit moderado de água no solo (5 DAI) e valores elevados de DPV<sub>ar</sub>, no período da tarde, afetou as trocas gasosas em 'Tainung nº1', 'Golden', CMF-L54\*CMF-L78, CMF-L56\*CMF-L78 (Figuras 5E e 5F) sem, no entanto, afetar a taxa fotossintética (Figura 5A) desses genótipos ou a eficiência EUA (Figura 5D). Segundo Farali *et al.* (2019), a rapidez com que os genótipos respondem às mudanças dinâmicas dos fatores ambientais através da regulação estomática impactam na eficiência do uso da água e na taxa de assimilação de carbono. Nesses genótipos o controle estomático foi mais eficiente, com redução nos valores de g<sub>s</sub> e conseqüente redução nos valores de E. No entanto, as diferenças observadas em g<sub>s</sub> e E desses genótipos não se refletiram em aumentos significativos na EUA ou reduções em A, em relação aos demais genótipos que não apresentaram tal comportamento.

As medições de fotossíntese em folha única, apesar de serem úteis na comparação entre tratamentos experimentais, nem sempre se correlaciona com a produtividade quando extrapoladas para quantificar a fotossíntese da planta toda (CAMPOSTRINI; GLENN, 2007). No entanto, Ferraz *et al.* (2011) encontraram alta correlação entre as medidas da taxa assimilatória na folha com a fotossíntese integrada de todo o dossel em plantas de mamoeiro. Esse resultado no mamoeiro ocorreu, possivelmente devido ao ângulo de inserção dos longos pecíolos que resultam numa maior distribuição das folhas e maior eficiência no aproveitamento de luz em todo o dossel (CAMPOSTRINI *et al.*, 2018).

Em relação ao efeito do regime de irrigação na eficiência agrônômica do uso da água (EAUA) (Figura 9), a taxa de assimilação de carbono diminuiu sob estresse hídrico moderado e severo em função de efeitos estomáticos e não-estomáticos aos 5 e 9 DAI. Como resultado houve queda significativa no acúmulo de biomassa e conseqüente redução no rendimento das plantas de mamoeiro (dados não mostrados), e menor EAUA das plantas ao final de sucessivos ciclos de umedecimento e secagem do solo.

Analisando a EAUA dos genótipos neste estudo, percebe-se que não houve uma relação entre taxa fotossintética instantânea da folha (A) e a produção de frutos, já que o CMF-L54\*CMF-L78 e CMF-L56\*CMF-L78 apresentaram taxas de assimilação semelhantes aos demais híbridos estudados e produções estatisticamente superiores nos dois regimes hídricos, fato comprovado pela maior EAUA desses genótipos (Figura 9). Segundo Paixão *et al.* (2019), o acúmulo de pequenas diferenças, não significativas, nas taxas fotossintéticas dos genótipos 'Golden' e 'Sunrise Solo', dia após dia, durante um longo período, pode ter contribuído para maior acúmulo de carbono, maior área foliar e maior produtividade do 'Sunrise Solo' em relação ao 'Golden'.

Um eficiente controle estomático permite que as plantas não diminuam em demasiado o potencial hídrico das células sob estresse hídrico (REIS; CAMPOSTRINI, 2008). Clemente e Marler (1996), verificaram que respostas mais rápidas da gs permitem que as plantas de mamoeiro maximizem a eficiência de uso da água ao longo do dia e, na condição de déficit hídrico leve, as respostas estomáticas são otimizadas, fazendo com que sob períodos intermitentes de alta e baixa irradiância a assimilação integrada de CO<sub>2</sub> seja maior. Portanto, as respostas

diferenciais entre os genótipos de mamoeiro estão relacionadas também ao comportamento dos estômatos à ação dos fatores do ambiente, como por exemplo o  $DPV_{folha-ar}$  e a luminosidade. De fato, houve uma significativa diferença no comportamento estomático dos híbridos CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78 quando submetidos a um estresse moderado e valores mais altos de  $DPV_{ar}$  (Figura 5E).

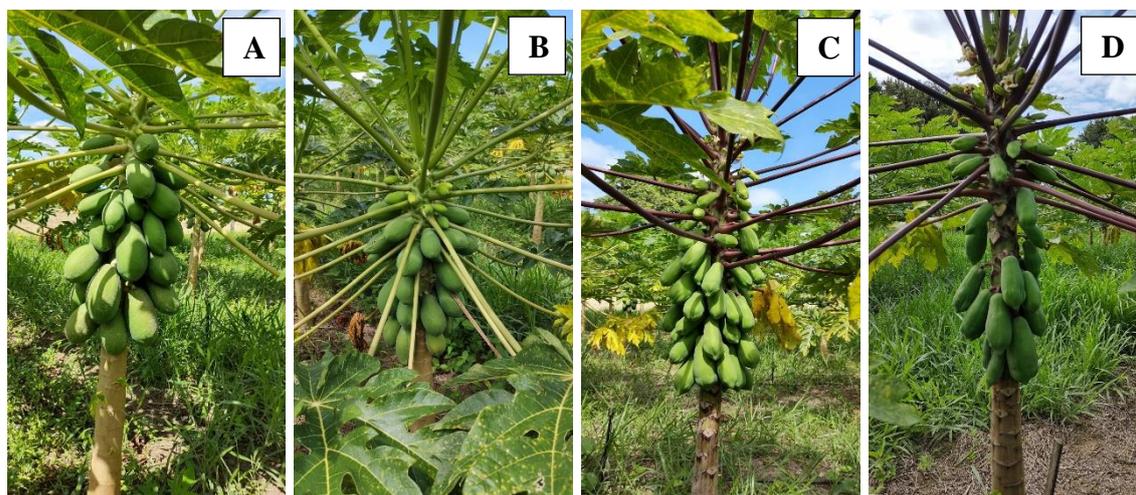
Por outro lado, genótipos com respostas estomáticas lentas ou menos sensíveis podem sofrer perda excessiva de água através da transpiração (quando o  $DPV_{ar}$  é elevado ou a luminosidade é baixa), e reduzir em demasia o conteúdo relativo de água das células (WANG et al., 2018). Esse comportamento foi expressado nos híbridos CMF-L58×CMF-L78, CMF-L60×CMF-L78, CMF-130×CMF-L78, CMF-L72×CMF-L78 e pelo parental 'BRS-L78', aos 5 DAI, sob déficit moderado e elevado  $DPV_{ar}$ . Nesses genótipos não foi observada redução significativa da gs mesmo sob limitação hídrica na parcela ITR10. Quando a limitação de água é prolongada, essa redução do conteúdo protoplasmático desequilibra a relação fonte-dreno, e esse é uma das causas do menor crescimento e rendimento das plantas submetidas a condições de déficit hídrico persistente ou severo.

As diferenças genéticas na maior EAUA dos híbridos CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78 em relação aos demais genótipos podem ainda estar relacionadas a uma maior partição de fotoassimilados entre os órgãos drenos. De fato, o CMF-L54×CMF-L78 apresentou menor altura dentre os genótipos estudados e possivelmente, no caso desse híbrido, a demanda de fotoassimilados para respiração e manutenção da biomassa do caule é menor em comparação aos outros genótipos mais vigorosos com maior altura e área foliar (dados não mostrados). WANG et al. (2018) levanta a importância do transporte de fotoassimilados no floema sob déficit de água no solo, como fator fundamental para melhorar a produtividade das culturas para maior rendimento em condições adversas de clima.

Outra razão para o desempenho desses genótipos seria o desenvolvimento de mecanismos de defesa mais eficientes contra os efeitos oxidativos do estresse na integridade das membranas e manutenção da homeostase celular sob déficit hídrico (PANDA et al., 2022). Em videiras, a sinalização do ABA promovida pela irrigação deficitária estimula a biossíntese e o acúmulo de compostos fenólicos

como antocianinas (YANG *et al.*, 2020; GUO *et al.*, 2021) e terpenos (KOVALENKO *et al.*, 2020). Espadas *et al.* (2019) verificaram maior concentração de compostos fenólicos em plantas de mamoeiro Maradol submetidos a deficiência hídrica, alguns dos quais foram encontrados exclusivamente em folhas de plantas estressadas. No CMF-L56xCMF-L78 é bem característico a cor arroxeada dos pecíolos e no caule (Figura 10C e D) indicando possivelmente, maior teor de antocianinas nos tecidos desse híbrido. Esses compostos fenólicos são conhecidos pela capacidade antioxidante dos seus grupos funcionais em neutralizar as cargas negativas das espécies reativas de oxigênio.

**Figura 10.** Plantas dos híbridos CMF-L54xCMF-L78 e CMF-L56xCMF-L78 na parcela irrigada (A e C) e na parcela deficitária (B e D), respectivamente.



Autora: Rosangela Nascimento da Silva Ribeiro

Além da fotoxidação, as EROs causam peroxidação lipídica das membranas celulares com efeito nocivo sobre a homeostase celular. Por exemplo, a degradação das membranas tilacóides dos cloroplastos que reduz os níveis de clorofila, e o mal funcionamento da membrana plasmática devido a perda da integridade e seletividade. Apesar da ativação de alguns mecanismos fotoprotetores, a exemplo da fotorrespiração e da dissipação térmica nos complexos coletores de luz (ciclo das xantofilas e luteína), que utilizam a energia da radiação interceptada não utilizada no ciclo de Calvin (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009, TAIZ *et al.*, 2017), esses mecanismos de “evitação” aos danos

fotooxidativos, competem pela energia absorvida e conseqüentemente reduzem o rendimento quântico do FSII e a fotossíntese líquida (KAUR *et al.*, 2021).

As taxas fotossintéticas, a emissão da fluorescência da clorofila e a resposta estomática aos estresses abióticos são características fisiológicas importantes que estão associadas a algum grau de controle genético. Dessa maneira os mecanismos de tolerância diferenciados entre mamoeiros, estão relacionados às diferentes taxas de expressão de fatores de transcrição de genes associados às respostas ao déficit hídrico (ESTRELLA-MALDONADO *et al.* 2021).

A busca de comportamentos diferenciais entre genótipos, relacionados às respostas dos estômatos à ação dos fatores do ambiente, pode ser de extrema importância tanto no zoneamento agrícola como em programas de melhoramento genético da espécie (CAMPOSTRINI; GLENN, 2007). Portanto, genótipos que possam responder rapidamente aos fatores dinâmicos do ambiente, conseguem manter a homeostase celular e normalmente esse mecanismo é observado em genótipos mais adaptados à limitação de água no solo e possivelmente envolve maior capacidade genética para a síntese de ABA (CHAVES, 1991).

Dessa forma, a associação da biotecnologia com estudos fisiológicos, permitirá identificar a expressão de genes relacionados às respostas das plantas e fornecer informações importantes sobre o melhoramento da espécie *Carica papaya* L., de modo que seja possível obter genótipos produtivos e adaptados às variações dos fatores ambientais (CAMPOSTRINI; GLENN, 2007).

## 5. CONCLUSÃO

A taxa fotossintética líquida, a condutância estomática e a transpiração foram reduzidas com o incremento no nível do estresse de moderado a severo (5 e 9 dias após a irrigação) e com o aumento do  $DPV_{ar}$ .

O prolongamento do déficit de água no solo até o nono dia após a irrigação, e os valores elevados de  $DPV_{ar}$ , observados nos horários da tarde, promoveram a redução do rendimento quântico máximo do FSII observado nas plantas sob déficit.

Nesse estudo, as melhores condições para observar as respostas diferenciais nas trocas gasosas entre genótipos de mamoeiro foi no déficit moderado aos 5 DAI e no período entre 13:00 e 15:00h, quando os valores de  $DPV_{ar}$

são mais constantes e a condição de umidade no solo permitiu a abertura parcial dos estômatos.

Os híbridos H54.78 e H56.78 apresentaram regulação estomática sob déficit moderado e maior eficiência agronômica no uso da água.

Os híbridos H72.78 e H130.78 apresentaram capacidade fotossintética distinta dos demais genótipos, verificada pelos menores valores de fluorescência da clorofila 'a' em todas as avaliações, que resultaram em menor eficiência quântica do FSII.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOSTRINI, E.; SCHAFFER, B.; RAMALHO, J. D. C.; GONZÁLEZ, J. C.; RODRIGUES, W. P.; SILVA, J. R.; LIMA, R. S. N. Environmental factors controlling carbon assimilation, growth, and yield of papaya (*Carica papaya* L.) under water-scarcity scenarios. *In: (org). Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment*. Londons: Academic Press, 2018, v.1, p.1-264.
- CAMPOSTRINI, E.; GLENN, D. M.; YAMANISHI, O. K. Papaya: ecophysiology of growth and production. *In: DAMATTA, F. (ed.). Ecophysiology of tropical tree crops*. Nova Science Publishers, NY, pp 287–307, 2010.
- CAMPOSTRINI, E.; GLENN, D.M., Ecophysiology of papaya: a review. **Brazilian Journal Plant Physiol.**, v. 19, n. 4, p. 413-424, 2007.
- CAMPOSTRINI, E.; OSVALDO KIYOSHI YAMANISHI, O. K.; MARTINEZ, C. A. leaf gas exchange characteristics of four papaya genotypes during different stages of development. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 23, n. 3, p. 522-525, dez. 2001.
- CHAVES, M. M. Effects of water deficits on carbon assimilation. *Journal of Experimental Botany*, v. 42, p. 1-16, 1991.
- CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551–560, 2009.
- COELHO, E. F.; SANTOS, M. R.; COELHO FILHO, M. A. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de Irrigação localizada em latossolo de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 27, n. 1, p. 175-178, abr. 2005.
- CONESA, M. R.; BERRÍOS, P.; TEMNANI, A.; PÉREZ-PASTOR, A. Assessment of the Type of Deficit Irrigation Applied during Berry Development in 'Crimson Seedless' Table Grapes. **Water**, v. 14, n. 1311, p. 1-17, 2022.
- DANTAS, J. L. L.; CASTRO NETO, M. T. **Aspectos botânicos e fisiológicos**. *In: TRINDADE, A. V. (org.). Mamão, Produção: aspectos técnicos*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000, v. 1, p. 11-14.
- DANTAS, J. L. L.; LUCENA, R. S.; BOAS, S. A. V. Avaliação agrônômica de linhagens e híbridos de mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 1, p. 138–148, 2015.
- DUBBERSTEIN, D.; OLIVEIRA, M. G.; AOYAMA, E. M.; GUILHEN, J. H.; FERREIRA, A.; MARQUES, I.; RAMALHO, J. C.; PARTELLI, F. L. Diversity of Leaf Stomatal Traits among Coffea canephora Pierre ex A. Froehner Genotypes. **Agronomy**, v.11, n.1126, p. 1-16, jun. 2021.

EL-SHARKWAY, M. A.; COCK, J. H.; PILAR, A. D. Stomatal response to air humidity and its relation to stomatal density in a wide range of warm climate species. **Photosynthesis Research**, v. 7, p. 137-149, jan. 1985.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. (Rev. e amp.), Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 356 p.

ESPADAS, J. L.; CASTAÑO, H.; MARINA, M. L.; RODRÍGUEZ, L. C.; PLAZA, M. Phenolic compounds increase their concentration in *Carica papaya* leaves under drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 41, n.180, 2019.

ESTRELLA-MALDONADO, H.; GIRÓN RAMIREZ, A.; ORTIZ, G. F.; MATÍNEZ-DE LA VEGA, O.; GÓNGORA-CASTILHO, E.; SANTAMARÍA, J. Transcriptomic analysis reveals key transcription factors associated to drought tolerance in a wild papaya (*Carica papaya*) genotype. **PLoS ONE**, v. 16, n. 1, jan. 2021.

FAO. **Food and agriculture organization of the United Nations for a world without hunger**. 2023. Area harvested, yield and production in 2021/ FAOSTAT / FAO Statistics Division. Disponível em: <[https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity](https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity)>. Acesso em: 07 fev. 2023.

FARALLI, M.; MATTHEWS, J.; LAWSON, T. Exploiting natural variation and genetic manipulation of stomatal conductance for crop improvement. **Current Opinion in Plant Biology**, v.49, p.1-7, 2019.

FERRAZ, T. M.; RODRIGUES, W. P.; TORRES NETO, A.; REIS, F. O.; PEÇANHA, A. L.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A.; SOUSA, E. F.; GLENN, D. M.; CAMPOSTRINI, E. Comparison between single-leaf and whole-canopy gas exchange measurements in papaya (*Carica papaya* L.) plants. **Scientia Horticulturae**, v. 209, p. 73–78, jun, 2016.

FLEXAS, J.; BARÓN, M.; BOTA, J.; DUCRET, J. M.; GALLÉ, A.; GALMÉS, J.; JIMÉNEZ, M.; POU, A.; RIBAS-CARBÓ, M.; SAJNANI, C.; TOMÁS, M.; MEDRANO, H. Photosynthesis limitations during water stress acclimation and recovery in the drought-adapted *Vitis* hybrid Richter-110 (*V. berlandieri*-*V. rupestris*). **Journal of Experimental Botany**, v. 60, N. 8, p. 2361–2377, abr. 2009.

FLEXAS, J. Genetic improvement of leaf photosynthesis and intrinsic water use efficiency in C3 plants: Why so much little success? **Plant Science**, v. 251, p. 155–161, mai. 2016.

GAGO, J.; DALOSO, D. M.; CARRIQUÍ, M.; NADAL, M.; MORALES, M.; ARAÚJO, W. L.; NUNES-NESE, A.; PERERA-CASTRO, A.V.; CLEMETE-MORENO, M. J.; FLEXAS, J. The photosynthesis game is in the “inter-play”: Mechanisms underlying CO<sub>2</sub> diffusion in leaves. **Environmental and Experimental Botany**, v. 178, n. Jun., p. 104174, 2020.

GLEASON, S. M.; COOPER, M.; WIGGANS, D. R.; BLISS, C. A.; ROMAY, M. C.; GORE, M. A.; MICKELBART, M. V.; TOPP, C. N.; ZHANG, H.; DeJONGE, K, C.; COMAS, L. H. Stomatal conductance, xylem water transport, and root traits underpin improved performance under drought and well-watered conditions across a diverse panel of maize inbred lines. **Field Crops Research**, v.234, p. 119–128, 2019.

GU, J.; ZHOU, Z.; LI, Z.; CHEN, Y.; WANG, Z.; ZHANG, H. Rice (*Oryza sativa* L.) with reduced chlorophyll content exhibit higher photosynthetic rate and efficiency, improved canopy light distribution, and greater yields than normally pigmented plants. **Field Crops Research**, v. 200, p. 58-70, out, 2017.

GUO, S. H.; YANG, B. H.; WANG, X/ W.; LI, J. N.; LI, S.; YANG, X.; REN, R. H.; FANG, Y. L.; XU, T. F.; ZHANG, Z. W.; MENG, J. F. ABA signaling plays a key role in regulated deficit irrigation-driven anthocyanins accumulation in 'Cabernet Sauvignon' grape berries Shui-Huan. **Environmental and Experimental Botany**, v. 181, n. 104290, 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal, 2021**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.resultados>> Acesso em: 07 fev. 2023.

KAUR, H.; KOHLI, S. K.; KHANNA, K.; BHARDWAJ, R. Scrutinizing the impact of water deficit in plants: Transcriptional regulation, signaling, photosynthetic efficacy, and management. **Physiologia Plantarum**, v.172, n. 2, mar. 2021.

KOVALENKO, Y.; TINDJAU, R.; MADILAO, L. L.; CASTELLARIN, S. D. Regulated deficit irrigation strategies affect the terpene accumulation in Gewurztraminer (*Vitis vinifera* L.) grapes grown in the Okanagan Valley. **Food Chemistry**, v. 341, n. 128172, 2021.

LIAO, Z.; ZHANG, X.; ZHANG, S.; LIN, Z.; ZHANG, X.; MING, R. Structural variations in papaya genomes. **BMC Genomics**, v. 22, n. 1, p. 1–13, 2021.

LIMA, R. S. N.; GARCÍA-TEJERO, I.; LOPES, T. S.; COSTA, J. M.; VAZ, M.; DURÁN-ZUAZO, V. H.; CHAVES, M.; GLENN, D. M.; CAMPOSTRINI, E. Linking thermal imaging to physiological indicators in *Carica papaya* L. under different watering regimes. **Agricultural Water Management**, v.164, p. 148–157, ago. 2016.

LIMA, R. S. N.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A.; MARTINS, A. O.; DEUS, B. C. S.; FERRAZ, T. M.; GOMES, M. M. A.; SOUZA, E. F.; GLENN, D. M.; CAMPOSTRINI, E. Partial rootzone drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) effects on stomatal conductance, growth, photosynthetic capacity and water-use efficiency of papaya. **Scientia Horticulturae**, v. 183, p. 13–22, 2015.

LIU, B.; LIANG, J.; TANG, G.; WANG, X.; LIU, F.; ZHAO, D. Drought stress affects on growth, water use efficiency, gas exchange and chlorophyll fluorescence of Juglans rootstocks. **Scientia Horticulturae**, v. 250, p. 230–235, fev. 2019.

LUZ, L. N.; SANTA-CATARINA, R.; BARROS, G. B.; BARROS, F. B.; VETTORAZZI, J. C.; PEREIRA, M. G. Adaptability and stability of papaya hybrids affected by production seasonality. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, p.357-364, 2018.

MACHADO FILHO, J.A.; CAMPOSTRINI, E.; YAMANISHI, O.K.; FAGUNDES, G.R. Variação sazonal das trocas gasosas de mamoeiro cultivado em condições de campo. **Bragantia**, v. 65, p. 185-196, 1996.

MAHOUACHI, J.; ARBONA, V.; GÓMEZ-CADENAS, A. Hormonal changes in papaya seedlings subjected to progressive water stress and re-watering. **Plant Growth Regulation**, v. 53, p. 3-51, 2007.

MAHOUACHI, J.; SOCORRO, A. R.; TALON, M. Responses of papaya seedlings (*Carica papaya* L.) to water stress and re-hydration: Growth, photosynthesis and mineral nutrient imbalance. **Plant and Soil**, v. 281, n. 1–2, p. 137–146, mar. 2006.  
MARLER, T.E.; MICKELBART, M.V. Drought, leaf gas exchange, and chlorophyll fluorescence of field-grown papaya. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 123, n. 4, p. 714-718, 1998.

MARTIN-VERTEDOR, A. I.; DODD, I. C. Root-to-shoot signalling when soil moisture is heterogeneous: Increasing the proportion of root biomass in drying soil inhibits leaf growth and increases leaf abscisic acid concentration. **Plant, Cell and Environment**, v. 34, n. 7, p. 1164–1175, 2011.

MOREIRA, N. F.; PEREIRA, T. N. S.; SANTA-CATARINA, R.; CORTES, D. F. M.; VETTORAZI, J. C. F.; RAMOS, H. C. C.; VIANA, A. P.; PEREIRA, M. G. Quantification of loral abnormalities in a population generated from sexual polymorphism iming at recurrent selection in papaya. **Bragantia**, Campinas, v. 78, n. 2, p.158-165, 2019.

MOTZO, R.; PRUNEDDU, G.; GIUNTA, F. The role of stomatal conductance for water and radiation use efficiency of durum wheat and triticale in a Mediterranean environment. **European Journal of Agronomy**, v. 44, p. 87-97, 2013.

NADAL, M.; FLEXAS, J. Variation in photosynthetic characteristics with growth form in a water-limited scenario: Implications for assimilation rates and water use efficiency in crops. **Agricultural Water Management**, v. 216, n. Aug. 2017, p. 457–472, may. 2019.

NAUTIYAL, P. C.; RAVINDRA, V.; RATHNAKUMAR, A. L.; AJAY, B. C.; ZALA, P. V. Genetic variations in photosynthetic rate, pod yield and yield components in Spanish groundnut cultivars during three cropping seasons. **Field Crops Research**, v. 125, p. 83–91, ago. 2012.

OLIVEIRA, A. M. G., COELHO, E. F. Calagem e adubação para mamoeiro. *In: Recomendações calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, laranja, tangerina, lima ácida, mamão, mandioca, manga e maracujá*. BORGES. A. L.; SOUZA L. S. (editores técnicos) – Brasília, DF: Embrapa, 2009.176 p.

PANDA, D.; BEHERA, P. K.; MISHRA, S.; MISHRA, S. Differential drought tolerance responses in short-grain aromatic rice germplasms from Koraput valley of Eastern Ghats of India. **Plant Physiology Reports**, v. 27, n. 1, p. 119–131, jan.–mar. 2022.

PEREIRA, M. G.; FERREGUETTI, G. A.; RAMOS, H. C. C.; SANTA-CATARINA, R.; VETTORAZZI, J. C. F.; POLTRONIERE, T. P. S.; ARÊDES, F. A. S.; BOECHAT, M. S. B.; AZEVEDO, A. O. N.; MOREIRA, N. F.; BOHRY, D.; PEREIRA, T. N. S.; SILVEIRA, S. F.; VIVAS, M. Melhoramento genético do mamoeiro: programa Uenf/Caliman. **Anais do VII Simpósio do papaya brasileiro**. p. 1–59, 2018.

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

REIS, F.O. *et al.* Estresse hídrico em plantas de mamoeiro Golden: efeitos estomáticos e efeitos não estomáticos. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 18, Florianópolis, SC. 2007.

REIS, F.O. *et al.* Estresse hídrico em plantas de mamoeiro Golden: efeitos estomáticos e efeitos não estomáticos. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 18, 2004, Anais... Florianópolis, SC.

REIS, F.O.; CAMPOSTRINI, E. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro Do grupo Solo cultivado em condição de campo. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.815-822, 2008.

SANTOS, D. L.; COELHO, E. F.; OLIVEIRA, R. A.; FILGUEIRAS, R.; ALVES, M. S.; RODRIGUES, W. P.; CAMPOSTRINI, E.; SAMPAIO, A. H. R. ; REIS, J. B. R. S.; CUNHA, F. F. Impact of soil water regimes and partial root-zone drying in field-grown papaya in semi-arid conditions. **Nature**, v. 11, n. 10638, p. 1-18, 2021.

SANTOS, D. L.; COELHO, E. F.; CUNHA, F. F.; DONATO, S. L. R.; BERNADO, W. P.; RODRIGUES, W. P.; CAMPOSTRINI, E. Partial root-zone drying in field-grown papaya: Gas exchange, yield, and water use efficiency. **Agricultural water management**, v. 243, n. 106421, 2021a.

SANTOS, M. R.; DONATO, S. L. R.; FARIA, L. N.; COELHO, E. F.; JUNIOR, P. R. F. C. Irrigation strategies with water deficit in ‘tommy atkins’ mango tree. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.36, n.6, p.1096-1109, nov./dez. 2016.

SHEZI, S.; MAGWASA, L. S.; MASHILO, J.; TESFAY, S. Z.; MDITSHWA, A. Photochemistry and photoprotection of ‘Gem’ avocado (*Persea americana* Mill.)

leaves within and outside the canopy and the relationship with fruit maturity. **Journal of Plant Physiology**, v. 246–247, mar.-abr. 2020.

SILVA, J. R.; RODRIGUES, W. P.; RUAS, K. F.; PAIXÃO, J. S.; LIMA, R. S. N.; FILHO, J. A. M.; GARCIA, J. A. C.; SCHAFFER, B.; GONZALEZ, J. C.; CAMPOSTRINI, E. Light, photosynthetic capacity and growth of papaya (*Carica papaya* L.): a short review. **Australian Journal of crop Science**, n. 13, v. 03, p. 480-485, 2019.

SILVA-PÉREZ, V.; FAVERI, J.; MOLERO, G.; DEERY, D. M.; CONDON, A. G.; REYNOLDS, M. P.; EVANS, J. R.; FURBANJ, R. T. Genetic variation for photosynthetic capacity and efficiency in spring wheat *Journal of Experimental Botany*, v. 71, n. 7 p. 2299–2311, set 2020.

SOUZA, G. A. R.; NEVES, D. A.; RUAS, K. F.; BARONI, D. F.; SANTOS, K. D.; BERNADO, W. P.; MIRANDA, R. M. S. N.; ALMEIDA, C. M.; SANTOS, A. R.; RODRIGUES, W. P.; RAKOCEVIC, M.; CAMPOSTRINI, E. Supra-optimal temperatures induce photochemical leaf damage and reduce photosynthetic O<sub>2</sub> evolution in *Carica papaya* L. **Environmental and Experimental Botany**, v. 203, n.105051, p. 1-13, ago.2022.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Mastroberti, A. A. et al. (trad.), OLIVEIRA, P. L. (revisão técnica). Porto Alegre: Artmed, 6. ed., 2017. 888p.

TOSENS, T.; NIINEMETS, U.; VISLAP, V.; EICHELMANN, H.; DÍEZ, P. C. Developmental changes in mesophyll diffusion conductance and photosynthetic capacity under diferente light and water availabilities in *Populus tremula*: how structure constrains function.p. **Plant, Cell and Environment**, v. 35, p. 839–856, 2012.

VINCENT, C.; SCHAFFER, B.; ROWLAND, D. The potential for primed acclimation in papaya (*Carica papaya* L.): Determination of critical water deficit thresholds and physiological response variables. **Scientia Horticulturae**, v. 194, n. Set., p. 344–352, 2015.

WANG, X.; DU, T.; HUANG, J.; PENG, S.; XIONG, D. Leaf hydraulic vulnerability triggers the decline in stomatal and mesophyll conductance during drought in rice. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 16, p. 4033–4045, mai. 2018.

XIONG, D.; FLEXAS, J. Safety–efficiency tradeoffs? Correlations of photosynthesis, leaf hydraulics, and dehydration tolerance across species. *Oecologia*, v. 200, p. 51–64, ago. 2022.

YAMORI, W.; KUSUMI, K.; IBA, K.; TERASHIMA, I. Increased stomatal conductance induces rapid changes to photosynthetic rate in response to naturally fluctuating light conditions in rice. **Plant Cell Environ**, v, 43, p. 1230–1240, jan. 2020.

YANG, B.; HE, S.; LIU, Y.; LIU, Y.; JU, Y.; KANG, D.; SUN, X.; FANG, Y.  
Transcriptomics integrated with metabolomics reveals the effect of regulated deficit irrigation on anthocyanin biosynthesis in Cabernet Sauvignon grape berries. **Food Chemistry**, v. 314, n. 126170 p. 1-13, 2020.

ZHENG, S.; CUI, N.; GONG, D.; WANG, Y.; HU, X.; FENG, Y.; ZHANG, Y.  
Relationship between stable carbon isotope discrimination and water use efficiency under deficit drip irrigation of kiwifruit in the humid areas of South China. **Agricultural Water Management**, v.240, p. 1-8, 2020.

## **CAPITULO 3**

**Seleção de genótipos de mamoeiros híbridos (*Carica papaya* L.) com tolerância à limitação hídrica**

## SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MAMOEIROS (*Carica papaya* L.) HÍBRIDOS COM TOLERÂNCIA À LIMITAÇÃO HÍDRICA

**Resumo:** O melhoramento e a seleção para tolerância à seca em mamoeiro ainda são pouco explorados dentro dos programas no Brasil. No entanto, a expansão da cultura para áreas sujeitas a deficiência hídrica e até mesmo os veranicos frequentes nas regiões tradicionais, estão causando perdas consideráveis na produtividade dos cultivos. O objetivo deste trabalho foi selecionar híbridos com tolerância à limitação hídrica por meio de índices, com base na produção de frutos por planta (NFC) e na produtividade (PROD). O experimento foi instalado na Fazenda Experimental do Campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em delineamento de blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, com dez genótipos, cinco repetições e dois regimes de irrigação (ITR2 e ITR10, com turno de rega de dois e dez dias respectivamente). O nível de estresse hídrico foi imposto pela época do transplante e pela menor frequência de irrigação (ITR10). Com base nas médias de NFC e PROD, sob condições bem irrigadas e sob déficit, foram estimados oito índices de tolerância/suscetibilidade ao estresse e a partir desses índices obteve-se um índice de seleção combinado (CSI) para auxiliar na identificação dos genótipos tolerantes. As associações multivariadas foram analisadas usando as análises de componentes principais (PCA) e diagramas biplot foram explorados para identificar os melhores híbridos com base na tolerância nos dois ambientes. Os coeficientes de correlações dos índices obtidos entre NFC e PROD foram significativos a 1% e 5% de probabilidade. O CSI identificou os híbridos CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78 como os mais tolerantes à seca para NFC e PROD.

**Palavras-chave:** Déficit hídrico, Índice de tolerância, Recursos genéticos, Seleção de genótipos.

## SELECTION OF HYBRID PAPAYA (*Carica papaya* L.) GENOTYPES WITH TOLERANCE TO WATER LIMITATION

**Abstract:** Improvement and selection for drought tolerance in papaya are still not enough explored within programs in Brazil. However, the expansion of the crops to areas subject to water deficit and even the frequent dry spells in traditional regions are causing considerable losses in crop productivity. The objective of this work was to select hybrids with higher tolerance to controlled water limitation, based on the data of fruit production per plant (NFC) and productivity (PROD). The experiment was held at the Experimental Farm on the Campus of the Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, in a randomized block design in a split-plot scheme, with ten genotypes, five redundancies and two irrigation regimes (ITR2 and ITR10, with a two-day and a ten-day watering shift, respectively). The level of water stress was imposed by the time of transplanting and the lowest irrigation frequency (ITR10). Based on NFC and PROD averages under well-irrigated and deficit conditions, eight indices of stress tolerance/susceptibility were estimated and from these data as a combined selection index (CSI) was obtained to aid in the identification of tolerant genotypes. . Multivariate associations were analyzed using principal component analysis (PCA) and biplot plots were explored to identify the best hybrids based on tolerance in the environments proposed. The correlation coefficients of the indices obtained between NFC and PROD were significant at 1% and 5% probability. The CSI identified the hybrids CMF-L54×CMF-L78 and CMF-L56×CMF-L78 as the most drought tolerant for NFC and PROD.

**Keywords:** Drought stress, Tolerance index, Genetic resources, Genotype selection.

## 1. INTRODUÇÃO

O melhoramento genético normalmente é realizado com o objetivo de selecionar e recomendar genótipos mais produtivos e adaptados a determinadas condições edafoclimáticas ou com resistência às principais pragas e doenças. Para que a recomendação seja confiável, o genótipo precisa apresentar estabilidade e adaptabilidade das suas características agrônômicas de interesse aos mais variados ambientes da região para o qual é recomendado (ALI *et al.*, 2022). Assim, a seleção de genótipos superiores deve levar em consideração o maior número de caracteres possíveis e suas correlações, por meio de metodologias capazes de avaliar com eficiência e precisão o material genético disponível para a recomendação segura (MOREIRA *et al.*, 2019).

A identificação e seleção de genótipos de mamoeiro com capacidade de manter elevada produtividade de frutos com qualidade, mesmo sob estresse por déficit hídrico, é de fundamental importância no processo de expansão e sustentabilidade da cultura, com geração de renda, empregos e divisas ao Brasil. Outra vantagem obtida com a maior diversidade de cultivares (linhagens e/ou híbridos) é o menor custo de aquisição de sementes e redução dos custos de produção de maneira geral, melhorando a competitividade do setor inclusive em nível internacional (DANTAS; LIMA, 2001). Para Reis *et al.* (2015), a obtenção de novas cultivares além de contribuir para a diversificação do cultivo no país também favorecerá a segurança alimentar.

Em mamoeiro, a limitação de água no sistema radicular afeta a fotossíntese e causa alterações no crescimento e desenvolvimento da planta. Em situações onde a condição de seca ocorre com frequência, o rendimento e a qualidade dos frutos podem ser comprometidos, devido a elevada exigência de água durante todo o ciclo da cultura (CAMPOSTRINI *et al.*, 2010). Dessa forma, o desenvolvimento de novas cultivares produtivas, adaptadas a diferentes ambientes de cultivo (LUZ *et al.*, 2015) e com tolerância à seca está se tornando um ponto crucial para a sustentabilidade da cultura, em função das grandes perdas de produtividade observadas sob limitação hídrica causada por veranicos cada vez mais frequentes nas regiões produtoras do Brasil (CUNHA *et al.*, 2019).

Índices de tolerância/suscetibilidade vem sendo usados para auxiliar na escolha de genótipos superiores com tolerância ao déficit hídrico (GUENDOUZ, GUESSOUM, HAFSI, 2012; SEMAHEGN *et al.*, 2020; GOLKAR, HAMZEH, MIRMOHAMMADY MAIBODY, 2021; RAD *et al.*, 2023). Esses índices consideram os níveis de rendimento e a estabilidade sob regimes hídricos limitados como indicadores de tolerância, a partir dos valores médios da característica de interesse na condição ideal de cultivo e sob condição de estresse, considerando as perdas no rendimento de cada genótipo avaliado (FISHER; MAURER, 1978; BOUSLAMA; ACHAPAUGH, 1984; FERNANDEZ, 1992; GAVEZZI *et al.*, 1997).

A seleção com base na combinação dos melhores índices de tolerância utilizando métodos matemáticos pode ser mais adequada para a identificação dos genótipos superiores em situações de condições ótimas e não ótimas de suprimento de água (THIRY *et al.*, 2016). Nesse sentido, Sabouri *et al.* (2022) desenvolveram um índice baseado em correlações significativas (CSI) entre os índices de tolerância/suscetibilidade à seca com o rendimento de grãos em arroz e comprovaram sua eficiência na seleção de linhagens tolerantes à seca ao compará-lo com outros métodos. Dessa forma, os índices de tolerância quando analisados em conjunto com análises multivariadas, do tipo PCA (análise de componentes principais) por exemplo, podem fornecer uma análise simultânea de múltiplas variáveis para melhorar a precisão da classificação dos genótipos superiores de forma fácil e rápida.

O número de frutos comerciais por planta e a produtividade são as características economicamente mais importantes em mamoeiro, e a seleção de genótipos superiores por meio de índices baseados nessas características foi consistente segundo um estudo de Cortes *et al.* (2018). Dessa forma, este trabalho objetivou selecionar híbridos de mamoeiro com tolerância ao déficit hídrico por meio de uma combinação linear de índices obtidos para o número de frutos comerciais e a produtividade do primeiro cacho.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material vegetal e condição experimental

Avaliaram-se dez genótipos da espécie *Carica papaya* L., sendo sete híbridos e três cultivares. Os híbridos utilizados foram obtidos do cruzamento do 'BRS-L78' com sete acessos do BAG da EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, conforme informações detalhadas na Tabela 1. As cultivares Tainung nº1 nº1 (grupo Formosa), BRS-L78 e Golden (grupo Solo) foram utilizados como testemunhas.

**Tabela 1.** Identificação e caracterização dos híbridos quanto a genealogia e grupo heterótico.

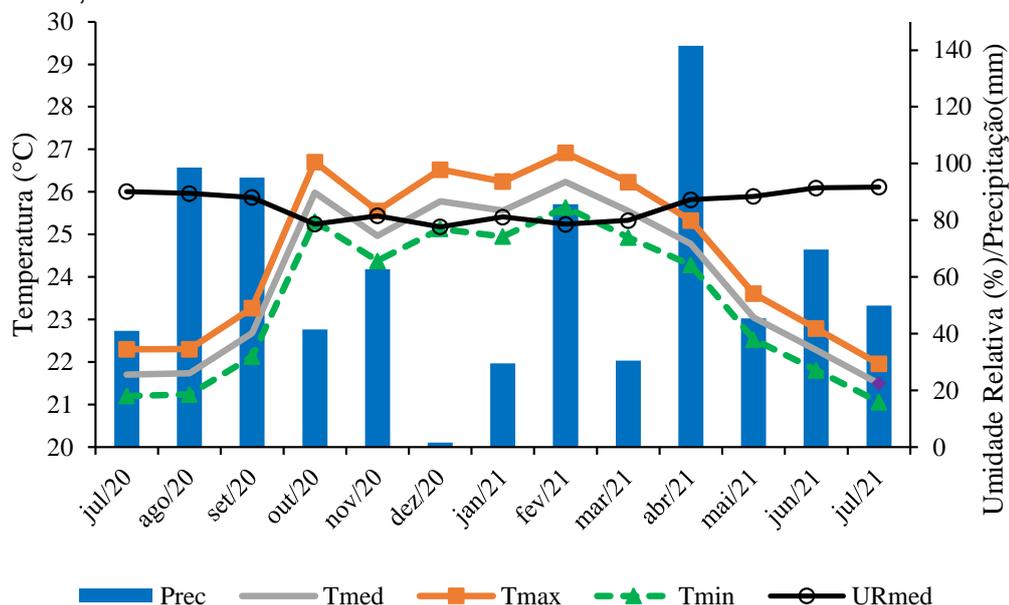
Híbridos	Código dos acessos no BAG	Grupo
CMF-L54*CMF-L78	CMF099	Solo
CMF-L56*CMF-L78	CMF114	Formosa
CMF-L58*CMF-L78	CMF118	Solo
CMF-L60*CMF-L78	CMF128	Solo
CMF-L72* CMF-L78	CMF230	Solo
CMF-L74*CMF-L78	CMF232	Solo
CMF-130*CMF-L78	CMF-130	Solo

O estudo foi conduzido na área da Fazenda Experimental do CCAAB, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), localizada no município de Cruz das Almas, Bahia (12° 40' 19" S, 39° 06' 23" W e 220 m de altitude). O clima da região é tropical quente e úmido, segundo a classificação de Köppen, com pluviosidade média anual de 1.200 mm, umidade relativa do ar de aproximadamente 80% e temperatura média anual de 24,5°C.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso típico e relevo plano (Embrapa, 2018), com classe textural franco arenoso na profundidade de 0 a 0,30 m e franco argiloarenoso de 0,30 a 0,40 m de profundidade.

Os dados agrometeorológicos (temperatura, precipitação pluvial, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento) foram registradas pela estação meteorológica automática instalada no próprio *Campus* da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (Figura 1).

**Figura 1.** Variação climática na área experimental registradas durante o cultivo do mamoeiro, em Cruz das Almas, Bahia. Prec= precipitação, T méd= temperatura média do ar, T máx= temperatura máxima do ar, T mín= temperatura mínima do ar, UR = Umidade relativa do ar.



A semeadura dos genótipos foi realizada em tubetes de polietileno (300 ml) contendo substrato composto de terra vegetal, vermiculita e esterco curtido, na proporção de 2:1:1. Foram semeadas três sementes por tubete e após germinação foi efetuado o desbaste, deixando-se apenas uma muda por recipiente. Após 60 dias, as mudas foram transplantadas em espaçamento de 3,0 m entre fileiras e 2,0 m entre plantas, com três mudas por cova, em distribuição triangular de 0,30 x 0,30 x 0,30 m. A partir do terceiro mês iniciou-se a sexagem, deixando-se a planta hermafrodita mais vigorosa para ser submetida às avaliações dos caracteres morfoagronômicos.

A adubação de plantio foi realizada utilizando-se dos seguintes fertilizantes por cova: esterco de gado (5 L), superfosfato simples (133 g) e FTE “Fritted Trace Elements” BR-12 (50 g). As adubações de cobertura foram feitas manualmente, a cada 15 dias com parcelamento das quantidades de fertilizantes recomendados para os períodos vegetativos e de produção, conforme Oliveira e Coelho (2009).

## 2.2. Sistema e manejo de irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi por microaspersão, com aspersores dispostos de 3,0 m entre linhas e 4,0 m entre emissores, instalados entre as linhas de cultivo, posicionados a 1,5 m de distância das linhas, totalizando um emissor

para duas plantas. A vazão média nos microaspersores foi  $99,0 \text{ L h}^{-1}$ , a uma pressão de serviço, no cabeçal de controle, de 1,5 bar (0,15 MPa), e uniformidade de aplicação de 90%.

O manejo da irrigação foi realizado com o objetivo de elevar o conteúdo de água do solo à capacidade de campo, até a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas e a reposição de água foi baseada no monitoramento da umidade do solo obtida pelo método da Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR). Os tubos de acesso foram instalados na linha de plantio a 0,35 m do caule, região de maior densidade de comprimento de raízes, definida de acordo com Coelho *et al.* (2005) e Souza *et al.* (2016).

Para garantir a imposição do déficit hídrico no ambiente com estresse (WS), a reposição de água no solo era realizada a cada dez dias, com o objetivo de promover o secamento do solo e simular um veranico. Nas plantas cultivadas no ambiente sem estresse (NS), a irrigação era realizada com um intervalo de dois dias entre irrigações mantendo o solo próximo a capacidade de campo (-18 kPa) durante todo o período experimental. Enquanto nas plantas sob estresse, a redução na disponibilidade da água, abaixo de 70% da capacidade de campo, em função da menor frequência da irrigação, submeteu as plantas a um déficit hídrico, com valores mínimos de potencial abaixo de -200 kPa, considerado crítico para a produtividade do mamoeiro (AIYELAAGBE *et al.*, 1986; REIS *et al.*, 2009), e umidade no solo variando entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente.

Durante o período de outubro de 2020 a abril de 2021, o volume de água aplicada no ambiente NS foi 411,5 mm, enquanto nas plantas WS a lâmina de irrigação total fornecida foi 27% menor (299,8 mm), o equivalente a uma redução de 670 L de água por planta (Tabela 2).

**TABELA 2.** Lâminas totais de água aplicada nos regimes hídricos com turno de rega de dois dias (ITR2) e turno de rega de dez dias (ITR10) no período de julho de 2020 a julho de 2021, em Cruz das Almas, Bahia.

Mês	Precipitação	LÂMINA DE ÁGUA (mm)			
		Turno de rega 2 dias (NS)		Turno de rega 10 dias (WS)	
		Aplicada	Total	Aplicada	Total
jul/20	41,0	0,0	41,0	0,0	41,0
ago/20	98,6	0,0	98,6	0,0	98,6
set/20	95,0	0,0	95,0	0,0	95,0
out/20	41,4	16,0	57,4	16,0	57,4
nov/20	62,7	36,0	98,7	36,0	98,7
dez/20	1,5	116,6	118,1	104,7	106,2
jan/21	29,5	75,6	105,1	57,6	87,1
fev/21	85,6	62,4	148,0	15,2	100,8
mar/21	30,5	86,2	116,7	70,3	100,8
abr/21	141,6	18,7	160,3	0,0	141,6
mai/21	45,4	0,0	45,4	0,0	45,4
jun/21	69,6	0,0	69,6	0,0	69,6
jul/21	49,9	0,0	49,9	0,0	49,9
<b>Total</b>	<b>792,3</b>	<b>411,5</b>	<b>1203,8</b>	<b>299,8</b>	<b>1092,1</b>

### 2.3. Índices de tolerância

Para o cálculo dos índices de tolerância foram considerados os caracteres número de frutos comerciais por planta (NFC) e a produtividade (PROD) em t.ha<sup>-1</sup> de cada genótipo, considerando o rendimento da primeira colheita, avaliado aos nove meses após o transplante. O NFC foi obtido mediante contagem de todos os frutos com características comerciais e a PROD foi estimada para cada tratamento pela multiplicação do NFC pela massa média do fruto, considerando um estande de 1.666 plantas por ha<sup>-1</sup>.

Os índices de tolerância/suscetibilidade ao estresse hídrico foram calculados baseados no rendimento dos genótipos para NFC e PROD, para cada genótipo nos dois ambientes ( $\bar{Y}_{NS}$  e  $\bar{Y}_{WS}$ ). A média geral dos caracteres em cada ambiente foi designada por  $\bar{Y}_{NS}$  e  $\bar{Y}_{WS}$ . Os índices calculados foram:

Intensidade do déficit hídrico (Drought Stress Intensity: Fisher; Maurer, 1978):

$$DSI = [1 - (\frac{\bar{Y}_{NS}}{\bar{Y}_{WS}})] \quad (1)$$

Rendimento médio (Mean productivity: Rosielle; Hamblin, 1981):

$$MP = \frac{Y_{NS} + Y_{WS}}{2} \quad (2)$$

Média geométrica (Geometric mean: Fernandez, 1992):

$$GMP = \sqrt{Y_{NS} \times Y_{WS}} \quad (3)$$

Média harmônica (Harmonic mean: Bidinger et al, 1987):

$$HM = 2 \left( \frac{Y_{WS} \times Y_{NS}}{Y_{WS} + Y_{NS}} \right) \quad (4)$$

Índice de tolerância ao estresse (Stress Tolerance Index: Fernandez, 1992):

$$STI_i = \frac{(Y_{NS} \times Y_{WS})}{(\bar{Y}_{NS}^2)} \quad (5)$$

Índice de suscetibilidade ao estresse (Stress Susceptibility Index: Fischer e Maurer, 1978):

$$SSI_i = \frac{1 - \left( \frac{Y_{WS}}{Y_{NS}} \right)}{1 - \left( \frac{Y_{WS}}{Y_{NS}} \right)} \quad (6)$$

Índice de resistência ao estresse (Drought Resistance Index: Blum, 1988):

$$DRI = Y_{WS} \times \frac{\left( \frac{Y_{WS}}{Y_{NS}} \right)}{\bar{Y}_{WS}} \quad (7)$$

Índice de rendimento (Gavuzzi et al., 1997):

$$YI = \frac{Y_{WS}}{\bar{Y}_{WS}} \quad (8)$$

Índice de estabilidade de rendimento (Bousslama e Schapaugh, 1984):

$$YSI = \frac{Y_{WS}}{Y_{NS}} \quad (9)$$

Os índices obtidos foram correlacionados com a média geral de cada caráter no ambiente sem estresse ( $Y_{NS}$ ) e com estresse ( $Y_{WS}$ ) e os coeficientes de correlação significativos foram utilizados no cálculo do CSI.

O índice de seleção combinado (CSI) proposto por Sabouri *et al.* (2022), foi obtido para auxiliar na identificação de genótipos tolerantes a partir dos índices de tolerância cuja correlação com o rendimento de frutos foi significativa. O CSI consiste em uma combinação linear de índices e é definido como a média da soma do produto dos coeficientes de correlação com os respectivos índices de tolerância sob as duas condições (NS e WS), conforme equação 10.

$$CSI_i = \frac{1}{2} \left( \sum_j^n r_{Y_{NS}} \cdot indice_j \times indice_{ij} + \sum_j^n r_{Y_{WS}} \cdot indice_j \times indice_{ij} \right) \quad (10)$$

Onde:

CSI – valor para o genótipo  $i$ ;

$rY_{NS.indice_j}$  e  $rY_{WS.indice_j}$  – representam os coeficientes de correlação significativos entre o índice  $j$  e o rendimento de frutos de cada genótipo sob condições ótimas e de estresse hídrico, respectivamente.

$índice_{ij}$  – representa o valor do  $j$ -ésimo índice para o  $i$ -ésimo genótipo.

#### **2.4. Delineamento experimental e análise estatística**

O delineamento experimental adotado foi blocos casualizados, em parcela subdividida, com cinco repetições em cada regime hídrico: turno de rega de dois dias (NS) e turno de rega de dez dias (WS). As condições hídricas foram distribuídas nas parcelas, e os genótipos nas subparcelas. A unidade experimental foi constituída de cinco plantas em linha, com população total do experimento de 500 plantas, após sexagem. Cada parcela foi constituída então por cinco blocos, e cada bloco continha dez subparcelas, representando os genótipos.

Os dados obtidos nas avaliações de NFC, PROD e os valores dos índices de tolerância foram submetidos à análise de variância precedida do teste F e, quando significativas, foi estudado o efeito dos fatores nas variáveis dependentes e os desdobramentos conforme as interações para NFC e PROD. As médias dos tratamentos foram submetidas à análise de agrupamento pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, pelo software R versão 4.01 (R Core Team 2022) utilizando o pacote *Expdes.pt* (FERREIRA *et al.*, 2021). Foi realizada a análise de correlação de Pearson entre os índices de tolerância e o rendimento nos dois regimes hídricos.

As associações multivariadas foram analisadas usando as análises de componentes principais (PCA) e diagramas biplot foram explorados para identificar os melhores híbridos com base na tolerância nos dois ambientes por meio do CSI, com auxílio do pacote *factoextra* (KASSAMBARA, 2018) do software R versão 4.01 (R Core Team 2022).

### 3. RESULTADOS

Para quantificar a severidade do déficit, a intensidade do déficit hídrico (DSI) foi calculado de acordo com FISCHER & MAURER (1978) (equação 1). Os valores de DSI variam de 0 a 1 e acima de 0,7 indica estresse severo. A menor frequência de irrigação em WS promoveu um déficit moderado com valores de DSI para PROD e NFC de 0,59 e 0,52 respectivamente. O déficit imposto foi suficiente para reduzir a produção de frutos comerciais e a produtividade de todos genótipos na condição WS, com diferenças altamente significativas ( $p \leq 0,001$ ) para as fontes de variação genótipo, ambiente (regime de irrigação) e interação genótipo por ambiente em PROD e NFC (Tabela 3). Efeito altamente significativo ( $p \leq 0,001$ ) também foi observado para os índices de tolerância ao estresse entre os genótipos (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para os caracteres NFC, PROD e para oito índices de tolerância ao déficit hídrico de mamoeiros cultivados sob dois regimes de irrigação (ambientes NS e WS). Cruz das Almas, BA, 2021.

FV	Ambiente (A)	Bloco	Erro a	Genótipo (G)	G x A	Erro b	CV <sub>1</sub> (%)	CV <sub>2</sub> (%)	
GL	1	4	4	9	9	72	-	-	
QUADRADOS MÉDIOS									
NFC	5331***	20,3 <sup>ns</sup>	31,5	412,1***	27,0***	6,4	27,37	12,34	
PROD	7176,0***	13,4 <sup>ns</sup>	22,8	773,1***	67,9***	7,8	23,83	13,97	
Número de frutos comerciais									
FV	GL	MP	GMP	HM	SSI	STI	DRI	YI	YSI
Genótipo	7	206,12***	224,44***	246,85***	0,3103***	0,6725***	0,8562***	1,21***	0,8471***
Bloco	4	10,16*	7,20 <sup>ns</sup>	6,65 <sup>ns</sup>	0,082 <sup>ns</sup>	0,0262 <sup>ns</sup>	0,0804 <sup>ns</sup>	0,0356 <sup>ns</sup>	0,0219 <sup>ns</sup>
Erro	4	3,42	4,07	5,21	0,032	0,0131	0,0357	0,0289	0,01
CV (%)	-	9,03	10,69	13,07	17,5	22,28	36,12	17,14	20,65
Produtividade									
Genótipo	7	386,44***	384,80***	383,68***	0,1813***	1,187***	0,9289***	2,0145***	0,065***
Bloco	4	6,71 <sup>ns</sup>	4,02 <sup>ns</sup>	3,76 <sup>ns</sup>	0,0446 <sup>ns</sup>	0,0142 <sup>ns</sup>	0,0575 <sup>ns</sup>	0,0308 <sup>ns</sup>	0,016 <sup>ns</sup>
Erro	4	3,67	5,03	7,07	0,0240	0,0207	0,0486	0,05	0,008
CV (%)	-	9,57	12,57	16,61	15,08	29,82	48,05	22,34	23,75

NFC=número de frutos comerciais (uni.); PROD=produtividade (t.ha<sup>-1</sup>); MP= rendimento médio; GMP= média geométrica; HM= média harmônica; SSI= índice de suscetibilidade ao estresse; STI= índice de tolerância ao estresse; DRI= índice de resistência ao estresse; YI= índice de rendimento; YSI= índice de estabilidade de rendimento; CV = coeficiente de variação, CV<sub>1</sub>=coeficiente de variação na parcela, CV<sub>2</sub>=coeficiente de variação na subparcela. \*\*\* significativo ( $p \leq 0,001$ ); \*\* significativo ( $p \leq 0,01$ ); \* significativo ( $p \leq 0,05$ ); ns não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F.

No ambiente NS as médias de NFC variaram 38,07 a 18,40 frutos por planta e de 24,23 a 6,60 em WS. Os genótipos com maiores NFC foram o CMF-L54×CMF-L78, que diferiu dos demais, seguido pelo CMF-L56×CMF-L78, CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78 que não diferiram entre si em NS. No ambiente WS, o CMF-L56×CMF-L78 não diferiu do CMF-L54×CMF-L78 e foram superiores aos CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78. Os híbridos CMF-L58×CMF-L78, CMF-L60×CMF-L78 e CMF-L74×CMF-L78 compuseram o grupo com as menores médias de NFC nas duas condições sem diferir das cultivares comerciais. O déficit hídrico moderado reduziu em média o NFC em 54,4%. Os híbridos CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78 tiveram o melhor desempenho com reduções de apenas 35,5% e 30%, respectivamente.

As médias de PROD variaram de 47,9 a 19,6 t ha<sup>-1</sup> e de 26,1 a 6,4 t ha<sup>-1</sup> nos ambientes NS e WS, respectivamente (Tabela 4). O híbrido CMF-L54×CMF-L78 apresentou a maior produtividade tanto em NS quanto em WS. Sob condições ótimas de umidade o híbrido CMF-L56×CMF-L78 apresentou a terceira maior produção, superada apenas pela cultivar Tainung n<sup>o</sup>1, porém sob déficit não diferiu do CMF-L54×CMF-L78 e foram superiores ao 'Tainung n<sup>o</sup>1'. Os demais híbridos apresentaram PROD estaticamente iguais a cultivar Golden, porém foram inferiores ao parental 'BRS-L78' em condição hídrica adequada. Os híbridos CMF-L58×CMF-L78, CMF-L60×CMF-L78, CMF-130×CMF-L78, CMF-L72×CMF-L78 e CMF-L74×CMF-L78 compuseram o grupo de menor PROD em WS, sem diferir de 'Golden' e 'BRS-L78'. A redução média no rendimento dos genótipos foi de 61,6%, com as menores perdas observadas para o CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78 (45,5 e 39,9%, respectivamente).

**Tabela 4.** Médias para NFC, PROD e oito índices de tolerância ao déficit hídrico avaliados em sete híbridos de mamoeiro e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') cultivados sob dois regimes de irrigação e avaliadas aos 270 dias após o transplântio. Cruz das Almas, BA, 2021.

Nº	Genótipo	NFC		Índices de Tolerância ao Déficit Hídrico								Redução*	
		Y <sub>NS</sub>	Y <sub>WS</sub>	MP	GMP	HM	SSI	STI	DRI	YI	YSI	CSI	(%)
1	CMF-L54*CMF-L78	38,07aA	24,23aB	31,30a	30,47a	29,67a	0,66a	1,2a	1,22a	1,84a	0,65a	87,73	-35,55
2	CMF-L56*CMF-L78	34,77bA	24,33aB	29,55a	28,95a	28,37a	0,54a	1,08a	1,33a	1,83a	0,72a	83,71	-30,01
3	CMF-L130*CMF-L78	33,47bA	15,00bB	24,24b	22,36b	29,64b	1,05b	0,65b	0,52b	1,13b	0,45b	63,37	-55,18
4	CMF-L72*CMF-L78	32,47bA	14,40bB	23,43b	21,46b	19,71b	1,05b	0,59b	0,51b	1,08b	0,45b	61,11	-55,65
5	CMF-L60*CMF-L78	25,27cA	11,9cB	18,60c	17,30c	16,10c	1,01b	0,39c	0,43c	0,90b	0,47b	48,99	-52,77
6	CMF-L58*CMF-L78	25,47cA	10,13cB	17,8c	16,03c	14,44c	1,14b	0,33c	0,31c	0,76c	0,40b	45,10	-60,21
7	CMF-L78	27,60cA	7,93cB	17,77c	14,67c	12,67d	1,35b	0,28c	0,18c	0,60c	0,29b	41,42	-71,26
8	Golden	23,60cA	8,80cB	16,20c	14,31c	12,18d	1,19b	0,27c	0,26c	0,66c	0,38b	40,34	-62,71
9	Tainung nº1	18,80cA	8,20cB	13,50d	12,38d	11,37d	1,07b	0,20c	0,27c	0,62c	0,44b	34,78	-56,38
10	CMF-L74*CMF-L78	18,40cA	6,60cB	12,50d	10,90d	9,56d	1,22b	0,16c	0,19c	0,50 c	0,36b	30,66	-64,13
Média		27,79	13,19	20,49	18,97	17,61	1,03	0,52	0,52	1,00	0,46		-52,55

Nº	Genótipo	PROD (t.ha <sup>-1</sup> )		Índices de Tolerância ao Déficit Hídrico								Redução*	
		Y <sub>NS</sub>	Y <sub>WS</sub>	MP	GMP	HM	SSI	STI	DRI	YI	YSI	CSI	(%)
1	CMF-L54*CMF-L78	47,92aA	26,09aB	37,00a	35,25a	33,59a	0,76a	1,54a	1,26a	2,26a	0,55a	105,21	-45,55
2	CMF-L56*CMF-L78	38,10cA	22,89aB	30,5b	29,38b	28,31b	0,64a	1,06b	1,24a	1,98a	0,62a	87,93	-39,91
3	Tainung nº1	43,64bA	15,25bB	29,44b	25,05c	22,20c	1,09c	0,82c	0,51b	1,32b	0,35c	75,87	-65,06
4	CMF-L78	27,89dA	7,02cB	17,46c	13,87d	11,10d	1,25c	0,24d	0,17b	0,61c	0,26c	40,89	-74,82
5	CMF-L58*CMF-L78	23,81eA	7,97cB	15,89c	13,74d	11,90d	1,12c	0,24d	0,23b	0,69c	0,33c	40,12	-66,55
6	CMF-L60*CMF-L78	20,23eA	8,99cB	14,61d	13,39d	12,31d	0,93b	0,22d	0,36b	0,78c	0,45b	39,44	-55,57
7	Golden	22,60eA	7,24cB	14,92d	12,72d	10,87d	1,13c	0,20d	0,21b	0,62c	0,32c	37,21	-67,97
8	CMF-L130*CMF-L78	20,44eA	6,95cB	13,69d	11,88d	10,33d	1,11c	0,18d	0,21b	0,60c	0,34c	34,62	-66,01

9	CMF-L74*CMF-L78	20,70eA	6,63cB	13,67d	11,58d	9,9d	1,14c	0,17d	0,20b	0,58c	0,32c	34,02	-67,97
10	CMF-L72*CMF-L78	19,57eA	6,45cB	13,01d	11,15d	9,6d	1,12c	0,15d	0,20b	0,56c	0,34c	32,61	-67,05
Média		28,49	11,55	20,02	17,96	16,17	1,04	0,48	0,46	1,00	0,38		-61,65

NFC: número de frutos comerciais por planta (uni.); PROD: produtividade (t.ha<sup>-1</sup>); MP: rendimento médio; GMP: média geométrica; HM: média harmônica; SSI: índice de suscetibilidade ao estresse; STI: índice de tolerância ao estresse; DRI: índice de resistência ao estresse; YI: índice de rendimento; YSI: índice de estabilidade de rendimento. \* Considera a perda percentual do rendimento no regime ITR10 em relação ao regime ITR2.

O SSI mensura a suscetibilidade ao estresse a partir da redução no rendimento dos genótipos sob condição desfavorável em relação à condição normal (FISHER; MAURER,1978). O SSI adequado é aquele que expressa valores inferiores à unidade (<1) e indica maior tolerância dos genótipos ao estresse. A análise do SSI dividiu os genótipos em três grupos para PROD e dois para NFC, com CMF-L54×CMF-L78, CMF-L56×CMF-L78 e CMF-L60×CMF-L78 formando o grupo com maiores PROD e CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78 o grupo de maior NFC (Tabela 4). Os demais genótipos apresentaram valores de SSI superiores a 1, e, portanto, foram classificados como sensíveis.

O índice de tolerância ao estresse (STI) foi definido por Fernandez (1992) com uma ferramenta útil para determinar o rendimento superior dos genótipos sob estresse e seu potencial de tolerância. Genótipos superiores apresentam STI superior à média geral. A média de STI foi de 0,48 para a PROD e, portanto, classifica como superiores o CMF-L54×CMF-L78, CMF-L56×CMF-L78 e 'Tainung nº1' sob condições de déficit hídrico (Tabela 4). Para NFC o STI classificou como genótipos tolerantes além do CMF-L54×CMF-L78 e do CMF-L56×CMF-L78, os híbridos CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78.

O índice de resistência a seca (DRI), proposto por Blum (1988) considera a perda percentual de rendimento entre os ambientes e os maiores valores para a característica estudada na condição de estresse, sendo, portanto, um índice de grande utilidade para identificar genótipos com produção elevada sob condições de estresse e sob condições adequadas de água. A média de DRI para PROD foi de 0,46 e de 0,52 para NFC. Os valores são adequados quando superiores à média geral, condição observada para os híbridos CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78 em PROD e CMF-L54×CMF-L78, CMF-L56×CMF-L78, CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78 em NFC.

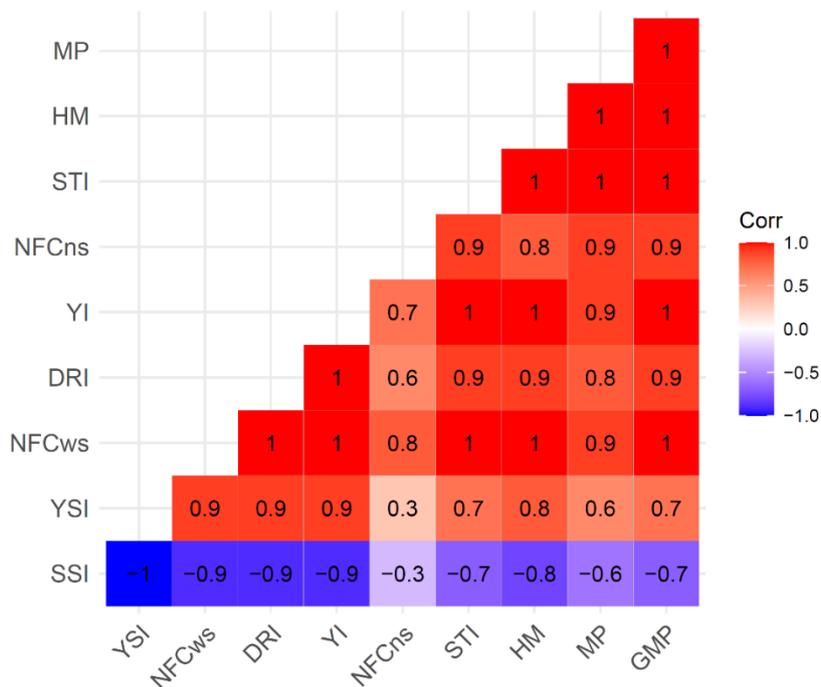
Considerando os índices MP, GMP, HM, os híbridos CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78 apresentaram maiores médias respectivamente, e foram superiores aos demais genótipos, exceto para MP cujo valor do CMF-L56×CMF-L78, foi estatisticamente igual ao 'Tainung nº1' em relação a PROD. Para NFC esses índices revelaram como superiores e estatisticamente iguais o CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78. O segundo grupo com os maiores valores de MP, GMP e HM para NFC foram os híbridos CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-

L78. Ainda sobre NFC, o CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78 foram os mais tolerantes segundo os índices YI e YSI. Para PROD esses mesmos índices selecionaram o CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78 que diferiram do 'Tainung nº1' para YI e do CMF-L60×CMF-L78 para YSI, ambos com valores superiores à média (Tabela 4).

Considerando os maiores valores do índice de seleção combinado (CSI) para NFC, os híbridos com melhor desempenho tanto sob déficit como em condições adequadas de umidade do solo foram os híbridos CMF-L54×CMF-L78 (87,7), CMF-L56×CMF-L78 (83,7), CMF-130×CMF-L78 (63,3) e CMF-L72×CMF-L78 (61,1). Para PROD, os híbridos selecionados pelo CSI foram CMF-L54×CMF-L78 (105,21) e CMF-L56×CMF-L78 (87,93) que obtiveram valores superiores aos CSI obtidos para as cultivares comerciais (Tabela 4). Além disso, de acordo com os valores de CSI mais baixos dos híbridos de mamoeiro, o pior desempenho em ambas as condições para NFC foi o H74.78.

A eficácia dos índices na identificação dos melhores híbridos tolerantes à limitação hídrica, imposta pelo maior intervalo de rega, foi comparada por meio da correlação entre os índices e o rendimento de frutos (NFC e PROD). As Figuras 2 e 3 ilustram os coeficientes de correlação entre os índices e os valores médios de NFC e PROD, respectivamente, de mamoeiros sob condições normais de umidade do solo ( $NFC_{NS}$ ,  $PROD_{NS}$ ) e sob déficit hídrico ( $NFC_{WS}$ ,  $PROD_{WS}$ ). Os coeficientes de correlação obtidos foram altamente significativos ( $p \leq 0,01$ ) para MP, GMP, HM, STI, DRI, YI e significativos ( $p \leq 0,05$ ) para SSI e YSI. O NFC na condição NS teve uma alta correlação positiva com GMP ( $r=1$ ), HM ( $r=1$ ), STI ( $r=1$ ), DRI ( $r=1$ ), YI ( $r=1$ ), MP ( $r=0,9$ ) e YSI ( $r=0,9$ ), enquanto SSI ( $r=-0,9$ ) foi negativamente correlacionado. Na condição NS, a produção de frutos comerciais por planta foi positiva e altamente correlacionada com STI ( $r=0,9$ ), GMP ( $r=0,9$ ), MP ( $r=0,9$ ), HM ( $r=0,8$ ), YI ( $r=0,7$ ), DRI ( $r=0,6$ ), e YSI ( $r=0,3$ ), enquanto SSI ( $r=-0,3$ ) apresentou baixa correlação e negativa com  $NFC_{NS}$ .

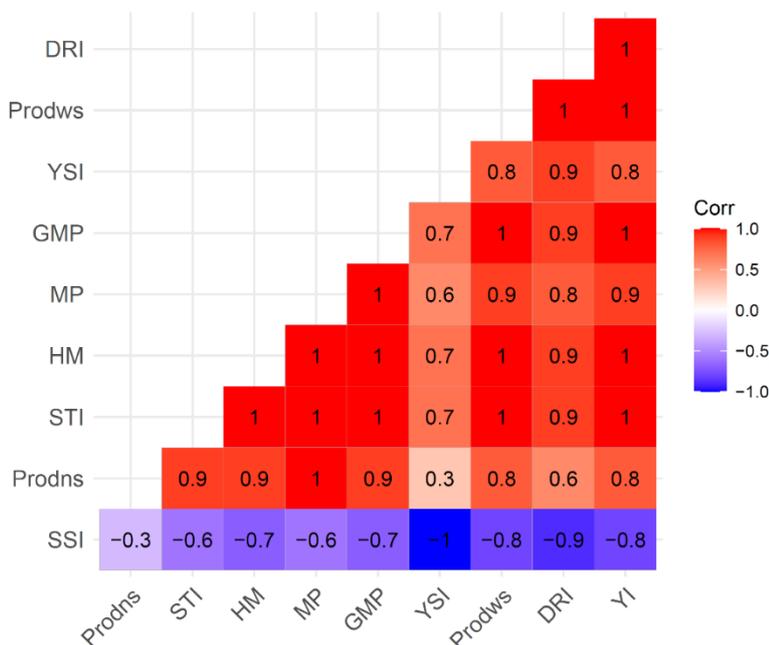
**Figura 2.** Coeficientes de correlação entre o número de frutos comerciais por planta na condição NS ( $Prod_{NS}$ ) e na condição WS ( $NFC_{WS}$ ) e os índices de tolerância para sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78').



MP= rendimento médio; GMP= média geométrica; HM= média harmônica; SSI= índice de suscetibilidade ao estresse; STI= índice de tolerância ao estresse; DRI= índice de resistência ao estresse; YI= índice de rendimento; YSI= índice de estabilidade de rendimento.

Para a característica produtividade, MP ( $r=0,9$ ), GMP ( $r=1$ ), HM ( $r=1$ ), DRI ( $r=1$ ), STI ( $r=1$ ), YI ( $r=1$ ) e YSI ( $r=0,8$ ) mostraram uma correlação alta, positiva e significativa ( $p \leq 0,001$ ) em WS e correlação alta e negativa para SSI ( $r=-0,8$ ). Em NS, as correlações foram altas, significativas ( $p \leq 0,001$ ) e positivas para MP ( $r=1$ ), GMP ( $r=0,9$ ), HM ( $r=0,9$ ), STI ( $r=0,9$ ), YI ( $r=0,8$ ) e média para DRI ( $r=0,6$ ). Para YSI e SSI, a correlação foi baixa, significativa ( $p \leq 0,05$ ) e positiva para YSI ( $r=0,3$ ) e negativa para SSI ( $r=-0,3$ ).

**Figura 3.** Coeficientes de correlação entre a produtividade (t.ha<sup>-1</sup>) na condição NS (Prod<sub>NS</sub>) e na condição WS (Prod<sub>WS</sub>) e os índices de tolerância para sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung n°1', 'Golden' e 'BRS-L78').



MP= rendimento médio; GMP= média geométrica; HM= média harmônica; SSI= índice de suscetibilidade ao estresse; STI= índice de tolerância ao estresse; DRI= índice de resistência ao estresse; YI= índice de rendimento; YSI= índice de estabilidade de rendimento

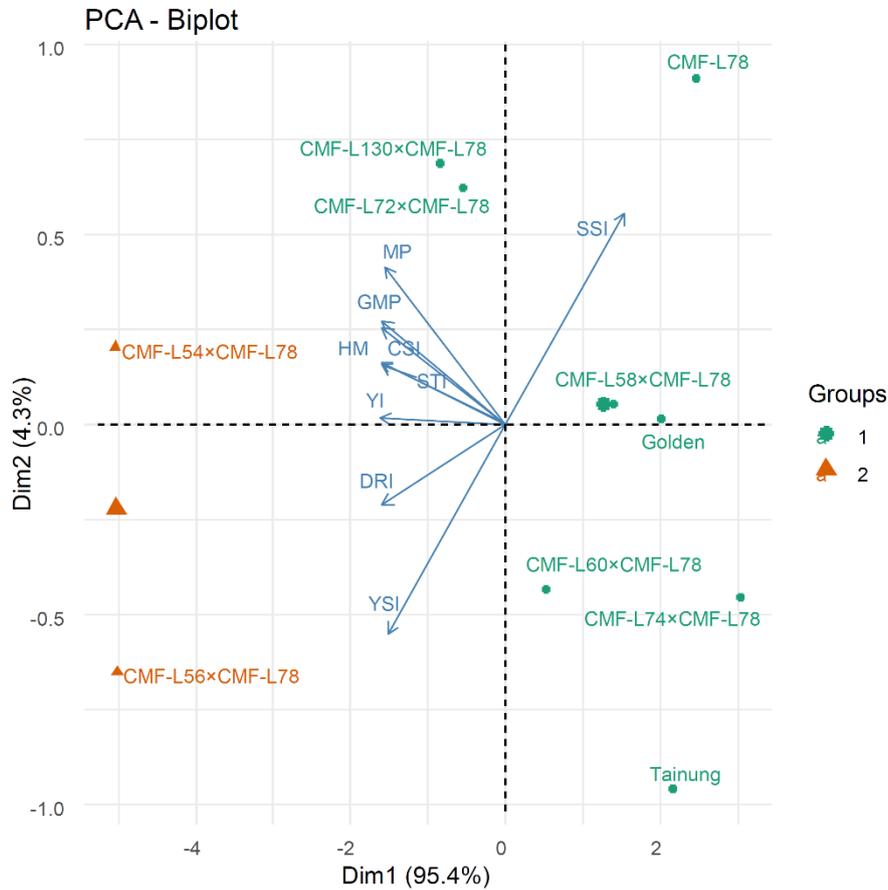
A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para identificar os melhores índices, bem como selecionar os melhores híbridos baseado na produção de frutos comerciais por planta e na produtividade. Os dois primeiros componentes principais com autovalores maiores que a unidade explicou 99,7% da variação total do NFC (Tabela 5). O primeiro componente principal (PC1) explicou 95,4%, enquanto o segundo componente principal (PC2) foi responsável por 4,3% da variação total. O CSI, GMP, MP, HM e STI fez contribuições altas e positivas à variação total explicada por PC1. Desta forma O PC1 pode ser considerado como um eixo para alto rendimento e tolerância sob condições de déficit hídrico. Na análise de PCA para PROD (Figura 4), o PC1 explicou 92,5% da variação e o PC2 7,2%. Na análise, os índices melhores representados por PC1 são MP, GMP, HM, STI e CSI e, portanto, este componente significa tolerância à seca. Os genótipos com altas pontuações de PC1 são identificados como tolerantes à seca. O PC2 está altamente correlacionado com SSI e, portanto, significa suscetibilidade à seca e genótipos com altos escores de PC2 são suscetíveis à condição de déficit. Os

melhores índices com base no PCA são MP, GMP, HM, YI e STI e os ângulos menores que 90° entre o CSI e esses índices na Figura 5 e 6 indica que estão fortemente correlacionados, portanto, este componente significa tolerância à seca e são melhores preditores de rendimento sob estresse.

A análise biplot de componentes principais identificou genótipos com tolerância à limitação de água e de alto rendimento em condições de estresse hídrico e sem estresse, incluindo o CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78 para NFC e PROD (Figura 4 e 5).

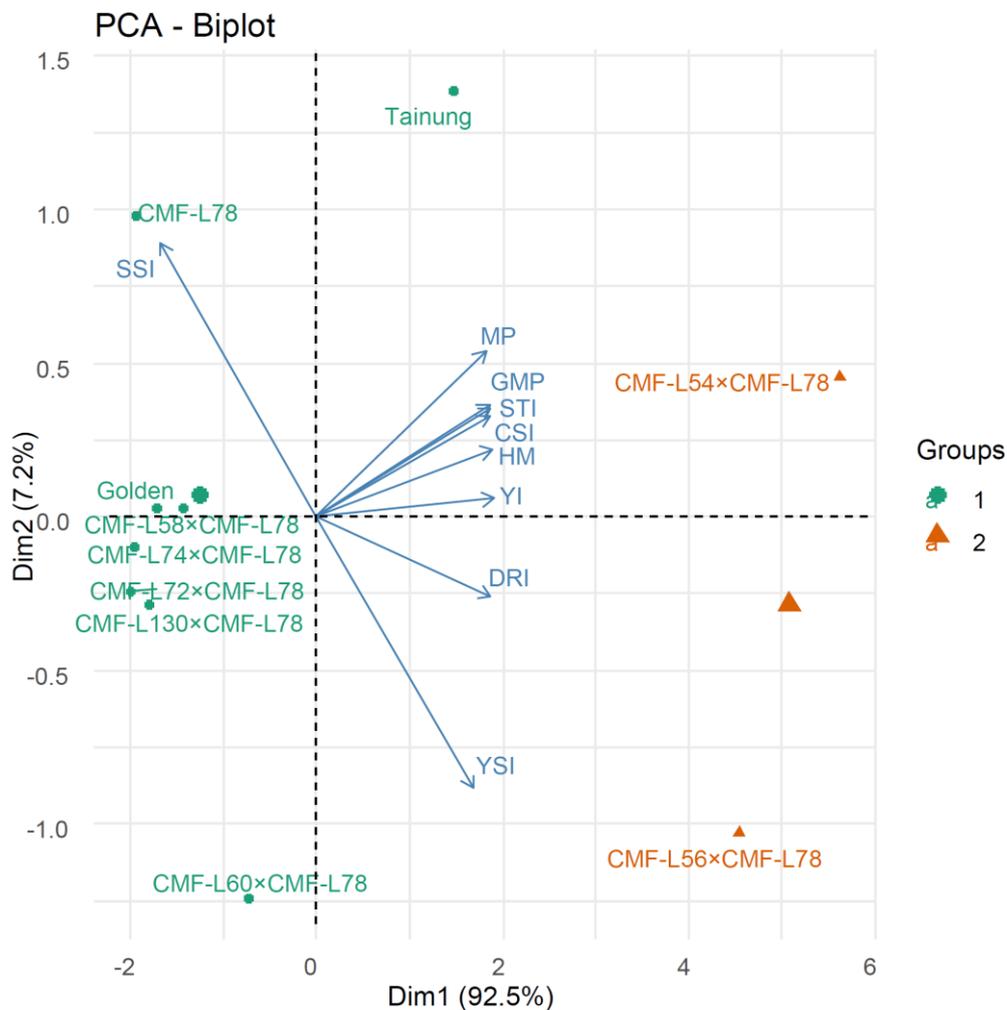
Genótipos como CMF-130×CMF-L78 e CMF-L72×CMF-L78 foram susceptíveis ao estresse por déficit hídrico para NFC e tiveram bom desempenho apenas em condições sem estresse. O CMF-L74×CMF-L78 foi identificado como sendo o mais suscetível ao déficit e de baixa produtividade nos dois ambientes.

**Figura 4.** Biplot para índices de tolerância à seca com base no rendimento de frutos comerciais por planta (NFC) de sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') de mamoeiro cultivados sob dois regimes de irrigação e avaliadas aos 270 dias após o transplante. Cruz das Almas, BA, 2021.



MP: rendimento médio; GMP: média geométrica; HM: média harmônica; SSI: índice de suscetibilidade ao estresse; STI: índice de tolerância ao estresse; DRI: índice de resistência ao estresse; YI: índice de rendimento; YSI: índice de estabilidade de rendimento.

**Figura 5.** Biplot para índices de tolerância à seca com base na produtividade (PROD, t.ha<sup>-1</sup>) de sete híbridos e três cultivares comerciais ('Tainung nº1', 'Golden' e 'BRS-L78') de mamoeiro cultivados sob dois regimes de irrigação e avaliadas aos 270 dias após o transplante. Cruz das Almas, BA, 2021.



MP: rendimento médio; GMP: média geométrica; HM: média harmônica; SSI: índice de suscetibilidade ao estresse; STI: índice de tolerância ao estresse; DRI: índice de resistência ao estresse; YI: índice de rendimento; YSI: índice de estabilidade de rendimento.

#### 4. DISCUSSÃO

A seleção de genótipos com tolerância ao déficit hídrico deve ser baseada tanto no desempenho superior sob condições ambientais ótimas e não ótimas, como na estabilidade de rendimento sob condições estressantes. Os elevados percentuais de redução no rendimento confirmam a alta sensibilidade da cultura ao estresse por déficit de água no solo, ainda que sob estresse moderado.

O PCA confirmou o resultado da correlação positiva entre o rendimento sob condições de estresse hídrico e os índices de tolerância a seca como GMP, MP, HM, STI, DRI, YI e YSI, que indicam a eficiência desses índices na identificação de genótipos tolerante ao estresse hídrico. Resultado semelhante foi obtido por Semahegn *et al.*, (2020). Índices que apresentam alta correlação com o rendimento em condições normais e de estresse são os índices mais adequados para determinar genótipos tolerantes (TALEGHANI *et al.*, 2020). Nesse estudo, para as duas condições e para os dois caracteres avaliados, os índices PGM, MP, HM, STI, YI e DRI apresentaram alta correlação.

Esses resultados são compatíveis com Sabouri *et al.* (2022), que encontraram correlação positiva e significativa de MP, GMP, HM e STI com o rendimento de grãos em arroz em condições ótimas e sob estresse por déficit hídrico. Com base nos coeficientes de correlações significativos e positivos entre rendimento de grãos de trigo em condições estressantes e sem estresse, Guendouz *et al.* (2012) identificaram MP, GMP, HM e STI como os índices mais adequados para seleção de genótipos tolerantes ao estresse.

RAD *et al.* (2023) utilizando índices de tolerância para classificar genótipos de sorgo quanto a sensibilidade à seca, verificaram que valores de HM tiveram melhor desempenho que MP e GMP na seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico. Golkar *et al.* (2021), estudando as relações entre os índices e os rendimentos em condições de estresse e sem estresse, também observaram correlação positiva significativa para MP, GMP e STI com os rendimentos em ambas as condições, no entanto HM correlacionou-se negativamente com o rendimento na condição sem estresse.

Segundo Sabouri *et al.* (2022), a combinação entre MP, GMP, HM, STI e YS são os melhores preditores de rendimento sob estresse e os genótipos com valores elevados desses índices são tolerantes à seca. Os valores mais altos de MP, GMP, HM, STI, YI e DRI para o rendimento ( $t \cdot ha^{-1}$ ) verificados nos genótipos CMF-L54×CMF-L78, CMF-L56×CMF-L78 e 'Tainung nº1', indicam genótipos mais produtivos dentre os genótipos avaliados tanto em NS como WS, porém não considera as reduções sob condição hídrica limitante, uma vez que o 'Tainung nº1' sofreu perdas na condição WS, em média de 65% em PROD, mantendo-se superior

aos demais mesmo em WS devido aos seus frutos maiores e com massa média superior aos genótipos do grupo Solo.

O SSI é um índice mais eficiente na seleção de genótipos tolerantes, pois relaciona as perdas de rendimento dos genótipos em função das diferenças médias nos dois ambientes (NS e WS), permitindo distinguir os genótipos tolerantes e os suscetíveis ao estresse, mostrando uma relação negativa com o rendimento (THIRY *et al.*, 2016). Dessa forma, nesse estudo, os menores valores correspondem aos genótipos mais tolerantes e, portanto, os híbridos CMF-L54×CMF-L78, CMF-L56×CMF-L78 e CMF-L60×CMF-L78 foram superiores. Os híbridos CMF-L54×CMF-L78 e CMF-L56×CMF-L78 foram também os mais produtivos nos dois ambientes, porém o CMF-L60×CMF-L78 esteve nos grupos de menor PROD em NS e WS, embora classificado como tolerante, devido as baixas reduções observadas entre as duas condições hídricas, esse híbrido não apresenta as maiores produções. A baixa correlação de YSI e SSI na condição sem estresse, favoreceram a seleção de genótipos com maior rendimento sob estresse hídrico e baixo rendimento sob condições sem estresse, o que concorda com os resultados relatados por Semahegn *et al.* (2020) e, portanto, são ineficientes na seleção de genótipos estáveis para maiores rendimentos em ambos os ambientes.

O índice YI selecionou genótipos com maiores rendimentos sob condição de déficit, mas esses genótipos podem não apresentar o mesmo desempenho em condições ótimas ou mesmo não apresentar estabilidade de produção. Em contraste, o índice de suscetibilidade ao estresse (SSI) tende a distinguir os genótipos tolerantes e os suscetíveis, sem, no entanto, distinguir dentre os genótipos potencialmente tolerantes daqueles com baixo potencial produtivo. Archangi *et al.* (2022), avaliando genótipos de cominho (*Cuminum cyminum* L.) utilizando o SSI, confirmaram a eficiência desse índice para selecionar genótipos tolerantes à seca, porém observaram a mesma limitação para SSI e ressaltam a necessidade de avaliar o rendimento nessas condições, já que o genótipo tolerante pode não ser o mais produtivo.

Embora alguns dos índices sejam mais bem-sucedidos na discriminação de genótipos desejáveis sob condições de estresse e não estresse, nenhum dos índices de tolerância e suscetibilidade isoladamente são ideais para caracterizar genótipos tolerantes e de alto rendimento em ambas as condições (THIRY *et al.*,

2016; SABOURI *et al.*, 2022). Portanto esses índices precisam ser avaliados em conjunto devido as diferenças na eficiência em selecionar tanto os mais produtivos nos dois ambientes como também os mais estáveis.

O cálculo de índices para o caráter NFC e a seleção baseada nessa característica é relevante devido a variabilidade existente na espécie *Carica papaya* para tamanho e massa de fruto. E como estas variáveis influenciam no rendimento final, é importante selecionar genótipos que, mesmo apresentando rendimento inferior devido ao menor tamanho dos frutos, apresentam maior produção de frutos comerciais por planta. Nesse sentido, com base no CSI, foram selecionados como genótipos tolerantes ao déficit hídrico os híbridos CMF-L54\*CMF-L78, CMF-L56\*CMF-L78, CMF-130\*CMF-L78 e CMF-L74\*CMF-L78.

A variabilidade genotípica para o desempenho produtivo foi observada nas condições NS e WS. Os híbridos selecionados teriam rendimentos econômicos em períodos mais secos e altos rendimentos e maior NFC sob condições ótimas de umidade do solo e do ar.

## **5. CONCLUSÃO**

Os índices MP, PGM, HM, STI e DRI, com base nos resultados da análise de correlação, foram identificados como os índices mais adequados para a seleção de genótipos de mamoeiro.

O uso combinado dos índices de tolerância/suscetibilidade ao estresse permite identificar e selecionar genótipos tolerantes e com boa estabilidade, com base nas características avaliadas.

Os híbridos selecionados CMF-L54\*CMF-L78 e CMF-L56\*CMF-L78 tem potencial produtivo sob condições normais e de estresse hídrico, e, portanto, são materiais promissores para uso em etapas posteriores do melhoramento para tolerância à limitação de água no solo, com possibilidade de reduzir impactos negativos das variações climáticas na produtividade do mamoeiro.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIYELAADGBE, I. O.Q.; FALUSI, M. O. A.; BABALOLA, O. Growth, development and yield of pawpaw (*Carica papaya* L.). 'Homestead selection' in response to soil moisture stress. **Plant and Soil**, v. 93, p. 427-435, 1986.

ALI, F.; KANCHANA-UDOMKAN, C.; FORD, R. The Inheritance Pattern of Key Desirable Agronomic and Fruit Quality Traits in Elite Red Papaya Genotypes. **Horticulturae**, v. 8, n. 845, p 1-14, 2022.

ARCHANGI, A.; MOHAMMADI-NEJAD, G.; HEIDARI, B. Assessing genetic diversity and aggregate genotype selection in a collection of cumin (*Cuminum cyminum* L.) accessions under drought stress: Application of BLUP and BLUE. **Scientia Horticulturae**, v. 299, n.111028, p 1-11, 2022.

BIDINGER, F. R., MAHALAKSHMI, V.; RAO, G. D. Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). Estimation of genotype response to stress. Australian **Journal of Agricultural Research**, n. 38, p. 49–59, 1987.

BLUM, A. 1988. Physiological selection criteria for drought resistance .In: Wittmer, G.(eds.) The future of cereals for human feeding and development of biological research. **International fair of Agriculture**, 39, FOGGIA, th, Italy, p. 191-199.

BOUSLAMA, M.; SCHAPAUGH, W. T. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. **Crop Science**, v. 24, p. 933–937, 1984.

CAMPOSTRINI, E.; GLENN, D. M.; YAMANISHI, O. K. Papaya: ecophysiology of growth and production. *In*: DAMATTA, F. (ed.). **Ecophysiology of tropical tree crops**. Nova Science Publishers, NY, pp 287–307, 2010.

COELHO, E. F.; SANTOS, M. R.; COELHO FILHO, M. A. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de Irrigação localizada em latossolo de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 27, n. 1, p. 175-178, abr. 2005.

CORTES, D. F. M.; SANTA-CATARINA, R.; AZEVEDO, A. O. N.; POLTRONIERI, T. P. S.; VETTORAZZI, J. C. F.; MOREIRA, N. F.; FERREGUETTI, G.A.; RAMOS, H. C. C.; VIANA, A. P.; PEREIRA, M. G. Papaya recombinant inbred lines selection by image-based phenotyping. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 3, p. 208-215, mai.-jun. 2018.

CUNHA, A. P. M. A.; ZERI, M.; LEAL, K. D.; COSTA, L.; CUARTAS, L. A.; MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M.; BARBOSA, A. A.; CUNNINGHAM, C.; GARCIA, J. V. C.; BROEDEL, E.; ALVALÁ. R.; RIBEIRO-NETO, G. Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, v. 10, n. 642, p, 1-20, out. 2019

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. (Rev. e amp.), Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 356 p.

FERNANDEZ, G. C. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In *Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress* (ed. Kuo, C. G.), p. 257–270 (AVRDC, 1992).

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. 2021. ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portugues). R package version 1.2.1. <<https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>>.

FISCHER, R. A.; MAURER, R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research**, v, 29, p. 897–912, 1978.

GAVUZZI, P., *et al.* Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. **Canadian Journal of Plant Science**, V.77, p. 523–531, 1997.

GOLKAR, P.; HAMZEH, E.; MIRMOHAMMADY MAIBODY, S. A. M. Discrimination of drought tolerance in a worldwide collection of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes based on selection indices. **Acta Agriculturae Slovenica**, v. 117, n. 1, p. 1-11, fev. 2021.

GUENDOUZ, A.; GUESSOUM, S.; HAFSI, M. Investigation and selection index for drought stress in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under Mediterranean condition. **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 3, n. 2, p. 733-740, jun. 2012.

KAUR, H.; KOHLI, S. K.; KHANNA, K.; BHARDWAJ, R. Scrutinizing the impact of water deficit in plants: Transcriptional regulation, signaling, photosynthetic efficacy, and management. **Physiologia Plantarum**, v.172, n. 2, mar. 2021.

LUZ, L.N.; PEREIRA, M.G.; BARROS, F.R.; BARROS, G.D.B.; FERREGUETTI, G.A. Novos híbridos de mamoeiro avaliados nas condições de cultivo tradicional e no semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, p. 159-171, 2015.

MOREIRA, N. F.; PEREIRA, T. N. S.; SANTA-CATARINA, R.; CORTES, D. F. M.; VETTORAZI, J. C. F.; RAMOS, H. C. C.; VIANA, A. P.; PEREIRA, M. G. Quantification of loral abnormalities in a population generated from sexual polymorphism ining at recurrent selection in papaya. **Bragantia**, Campinas, v. 78, n. 2, p.158-165, 2019.

OLIVEIRA, A. M. G., COELHO, E. F. Calagem e adubação para mamoeiro. *In: Recomendações calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, laranja, tangerina, lima ácida, mamão, mandioca, manga e maracujá*. BORGES. A. L.; SOUZA L. S. (editores técnicos) – Brasília, DF: Embrapa, 2009.176 p.

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

RAD, R. D.; SHARIFABAD, H. H.; TORABI, M.; AZIZINEJAD, R.; SALEMI, H.; SOLTANABADI, M. H. Drought stress tolerance based on selection indices of resistant crops variety. **Global Journal of Environmental Science Management**. V. 9, n. 2, p. 1-12, ago. 2023.

REIS, F. O.; CAMPOSTRINI, E.; SOUSA, E. F. Fluxo de seiva xilemática em mamoeiro 'golden' cultivado por microaspersão sobre copa: relações com as variáveis ambientais, **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 285-294, 2009.

ROSIELLE, A. A.; HAMBLIN, J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Science**. v. 21. p. 943-948. 1981.

SABOURI, A.; DADRAS, A. R.; AZARI, M.; KOUCHESFAHANI, A. S.; TASLIMI, M.; JALALIFAR, R. Screening of rice drought-tolerant lines by introducing a new composite selection index and competitive with multivariate methods. **Nature**, v. 12, n. 2163, p1-14, 2022.

SANTA CATARINA, R.; VETTORAZZI, J. C. F.; CORTES, D. F. M.; SANTANA, J. G. S.; POLTRONIERI, T. P. S.; MIRANDA, D. P.; PIROVANI, A. A. V.; MOREIRA, N. F.; VIVAS, M.; PEREIRA, M. G. Papaya (*Carica papaya* L.) S1 family recurrent selection: Opportunities and selection alternatives from the base population. **Scientia Horticulturae**, v. 260, n. 108848, p.1-9, 2020.

SEMAHEGN, Y.; SHIMELIS, H.; LAING, L.; ISACK MATHEW, I. Evaluation of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for yield and related traits under drought stress conditions. **ACTA AGRICULTURAE SCANDINAVICA**, v. 70, n. 6, p. 474–484, 2020.

SILVA, F.F.; PEREIRA, M.G.; RAMOS, H.C.C.; DAMASCENO JÚNIOR, P.C.; PEREIRA, T.N.S.; GABRIEL, A.P.C.; VIANA, A.P.; FERREGUETTI, G.A. Selection and estimation of the genetic gain in segregation generations of papaya. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2008.

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. da S.; LEDO, C. A. da S.; CARDOSO, C. E. L. Distribuição de raízes e manejo do solo em cultivo de mamão nos Tabuleiros Costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.12, p.1937-1947, dez. 2016.

THIRY, A.A.; DULANTO, P. N. C.; REYNOLDS, M. P.; Davies, W. J. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 19 p. 5593–5603, ago. 2016.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que o sistema de irrigação usualmente utilizado em fruteiras é a irrigação por gotejamento e que o volume do reservatório de água no solo é maior sob irrigação por microaspersão, as respostas dos híbridos de mamoeiro irão variar em função da disponibilidade de água e do sistema de irrigação utilizado, e, portanto, as respostas obtidas com esse estudo são iniciais e outros estudos devem ser explorados para otimização do desempenho dos genótipos sob déficit hídrico.

A redução da produtividade da linhagem testadora BRS-L78 no regime com turno de rega de dez dias, demonstra alta sensibilidade ao déficit hídrico, e, portanto, o desempenho dos híbridos CMF L-54x CMF-L78 e CMF L-56x CMF-L78 é forte indício de que mecanismos de tolerância à seca mais eficientes estão relacionados às linhagens CMF-L54 e CMF-L56 e devem ser objeto de estudos mais aprofundados,

Os híbridos CMF-L54xCMF-L78, CMF-L56xCMF-L78, podem ser objeto de estudos mais detalhados, principalmente em relação a qualidade físico-química dos frutos (não avaliada nesse estudo) para posterior recomendação para produção comercial desses genótipos. Embora, em um estudo de Viana *et al.* (2015), o CMF-L54xCMF-L78 apresentou características físico-químicas e sensoriais dos frutos adequados para o mercado consumidor.

A interação dos genótipos com os dois regimes de irrigação e condições diferenciadas de umidade do solo reflete a natureza do comportamento diferenciado dos híbridos principalmente do CMF-L54xCMF-L78 e CMF-L56xCMF-L78, cujo rendimento superou todos os híbridos e até mesmo a cultivar Tainung n<sup>o</sup>1 nas condições experimentais e edafoclimáticas desse estudo.