

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**THÚLIO PEREIRA MATTOS**

**PERFIL METABOLÔMICO E INTROGRESSÃO DE GENES DE NANISMO EM  
TOMATEIRO A PARTIR DE RETROCRUZAMENTOS VISANDO BACKGROUND  
DO TIPO SALADA**

**UBERLÂNDIA, MG**

**2024**

**THÚLIO PEREIRA MATTOS**

**PERFIL METABOLÔMICO E INTROGRESSÃO DE GENES DE NANISMO EM  
TOMATEIRO A PARTIR DE RETROCRUZAMENTOS VISANDO BACKGROUND  
DO TIPO SALADA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em  
Agronomia do Instituto de Ciências Agrárias da  
Universidade Federal de Uberlândia como requisito para  
obtenção do título Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel  
Coorientadora: Profa. Dra. Ana Carolina Silva  
Siquieroli

**UBERLÂNDIA, MG**

**2024**

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M444  
2024 Mattos, Thúlio Pereira, 1987-  
Perfil metabólico e introgressão de genes de nanismo  
em tomateiro a partir de retrocruzamentos visando  
background do tipo salada [recurso eletrônico] / Thúlio  
Pereira Mattos. - 2024.

Orientador: Gabriel Mascarenhas Maciel.

Coorientadora: Ana Carolina Silva Siquieroli.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Pós-graduação em Agronomia.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2024.525>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Maciel, Gabriel Mascarenhas, 1982-,  
(Orient.). II. Siquieroli, Ana Carolina Silva, 1982-,  
(Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia.  
Pós-graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

**THÚLIO PEREIRA MATTOS**

**PERFIL METABOLÔMICO E INTROGRESSÃO DE GENES DE NANISMO EM  
TOMATEIRO A PARTIR DE RETROCRUZAMENTOS VISANDO BACKGROUND  
DO TIPO SALADA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em  
Agronomia do Instituto de Ciências Agrárias da  
Universidade Federal de Uberlândia como requisito para  
obtenção do título Doutor em Produção Vegetal.

Uberlândia, 31 de maio de 2024

Banca examinadora:

Profa. Dra. Araújo Hulmann Batista	UFU
Prof. Dr. Hugo César Rodrigues Moreira Catão	UFU
Prof. Dr. Amilton Ferreira da Silva	UFSJ
Profa. Dra. Nádia Nardely Lacerda Durães Parrella	UFSJ

Profa. Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli  
(Coorientadora)

Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel  
ICIAG-UFU  
(Orientador)

**UBERLÂNDIA, MG**

**2024**



## ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Tese 008/2024, PPGAGRO				
Data:	Trinta e um de maio de dois mil e vinte e quatro	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	17:20
Matrícula do Discente:	12013AGR013				
Nome do Discente:	Thúlio Pereira Mattos				
Título do Trabalho:	PERFIL METABOLÔMICO E INTROGRESSÃO DE GENES DE NANISMO EM TOMATEIRO A PARTIR DE RETROCRUZAMENTOS VISANDO BACKGROUND DO TIPO SALADA				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Melhoramento de Plantas				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Araújo Hulmann Batista - UFU; Hugo César Rodrigues Moreira Catão - UFU; Amilton Ferreira da Silva - UFSJ; Nádia Nardely Lacerda Durães Parrella - UFSJ; Gabriel Mascarenhas Maciel - UFU orientador do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel - UFU, apresentou a Comissão Examinadora e o(a) candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao(à) discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Gabriel Mascarenhas Maciel, Professor(a) do Magistério Superior**, em 03/06/2024, às 10:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Hugo Cesar Rodrigues Moreira Catão, Professor(a) do Magistério Superior**, em 03/06/2024, às 11:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Amilton Ferreira da Silva, Usuário Externo**, em 03/06/2024, às 13:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nádia Nardely Lacerda Durães Parrella, Usuário Externo**, em 04/06/2024, às 16:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Araína Hulmann Batista, Professor(a) do Magistério Superior**, em 17/06/2024, às 17:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5446289** e o código CRC **E276CCF0**.

## AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha família.

À Universidade Federal de Uberlândia (UFU) pela oportunidade de realização do Doutorado.

Ao professor Gabriel Mascarenhas Maciel pela confiança, orientação e ensinamentos durante este período.

A professora Ana Carolina Silva Siquieroli, pela coorientação neste trabalho e por todos os ensinamentos.

Aos amigos do Grupo de Estudos em Melhoramento Genético de Hortaliças (GEN-HORT) em especial a Ana Luísa Alves Ribeiro, Camila Soares de Oliveira e Lucas Medeiros, que foram presentes durante todas as etapas e essenciais para finalizar este trabalho. E aos colegas de pós-graduação Rafael Resende Finzi e Ana Carolina Pires Jacinto.

Ao senhor José Marques Vilela, por auxiliar nos tratos culturais dos experimentos.

A Mariana Mendes e a Thalita Almeida, e a todas as pessoas que contribuíram diretamente ou indiretamente para a elaboração desse trabalho meu agradecimento.

Aos integrantes da banca examinadora, por aceitarem o convite e disponibilizarem parte de seu tempo para avaliação desse trabalho.

Aos docentes do programa de pós-graduação em Agronomia da UFU pelos ensinamentos e contribuição científica.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por financiar esta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFU pela excelente qualidade de ensino e, em especial, às técnicas administrativas Palloma R. Maciel Rodrigues Oliveira e Mariana Batista Andrade por sempre serem muito prestativas.

A todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho e que embora não citados aqui deixo meu agradecimento.

Muito Obrigado!

## SUMÁRIO

<b>RESUMO GERAL</b> .....	i
<b>GENERAL ABSTRACT</b> .....	ii
<b>1- INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
<b>2- OBJETIVO GERAL</b> .....	4
<b>3- OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	5
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	6
<b>CAPÍTULO I</b> .....	12
<b>Em busca da qualidade de frutos e resistência aos diferentes tipos de estresse: avanços genéticos em populações de tomateiro anão</b> .....	12
<b>RESUMO</b> .....	12
<b>ABSTRACT</b> .....	13
<b>1- INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2- MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	16
<b>3- RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	19
<b>4- CONCLUSÃO</b> .....	34
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	35
<b>CAPÍTULO II</b> .....	41
<b>Introgressão de genes de nanismo em tomateiro a partir de retrocruzamentos visando background do tipo salada</b> .....	41
<b>RESUMO</b> .....	41
<b>ABSTRACT</b> .....	42
<b>1- INTRODUÇÃO</b> .....	43
<b>2- MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	45
<b>3- RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	48
<b>4- CONCLUSÃO</b> .....	60
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	61



## RESUMO GERAL

O uso de linhagens de tomateiro anão para obtenção de híbridos é uma alternativa que pode proporcionar vantagens adicionais, sendo uma estratégia para o aumento da produtividade já conhecida no segmento de minitomates. No entanto, ainda não existem linhagens anãs com frutos do segmento salada para uso desta tecnologia. Por meio de retrocruzamentos podem ser desenvolvidas populações de tomateiro anão, e por meio da caracterização e avaliação da dissimilaridade genética entre as populações, é possível selecionar as mais promissoras visando a obtenção de linhagens. Dessa forma, objetivou-se neste estudo a obtenção de populações de tomateiro anão do segmento salada utilizando o método de retrocruzamento para o desenvolvimento de linhagens e posterior obtenção de híbridos. O trabalho foi desenvolvido em duas etapas: primeiro caracterizou-se as populações de tomateiro anão obtidas após dois retrocruzamentos (RC<sub>1</sub>), (RC<sub>2</sub>) e foi avaliada a presença de metabólitos presentes em tomateiro anão, na segunda etapa foram mensurados o potencial e a dissimilaridade genética das populações anãs obtidas após o primeiro (RC<sub>1</sub>), segundo (RC<sub>2</sub>) e terceiro (RC<sub>3</sub>) retrocruzamento, visando observar os incrementos obtidos em cada retrocruzamento e selecionar as melhores populações para o desenvolvimento de linhagens. Ambos os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação na Estação Experimental de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Monte Carmelo-MG. As populações de tomateiro anão foram caracterizadas quanto ao potencial agrônomo, qualidade de frutos e resistência indireta a pragas. Os dados foram analisados por meio de teste de médias, análises multivariadas e índices de seleção. No primeiro experimento verificou-se que o segundo retrocruzamento foi responsável por incrementos expressivos em relação ao tamanho de frutos e de forma majoritária o segundo retrocruzamento proporcionou a produção de frutos com características do tipo salada. As populações de tomateiro anão UFU-DTOM 8#2-3, UFU-DTOM 22#1-17 e UFU-DTOM 4#4-14 provenientes do segundo retrocruzamento mostraram-se promissoras para o desenvolvimento de linhagens, e, portanto, poderão ser utilizadas posteriormente na obtenção de híbridos. Além dos açúcares nos folíolos da linhagem de porte anão UFU DTOM 1 foi identificada uma maior expressão dos metabólitos identificados como: glicina, mio-inositol, acetamida e ácido dodecanóico, moléculas promissoras para novas pesquisas visando resistência aos diferentes tipos de estresse biótico e abiótico. No segundo experimento as populações que apresentaram resultados promissores para o desenvolvimento de linhagens foram UFU-DTOM 4#4-11-1 (RC<sub>3</sub>), UFU-DTOM 21#2-1-1 (RC<sub>3</sub>), UFU-DTOM 19#1-3-1 (RC<sub>3</sub>) e UFU-DTOM 4#4-11 (RC<sub>2</sub>). A seleção predominante de populações de tomateiro anão do tipo salada provenientes do terceiro retrocruzamento (RC<sub>3</sub>) demonstra a importância de se realizar o terceiro retrocruzamento para a obtenção de linhagens de introgressão de tomateiro anão com características de frutos do tipo Salada.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum*; tomateiro; melhoramento de plantas; nanismo; retrocruzamentos.

## GENERAL ABSTRACT

The use of dwarf tomato lines for obtaining hybrids is an alternative that can provide additional advantages, being a known strategy for increasing productivity in the mini tomato segment. However, there are still no dwarf lines with salad-type fruits for the use of this technology. Through backcrossing, populations of dwarf tomatoes can be developed, and by characterizing and evaluating the genetic dissimilarity between populations, it is possible to select the most promising ones for obtaining lines. Therefore, this study aimed to obtain populations of salad-type dwarf tomatoes using the backcross method to develop lines and subsequently obtain hybrids. The work was carried out in two stages: first, the dwarf tomato populations obtained after two backcrosses (BC1), (BC2) were characterized, and the presence of metabolites in dwarf tomatoes was evaluated. In the second stage, the potential and genetic dissimilarity of the dwarf populations obtained after the first (BC1), second (BC2), and third (BC3) backcrosses were measured to observe the increments obtained in each backcross and select the best populations for line development. Both experiments were conducted in a greenhouse at the Vegetable Experimental Station of the Federal University of Uberlândia (UFU), Monte Carmelo-MG. The dwarf tomato populations were characterized for agronomic potential, fruit quality, and indirect pest resistance. The data were analyzed using mean tests, multivariate analyses, and selection indices. In the first experiment, it was found that the second backcross was responsible for significant increments in fruit size, and predominantly, the second backcross produced fruits with salad-type characteristics. The dwarf tomato populations UFU-DTOM 8#2-3, UFU-DTOM 22#1-17, and UFU-DTOM 4#4-14 from the second backcross proved to be promising for the development of lines and could be therefore be used later to obtain hybrids. In addition acyl sugars in the leaflets of the dwarf line UFU DTOM 1, a higher expression was found of the metabolites identified as glycine, myo-inositol, acetamide, and dodecanoic acid, promising molecules for new research aiming at resistance to different types of biotic and abiotic stress. In the second experiment, the populations that presented promising results for line development were UFU-DTOM 4#4-11-1 (BC3), UFU-DTOM 21#2-1-1 (BC3), UFU-DTOM 19#1-3-1 (BC3), and UFU-DTOM 4#4-11 (BC2). The predominant selection of salad-type dwarf tomato populations from the third backcross (BC3) demonstrates the importance of performing the third backcross to obtain introgression lines of dwarf tomatoes with salad-type fruit characteristics.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum*; tomato plant; plant breeding; dwarfism; backcrosses.

## 1- INTRODUÇÃO GERAL

O tomateiro (*Solanum lycopersicum*) está entre as hortaliças mais produzidas e consumidas no mundo (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2023) e ocupa o primeiro lugar em volume de processamento (Brasenco; Asgedom; Casari, 2019). É umas das culturas mais importantes e versáteis, sendo consumido na forma de conserva, molhos, doces, sucos, extrato e in natura (Li *et al.*, 2020).

O consumo in natura é dividido em quatro segmentos; minitomate, santa cruz, saladete e salada (Alvarenga, 2013). O tomate apresenta grande valor nutricional, altos teores de minerais, vitaminas e substâncias antioxidantes (Dariva *et al.*, 2020). Os consumidores exigem frutos de alta qualidade gustativa (Zayat *et al.*, 2022) e provenientes de uma agricultura mais sustentável (Seabra Junior *et al.*, 2022). O crescimento populacional tem desafiado pesquisadores de todo o mundo na busca por novas tecnologias capazes de produzir mais alimentos na mesma área de maneira mais sustentável (Devaux *et al.*, 2021).

No Brasil o cultivo de tomateiro ocorre predominantemente em campo aberto. Para manter a sanidade da cultura é necessário grande quantidade de agroquímicos, onerosos recursos operacionais e financeiros, tornando uma cultura de elevado risco (Alvarenga, 2013). Dessa forma é essencial buscar alternativas para aumentar a produtividade e garantir a rentabilidade da cultura. Diversas pesquisas têm contribuído para aumentar a produtividade, como: uso de sementes híbridas (Ingallina *et al.*, 2020; Solieman *et al.*, 2013); irrigação (Mason *et al.*, 2019; Singh *et al.*, 2023); alteração do espaçamento (Nkansah *et al.*, 2021); número de hastes fixados por plantas (Matos; Shirahige; Melo, 2012); iluminação no cultivo (Schipper *et al.*, 2023); adubação (Massimi; Radócz; Csótó, 2023; Mueller *et al.*, 2013) e diferentes épocas de colheita (Maciel *et al.*, 2015).

Outra maneira utilizada para aumentar a produtividade em plantas é através da alteração de sua morfologia e uma alternativa é o uso de plantas de porte anão em programas de melhoramento genético (Lu *et al.*, 2021). As variedades anãs apresentam inúmeras vantagens, como resistência ao acamamento, aumento da produtividade e melhor adaptação à colheita mecanizada (Li *et al.*, 2018). Em diversas espécies, há relatos de sucesso na obtenção de plantas compactas a partir da utilização de parentais de porte anão, como por exemplo, trigo (Camargo; Oliveira, 1981), arroz (Rutger; Peterson, 1976; Li *et al.*, 2010), milho (Zanette; Paterniani, 1992), cevada (Bierbiger, 1968) e café (Carvalho *et al.*, 1984). Similar aos estudos com

Arabidopsis (Koornneef; Van Der Veen, 1980) em tomateiro, diversas pesquisas sobre nanismo foram realizadas, porém como planta modelo de estudo (Liu *et al.*, 2020; Rajendran, *et al.*, 2022).

Na cultura do tomateiro o primeiro gene identificado, responsável pelo nanismo foi o gene *d* ou *d<sup>1</sup>*, proveniente da palavra “anão” (dwarf - em inglês) (Prince; Drinkard, 1908). Pesquisas têm identificado outros genes e mutantes responsáveis por governar a altura do tomateiro. Mutantes autopodantes (*sp*) (MacArthur, 1932), semideterminados (*sdt*) (Elkind *et al.*, 1991) e supressores de *sp* (*ssp*) (Park *et al.*, 2014) afetam o número de entrenós, enquanto mutantes braquíticos (*br*) (Lee *et al.*, 2018), anão (*d*) (Bishop *et al.*, 1996), Internó alongado (*EI*) (Sun *et al.*, 2019), giberelina deficiente-1 (*gib-1*), *gib-2*, *gib-3* (Kornneef *et al.*, 1990), *procera* (*pro*) (Jupe *et al.*, 1988), entrenó curto (*si*) (Kwon *et al.*, 2020), entrenó de tomate alongado -1 (*empate-1*) (Schrager-Lavelle *et al.*, 2019) e gene *SIGID1a* (Liu *et al.*, 2020) afetam o comprimento dos internódios. Internódios curtos é uma característica buscada por programas de melhoramento na cultura do tomateiro, o que possibilita uma arquitetura mais compacta, facilitando os tratos culturais (Rajendran *et al.*, 2022).

Em relação ao uso do nanismo para fins comerciais em tomateiro as pesquisas são incipientes. Porém, uma proposta metodológica para obtenção de híbridos com potencial agrônomico em minitomate foi estudada por Finzi *et al.* (2017). Tal estratégia consiste no cruzamento entre linhagem de porte normal *versus* linhagem que apresenta o porte anão (Maciel *et al.*, 2015). A estratégia, elucidou redução da distância dos internódios no fenótipo de porte normal, resultando no maior número de pencas por metro linear da planta (Finzi *et al.*, 2017). O desenvolvimento de linhagens anãs com frutos do segmento salada é essencial, pois a escassez de germoplasma de plantas anãs é um obstáculo para expansão desta tecnologia. É possível desenvolver esse germoplasma inserindo genes de nanismo utilizando a linhagem anã doadora UFU MC TOM1 (Maciel *et al.*, 2015) e através de retrocruzamentos selecionar o background de interesse (Finzi *et al.*, 2020). Os retrocruzamentos permitem a obtenção de progênies com características agrônomicas superiores em relação ao genitor doador, devido ao restabelecimento da constituição genética do genitor recorrente (Borém; Miranda, 2013).

Além de maximizar a produtividade na tomaticultura, a pesquisa almeja a produção de frutos de melhor qualidade e a introgressão de genes de resistência a pragas (Londoño-Giraldo *et al.*, 2020; Nord *et al.*, 2020; Zanin *et al.*, 2021). Os acilaçucares estão entre os principais metabólitos secundários responsáveis pela resistência à mosca branca e a outras pragas, através da antixenose (Maciel *et al.* 2018; Resende *et al.*, 2022). Plantas de tomateiro anão com altos

teores desse metabolito são promissoras na redução de danos e custos ocasionados por insetos pragas na cultura do tomateiro (Maciel *et al.*, 2017).

Pesquisas são desenvolvidas na Universidade Federal de Uberlândia com tomateiro anão no intuito de melhorar a qualidade nutricional dos frutos, a produtividade e resistência a pragas. Resultados promissores foram alcançados por Finzi *et al.* (2017) na obtenção de híbridos provenientes de uma linhagem anão com vantagens agronômicas. Nos próximos capítulos serão abordadas as etapas iniciais de um programa de melhoramento do tomateiro que busca a obtenção do germoplasma de tomateiro anão do tipo salada, e a caracterização desse germoplasma quanto ao potencial agronômico, qualidade dos frutos e resistência a pragas para posterior obtenção de híbridos com internódios reduzidos.

## **2- OBJETIVO GERAL**

Objetivou-se com este trabalho obter populações de tomateiro anão do tipo salada utilizando o método de retrocruzamento, e selecionar aquelas que apresentam potencial agronômico, melhor qualidade de fruto e amplo espectro de resistência a pragas para o desenvolvimento de linhagens.

### **3- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obter populações de tomateiro anão do tipo salada utilizando o método de retrocruzamento, e avaliar o desempenho agronômico a cada geração avançada.
- Caracterizar as populações de tomateiro quanto o potencial agronômico, qualidade de frutos e resistência indireta a artrópodes pragas.
- Verificar a dissimilaridade genética das populações de tomateiro anão.
- Selecionar populações de tomateiro anão para o desenvolvimento de um germoplasma de tomateiro anão do tipo salada.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate**: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia. Lavras: Editora UFLA, 2013. 455 p.
- BIERBIGER, A. The creation of semi-dwarf barley varieties. **Euphytica**, [s.l.], v. 17, p. 177-184, 1968.
- BISHOP, G. J.; HARRISON, K.; JONES, J. D. The tomato Dwarf gene isolated by heterologous transposon tagging encodes the first member of a new cytochrome P450 family. **The Plant Cell**, [s.l.], v. 8, n. 6, p. 959-969, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.8.6.959>. Disponível em: <https://academic.oup.com/plcell/article/8/6/959/5985093>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa: Editora UFV, 2013. 523 p.
- BRASESCO, F.; ASGEDOM, D.; CASARI, G. Strategic analysis and intervention plan for fresh and industrial tomato in the Agro-Commodities Procurement Zone of the pilot Integrated Agro-Industrial Park in Central-Eastern Oromia, Ethiopia. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)**, 2019. Disponível em: <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-fao-it-20.500.14283-CA5669EN/Description>. Acesso em: 12 jan. 2024.
- CAMARGO, C. E. O.; OLIVEIRA, O. F. Melhoramento do trigo: II. Estudo genético de fontes de nanismo para a cultura do trigo. **Bragantia**, [s.l.], v. 40, p. 77-91, 1981. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051981000100007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/9Wbz5gMWSkLK8Jpw4kW7tHn/?lang=pt>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- CARVALHO, A. *et al.* Genética de Coffea: XXVI. Hereditariedade do porte reduzido da cultivar Caturra. **Bragantia**, [s.l.], v. 43, p. 443-458, 1984. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051984000200015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/WdN5VhDF3bYh5N8XrzSSVpL/?lang=pt>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- DARIVA, F. D. *et al.* Evaluation of anatomical and physiological traits of *Solanum pennellii* Cor. associated with plant yield in tomato plants under water-limited conditions. **Scientific reports**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 16052, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73004-4>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-73004-4>. Acesso em: 11 jan. 2024.
- DEVAUX, A. *et al.* The potato of the future: opportunities and challenges in sustainable agri-food systems. **Potato Research**, [s.l.], v. 64, n. 4, p. 681-720, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-021-09501-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11540-021-09501-4>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- ELKIND, Y.; GURNICK, A.; KEDAR, N. Genetics of semideterminate growth habit in tomato. **HortScience**, [s.l.], v. 26, n. 8, p. 1074-1075, 1991. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.26.8.1074>. Disponível em:



<https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/26/8/article-p1074.xml>. Acesso em: 09 jan. 2024.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Estatísticas da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação**. [S.l.], 2023. Portal: FAOSTAT. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en>. Acesso em: 20 nov. 2023.

FINZI, R. R.; MACIEL, G. M., PEREZ, H.G., SILLVA, M.F., PEIXOTO, J.V.M., GOMES, D.A. Agronomic potential of BC1 F2 dwarf round tomato populations. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.44, e028819, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044028819>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/dgx6WGNmS3nfdLCnXmJBc5j/?lang=en>. Acesso em: 22 dez. 2023.

FINZI, R.R.; MACIEL, G.M.; SILVA, E.C.; LUZ, J.M.Q; BORBA, M.E.A. Agronomic performance of mini-tomato hybrids from dwarf lines. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.41, n. 1, p.15-21, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-70542017411021416>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/WzcCCjqPyrxY6ysVrBS4XXQ/?lang=en>. Acesso em: 16 dez. 2023.

INGALLINA, C. *et al.* New hybrid tomato cultivars: An NMR-based chemical characterization. **Applied Sciences**, [s.l.], v. 10, n. 5, p. 1887, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10051887>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/5/1887>. Acesso em: 10 dez. 2023.

JUPE, S. C.; CAUSTON, D. R.; SCOTT, I. M. Cellular basis of the effects of gibberellin and the pro gene on stem growth in tomato. **Planta**, [s.l.], v. 174, p. 106-111, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00394881>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00394881>. Acesso em: 04 dez. 2023.

KOORNNEEF, M.; VAN DER VEEN, J. H. Induction and analysis of gibberellin sensitive mutants in *Arabidopsis thaliana* (L.) heynh. **Theoretical and Applied Genetics**, [s.l.], v. 58, p. 257-263, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00265176>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00265176>. Acesso em: 06 dez. 2023.

KWON, C. T. *et al.* Rapid customization of Solanaceae fruit crops for urban agriculture. **Nature Biotechnology**, [s.l.], v. 38, n. 2, p. 182-188, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0361-2>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41587-019-0361-2>. Acesso em: 08 dez. 2023.

LEE, T. G.; HUTTON, S. F.; SHEKASTEBAND, R. Fine mapping of the brachytic locus on the tomato genome. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, [s.l.], v. 143, n. 4, p. 239-247, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS04423-18>. Disponível em: <https://journals.ashs.org/jashs/view/journals/jashs/143/4/article-p239.xml>. Acesso em: 07 dez. 2023.

LI, H. *et al.* Effect of tomato consumption on fasting blood glucose and lipid profiles: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **Phytotherapy research**, [s.l.], v. 34, n. 8, p. 1956-1965, 2020. <https://doi.org/10.1002/ptr.6660>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ptr.6660>. Acesso em: 08 dez. 2023.

LI, H. F. *et al.* Selenium speciation in soil and rice: influence of water management and Se fertilization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s.l.], v. 58, n. 22, p. 11837-11843, 2010. <https://doi.org/10.1021/jf1026185>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf1026185>. Acesso em: 06 dez. 2023.

LI, Z. F. *et al.* Identification of the dwarf gene GmDW1 in soybean (*Glycine max* L.) by combining mapping-by-sequencing and linkage analysis. **Theoretical and Applied Genetics**, [s.l.], v. 131, p. 1001-1016, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-017-3044-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00122-017-3044-8>. Acesso em: 02 dez. 2023.

LONDOÑO-GIRALDO, L.M.; GONZALEZ, J.; BAENA, A.M.; TAPASCO, O.; CORPAS, E.J.; TABORDA G. Selection of promissory crops of wild cherry-type tomatoes using physicochemical parameters and antioxidant contents. **Bragantia**, Campinas, v.79, p. 169-179, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20190276>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/f4ftfmPZKb6nSGqdmBHXQk/?lang=en>. Acesso em: 10 jan. 2021.

LU, Y. *et al.* Phenotypic characterization and differential gene expression analysis reveal that dwarf mutant dwf dwarfism is associated with gibberellin in eggplant. **Horticulturae**, [s.l.], v. 7, n. 5, p. 114, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7050114>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/7/5/114>. Acesso em: 06 dez. 2023.

MACARTHUR, J. W. Inherited characters in the tomato. I. The self-pruning habit. **Journal of Heredity**, 1932. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a103514>. Disponível em: <https://academic.oup.com/jhered/article-abstract/23/10/395/769334?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 05 dez. 2023.

MACIEL, G. M. *et al.* Influência da época de colheita no teor de sólidos solúveis em frutos de minitomate. **Scientia Plena**, São Cristóvão, v. 11, n. 12, p. 1-6, dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2015.120203>. Disponível em: <https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/2760>. Acesso em: 08 dez. 2023.

MACIEL, G. M.; ALMEIDA, R. S.; ROCHA, J. P. da; ANDALÓ, V.; MARQUEZ, G. R.; SANTOS, N. C.; FINZI, R. R. Mini tomato genotypes resistant to the silverleaf whitefly and to two-spotted spider mites. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto v.16, p.1-9, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4238/gmr16019539>. Disponível em: <https://www.geneticsmr.org/articles/mini-tomato-genotypes-resistant-to-the-silverleafwhitefly-and-to-twospotted-spider-mites>. Acesso em: 21 jan. 2024.

MACIEL, G. M.; MARQUEZ, G. R.; SILVA, E. C. da; ANDALÓ, V.; BELOTTI, I. F. Tomato genotypes with determinate growth and high acylsugar content presenting resistance to spider mite. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.18, p.1-8, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332018v18n1a1>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cbab/a/QJddTRwgcLHvQsBQryHp6Ds/?lang=en>. Acesso em 20 dez. 2023.

MACIEL, G.M.; SILVA, E.C.; FERNANDES, M.A.R. Ocorrência de nanismo em planta de tomateiro do tipo grape. *Revista Caatinga*, Mossoró-RN v.28, p. 259-264, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n429rc>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rcaat/a/9y9NftVCZRZQvVkGMwnsZQw/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 05 fev. 2023.

MASON, B. *et al.* Intelligent urban irrigation systems: Saving water and maintaining crop yields. **Agricultural Water Management**, [s.l.], v. 226, p. 105812, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105812>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377418319449?via%3Dihub>. Acesso em: 04 jan. 2023.

MASSIMI, M.; RADÓCZ, L.; CSÓTÓ, A. Impact of Organic Acids and Biological Treatments in Foliar Nutrition on Tomato and Pepper Plants. **Horticulturae**, [s.l.], v. 9, n. 3, p. 413, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030413>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/9/3/413>. Acesso em: 04 jan. 2024.

MATOS, E. S.; SHIRAHIGE, F. H.; MELO, P. C. T. Desempenho de híbridos de tomate de crescimento indeterminado em função de sistemas de condução de plantas. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, [s.l.], v. 30, n. 2, p. 240-245, abr./jun. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000200010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/Zd4qSjs3qKgjwcGvVxqtdCP/?lang=pt>. Acesso em: 09 jan. 2024.

MUELLER, S. *et al.* Produtividade de tomate sob adubação orgânica e complementação com adubos minerais. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 31, n. 1, p. 86-92, jan./mar. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000100014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/svSzgSd5cg3Cs9P8PJRJfFN/?lang=pt>. Acesso em: 03 dez. 2023.

NKANSAH, G. O. *et al.* Influence of Topping and Spacing on Growth, Yield, and Fruit Quality of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Under Greenhouse Condition. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [s.l.], v. 5, p. 659047, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.659047>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2021.659047/full>. Acesso em: 08 jan. 2024.

NORD, R.; CORTEZ-MADRIGAL, H.; RODRÍGUEZ-GUSMÁN, E.; VILLAR-LUNA, E.; GUTIÉRREZ-CÁRDENAS, O.G. Grafting Wild Tomato Genotypes and Mexican Landraces Increases Trichome Density and Resistance Against Pests. **Southwestern Entomologist**, Weslaco, v.45, n.3, p. 649-662. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3958/059.045.0308>. Disponível em: <https://ipn.elsevierpure.com/es/publications/grafting-wild-tomato-genotypes-andmexican-landraces-increases-tr/fingerprints/>. Acesso em: 20 jan. 2024.

PARK, S. J. *et al.* Optimization of crop productivity in tomato using induced mutations in the florigen pathway. **Nature Genetics**, [s.l.], v. 46, n. 12, p. 1337-1342, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1038/ng.313>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ng.313>. Acesso em: 08 jan. 2024.

PRINCE, H. L.; DRINKARD, A. W. Inheritance in tomato hybrid. **Virginia Agricultural Experiment Station, Bull**, v. 177, p. 1-53, 1908. <https://doi.org/10.1007/BF01990617>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01990617>. Acesso em: 25 jan. 2024.

RAJENDRAN, S.; BAE, J. H.; PARK, M. W.; OH, J. H.; JEONG, H. W.; LEE, Y. K.; PARK, S. J. Tomato Yield Effects of Reciprocal Hybridization of *Solanum lycopersicum*

Cultivars M82 and Micro-Tom. **Plant breeding and biotechnology**, Suwon, v.10 n.1, p.37-48, 2022. DOI: <https://doi.org/10.9787/PBB.2022.10.1.37>, Disponível em: <https://www.plantbreedbio.org/journal/view.html?uid=731&&vmd=Full>. Acesso em: 10 nov. 2023.

RESENDE, J.T.V.; DIAS, D.M.; ERPEN-DALLA CORTE, L.; CONSTANTINO, L.V.; VENTURA, M.U.; DE LIMA FILHO, R.B.; de OLIVEIRA, L.V.B.; DA-SILVA, P.R. The Introgression of Resistance to Tuta Absoluta in Tomato Based on Glandular Trichomes. **Arthropod-Plant Interact.** Dordrecht, v. 16, p. 87–99, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11829-021-09873-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11829-021-09873-x>. Acesso em: 08 jan. 2024.

RUTGER, J. N. *et al.* Induction of Useful Short Stature and Early Maturing Mutants in two Japonica Rice Cultivars. **Crop Science**, [s.l.], v. 16, n. 5, p. 631-635, 1976. <https://doi.org/10.2135/cropsci1976.0011183X001600050008x>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2135/cropsci1976.0011183X001600050008x>. Acesso em: 02 fev. 2024.

SCHIPPER, R. *et al.* Consequences of intra-canopy and top LED lighting for uniformity of light distribution in a tomato crop. **Frontiers in plant science**, [s.l.], v. 14, p. 1012529, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1012529>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1012529/full>. Acesso em: 10 jan. 2024.

SCHRAGER-LAVELLE, A. *et al.* The role of a class III gibberellin 2-oxidase in tomato internode elongation. **The Plant Journal**, [s.l.], v. 97, n. 3, p. 603-615, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/tpj.14145>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/tpj.14145>. Acesso em: 22 jan. 2024.

SEABRA JUNIOR, S.; CASAGRANDE, J. G.; TOLEDO, C. A. L.; PONCE, F. S.; FERREIRA, F. S., ZANUZO, M. R., LIMA, G. P. P. Selection of thermotolerant Italian tomato cultivars with high fruit yield and nutritional quality for the consumer taste grown under protected cultivation. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.291, 110559, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110559>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030442382100666X>, Acesso em: 24 jan. 2024.

SINGH, D. *et al.* Smart high-yield tomato cultivation: precision irrigation system using the Internet of Things. **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1239594>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1239594/full>. Acesso em: 02 fev. 2024.

SOLIMAN, T.; EL-GABRY, M.; ABIDO, A. I. Heterose, razão de potência e correlação de alguns caracteres importantes em tomate (*Solanum lycopersicum* L.). **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 150, p. 25-30, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.024>. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.024>. Acesso em: 15 jan. 2024.

SUN, X.R.; LIU, L.; ZHI, X.N.; BAI, J.R.; CUI, Y.N.; SHU, J.S.; LI, J.M. Genetic analysis of tomato internode length via mixed major gene plus polygene inheritance model. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 246, p. 759-764, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.044>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423818308252>. Acesso em: 12 fev. 2024.

ZANETTE, V. A.; PATERNIANI, E. **Effect of the Brachytic-2 Gene on Improved Short-Sized Maize Populations**. [S.l.: s.n.], 1992.

ZANIN, D.S.; de RESENDE, J.T.V.; ZEIST, A.R.; LIMA FILHO, R.B.; GABRIEL, A.; DINIZ, F.C.P.; PERRUD, A.C.; MORALES, R.G.F. Selection of F2BC1 tomato genotypes for processing containing high levels of zingiberene and resistant to tomato pinworms. **Phytoparasitica**, Bet Dagan, v. 49, p.265–274, v. 2021. <https://doi.org/10.1007/s12600-020-00852-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12600-020-00852-1>. Acesso em: 15 jan. 2024.

ZAYAT, J.Z.M.; BERNARDES NETO, J.F.; GOLINSKY, A.; MARQUES, P.V.F.; GONÇALVES, G.P.; TOFOLES, T.A.M. Viabilidade econômica da produção de tomate do tipo saladete no sul do estado de Goiás. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 8, n.6, pág.1455-1486, 2022.DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v8i6.6076>. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/6076>. Acesso em: 10 jan. 2024.

## CAPÍTULO I

### **Em busca da qualidade de frutos e resistência aos diferentes tipos de estresse: avanços genéticos em populações de tomateiro anão**

#### **RESUMO**

Este estudo investiga a melhoria de características relacionadas aos frutos em populações de tomateiro anão por meio de estratégias de hibridização. Utilizando o tomateiro anão UFU MC TOM1 como genitor doador, o estudo explora o potencial para melhorar atributos de qualidade dos frutos. O delineamento experimental foi em blocos casualizados contendo 25 tratamentos, sendo 7 populações F2RC1, 15 populações F2RC2, genitor doador UFU MC TOM 1, genitor recorrente UFU-57 e o híbrido Paronset®, com quatro repetições. Foram avaliados: peso, comprimento, diâmetro, formato, espessura da polpa, número de lóculos, acidez titulável, teores de sólidos solúveis,  $\beta$ -caroteno e licopeno dos frutos; teores de açúcares. Os dados foram analisados por ANOVA, índices de seleção e análise multivariada. Os resultados indicam melhorias significativas em características como tamanho de frutos, acidez e níveis de  $\beta$ -caroteno e licopeno. Notavelmente, o segundo retrocruzamento demonstrou avanços substanciais na produção de frutos do tipo salada. Populações promissoras surgidas desse processo, como UFU-DTOM 8#2-3, UFU-DTOM 22#1-17 e UFU-DTOM 4#4-14, apresentaram características propícias para o desenvolvimento de linhagens e cruzamento híbrido. Além disso, a análise metabolômica revelou uma expressão elevada de certos metabólitos, incluindo glicina, mio-inositol, acetamida e ácido dodecanoico, no tomateiro anão do segmento salada, contribuindo para uma maior resistência a diversos estresses. Essas descobertas oferecem conhecimentos valiosos para o aprimoramento genético de populações de tomateiro anão e destacam o potencial para o desenvolvimento de cultivares superiores com qualidade nutricional aprimorada e resistência ao estresse.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum L.*; Tomateiro anão; Qualidade de frutos; Melhoramento genético; Germoplasma; Resistência ao estresse.

## Toward Enhanced Fruit Quality and Stress Resilience: Genetic Advancements in Dwarf Tomato Populations

### ABSTRACT

This study investigates the improvement of fruit-related characteristics in dwarf tomato populations through hybridization strategies. Using the dwarf tomato UFU MC TOM1 as the donor parent, the study explores the potential to enhance fruit quality attributes. The experimental design was a randomized block design containing 25 treatments, consisting of 7 F2RC1 populations, 15 F2RC2 populations, the donor parent UFU MC TOM 1, the recurrent parent UFU-57, and the hybrid Paronset®, with four replications. Evaluations included fruit weight, length, diameter, shape, pulp thickness, number of locules, titratable acidity, soluble solids content,  $\beta$ -carotene and lycopene levels; and acyl sugar content. The data were analyzed using ANOVA, selection indices, and multivariate analysis. The results indicate significant improvements in characteristics such as fruit size, acidity, and  $\beta$ -carotene and lycopene levels. Notably, the second backcross demonstrated substantial advancements in producing salad-type fruits. Promising populations that emerged from this process, such as UFU-DTOM 8#2-3, UFU-DTOM 22#1-17, and UFU-DTOM 4#4-14, exhibit favorable characteristics for line development and hybrid crossing. Furthermore, metabolomic analysis revealed elevated expression of certain metabolites, including glycine, myo-inositol, acetamide, and dodecanoic acid, in salad-type dwarf tomatoes, contributing to increased resistance to various stresses. These findings provide valuable insights for the genetic improvement of dwarf tomato populations and highlight the potential for developing superior cultivars with enhanced nutritional quality and stress resistance.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum* L.; Dwarf tomato; Fruit quality; Genetic improvement; germplasm; Stress resilience.

## 1- INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é amplamente cultivado em várias regiões do mundo e detém uma significativa importância socioeconômica. Em 2022, o Brasil produziu 3.809.986 toneladas de tomate em uma área de 54,7 mil hectares, com um rendimento médio de 69,9 toneladas por hectare (IBGE, 2022). Quanto ao consumo, o tomate in natura é dividido em quatro segmentos; minitomate, santa cruz, saladete e salada (Alvarenga, 2013). No mercado brasileiro, o segmento salada se destaca na comercialização de tomate de mesa. Entretanto, é importante ressaltar que o custo de produção por hectare é elevado, ultrapassando 180 mil reais (Cepea, 2023).

Diversas pesquisas têm investigado diferentes táticas para aumentar a produtividade em tomateiro, como irrigação (Singh *et al.*, 2023), espaçamento (Nkansah *et al.*, 2021), iluminação no cultivo (Schipper *et al.*, 2023) e nutrição da planta (Massimi; Radócz; Csótó, 2023). Ademais, o melhoramento genético tem possibilitado um incremento na produtividade de forma mais sustentável, proporcionando diversos benefícios para a população (Wang *et al.*, 2019).

Uma promissora alternativa para aumentar a produtividade e otimizar recursos pode ser obtida a partir do uso de plantas de porte anão em programas de melhoramento genético (Wang *et al.*, 2023). A busca por plantas mais compactas de interesse comercial pode resultar em uma série de vantagens. A colheita torna-se mais ágil e simplificada (Pereira Costa *et al.*, 2021; Würschum *et al.*, 2017), otimiza a utilização do espaço (Hasan *et al.*, 2021; Ke *et al.*, 2021), facilita as pulverizações (Hayat *et al.*, 2022; Pereira Costa *et al.*, 2021), aumentando a eficiência no combate a pragas (Hayat *et al.*, 2022) e possibilita incremento no número de plantas por hectare (Hasan *et al.*, 2021; Ke *et al.*, 2021, Karpe *et al.*, 2024; Zhaoxia *et al.*, 2018). A regulação da altura das plantas é controlada pela associação de fitohormônios (Liu *et al.*, 2020). Pesquisas têm identificado mutantes (Kwon *et al.*, 2020; Schrager-Lavelle *et al.*, 2019) e genes responsáveis por regular a altura em plantas de tomate como *SIGIDI* (Liu *et al.*, 2020) um gene que feta o comprimento de internódios. Embora pesquisas sobre nanismo em tomateiros tenham sido amplamente realizadas como modelo de estudo (Liu *et al.*, 2020; Rajendran *et al.*, 2022), ainda são incipientes para fins comerciais.

Uma proposta metodológica para obtenção de híbridos com potencial agrônômico em minitomate foi estudada por Finzi *et al.* (2017). A estratégia, proporcionou redução da distância dos internódios no fenótipo de porte normal, resultando no maior número de pencas por metro linear da planta (Finzi *et al.*, 2017). Contudo, esta mesma metodologia ainda não pode ser



utilizada para a obtenção de híbridos do tipo salada por não haver germoplasma de tomateiro de porte anão com background genético para o segmento disponível.

Assim, o objetivo deste trabalho foi obter e caracterizar um germoplasma de tomateiro de porte anão do tipo salada quanto ao potencial agronômico, qualidade de frutos, resistência a pragas e presença de metabólitos.

## 2- MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação Experimental de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Campus Monte Carmelo, MG (18°42'43,19" S, 47°29'55,8" W e altitude de 873 m). As etapas de hibridação e retrocruzamentos foram realizadas em três ciclos produtivos entre janeiro de 2019 a junho de 2021.

As populações de plantas anãs de tomateiro utilizadas neste trabalho pertencem ao banco de germoplasma da Universidade Federal de Uberlândia. Inicialmente foi realizado a hibridação entre UFU-57♀ *versus* UFU MC TOM 1♂. A UFU-57 (genitor recorrente) é uma linhagem homocigota do tipo salada, pré-comercial, com arquitetura normal da planta e hábito de crescimento indeterminado (SPSP). Apresenta boas características agrônomicas, porém é suscetível a pragas. Já a UFU MC TOM 1 (genitor doador) é uma linhagem de tomateiro de porte anão (dd), com hábito de crescimento indeterminado (SPSP), produz frutos do tipo minitomate (Maciel *et al.*, 2015; Finzi *et al.*, 2017) e possui resistência a pragas por apresentar alto teor de açúcares nos folíolos (Oliveira *et al.*, 2022).

Após a obtenção da geração F<sub>1</sub> foi realizado o primeiro retrocruzamento (RC<sub>1</sub>) seguido de uma autofecundação (geração F<sub>2</sub>RC<sub>1</sub>). Plantas anãs foram selecionadas da geração F<sub>2</sub>RC<sub>1</sub> e realizado o segundo retrocruzamento F<sub>1</sub>RC<sub>2</sub> seguido de uma autofecundação F<sub>2</sub>RC<sub>2</sub> (RC<sub>2</sub>). Nas gerações F<sub>2</sub>RC<sub>1</sub> e F<sub>2</sub>RC<sub>2</sub> foram selecionadas apenas plantas de porte anão e background genético do tipo salada.

Para a realização do experimento foram utilizadas sete populações F<sub>2</sub>RC<sub>1</sub> anãs com *background* tipo salada (UFU-DTOM 19#1, UFU-DTOM 4#4, UFU-DTOM 8#1, UFU-DTOM 22#1, UFU-DTOM 8#2, UFU-DTOM 8#4, UFU-DTOM 21#2), quinze populações F<sub>2</sub>RC<sub>2</sub> anãs com *background* tipo salada (UFU-DTOM 22#1-7, UFU-DTOM 22#1-8, UFU-DTOM 22#1-17, UFU-DTOM 8#2-3, UFU-DTOM 21#2-1, UFU-DTOM 21#2-2, UFU-DTOM 8#4-2, UFU-DTOM 8#4-5, UFU-DTOM 8#1-1, UFU-DTOM 8#1-2, UFU-DTOM 19#1-3, UFU-DTOM 19#1-4, UFU-DTOM 4#4-2, UFU-DTOM 4#4-11, UFU-DTOM 4#4-14), genitor doador (UFU MC TOM 1), genitor recorrente (UFU-57) e uma testemunha comercial (híbrido Paronset®), totalizando vinte e cinco tratamentos. Para comparação das variáveis relacionadas à resistência indireta a pragas foi utilizado o acesso silvestre *Solanum pennellii* (Maluf *et al.*, 2010).

Os tratamentos foram semeados em bandejas de polietileno (200 células) preenchidas com substrato comercial a base de fibra de coco. As mudas foram produzidas em casa de vegetação do tipo arco (7 x 21 m) fechada com tela branca anti-afídeo nas laterais e filme de polietileno transparente de 150 micra aditivado contra raios ultravioleta na cobertura.

O transplântio ocorreu aos 30 dias após a sementeira (DAS) em vasos plásticos de 5 litros contendo o mesmo substrato da sementeira. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com teto em arco geminada (14 x 48 m), com pé direito de 4 metros, cortinas laterais de tela antiafídeo, cobertura de polietileno de 200 micra transparente e contra raios ultravioleta. Os tratos culturais foram realizados conforme as recomendações para a cultura do tomateiro (Alvarenga, 2013).

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições e cada parcela experimental foi representada por seis plantas posicionadas em fileiras duplas no espaçamento de 0,3 x 0,3 m e 0,8 m entre as fileiras duplas.

Após o início da fase de maturação dos frutos realizou-se a colheita em cada parcela experimental. Posteriormente foram contabilizados, pesados e determinado o peso médio de fruto (g). Em seguida foram amostrados quinze frutos em cada parcela e analisados: comprimento de fruto (cm) - mensurado a partir da cicatriz de inserção do pedúnculo à terminação floral do fruto; diâmetro de fruto (cm) - mensurado no sentido transversal do fruto cortado; formato de fruto - determinado pela razão entre o comprimento do fruto e o diâmetro do fruto; espessura de polpa (cm) - determinada pela maior distância do mesocarpo do fruto; número de lóculos - determinado por meio da contagem direta dos lóculos no fruto.

Em relação a qualidade dos frutos foram avaliadas as seguintes características: acidez titulável, teor de sólidos solúveis, carotenoides ( $\beta$ -caroteno e licopeno).

A avaliação da acidez titulável, foi determinada de acordo com a metodologia adaptada de AUC (2019). O teor de sólidos solúveis, expresso em °Brix foi mensurado com refratômetro digital portátil (Atago PAL<sup>-1</sup> 3810).

Os pigmentos foram extraídos dos frutos utilizando a metodologia proposta por Nagata e Yamashita (1992). Os carotenoides ( $\beta$ -caroteno e licopeno) foram avaliados adicionando 1,0 g de homogeneizado de polpa e casca de tomate em 3 mL de acetona 80% e armazenados em tubos de ensaio. Para evitar a oxidação dos carotenoides, as amostras foram mantidas a 4°C por 48 horas no escuro. O sobrenadante foi utilizado para a mensuração da densidade óptica em comprimento de onda de 450 nm ( $\beta$ -caroteno) e 470 nm (licopeno) usando um espectrofotômetro. As concentrações de  $\beta$ -caroteno ( $\beta$ C) e licopeno (LC) foram estimadas de acordo com Rodriguez-Amaya (2001) e Rodriguez-Amaya e Kimura (2004).

A avaliação indireta para resistência a pragas foi realizada pela quantificação de açúcares nos folíolos, determinado aos 90 dias após sementeira, por meio de uma amostra composta por oito discos foliares (correspondente a 4,2 cm<sup>2</sup>). Foram coletados folíolos do terço superior das plantas e acondicionados em tubos de ensaio. Para extração e determinação dos

acilaçúcares foi realizada a metodologia descrita por Resende *et al.* (2002) e adaptada por Maciel e Silva (2014).

Com intuito de avaliar a presença de outros metabólitos foi realizada análise cromatográfica e perfil metabolômico dos folíolos das plantas, comparando o tomateiro de porte anão UFU MC TOM 1 (genitor doador) *versus* Paronset (híbrido comercial). Amostras de folíolos ( $n = 6$ ) foram coletadas da parte média da planta e trituradas com nitrogênio líquido usando um almofariz e pistilo até obter um pó fino. A análise de metabólitos por cromatografia gasosa-espectrometria de massa (GC-MS) foi realizada usando 100 mg de amostra liofilizada. A extração, derivatização e análise por GC-MS foram realizadas conforme descrito por Lisec *et al.* (2006).

Neste trabalho os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos por meio do teste de Shapiro-Wilk ( $p < 0,01$ ). A homogeneidade de variâncias foi analisada pelo teste de Oneill Mathew ( $p < 0,01$ ) e, para aditividade de blocos, realizou-se o teste de Tukey ( $p < 0,01$ ). Em seguida foi utilizada a análise de variância pelo teste F ( $\alpha = 0,05$ ). As médias foram comparadas através do teste Scott-Knott ( $\alpha = 0,05$ ) e pelo teste Dunnett ( $\alpha = 0,05$ ), onde o genitor doador (UFU MC TOM 1, planta anã) foi considerada a testemunha, a fim de deixar evidente incrementos após cada retrocruzamento. Conjuntamente foram avaliados os parâmetros genéticos: coeficiente de variação genotípica ( $h^2$ ) e razão entre o coeficiente de variação genética e ambiental ( $CVg/CVe$ ). A dissimilaridade genética entre as populações foi obtida a partir da obtenção da matriz de distância generalizada de Mahalanobis. A diversidade genética foi apresentada por meio de um mapa de calor e dendrograma gerado pelas mínimas e máximas distâncias, analisado pelo software R v. 4.2.1 software (R Core Team, 2022).

Os contrastes de interesse foram realizados aplicando o teste de Scheffé ( $\alpha = 0,01$  e  $0,05$ ) com o objetivo de comparar: populações anãs do primeiro retrocruzamento  $RC_1$  *versus* genitor doador (UFU MC TOM1), populações anãs do segundo retrocruzamento  $RC_2$  *versus* genitor doador (UFU MC TOM1), populações de tomateiro anão  $RC_2$  *versus*  $RC_1$ . As análises foram realizadas nos softwares estatísticos Genes integrado ao R (Cruz, 2016).

Apenas os fenótipos de porte anão foram analisados para a estimativa dos ganhos de seleção. As metodologias aplicadas foram o índice de soma de ranks de Mulamba e Mock (1978), e o índice de distância genótipo-ideótipo (Cruz, 2006). Para o índice de distância genótipo-ideotipo os valores ideais e os limites inferior e superior foram estabelecidos como os mais desejados dentre os caracteres avaliados. Todas as análises foram realizadas no software GENES integrado ao software R e Matlab (Cruz, 2016).

### 3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

As populações de retrocruzamentos de tomateiro anão (RC<sub>1</sub>) e (RC<sub>2</sub>), o híbrido Paronset®, o genitor recorrente UFU-57 e o genitor doador UFU MC TOM1 diferiram estatisticamente em relação as características agronômicas, demonstrando a existência de variabilidade entre os tratamentos (teste de F  $\alpha = 0,05$ ). Conforme esperado o genitor recorrente e o híbrido comercial Paronset® (testemunha) apresentaram características superiores (Tabela 1).

**Tabela 1-** Características agronômicas avaliadas em populações F<sub>2</sub>RC<sub>1</sub> e F<sub>2</sub>RC<sub>2</sub> de tomateiro de porte anão do tipo salada

Genótipos	Geração	PM	CF	DF	FF	EP	NL
UFU-DTOM 22#1-7	RC2	52,00 d*	4,40 c*	4,86 b*	0,91 e*	0,63 d*	3,50 c*
UFU-DTOM 22#1-8	RC2	47,25 e*	4,16 d*	4,52 c*	0,91 e*	0,56 d*	4,00 b*
UFU-DTOM 22#1-17	RC2	57,42 d*	4,92 c*	4,67 c*	1,05 d*	0,66 c*	4,00 b*
UFU-DTOM 8#2-3	RC2	61,83 d*	4,71 c*	4,99 b*	0,94 e*	0,71 c*	4,00 b*
UFU-DTOM 21#2-1	RC2	41,69 e*	4,06 d*	4,29 d*	0,94 e*	0,55 d*	3,25 c*
UFU-DTOM 21#2-2	RC2	42,91 e*	4,59 c*	4,30 d*	1,06 d*	0,61 d*	2,25 e
UFU-DTOM 8#4-2	RC2	40,69 e*	4,69 c*	4,27 d*	1,10 d*	0,55 d*	2,50 e
UFU-DTOM 8#4-5	RC2	42,84 e*	4,78 c*	4,19 d*	1,14 d*	0,62 d*	3,00 d*
UFU-DTOM 8#1-1	RC2	57,11 d*	4,65 c*	4,83 b*	0,96 e*	0,69 c*	3,50 c*
UFU-DTOM 8#1-2	RC2	56,75 d*	4,47 c*	4,68 c*	0,95 e*	0,67 c*	3,75 b*
UFU-DTOM 19#1-3	RC2	46,61 e*	5,59 a*	4,18 d*	1,33 b*	0,62 d*	2,25 e
UFU-DTOM 19#1-4	RC2	36,25 f*	4,74 c*	4,19 d*	1,13 d*	0,61 d*	2,25 e
UFU-DTOM 4#4-2	RC2	46,85 e*	4,30 d*	4,51 c*	0,95 e*	0,58 d*	3,25 c*
UFU-DTOM 4#4-11	RC2	43,70 e*	4,31 d*	4,50 c*	0,96 e*	0,58 d*	3,25 c*
UFU-DTOM 4#4-14	RC2	56,96 d*	4,47 c*	4,87 b*	0,92 e*	0,65 c*	3,50 c*
UFU-DTOM 19#1	RC1	30,55 g*	4,26 d*	3,77 e*	1,14 d*	0,55 d*	3,00 d*
UFU-DTOM 4#4	RC1	34,98 f*	4,10 d*	4,23 d*	0,97 e*	0,60 d*	3,00 d*
UFU-DTOM 8#1	RC1	44,07 e*	4,03 d*	4,59 c*	0,87 e*	0,68 c*	3,50 c*
UFU-DTOM 22#1	RC1	72,40 c*	5,34 b*	4,32 d*	1,23 c*	0,63 d*	4,00 b*
UFU-DTOM 8#2	RC1	40,67 e*	4,08 d*	4,59 c*	0,89 e*	0,68 c*	4,00 b*
UFU-DTOM 8#4	RC1	45,56 e*	3,96 d	4,44 c*	0,89 e*	0,67 c*	3,75 b*
UFU-DTOM 21#2	RC1	27,74 g*	4,09 d*	3,79 e*	1,08 d*	0,60 d*	2,25 e
Testemunha comercial	HB	130,19 a*	5,79 a*	6,71 a*	0,86 e*	0,90 a*	3,25 c*
UFU-57	GR	115,62 b*	5,73 a*	6,42 a*	0,89 e*	0,75 b*	4,75 a*
UFU MC TOM 1	GD	5,85 h	3,50 e	2,00 f	1,75 a	0,30 e	2,00 e
Média		45,56	4,47	4,51	0,96	0,63	3,25
CV (%)		9,85	4,96	4,65	5,59	8,72	13,68
DMS Dunnett		10,65	0,47	0,44	0,12	0,11	0,94
h <sup>2</sup>		99	96,11	98,45	97,72	92,7	90,08
CVg/Cve		4,97	2,48	3,98	3,27	1,78	1,50

PM: Peso médio de fruto (g); CF: comprimento de fruto (cm); DF: diâmetro de fruto (cm); FF: formato de fruto; EP: espessura de polpa (cm); NL: (lôculo por fruto-1); RC1: primeiro retrocruzamento; RC2: segundo retrocruzamento; GR: genitor recorrente; GD: genitor doador; HB: testemunha comercial

(híbrido Paronset®); CV (%): coeficiente de variação;  $h^2$ : coeficientes de determinação genotípica; CVg/CVe: razão entre os coeficientes de variação genética e ambiental. Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 0,05. \*Médias na coluna diferem da testemunha linhagem doadora anã UFU MC TOM 1 pelo teste de Dunnett a nível de 0,05 de probabilidade.

Fonte: o próprio autor

É importante ressaltar que o genitor recorrente e o híbrido comercial possuem arquitetura de planta normal conferindo maior capacidade fotossintética e morfologia de planta favorável para alta produtividade. Porém, deve ser destacado que o objetivo principal do trabalho foi verificar o incremento na produção, proporcionado pelos retrocruzamentos, considerando as populações anãs RC<sub>1</sub> e RC<sub>2</sub> em comparação ao genitor doador (UFU MC TOM1).

Foi demonstrado eficiência na transferência de genes associados à massa dos frutos, comparando as populações de retrocruzamentos (F<sub>2</sub>RC<sub>1</sub> e F<sub>2</sub>RC<sub>2</sub>) e genitor doador (UFU MC TOM1). Foi verificado incrementos expressivos na massa dos frutos entre 374% e 1137% em populações RC<sub>1</sub> e entre 519% e 956% em populações RC<sub>2</sub>.

A população UFU-DTOM 8#2-3 (RC<sub>2</sub>) apresentou-se promissora, pois o incremento na massa dos frutos chegou a 956% e em relação ao formato de fruto a média foi 0,94, aproximando-se do padrão de background genético de frutos do tipo salada. Ao analisar a massa de fruto após a realização de retrocruzamento em tomateiro do segmento salada, Finzi *et al.* (2020) também observaram incrementos expressivos em relação a massa dos frutos, variando de 341% a 1035%.

A população de tomateiro anão UFU-DTOM 8#4 (RC<sub>1</sub>) foi a única que apresentou frutos com comprimento igual ao genitor doador (Dunnett  $\alpha = 0,05$ ). Em relação ao comprimento e diâmetro, todas as demais populações, 95,6% das populações anãs, produziram frutos superiores ao genitor doador (testes Scott-Knott e Dunnett  $\alpha = 0,05$ ). As populações F<sub>2</sub>RC<sub>2</sub>, UFU-DTOM 22#1-7, UFU-DTOM 8#2-3, UFU-DTOM 8#1-1 e UFU-DTOM 4#4-14 apresentaram diâmetro de fruto superior em relação as populações F<sub>2</sub>RC<sub>1</sub> e um incremento de até 149% em relação ao genitor doador.

Entre as populações anãs, 59% apresentaram formato de fruto menor que 1, indicativo de serem similares ao tipo de fruto salada. Isso comprova a importância dos retrocruzamentos para incorporar as características do genitor recorrente UFU-57, nas plantas de porte anão. Comparando ao genitor doador, as demais plantas anãs apresentaram frutos com maior espessura da polpa e diferiram em relação ao formato de fruto pelos testes de Scott-Knott ( $\alpha =$

0,05) e Dunnett ( $\alpha = 0,05$ ). Foi encontrado incremento de 136% em relação a espessura de polpa em UFU-DTOM 8#2-3 (RC2), característica essencial para equiparar os frutos destas populações ao genitor recorrente.

Em trabalhos realizados com populações de tomateiro anão dos segmentos salada e saladete, por Finzi *et al.* (2020) e Oliveira *et al.* (2022), respectivamente, o peso médio, o comprimento, o diâmetro dos frutos e a espessura de polpa, foram superiores quando comparados ao genitor doador, demonstrando sucesso nos retrocruzamentos realizados.

As populações UFU-DTOM 21#2-2, UFU-DTOM 8#4-2, UFU-DTOM 19#1-3, UFU-DTOM 19#1-4 e UFU-DTOM 21#2 e o genitor doador apresentaram dois lóculos por fruto. Porém, 77,27% das populações anãs apresentaram maior número de lóculos que o genitor doador. As populações UFU-DTOM 22#1-8, UFU-DTOM 22#1-17, UFU-DTOM 8#2-3 e UFU-DTOM 8#1-2, provenientes do segundo retrocruzamento e UFU-DTOM 22#1, UFU-DTOM 8#2 e UFU-DTOM 8#4 do primeiro retrocruzamento apresentaram maior número de lóculos em relação ao híbrido comercial. Os frutos de formato alongado, produzidos pelo genitor doador, possuem menor número de lóculos, já os frutos que possuem forma achatada, tomate tipo salada, possuem múltiplos lóculos (Vazquez *et al.*, 2022). O aumento no número de lóculos na maioria das populações anãs provenientes de retrocruzamento quando comparado ao genitor doador demonstra que os frutos ficam mais próximos ao padrão do segmento salada.

Os incrementos obtidos nas populações do primeiro e segundo retrocruzamentos quando comparados ao genitor doador, demonstram o êxito na realização dos retrocruzamentos em relação as características agrônômicas. Também foi evidenciado que a linhagem de porte normal (UFU-57, genitor recorrente) apresentou maiores médias (Tabela 1) em relação aos caracteres agrônômicos devido ao seu fenótipo, totalmente distinto em relação a plantas anãs (Figura 1).

**Figura 1** - Comparação entre o fenótipo dos genitores (doador e recorrente) e as populações anãs  $F_2RC_1$  e  $F_2RC_2$ .



**Legenda:** geração RC2 (1 -UFU-DTOM 22#1-7; 2- UFU-DTOM 22#1-8; 3 - UFU-DTOM 22#1-17; 4 - UFU-DTOM 8#2-3; 5 - UFU-DTOM 21#2-1; 6 - UFU-DTOM 21#2-2; 7 - UFU-DTOM 8#4-2; 8 - UFU-DTOM 8#4-5; 9 - UFU-DTOM 8#1-1; 10 - UFU-DTOM 8#1-2; 11 - UFU-DTOM 19#1-3; 12 - UFU-DTOM 19#1-4; 13 - UFU-DTOM 4#4-2; 14 - UFU-DTOM 4#4-11; 15 - UFU-DTOM 4#4-14); geração RC1 (16 - UFU-DTOM 19#1; 17 - UFU-DTOM 4#4; 18 - UFU-DTOM 8#1; 19 - UFU-DTOM 22#1; 20 - UFU-DTOM 8#2; 21 - UFU-DTOM 8#4; 22 - UFU-DTOM 21#2); GR - Genitor recorrente UFU-57; GD - Genitor doador UFU MC TOM 1.

Fonte: o próprio autor

Apesar de que plantas de porte anão tenham dificuldade em alcançar níveis de produção semelhantes às plantas de porte normal, devido à sua menor área fotossintética, a realização de combinações híbridas oferece uma oportunidade única para investigar os efeitos da heterose e do tamanho dos frutos em plantas normais (Finzi *et al.*, 2017).

As avaliações para qualidade de frutos demonstraram haver diferenças significativas entre as populações ( $F_2RC_1$  e  $F_2RC_2$ ) e o genitor doador UFU MC TOM1, o qual apresentou resultados superiores para acidez total titulável, teor de sólidos solúveis e teores de  $\beta$ -caroteno e licopeno (Tabela 2).



**Tabela 2** - Características de qualidade do fruto avaliadas em populações F<sub>2</sub>RC<sub>1</sub> e F<sub>2</sub>RC<sub>2</sub> de tomateiro de porte anão do tipo salada.

Genótipos	Geração	ATT	SS (BRIX)	βC	LI
UFU-DTOM 22#1-7	RC2	0,21 d*	5,20 c*	4,09 b*	2,79 c*
UFU-DTOM 22#1-8	RC2	0,20 d*	5,22 c*	3,20 d*	2,40 d*
UFU-DTOM 22#1-17	RC2	0,21 d*	5,67 b*	3,73 c*	2,75 c*
UFU-DTOM 8#2-3	RC2	0,27 b*	5,40 c*	3,67 c*	2,43 d*
UFU-DTOM 21#2-1	RC2	0,26 c*	5,32 c*	4,03 b*	2,85 c*
UFU-DTOM 21#2-2	RC2	0,25 c*	5,47 c*	4,36 b*	3,13 b*
UFU-DTOM 8#4-2	RC2	0,20 d*	5,52 c*	4,06 b*	2,87 c*
UFU-DTOM 8#4-5	RC2	0,27 b*	5,40 c*	4,16 b*	2,94 c*
UFU-DTOM 8#1-1	RC2	0,25 c*	5,55 c*	3,34 d*	2,42 d*
UFU-DTOM 8#1-2	RC2	0,22 d*	5,40 c*	3,70 c*	2,73 c*
UFU-DTOM 19#1-3	RC2	0,25 c*	5,30 c*	3,95 b*	2,89 c*
UFU-DTOM 19#1-4	RC2	0,24 c*	5,37 c*	4,48 b*	3,28 b*
UFU-DTOM 4#4-2	RC2	0,22 d*	5,02 c*	3,62 c*	2,79 c*
UFU-DTOM 4#4-11	RC2	0,27 b*	5,47 c*	3,64 c*	2,65 c*
UFU-DTOM 4#4-14	RC2	0,26 c*	5,35 c*	3,96 b*	2,79 c*
UFU-DTOM 19#1	RC1	0,26 c*	6,10 b*	3,91 b*	2,77 c*
UFU-DTOM 4#4	RC1	0,29 b*	5,20 c*	4,51 b*	3,20 b*
UFU-DTOM 8#1	RC1	0,23 d*	6,10 b*	3,13 d*	2,33 d*
UFU-DTOM 22#1	RC1	0,27 b*	5,45 c*	3,61 c*	2,62 c*
UFU-DTOM 8#2	RC1	0,25 c*	5,50 c*	4,16 b*	2,89 c*
UFU-DTOM 8#4	RC1	0,25 c*	5,70 b*	3,75 c*	2,66 c*
UFU-DTOM 21#2	RC1	0,30 b*	5,45 c*	4,38 b*	3,25 b*
Testemunha comercial	HB	0,25 c*	5,65 b*	3,69 c*	2,73 c*
UFU-57	GR	0,20 d*	5,90 b*	3,93 b*	2,89 c*
UFU MC TOM 1	GD	0,37 a	7,92 a	6,05 a	4,13 a
Média		0,25	5,58	3,96	2,85
CV (%)		8,61	5,31	8,97	9,44
DMS Dunnett		0,04	0,62	0,75	0,56
h <sup>2</sup>		91,73	92,73	90,07	86,48
CVg/Cve		1,66	1,78	1,50	1,26

ATT: acidez titulável SS: teor de sólidos solúveis (°Brix). βC: teor de β-caroteno (mg/100mg); LI: teor de licopeno (mg/100mg); RC1: primeiro retrocruzamento; RC2: segundo retrocruzamento; GR: genitor recorrente; GD: genitor doador; HB: testemunha comercial (híbrido Paronset®); CV (%): coeficiente de variação; h<sup>2</sup>: coeficientes de determinação genotípica; CVg/Cve: razão entre os coeficientes de variação genética e ambiental. Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste ScottKnott a 0,05. \*Médias na coluna diferem da testemunha linhagem doadora anã UFU MC TOM 1 pelo teste de Dunnett a nível de 0,05 de probabilidade.

Fonte: o próprio autor.

Os resultados revelaram que o genitor doador UFU MC TOM 1 se destacou por apresentar maior acidez titulável. Além disso, observou-se que as populações UFU-DTOM 21#2, UFU-DTOM 22#1 e UFU-DTOM 4#4 provenientes de um retrocruzamento e UFU-DTOM 4#4-11, UFU-DTOM 8#4-5 e UFU-DTOM 8#2-3 derivadas de dois retrocruzamentos exibiram acidez titulável superior ao genitor recorrente e ao híbrido comercial. Estes resultados evidenciaram a viabilidade da seleção de plantas capazes de produzir frutos com maior acidez titulável quando utilizado o genitor doador UFU MC TOM 1, o que pode contribuir significativamente para melhoria na qualidade dos frutos.

A acidez titulável é determinante para o sabor dos frutos de tomate (Anthon; Barrett, 2012), pois está diretamente relacionada a quantidade de ácidos orgânicos, influenciando na adstringência e sabor do fruto (Giordano; Ribeiro, 2000). Assim, a relação sólidos solúveis e acidez total titulável está relacionada ao sabor do tomate (Chitarra; Chitarra, 2005a). Esse equilíbrio é importante, uma vez que uma redução excessiva na acidez em relação ao teor de sólidos solúveis pode resultar em rejeição do fruto (Pacco *et al.*, 2014).

O genitor doador (UFU MC TOM1) demonstrou um desempenho superior aos demais tratamentos em relação ao teor de sólidos solúveis, apresentando o maior valor de 7,9 °Brix. Esse resultado foi 40% superior em relação a testemunha comercial. A presença de maiores teores de SS está associada a frutos de sabor mais adocicado e melhor palatabilidade para o consumo in natura (Maciel *et al.*, 2015). Em estudos conduzidos por Vargas *et al.* (2017), que avaliou o desempenho de híbridos de minitomates em diferentes formas de condução, o maior valor de sólidos solúveis encontrado foi 6,8 °Brix, valor inferior ao UFU MC TOM1, que alcançou 7,9 °Brix, demonstrando mais uma vez a vantagem da utilização desta linhagem como parental doador nos retrocruzamentos.

Quanto aos frutos destinados à indústria é recomendável que apresentem um teor de sólidos solúveis igual ou superior a 5 °Brix, enquanto para o consumo in natura, prefere-se um teor de sólidos solúveis de pelo menos 3 °Brix (Seabra junior *et al.*, 2022). Considerando essa métrica, todas as populações de tomateiro anão apresentam frutos com teor de sólidos solúveis acima de 5 °Brix, sendo, portanto, populações promissoras para este atributo.

Em relação aos conteúdos de licopeno e  $\beta$ -caroteno, o incremento é um dos objetivos em programas de melhoramento da cultura do tomateiro (Londonõ-Giraldo *et al.*, 2020), uma vez que influenciam na pigmentação dos frutos e apresentam propriedades antioxidantes e provitamina A (Liang *et al.*, 2021). Neste trabalho, o genitor doador (UFU MC TOM1) foi superior ao híbrido comercial em 63% e 51% em relação ao teor de  $\beta$ -caroteno e licopeno, respectivamente. Além disso, foi verificado que 54% das populações de tomateiro anão do tipo

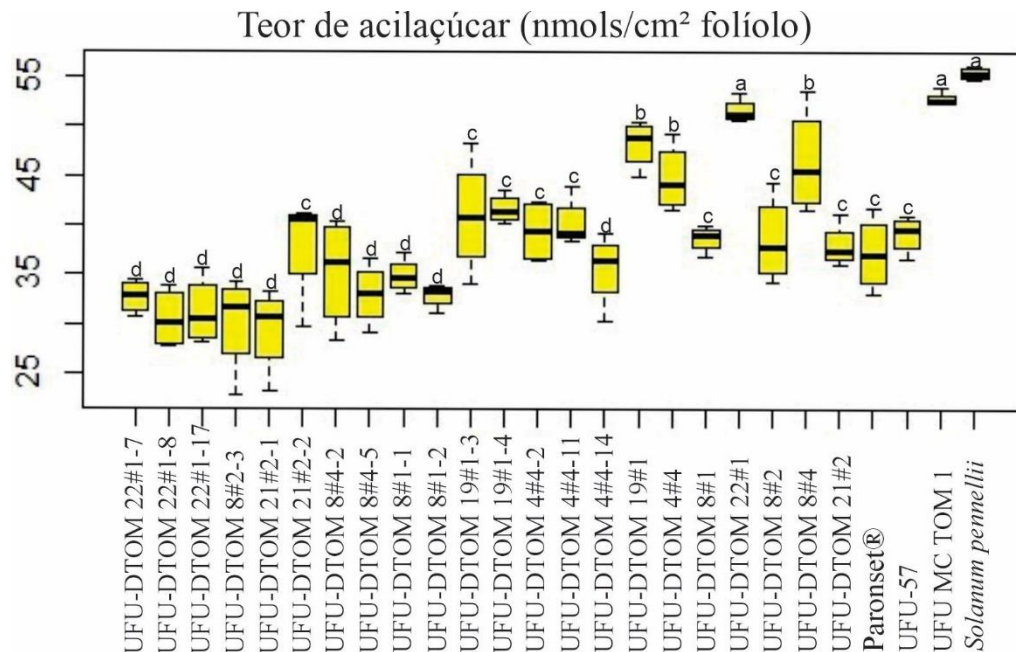
salada demonstraram teores de  $\beta$ -caroteno superiores ao híbrido comercial. Esses resultados indicam um potencial significativo para o desenvolvimento de variedades nutricionalmente superiores.

As populações anãs UFU-DTOM 21#2-2, UFU-DTOM 19#1-4, UFU-DTOM 4#4 e UFU-DTOM 21#2 foram superiores em relação aos teores de licopeno e  $\beta$ -caroteno, quando comparadas ao híbrido comercial. Esses achados ressaltam a importância do potencial genético dessas populações anãs para o enriquecimento nutricional dos frutos. Destaca-se que os teores de carotenoides são influenciados pela interação genótipo-ambiente, refletindo a complexidade desse traço fenotípico e a necessidade de considerar o contexto ambiental em estudos de melhoramento (Londoño-Giraldo *et al.*, 2020).

Em programas de melhoramento genético de tomateiro são utilizadas espécies silvestres para obtenção de genes de grande importância, com a finalidade de atender características desejáveis nas plantas comerciais. O *Solanum pennellii*, por exemplo, tem sido amplamente utilizado para introgressões de importantes características em variedades comerciais. Destaca-se, em particular, a importância dos acilalúcares, metabólitos secundários que podem estar presentes nos tricomas glandulares dos folíolos do tomateiro. A presença desses compostos pode conferir uma menor suscetibilidade a pragas, atributo de grande relevância para a sustentabilidade e resistência das culturas (Maluf *et al.*, 2010; Resende *et al.*, 2022; Vendemiatti *et al.*, 2024).

O *S. pennellii*, o genitor doador e a população UFU-DTOM 22#1 apresentaram teores superiores de acilalúcares em relação ao genitor recorrente, híbrido comercial e demais tratamentos (Figura 2).

**Figura 2** - Boxplot comparativo em relação aos valores médios dos teores de acilalúcares.



Médias seguidas por letras distintas, diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 0,05 de significância. Paronset®: testemunha comercial (híbrido); UFU 57: Genitor recorrente; UFU MC TOM 1: Genitor doador.

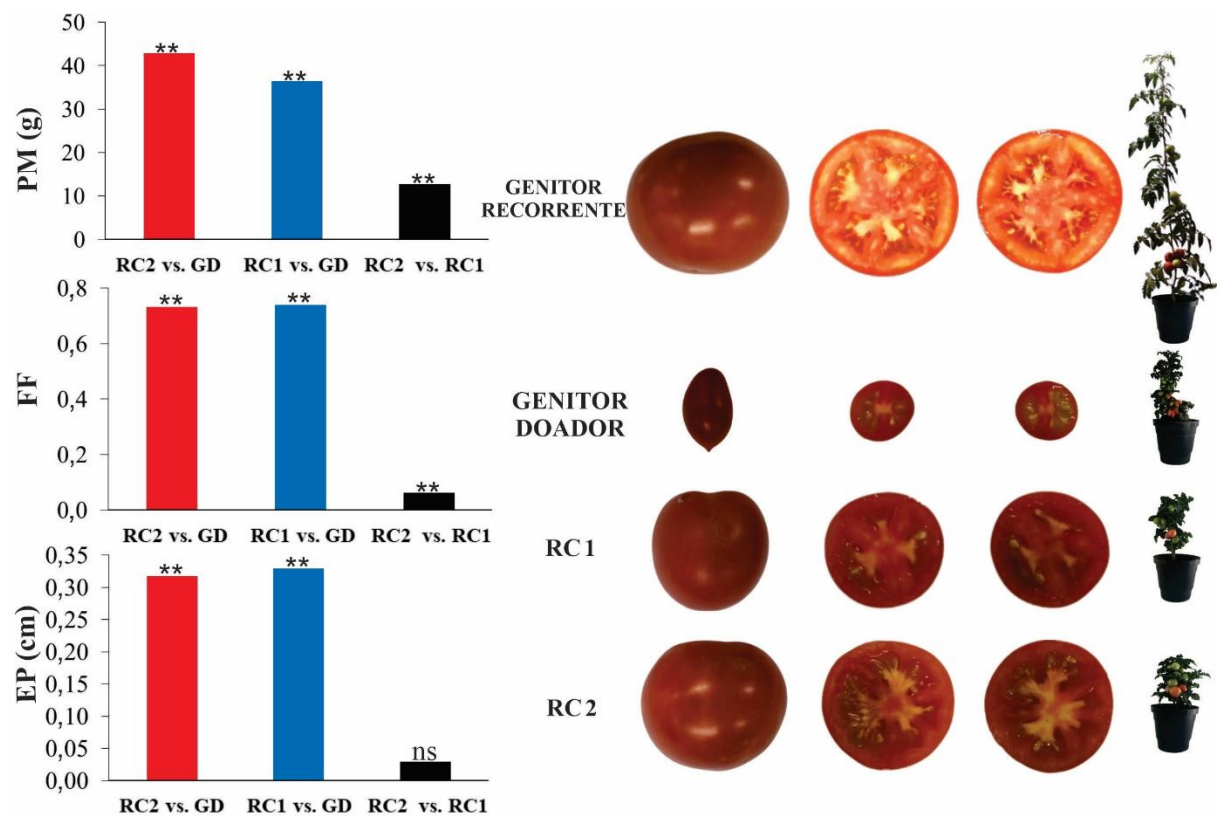
Fonte: o próprio autor.

O genitor doador (UFU MC TOM1) apresentou elevados teores de acilalúcares em suas folhas, assim como o *S. pennellii*, não se diferenciando estatisticamente (Scott-Knott a 0,05). Resultados obtidos por Finzi *et al.* (2020) verificaram que o genitor doador (UFU MC TOM1) e o *S. pennellii* apresentaram resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho em relação aos teores de acilalúcares. Essas informações confirmam que o genitor doador tem grande potencial para introgressão de genes de resistência a pragas para suas progênes. Além do genótipo UFU-DTOM 21#1, outras populações, UFU-DTOM 19#1, UFU-DTOM 4#4 e UFU-DTOM 8#4, também se apresentaram superiores em relação a essa característica quando comparados ao genitor recorrente e ao híbrido comercial Paronset®.

Conforme observados nos testes de comparação (Scott-Knott e Dunnett) e confirmados por meio dos contrastes, os retrocruzamentos foram eficientes na obtenção de populações de tomateiro anão com frutos característicos do segmento salada. As estimativas dos contrastes entre populações RC<sub>1</sub> versus genitor doador (UFU MC TOM1), populações RC<sub>2</sub> versus genitor doador UFU MC TOM 1 e populações RC<sub>1</sub> versus RC<sub>2</sub> testadas pelo teste de Scheffé ( $\alpha = 0,01$  e 0,05), demonstraram êxito no incremento por meio dos retrocruzamentos. O primeiro (RC<sub>1</sub>)

e o segundo (RC<sub>2</sub>) retrocruzamento permitiram que o formato de fruto se aproximasse do tipo salada quando comparado ao genitor doador, ocorrendo incrementos no peso médio de fruto e espessura de polpa (Figura 3).

**Figura 3** - Comparação de populações RC<sub>1</sub> e RC<sub>2</sub> em relação ao genitor doador (UFU MC TOM 1) e genitor recorrente (UFU TOM 57) a partir de contrastes de interesse.



\*\* = significativo a  $\alpha=0,01$  e  $\alpha=0,05$ , respectivamente, pelo teste de Scheffé. ns = não significativo pelo teste de Scheffé. vs.: *versus*; RC<sub>1</sub>: populações RC<sub>1</sub>, RC<sub>2</sub>: populações RC<sub>2</sub>. GD = genitor doador, UFU MC TOM 1; GR = genitor recorrente, UFU-57. PM = peso médio de fruto, FF = formato de fruto e EP = espessura de polpa.

Fonte: o próprio autor

Em relação ao peso médio de fruto as populações de tomateiro anão RC<sub>1</sub> apresentaram 36 g a mais que o genitor doador (UFU MC TOM1). A comparação das populações de tomateiro anão RC<sub>2</sub> *versus* o genitor doador (UFU MC TOM1) demonstraram uma superioridade de até 42 g no peso médio dos frutos. Essas informações demonstram que o segundo retrocruzamento permitiu maiores incrementos para este atributo. Quando comparada a diferença do peso médio dos frutos entre as populações RC<sub>1</sub> e RC<sub>2</sub>) observou-se incremento de até 12 gramas (Figura 3) (Scheffé  $\alpha = 0,01$  e  $0,05$ ).

Para formato de fruto, as análises de contrastes demonstraram haver diferenças entre as populações de tomateiro anão do tipo salada: RC<sub>1</sub> *versus* genitor doador (UFU MC TOM1), RC<sub>2</sub> *versus* genitor doador e RC<sub>2</sub> *versus* RC<sub>1</sub>. Os retrocruzamentos proporcionaram uma aproximação do formato dos frutos ao padrão salada, com maior destaque ao segundo retrocruzamento, como demonstrado na Figura 3.

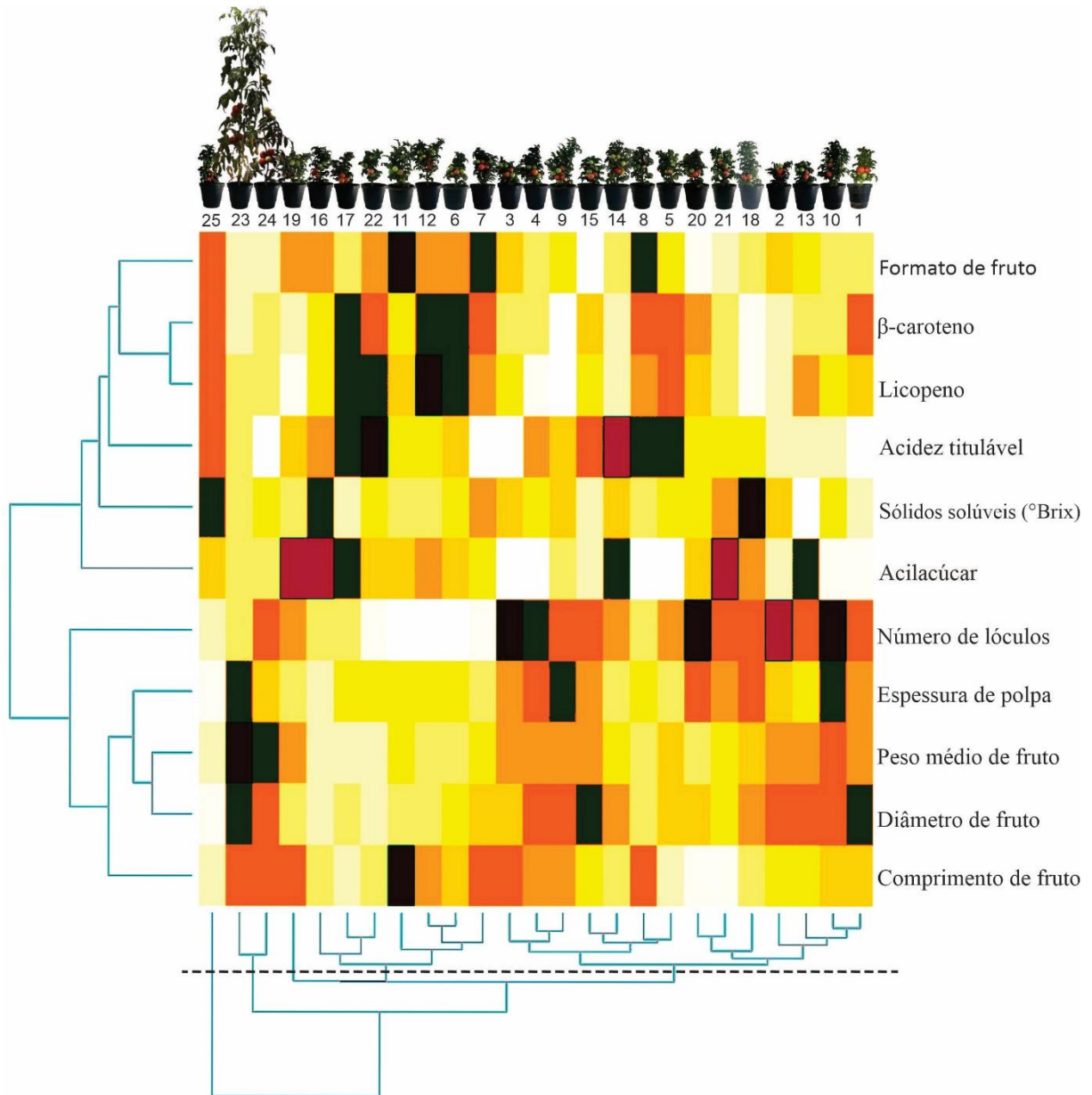
Comparando as populações dos retrocruzamentos com o genitor doador observou-se que os frutos apresentaram incrementos em relação a espessura de polpa. Não houve diferença para esta variável quando comparados os frutos de (RC<sub>1</sub>) e (RC<sub>2</sub>), porém quando comparado ao genitor doador (UFU MC TOM1), o incremento foi de 0,38 cm e 0,41 cm, respectivamente.

Neste trabalho, quando comparadas as populações RC<sub>2</sub> ao genitor doador, quanto ao peso médio de frutos e a espessura de polpa foi observado um incremento de 42 g e 0,41 cm, respectivamente. Estudo realizado por Oliveira *et al.* (2022), avaliando fruto do tipo saladete em tomateiro anão, também verificou o sucesso na obtenção de incrementos por meio dos retrocruzamentos, demonstrando um acréscimo de 19 g em relação ao peso médio de frutos e 0,29 cm para espessura de polpa em populações RC<sub>2</sub> quando comparado ao genitor doador.

Os retrocruzamentos possibilitaram expressivos incrementos quando comparados ao genitor doador, evidenciando os benefícios dessa estratégia no melhoramento genético do tomateiro. No entanto, é importante ressaltar que os ganhos alcançados podem ser limitados pelo porte reduzido das plantas anãs, característica que pode influenciar os resultados obtidos. Nesse contexto, torna-se relevante explorar abordagens que permitam identificar e selecionar populações de tomateiro anão com desempenho superior, utilizando métodos que avaliem a dissimilaridade genética e empreguem índices de seleção robustos.

Um desses métodos é a análise de dissimilaridade genética e índices de seleção, os quais podem ser aplicados para identificar e priorizar populações promissoras. Para isso, foram utilizadas medidas de dissimilaridade genética e índices de seleção, proporcionando uma visão abrangente da variabilidade presente nas populações avaliadas. O mapa térmico com dendrograma gerado pelo método UPGMA a partir da matriz generalizada de Mahalanobis, foi empregado para visualizar a dissimilaridade genética entre os indivíduos avaliados (Figura 4).

**Figura 4** - Dissimilaridade genética entre os genótipos representado pelo Mapa térmico e dendrograma obtidos pela matriz de distância de Mahalanobis e pelo Método Hierárquico de ligação média UPGMA.



**Legenda:** 1 -UFU-DTOM 22#1-7; 2- UFU-DTOM 22#1-8; 3 - UFU-DTOM 22#1-17; 4 - UFU-DTOM 8#2-3; 5 - UFU-DTOM 21#2-1; 6 - UFU-DTOM 21#2-2; 7 - UFU-DTOM 8#4-2; 8 - UFU-DTOM 8#4-5; 9 - UFU-DTOM 8#1-1; 10 - UFU-DTOM 8#1-2; 11 - UFU-DTOM 19#1-3; 12 - UFU-DTOM 19#1-4; 13 - UFU-DTOM 4#4-2; 14 - UFU-DTOM 4#4-11; 15 - UFU-DTOM 4#4-14; 16 - UFU-DTOM 19#1; 17 - UFU-DTOM 4#4; 18 - UFU-DTOM 8#1; 19 - UFU-DTOM 22#1; 20 - UFU-DTOM 8#2; 21 - UFU-DTOM 8#4; 22 - UFU-DTOM 21#2; 23 - híbrido comercial Paronset®, 24 - Genitor recorrente UFU-57; 25 - UFU MC TOM 1. A coloração intensa indica maior colaboração da variável resposta em cada população de plantas avaliada.

Fonte: o próprio autor

A análise visual do dendrograma foi estabelecido em ponto de corte a 5.42%, região em que ocorreu mudança abrupta na representação, e devido a variabilidade genética entre os indivíduos observou-se a formação de cinco grupos distintos. O grupo I foi representado pelo genitor doador, o grupo II pelo genitor recorrente e a testemunha comercial, que são caracterizadas por possuírem porte de planta normal. O grupo III foi representado pela população UFU-DTOM 22#1 (RC<sub>1</sub>), que apresentou o maior incremento em relação ao peso médio de frutos e com formato de frutos próximo ao do genitor doador UFU TOM 1. O grupo IV apresentou três populações (RC<sub>1</sub>) e quatro populações RC<sub>2</sub>; e por fim, no grupo V foram encontradas mais três populações RC<sub>1</sub> e a maioria das populações (RC<sub>2</sub>), confirmando a variabilidade genética entre as populações de tomateiro anão após os retrocruzamentos.

Neste trabalho a análise multivariada, que é útil para verificar a variabilidade genética em populações foi utilizada para confirmar a dissimilaridade genética entre as populações, buscando a seleção de populações de tomateiro anão com características superiores. Rodrigues *et al.* (2021) selecionaram genótipos de feijoeiro visando precocidade e também utilizou a análise multivariada como ferramenta para confirmar a variabilidade genética entre os genótipos.

As estimativas em relação aos ganhos de seleção total pelos índices de Mulamba e Mock (MM) e distância genótipo e ideótipo (DGI) foram 53.34 e 42.31% respectivamente (Tabela 3).



Tabela 3- Estimativas de ganhos genéticos e seleção de populações de tomateiro anão do tipo salada por diferentes índices

Variáveis	Índices de Seleção	
	Mulamba & Mock	Genótipo – ideótipo
PM	29,71	15,16
CF	6,86	4,82
DF	6,15	1,89
FF	0,59	2,87
NL	14,32	11,66
EP	4,71	2,51
AT	2,31	2,13
$\beta$ C	-4,41	0,84
LI	-5,07	0,18
SS	0,27	0,14
AA	-2,1	1,01
%GS	53,34	42,31
Genótipos Selecionados	UFU-DTOM 22#1	UFU-DTOM 22#1
	UFU-DTOM 8#2-3	UFU-DTOM 22#1-17
	UFU-DTOM 22#1-17	UFU-DTOM 4#4-14
	UFU-DTOM 4#4-14	UFU-DTOM 8#4-5
	UFU-DTOM 8#1-1	UFU-DTOM 8#2

PM: Peso médio de fruto (g); CF: comprimento de fruto (cm); DF: diâmetro de fruto (cm); FF: formato de fruto; NL: (lôculo por fruto<sup>-1</sup>); EP: espessura de polpa (cm); ATT: teor de acidez titulável;  $\beta$ C: teor de  $\beta$ -caroteno (mg/100mg); LI: teor de licopeno (mg/100mg); SS: teor de sólidos solúveis (°Brix); AA: teor de açiaçúcar (nmols/cm<sup>2</sup> folha).

Fonte: o próprio autor

Por meio da seleção pelo índice de MM ocorreu maiores incrementos em todas as variáveis relacionadas ao aumento no tamanho do fruto (peso médio de fruto, comprimento de fruto, diâmetro de fruto, número de lóculos e espessura de polpa). A seleção pelo índice DGI demonstrou maiores ganhos em relação ao peso médio de fruto e número de lóculos.

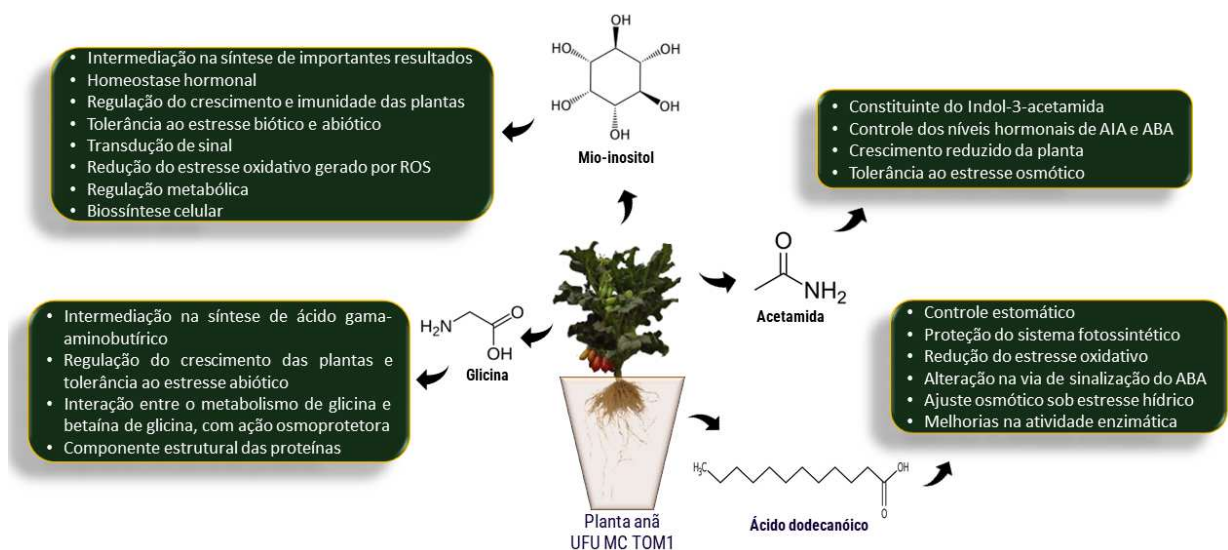
Ambos os índices de seleção priorizaram predominantemente populações de tomateiro anão obtidos pelo segundo retrocruzamento (RC<sub>2</sub>). Em particular, as populações (RC<sub>2</sub>) UFU-DTOM 22#1-17 e UFU-DTOM 4#4-14 foram selecionadas em ambos os índices, apresentando-se promissoras para o desenvolvimento de linhagens e em seguida, híbridos com vantagens adicionais. As estimativas com ganhos de seleção permitiram selecionar genótipos superiores em tomateiro anão, apoiando-se em trabalhos anteriores que destacaram a eficiência desse método em outras culturas. Pedrozo *et al.* (2009) verificaram eficiência na seleção de

genótipos superiores em populações de cana-de-açúcar, enquanto Batista *et al.* (2021) avaliaram a eficiência de diferentes índices de seleção por meio de seus ganhos estimados, destacando o índice de *ranks* de Mulamba & Mock (1978), como um dos mais eficazes.

Neste estudo, compostos distintos, incluindo glicina, mio-inositol, acetamida e ácido dodecanoico foram identificados no genótipo UFU MC TOM 1 (genitor doador), apresentando diferença significativa ( $p < 0,01$ ) em comparação a cultivar comercial Paronset (Figura 5). Essas descobertas representam um avanço significativo na compreensão dos perfis de metabólitos das plantas de tomateiro anão, especialmente no contexto da produção de tomates do tipo salada, onde essas informações são limitadas.

Além disso, avanços na compreensão da tolerância ao estresse abiótico em plantas de tomate podem ser aplicados em nosso estudo para aprimorar a seleção de genótipos. Conforme demonstrado por Pessoa *et al.* (2023), a identificação de linhas de introgressão de *Solanum pennellii* com tolerância ao estresse abiótico durante estágios específicos de crescimento pode ser crucial para aumentar a resistência de cultivares de tomateiro a períodos de escassez de água. A identificação de genes associados à tolerância ao estresse abiótico pode fornecer alvos específicos para o melhoramento genético, potencialmente permitindo a transferência dessas características para cultivares de tomateiro de importância comercial.

**Figura 5:** Análise cromatográfica e perfil metabolômico dos principais metabólitos identificados e suas respectivas funções no metabolismo das plantas. Comparação entre UFU MC TOM 1 *versus* Paronset (híbrido comercial).



Fonte: o próprio autor

A identificação de metabólitos únicos no genótipo UFU MC TOM 1 destaca seu potencial para conferir resistência a vários estresses bióticos e abióticos em plantas de tomateiro. A expressão diferenciada de metabólitos como mio-inositol, glicina, acetamida e ácido dodecanóico em comparação com a cultivar comercial Paronset ressalta a diversidade genética e a capacidade adaptativa inerentes a diferentes genótipos de tomate.

Essas descobertas não apenas expandem o conhecimento sobre a composição bioquímica de plantas de tomateiro anãs, mas também oferecem insights sobre seus potenciais papéis na agricultura sustentável. Compreender os perfis de metabólitos das cultivares de tomateiro anãs pode informar programas de melhoramento genético com o objetivo de desenvolver variedades resilientes capazes de resistir a desafios ambientais, garantindo ao mesmo tempo a produção de frutos de alta qualidade. Este estudo abre caminho para futuras pesquisas que explorem os mecanismos moleculares por trás da resistência ao estresse em plantas de tomateiro e o desenvolvimento de cultivares adaptadas a diferentes condições.

#### 4- CONCLUSÃO

As populações de tomateiro anão demonstraram incrementos expressivos para as variáveis relacionadas aos frutos. De forma majoritária o segundo retrocruzamento proporcionou a produção de frutos com características do tipo salada. As populações UFU-DTOM 8#2-3, UFU-DTOM 22#1-17 e UFU-DTOM 4#4-14 provenientes do segundo retrocruzamento demonstraram promissoras para o desenvolvimento de linhagens, que poderão ser utilizadas posteriormente na obtenção de híbridos.

Além dos açúcares nos folíolos da linhagem de porte anão do tipo salada foi identificada uma maior expressão dos metabólitos identificado como: glicina, mio-inositol, acetamida e ácido dodecanóico, que são moléculas promissoras para novas pesquisas visando resistência aos diferentes tipos de estresse biótico e abiótico.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. 2.ed.. Lavras: Editora UFLA, 2013. 455 p.
- ANTHON, Gordon E.; BARRETT, Diane M. Pectin methylesterase activity and other factors affecting pH and titratable acidity in processing tomatoes. **Food Chemistry**, [s.l.], v. 132, n. 2, p. 915-920, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.066>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814611016487?via%3Dihub>. Acesso em: 10 dez. 2023.
- BATISTA, Lorena G. *et al.* Long-term comparison between index selection and optimal independent culling in plant breeding programs with genomic prediction. **Plos one**, [s.l.], v. 16, n. 5, p. e0235554, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235554>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0235554>. Acesso em: 11 dez. 2023.
- CEPEA. Tomates. **Revista hortifruti brasil. Especial hortaliças**, Piracicaba, jun. 2023. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/apos-dois-anos-de-alta-acentuada-custos-das-hortaliças-se-arrefecem-em-2023.aspx>. Acesso em: 02 jan. 2024.
- CRUZ, Cosme Damião. **Programa GENES: biometria**. 1.ed. Viçosa: Editora UFLA, 2006. 382p.
- CRUZ, C. D. Genes Software - extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.38, p.547-552, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i3.32629>. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/32629>. Acesso em: 21 dez. 2023.
- FINZI, R. R.; MACIEL, G. M., PEREZ, H.G., SILLVA, M.F., PEIXOTO, J.V.M., GOMES, D.A. Agronomic potential of BC1 F2 dwarf round tomato populations. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.44, e028819, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044028819>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/dgx6WGNmS3nfdLCnXmJBc5j/?lang=en>. Acesso em: 18 dez. 2023.
- FINZI, R.R.; MACIEL, G.M.; SILVA, E.C.; LUZ, J.M.Q; BORBA, M.E.A. Agronomic performance of mini-tomato hybrids from dwarf lines. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.41, n. 1, p.15-21, 2017a. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017411021416>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/WzcCCjqPyrxY6ysVrBS4XXQ/?lang=en>. Acesso em: 12 dez. 2023.
- GIORDANO, L. B. de; RIBEIRO, C. S. da C. Origem botânica e composição química do fruto. In: GIORDANO, L. B. de. **Tomate para o processamento industrial**. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de Tecnologia, p. 36-59, 2000.
- HAYAT, Faisal *et al.* A mini review of citrus rootstocks and their role in high-density orchards. **Plants**, [s.l.], v. 11, n. 21, p. 2876, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11212876>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/21/2876>. Acesso em: 05 jan. 2024.

HASAN, Mahmood Ul *et al.* Potential of Aloe vera gel coating for storage life extension and quality conservation of fruits and vegetables: An overview. **Journal of Food Biochemistry**, [s.l.], v. 45, n. 4, p. e13640, 2021. DOI: <https://doi.org/10.46653/jhst2143102>. Disponível em: <https://www.pshsciences.org/publications/jhst/issues/4-3/2021-102/>. Acesso em: 08 jan. 2024.

IBGE. **Produção Agrícola 2022**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/10380>. Acesso em: 01 dez. 2023.

KARPE, Margarethe; MARCELIS, Leo F. M.; HEUVELINK, Ep. Dynamic plant spacing in tomato results in high yields while mitigating the reduction in fruit quality associated with high planting densities. **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 15, p. 1386950, 2024. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1386950>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1386950/full>. Acesso em: 20 dez. 2023.

KE, Xinglin *et al.* Optimization of photosynthetic photon flux density and light quality for increasing radiation-use efficiency in dwarf tomato under LED light at the vegetative growth stage. **Plants**, [s.l.], v. 11, n. 1, p. 121, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11010121>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/1/121>. Acesso em: 05 jan. 2024.

KUMAR, Jitendra *et al.* Uma visão geral de alguns biopesticidas e sua importância na proteção de plantas para aceitação comercial. **Plantas**, [s.l.], v. 10, n. 6, p. 1185, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10061185>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/1/121>. Acesso em: 04 dez. 2023.

LIANG, J.X.; YAN, S.; GUO, D.J.; MCCLEMENTS, C. MA, X.; LIU, F. LIU. Enhancing lycopene stability and bioaccessibility in homogenized tomato pulp using emulsion design principles **Innovat. Innovative Food Science & Emerging Technologies**, Amsterdam, v. 67, p. 1-11, 102525, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102525>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856420304719>. Acesso em: 10 dez. 2023.

LISEC, Jan *et al.* Gas chromatography mass spectrometry–based metabolite profiling in plants. **Nature protocols**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 387-396, 2006. <https://doi.org/10.1038/nprot.2006.59>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nprot.2006.59>. Acesso em: 04 dez. 2023.

LIU, X.; YANG, W.; WANG, J.; YANG, M.; WEI, K.; LIU, X.; QIU, Z.; VAN GIANG, T.; WANG, X.; GUO, Y.; LI, J.; LIU, L.; SHU, J.; DU, Y.; HUANG, Z. SIGID1a Is a Putative Candidate Gene for qtph1. 1, a Major-Effect Quantitative Trait Locus Controlling Tomato Plant Height. **Frontiers in genetics**. Lausanne, v.11, n.881, p.1-13. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00881>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgene.2020.00881/full>. Acesso em: 06 jan. 2024.

LONDOÑO-GIRALDO, L. M. et al. Selection of promissory crops of wild cherry-type tomatoes using physicochemical parameters and antioxidant contents. **Bragantia**, Campinas, v. 79, n. 2, p.169-179, abr./jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20190276>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/brag/v79n2/0006-8705-brag1678-449920190276.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2023.

MACIEL, G. M.; SILVA, E. C. Proposta metodológica para quantificação de acilaçúcares em folíolos de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v.32, n. 2, p.174-177, abr./jun. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000200009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/hb/v32n2/0102-0536-hb-32-02-00174.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2023.

MACIEL, G. M.; SILVA, E. C.; FERNANDES, M. A. R. Ocorrência de nanismo em planta de tomateiro do tipo grape. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.28, n. 4, p. 259-264, dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n429rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rcaat/v28n4/1983-2125-rcaat-28-04-00259.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2023.

MALUF, W.R.; MACIEL, G.M.; GOMES, L.A.A.; CARDOSO, M.D.G.; GONÇALVES, L.D.; SILVA, E.C., KNAPP, M. Broad-Spectrum Arthropod Resistance in Hybrids between High- and Low-Acylsugar Tomato Lines. **Crop Science**, v.50, p.2, p. 439-450, p. 2010. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.01.0045>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci2009.01.0045>. Acesso em: 20 nov. 2023.

MASSIMI, Mohunnad; RADÓCZ, László; CSÓTÓ, András. Impact of organic acids and biological treatments in foliar nutrition on tomato and pepper plants. **Horticulturae**, [s.l.], v. 9, n. 3, p. 413, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030413>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/9/3/413>. Acesso em: 10 jan. 2024.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, Alexandria, v.7, p.40-51, maio. 1978.

NAGATA, M.; YAMASHITA, I. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi**, Tsukuba, v. 39, n. 10, p. 925-928, out. 1992. DOI: <https://doi.org/10.3136/nskkk1962.39.925>. Disponível em: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/nskkk1962/39/10/39\\_10\\_925/\\_pdf-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/nskkk1962/39/10/39_10_925/_pdf-char/ja). Acesso em: 09 nov. 2023.

NKANSAH, George Oduro *et al.* Influence of topping and spacing on growth, yield, and fruit quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under greenhouse condition. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [s.l.], v. 5, p. 659047, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.659047>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2021.659047/full>. Acesso em: 11 jan. 2024.

OLIVEIRA, Camila S. de *et al.* Selection of F 2 RC 1 saladette-type dwarf tomato plant populations for fruit quality and whitefly resistance. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 26, p. 28-35, 2021. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v26n1p28-35. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n1p28-35>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/XMLgLSr8Rp3JJSXrVwnhn8R/?lang=en>. Acesso em: 15 dez. 2023.

PACCO, Honorato C. *et al.* Características de tomate produzido con agua tratada en interior y exterior de invernadero. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 32, p. 417-425, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620140000400008>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/hb/a/zh78ygshqMLZrqDCWc3Wfwj/?lang=es>. Acesso em: 22 jan. 2024.

PEDROZO, C. A. *et al.* **Efficiency of selection indexes using the REML/BLUP procedure in sugarcane breeding**. 2009. Disponível em:

<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20103019290>. Acesso em: 10 dez. 2023.

PEREIRA COSTA, Danilo *et al.* Less is more: A hard way to get potential dwarfing hybrid rootstocks for Valencia sweet orange. **Agriculture**, [s.l.], v. 11, n. 4, p. 354, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11040354>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/4/354>. Acesso em: 04 dez. 2023.

PESSOA, Herika Paula *et al.* Uncovering tomato candidate genes associated with drought tolerance using *Solanum pennellii* introgression lines. **Plos one**, [s.l.], v. 18, n. 6, p. e0287178, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287178>. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287178>. Acesso em: 25 jan. 2024.

RAIGÓN, María D.; GARCÍA-MARTÍNEZ, María D.; CHIRIAC, Octavian P. Nutritional Characterization of a Traditional Cultivar of Tomato Grown Under Organic Conditions—cv. “Malacara”. **Frontiers in Nutrition**, [s.l.], v. 8, p. 810812, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.810812>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2021.810812/full>. Acesso em: 09 jan. 2024.

RAJENDRAN, S.; BAE, J. H.; PARK, M. W.; OH, J. H.; JEONG, H. W.; LEE, Y. K.; PARK, S. J. Tomato Yield Effects of Reciprocal Hybridization of *Solanum lycopersicum* Cultivars M82 and Micro-Tom. **Plant breeding and biotechnology**, Suwon, v.10 n.1, p.37-48, 2022. DOI: <https://doi.org/10.9787/PBB.2022.10.1.37>, Disponível em: <https://www.plantbreedbio.org/journal/view.html?uid=731&&vmd=Full>. Acesso em: 20 nov. 2023.

RESENDE, J. T. V. de *et al.* Método colorimétrico para quantificação de acilaçúcar em genótipos de tomateiro. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 26, n. 6, p. 1204-1208, 2002. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15961>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15961>. Acesso em: 20 dez. 2023.

RODRIGUES, Ana Paula Sandoval *et al.* Caracterização morfoagronômica de genótipos de feijoeiro comum quanto à precocidade. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 10, n. 6, p. e35410615951-e35410615951, 2021. DOI: <https://orcid.org/0000-0002-7811-3000>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15961>. Acesso em: 05 dez. 2023.

RODRIGUEZ-AMAYA D. B. **A Guide to Carotenoids Analysis in Food**. Washington, ILSI Press, 2001. 64p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **HarvestPlus handbook for carotenoid analysis**. IFPRI and CIAT. Washington, DC and Cali: IFPRI and CIAT, 2004. 58p.

SCHIPPER, R. *et al.* Consequences of intra-canopy and top LED lighting for uniformity of light distribution in a tomato crop. **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 14, p. 1012529, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1012529>. Disponível em:



<https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1012529/full>. Acesso em: 15 dez. 2023.

SEABRA JUNIOR, S.; CASAGRANDE, J. G.; TOLEDO, C. A. L.; PONCE, F. S.; FERREIRA, F. S., ZANUZO, M. R., LIMA, G. P. P.. Selection of thermotolerant Italian tomato cultivars with high fruit yield and nutritional quality for the consumer taste grown under protected cultivation. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.291, 110559, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110559>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030442382100666X>, Acesso em: 04 jan. 2024.

SINGH, Debabrata *et al.* Smart high-yield tomato cultivation: precision irrigation system using the Internet of Things. **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 14, p. 1239594, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1239594>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1239594/full>. Acesso em: 11 jan. 2024

VARGAS, Pablo F. *et al.* Performance of mini-tomato hybrids in different training systems with different number of stems. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 35, p. 428-433, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-053620170319>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/KwfHmw4sbp8h4T9drbYz87B/?lang=en>. Acesso em: 15 dez. 2023.

VAZQUEZ, D.V.; da COSTA, J.H.P.; GODOY, F.N.; CAMBIASO, V.; RODRÍGUEZ, G.R. Genetic basis of the lobedness degree in tomato fruit morphology. **Plant Science**, Shannon, v.319, 111258, p.1-12 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111258>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945222000826?via%3Dihub>. Acesso em: 20 dez. 2023.

VENDEMIATTI, Eloisa *et al.* Woolly mutation with the Get02 locus overcomes the polygenic nature of trichome-based pest resistance in tomato. **Plant Physiology**, [s.l.], v. 195, n. 2, p. 911-923, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1093/plphys/kiae128>. Disponível em: <https://academic.oup.com/plphys/article-abstract/195/2/911/7625223?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 20 abr. 2024.

WANG, Qingguo *et al.* Genetic analysis and mapping of dwarf gene without yield penalty in a  $\gamma$ -ray-induced wheat mutant. **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 14, p. 1133024, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1133024>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1133024/full>. Acesso em: 08 dez. 2023.

WANG, Tian; ZHANG, Hongyan; ZHU, Hongliang. CRISPR technology is revolutionizing the improvement of tomato and other fruit crops. **Horticulture research**, [s.l.], v. 6, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41438-019-0159-x>. Disponível em: <https://academic.oup.com/hr/article/doi/10.1038/s41438-019-0159-x/6437916>. Acesso em: 19 dez. 2023.

WÜRSCHUM, Tobias *et al.* A modern Green Revolution gene for reduced height in wheat. **The Plant Journal**, [s.l.], v. 92, n. 5, p. 892-903, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/tpj.13726>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/tpj.13726>. Acesso em: 21 dez. 2023.

ZHAOXIA, Li *et al.* Enhancing auxin accumulation in maize root tips improves root growth and dwarfs plant height. **Plant Biotechnology Journal**, [s.l.], v. 16, n. 1, p. 86-99, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbi.12751>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/pbi.12751>. Acesso em: 10 dez. 2023.

## CAPÍTULO II

### **Introgessão de genes de nanismo em tomateiro a partir de retrocruzamentos visando background do tipo salada**

#### **RESUMO**

O presente estudo investiga o impacto dos retrocruzamentos em características agronômicas e qualidade de frutos em populações de tomateiro anão. O experimento foi realizado com 16 tratamentos, sendo 3 populações provenientes do primeiro retrocruzamento, 5 populações provenientes do segundo retrocruzamento, 5 populações provenientes do terceiro retrocruzamento, genitor recorrente (UFU-57), genitor doador (UFU MC TOM 1) e uma testemunha comercial (híbrido Paronset®). Foram avaliados: peso, comprimento, diâmetro, formato, espessura da polpa, número de lóculos, acidez (pH), acidez titulável, teores de sólidos solúveis,  $\beta$ -caroteno e licopeno dos frutos; altura de plantas; comprimento de internódio da planta; teores de acilacúcares. Os dados foram analisados por ANOVA, índices de seleção e análise multivariada. Através de sucessivos retrocruzamentos foram observados incrementos significativos nas características agronômicas e na qualidade nutricional dos frutos. Notavelmente, as populações UFU-DTOM 4#4-11-1 (RC3), UFU-DTOM 21#2-1-1 (RC3) e UFU-DTOM 19#1-3-1 (RC3) mostraram-se promissoras, a população UFU-DTOM 4#4-11-1 (RC3) obteve o aumento mais substancial na massa dos frutos. O predomínio da seleção no terceiro retrocruzamento (RC3) destaca seu papel crucial na obtenção de linhas de introgessão com características de frutos semelhantes ao padrão do segmento salada. Este estudo destaca a eficácia do uso de múltiplos retrocruzamentos para melhorar as características agronômicas e a qualidade dos frutos em populações de tomateiro anão, abrindo caminho para o desenvolvimento de cultivares aprimoradas com características superiores para frutos do segmento salada.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum*; Melhoramento de plantas; Hortaliças.

## **Introgression of dwarfing genes into tomato through backcrossing aiming at salad-type background**

### **ABSTRACT**

The present study investigates the impact of backcrossing on agronomic traits and fruit quality in dwarf tomato populations. The experiment comprised 16 treatments, including 3 populations from the first backcross, 5 populations from the second backcross, 5 populations from the third backcross, the recurrent parent (UFU-57), the donor parent (UFU MC TOM 1), and a commercial control (hybrid Paronset®). Evaluations included fruit weight, length, diameter, shape, pulp thickness, number of locules, acidity (pH), titratable acidity, soluble solids content,  $\beta$ -carotene and lycopene levels; plant height; internode length; and acyl sugar content. The data were analyzed using ANOVA, selection indices, and multivariate analysis. Through successive backcrosses, significant improvements in agronomic traits and nutritional quality of the fruits were observed. Notably, the populations UFU-DTOM 4#4-11-1 (BC3), UFU-DTOM 21#2-1-1 (BC3), and UFU-DTOM 19#1-3-1 (BC3) showed promise, with UFU-DTOM 4#4-11-1 (BC3) achieving the most substantial increase in fruit mass. The predominance of selection in the third backcross (BC3) highlights its crucial role in obtaining introgression lines with fruit characteristics similar to the salad segment standard. This study underscores the effectiveness of using multiple backcrosses to enhance agronomic traits and fruit quality in dwarf tomato populations, paving the way for the development of improved cultivars with superior characteristics for salad-type fruits.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum*; plant breeding; vegetables.

## 1- INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum*) apresenta grande relevância no setor agrícola (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2023; Rodrigues *et al.*, 2020), está entre as hortaliças mais produzidas e consumidas no mundo (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2023; Maham *et al.*, 2020). O Brasil ocupa a nona posição em produção (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2023). Além dessa importância, o tomate é amplamente utilizado na dieta humana e contribui com grande parte do aporte de nutrientes para a população (Egea *et al.*, 2022).

A desnutrição é um problema de saúde pública, o consumo de alimentos nutritivos é essencial para reduzir esse problema (Adeyeye *et al.*, 2023). Os frutos do tomateiro são ricos em carotenoides, minerais e propriedades antioxidantes (Silva *et al.*, 2021), o consumo dessa hortaliça contribui diretamente na saúde humana e previne a desnutrição ocasionada pela deficiência mineral (Weyh *et al.*, 2022).

O tomate é consumido na forma de molhos, doces, sucos, extrato e in natura (Li *et al.*, 2020). Para atender esse amplo mercado são utilizadas cultivares que produzem frutos com diferentes características e finalidades (Furquim *et al.*, 2020). As plantas de tomateiro apresentam hábito de crescimento determinado ou indeterminado (Filgueira, 2008) configurando cadeias produtivas distintas (Furquim *et al.*, 2020; Vicente *et al.*, 2015). Para produção de molhos predomina o uso de cultivares de hábito de crescimento determinado que não necessitam de tratamentos culturais onerosos, como desbrota, condução da planta e poda apical (Filgueira, 2008). As plantas com hábito de crescimento indeterminado são amplamente utilizadas na produção do tomate de mesa, com frutos destinados ao consumo in natura, sendo classificados em cinco grupos comerciais: Caqui, Minitomate, Salada, Saladete e Santa Cruz (Alvarenga, 2013).

O contínuo desenvolvimento vegetativo em plantas de hábito de crescimento indeterminado tornam o custo de produção oneroso (Furquim *et al.*, 2021), ultrapassando 180 mil reais por hectare (Cepea, 2023). Devido à importância da cultura do tomateiro é importante buscar alternativas para otimizar os recursos e aumentar a produtividade. Além desses fatores, a pesquisa busca introduzir genes de resistência a pragas, fator essencial para qualidade dos frutos (Finzi *et al.*, 2017; Zanin *et al.*, 2021).

O uso de híbridos é uma técnica que permite aumentar a produtividade (Ingallina *et al.*, 2020). Atualmente a tendência é o desenvolvimento de híbridos de tomateiro com internódios

reduzidos (Zsögön *et al.*, 2017), o que permite aumentar o número de pencas por metro linear de haste, produzindo mais no mesmo espaço (Finzi *et al.*, 2017). É possível a redução do comprimento de internódios através da introdução de genes de nanismo utilizando o melhoramento genético (Gardner; Panthee, 2012; Panthee; Gardner, 2013a, b).

O melhoramento genético de plantas permite aumentar a produtividade de culturas de maneira sustentável e rentável (Barbosa *et al.*, 2011). Em diversas culturas o uso de plantas anãs é explorado através do melhoramento genético com intuito de obter plantas mais compactas e produtivas (Lu *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2023). A altura das plantas é afetada pela interação de fitohormônios (Liu *et al.*, 2020) e pelo comprimento de internódios. Um gene ou uma mutação pode influenciar a altura de plantas de tomateiro através do comprimento de internódios. O gene D está envolvido na síntese de brassinolídeos, o *locus d* torna as plantas mais curtas reduzindo os internódios (Bishpo *et al.*, 1996, 1999; Marti *et al.*, 2006). Os mutantes Internódio alongado (EI) e Internódio de tomate alongado -1 (*tie-1*) atuam no aumento do comprimento de internódios (Schrager-Lavelle *et al.*, 2019; Sun *et al.*, 2019). Também interferem no comprimento dos entrenós os mutantes procera (pro) (Jupe *et al.*, 1988), entrenó curto (si) (Kwon *et al.*, 2020) e anão (d) (Bishop *et al.*, 1996).

O nanismo em plantas ainda é pouco explorado no tomateiro (Sun *et al.*, 2019). É viável inserir genes de nanismo nessa cultura utilizando a linhagem anã UFU MC TOM1, possibilitando a redução de internódios (Maciel *et al.*, 2015). Os híbridos provenientes do cruzamento entre essa linhagem de minitomate (♂ porte anão) e outra (♀ porte normal) apresentaram vantagens agronômicas (Finzi *et al.*, 2017). Por meio de retrocruzamentos é possível selecionar o background de interesse (Finzi *et al.*, 2020; Gomes *et al.*, 2021). O germoplasma de plantas anãs de tomateiro é escasso, portanto, o desenvolvimento de linhagens anãs com fruto do tipo Salada é essencial para obtenção de híbridos e explorar essa tecnologia nesse segmento. Dessa forma a obtenção e a caracterização de um germoplasma de tomateiro anão do tipo Salada com alto potencial agronômico, qualidade de frutos e resistência a pragas permite o desenvolvimento de genótipos promissores, beneficiando programas de melhoramento genético da cultura.

O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial agronômico, qualidade de frutos e a resistência a pragas de populações anãs provenientes do primeiro, segundo e terceiro retrocruzamento e selecionar as mais promissoras para o desenvolvimento de futuras linhagens.

## 2- MATERIAL E MÉTODOS

As etapas de hibridação e retrocruzamentos foram realizadas entre janeiro de 2019 a agosto de 2022 na Estação Experimental de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Campus Monte Carmelo, MG (18°42'43,19" S, 47°29'55,8" W e altitude de 873 m).

As populações de plantas anãs de tomateiro utilizadas neste trabalho pertencem ao banco de germoplasma da Universidade Federal de Uberlândia. Primeiro foi realizado a hibridação entre UFU-57♀ *versus* UFU MC TOM 1♂. UFU-57 foi utilizada como linhagem materna. É uma linhagem homocigota, pré-comercial, porte normal (gene dwarf, DD), hábito de crescimento indeterminado (SPSP) e com características agronômicas do tipo salada (genitor recorrente = UFU-57). UFU MC TOM 1 foi utilizado como parental masculino. É uma linhagem de porte anão (dd), hábito de crescimento indeterminado (SPSP) com frutos do tipo minitomate (UFU MC TOM 1 = genitor doador) (Maciel *et al.*, 2015; Finzi *et al.*, 2017).

Após a obtenção da geração F1, foi realizado o primeiro retrocruzamento (RC1) seguido de uma autofecundação (geração F2RC1). Plantas anãs foram selecionadas da geração F2RC1 e realizado o segundo retrocruzamento F1RC2 seguido de uma autofecundação F2RC2 (RC2). As plantas anãs F2RC2 foram selecionadas e realizado o terceiro retrocruzamento F1RC3 e em seguida uma autofecundação F2RC3 (RC3). Nas gerações F2RC1, F2RC2 e F2RC3 foram selecionadas apenas plantas de porte anão e *background* genético do tipo salada.

Para a realização do experimento foram utilizadas cinco populações F2RC3 anãs com *background* tipo salada (UFU-DTOM 21#2-1-1, UFU-DTOM 19#1-3-1, UFU-DTOM 19#1-4-1, UFU-DTOM 19#1-4-2, UFU-DTOM 4#4-11-1), cinco populações F2RC2 anãs com *background* tipo salada (UFU-DTOM 21#2-1, UFU-DTOM 19#1-3, UFU-DTOM 19#1-4, UFU-DTOM 19#1-5, UFU-DTOM 4#4-11), três populações F2RC1 anãs com *background* tipo salada (UFU-DTOM 19#1, UFU-DTOM 4#4, UFU-DTOM 21#2), genitor recorrente (UFU-57), genitor doador (UFU MC TOM 1) e uma testemunha comercial (híbrido Paronset®), totalizando dezesseis tratamentos. Para comparação das variáveis relacionadas à resistência indireta a pragas foi utilizado o acesso silvestre *Solanum pennellii* (Maluf *et al.*, 2010). A cultivar Santa Clara e o acesso silvestre *Solanum pennellii* foram utilizados como padrão para menor e maior teores de açúcares nos folíolos em comparação com as populações de retrocruzamento.

Os tratamentos foram semeados em bandejas de polietileno (200 células), preenchidas com substrato comercial a base de fibra de coco. A produção das mudas foi em casa de

vegetação do tipo arco (7 x 21 m) fechada com tela branca anti-afídeo nas laterais e filme de polietileno transparente de 150 micra aditivado contra raios ultravioleta na cobertura.

Após 30 dias após a semeadura (DAS) foi realizado o transplante em vasos plásticos de 5 litros contendo o mesmo substrato da semeadura. O experimento foi em casa de vegetação do tipo teto em arco geminada (14 x 48 m), com pé direito de 4 metros, cortinas laterais de tela antiafídeo, cobertura de polietileno de 200 micra transparente e contra raios ultravioleta. Os tratamentos culturais foram realizados conforme as recomendações para a cultura do tomateiro (Alvarenga, 2013).

O experimento foi realizado em delineamento de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições e cada parcela experimental foi representada por seis plantas posicionadas em fileiras duplas no espaçamento de 0,3 x 0,3 m e 0,8 m entre as fileiras duplas. Os tratamentos foram avaliados quanto aos parâmetros agrônômicos, qualidade de frutos e quantificado o teor de açúcares nos folíolos (resistência a pragas).

As colheitas foram realizadas após o início da fase de maturação dos frutos. Os frutos de cada parcela experimental foram colhidos em estágio de maturação completa para avaliação dos caracteres agrônômicos. Os frutos colhidos em cada parcela foram contabilizados, pesados e determinado o peso médio de fruto (PM) em gramas. Em seguida foram amostrados quinze frutos em cada parcela e analisados: comprimento de fruto (CF) - mensurado a partir da cicatriz de inserção do pedúnculo à terminação floral do fruto; diâmetro de fruto (DF): mensurado no sentido transversal do fruto cortado; formato de fruto (FF): determinado pela razão entre o comprimento do fruto e o diâmetro do fruto; espessura de polpa (EP): determinada pela maior distância do mesocarpo do fruto; número de lóculos (NL): determinado através da contagem direta dos lóculos no fruto. A altura de plantas (AP) foi mensurada através do comprimento vertical de toda a planta. O comprimento de internódio (CI) foi determinado pela razão entre a altura e o número de nós da planta medidos ao final do ciclo da cultura.

Em relação a qualidade dos frutos foram avaliadas as seguintes características: pH, acidez titulável, teor de sólidos solúveis e carotenoides ( $\beta$ -caroteno e licopeno).

A avaliação da acidez titulável, foi determinada de acordo com a metodologia adaptada de AUC (2019). O teor de sólidos solúveis, expresso em °Brix foi mensurado com refratômetro digital portátil (Atago PAL<sup>-1</sup> 3810).

Os pigmentos foram extraídos dos frutos utilizando a metodologia proposta por Nagata e Yamashita (1992). Os carotenoides ( $\beta$ -caroteno e licopeno) foram avaliados adicionando 1,0 g de homogeneizado de polpa e casca de tomate em 3 mL de solvente acetona 80%, armazenado em tubos de ensaio. Para evitar a oxidação dos carotenoides, as amostras foram colocadas em



refrigerador a 4°C por 48 horas no escuro. Ocorreu a formação de duas fases, o sobrenadante foi retirando, formando uma alíquota para a mensuração da densidade óptica em comprimento de onda de 450 e 470 nm usando um espectrofotômetro. As concentrações de  $\beta$ -caroteno ( $\beta$ C) e licopeno (LC) foram estimadas de acordo com Rodriguez-Amaya (2001) e Rodriguez-Amaya e Kimura (2004).

A quantificação de açúcares nos folíolos para determinação indireta da resistência a pragas foi realizada aos 90 dias após semeadura, através de uma amostra composta por oito discos foliares (correspondente a 4,2 cm<sup>2</sup>). Foram coletados folíolos do terço superior das plantas e acondicionados em tubos de ensaio. Para extração e determinação foi realizada a metodologia descrita por Resende *et al.* (2002) e adaptada por Maciel e Silva (2014).

Neste trabalho os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos por meio do teste de Shapiro-Wilk ( $p < 0,01$ ). A homogeneidade de variâncias foi analisada pelo teste de Oneill Mathew ( $p < 0,01$ ) e, para aditividade de blocos, realizou-se o teste de Tukey ( $p < 0,01$ ). Em seguida foi utilizado a análise de variância pelo teste F ( $\alpha = 0,05$ ). As médias foram comparadas através do teste Scott-Knott ( $\alpha = 0,05$ ) e pelo teste Dunnett ( $\alpha = 0,05$ ), onde o genitor doador (UFU MC TOM 1, planta anã) foi considerada a testemunha, a fim de deixar evidente incrementos após cada retrocruzamento. Conjuntamente foram avaliados os parâmetros genéticos: coeficiente de variação genotípica ( $h^2$ ) e razão entre o coeficiente de variação genética e ambiental (CVg/CVe). A dissimilaridade genética entre as populações foi obtida a partir da obtenção da matriz de distância generalizada de Mahalanobis. A diversidade genética foi apresentada através de um mapa de calor e dendrograma gerado através das mínimas e máximas distâncias, analisado pelo software R.

Apenas os fenótipos de porte anão foram analisados para a estimativa dos ganhos de seleção. Para as estimativas dos ganhos de seleção foram selecionadas 30.7% das populações. O critério de seleção foi baseado na magnitude da distância genética por meio de um ideótipo. Para o índice de distância genótipo-ideótipo os valores ideais foram estabelecidos como as maiores médias dentre os caracteres avaliados exceto para altura e comprimento de internódio com menores médias. As populações de plantas anãs foram classificadas de acordo com a distância de Mahalanobis (D2) em relação ideótipo, sendo consideradas mais favoráveis aquelas que apresentaram as menores distâncias em relação a esse ideótipo. Todas as análises foram realizadas no software GENES integrado ao software R e Matlab (Cruz, 2016).

### 3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

As populações de tomateiro anão do tipo Salada, a testemunha comercial (híbrido Paronset®), o genitor recorrente UFU-57 e o genitor doador (UFU MC TOM1) diferiram estatisticamente em todas as variáveis agrônomicas, demonstrando a variabilidade entre os tratamentos (teste de F  $\alpha = 0,05$ ). O genitor recorrente e o híbrido comercial Paronset® apresentam maiores médias para a maioria das características agrônomicas, esse resultado era esperado (Tabela 1). Porém, deve ser considerado que o principal objetivo deste trabalho foi verificar o incremento das características agrônomicas, principalmente o peso médio de frutos, proporcionado nas populações de plantas anãs, comparando ao genitor doador (UFU MC TOM1) após realizar os retrocruzamentos.

Tabela 1- Médias das características agrônomicas avaliadas em populações de tomateiro anão nas gerações do primeiro, segundo e terceiro retrocruzamento.

Genótipos	Geração	PM	CF	DF	FF	NL	EP	AP	CI
UFU-DTOM 21#2-1-1	RC3	31,62 c*	3,90 b*	3,70 e*	1,06 b*	2,59 c	5,16 c*	35,13 c	1,83 c*
UFU-DTOM 19#1-3-1	RC3	34,79 c*	3,90 b*	4,00 d*	0,98 c*	3,07 b*	5,14 c*	36,88 c	1,73 c*
UFU-DTOM 19#1-4-1	RC3	29,43 d*	3,79 b*	3,48 f*	1,09 b*	2,69 c*	3,49 e*	37,00 c	1,60 c
UFU-DTOM 19#1-4-2	RC3	34,06 c*	4,12 b*	3,76 e*	1,10 b*	2,38 c	4,48 d*	33,75 c	1,53 d
UFU-DTOM 4#4-11-1	RC3	43,34 b*	3,95 b*	4,29 c*	0,93 c*	3,44 b*	5,17 c*	31,38 c	1,50 d
UFU-DTOM 21#2-1	RC2	28,82 d*	3,99 b*	3,67 e*	1,09 b*	2,57 c	4,88 c*	32,88 c	1,68 c*
UFU-DTOM 19#1-3	RC2	30,26 d*	4,19 b*	3,59 e*	1,17 b*	2,91 b*	4,47 d*	33,75 c	1,80 c*
UFU-DTOM 19#1-4	RC2	26,85 d*	3,83 b*	3,54 f*	1,09 b*	2,91 b*	4,34 d*	32,75 c	1,58 c
UFU-DTOM 19#1-5	RC2	19,86 e*	3,52 c	3,32 f*	1,06 b*	2,78 c*	3,49 e*	33,25 c	1,70 c*
UFU-DTOM 4#4-11	RC2	28,77 d*	3,82 b*	4,05 d*	0,95 c*	3,07 b*	4,59 d*	26,00 d	1,43 d
UFU-DTOM 19#1	RC1	17,85 e*	3,66 c	3,50 f*	1,05 b*	3,32 b*	4,28 d*	25,50 d	1,35 d
UFU-DTOM 4#4	RC1	23,22 e*	3,61 c	3,63 e*	1,00 c*	2,97 b*	3,98 d*	30,88 c	1,68 c*
UFU-DTOM 21#2	RC1	20,31 e*	3,73 c	3,41 f*	1,09 b*	2,10 d	4,96 c*	34,63 c	1,48 d
UFU-57	GR	93,34 a*	5,02 a*	5,69 b*	0,88 d*	4,35 a*	6,51 b*	208,38 a*	6,43 a*
Testemunha comercial	HB	94,82 a*	4,92 a*	6,22 a*	0,79 e*	3,13 b*	7,46 a*	170,75 b*	6,05b*
UFU MC TOM1	GD	4,73 f	3,35 c	1,92 g	1,75 a	2,00 d	2,24 f	27,88 d	1,28 d
Média		35,12	3,95	3,86	1,06	2,89	4,66	51,92	2,16
CV (%)		7,70	5,34	4,52	5,51	10,50	8,70	8,42	8,48
DMS Dunnett		5,65	0,44	0,36	0,12	0,63	0,84	9,14	0,38
h <sup>2</sup>		99,69	94,84	99,18	97,97	92,60	97,12	99,83	99,67
CVg/Cve		9,06	2,06	5,51	3,47	1,76	2,90	12,39	8,70

PM: peso médio de fruto (g); CF: comprimento de fruto (cm); DF: diâmetro de fruto (cm); FF: formato de fruto; EP: espessura de polpa (cm); NL: (lôculo por fruto-1); AP: Altura de plantas (cm); CI: comprimento de internódio (cm); RC1: primeiro retrocruzamento; RC2: segundo retrocruzamento; RC3: terceiro retrocruzamento; GR: genitor recorrente; GD: genitor doador; HB: testemunha comercial (híbrido Paronset®); CV (%): Coeficiente de variação; h<sup>2</sup>: coeficientes de determinação genotípica; CVg/CVe: razão entre os coeficientes de variação genética e ambiental. Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 0,05. \*Médias na coluna diferem da testemunha linhagem doadora anã UFU MC TOM 1 pelo teste de Dunnett a nível de 0,05 de probabilidade. Fonte: o próprio autor

Comparando-se o genitor doador (UFU MC TOM1) as plantas anãs do primeiro, segundo e terceiro retrocruzamento ocorreu acréscimo na massa dos frutos em 390%, 539% e 816%, respectivamente (Scott-Knott e Dunnett  $\alpha = 0,05$ ). Deve-se considerar que os frutos do tipo minitomates são pequenos, ao contrário do segmento salada que podem chegar a pesar 500 gramas (Embrapa, 2018), sendo essencial esse acréscimo de tamanho para tornar os frutos compatíveis ao segmento salada.

O incremento na massa dos frutos tornou-se mais expressivo a cada retrocruzamento realizado. Portanto, o terceiro retrocruzamento apresentou resultados superiores, 80% das populações (RC3) foram superiores as provenientes do segundo retrocruzamento (RC2). A população UFU-DTOM 4#4-11-1 se destacou, chegando a apresentar frutos acima de 43 gramas em média.

Finzi et al. (2020) obtiveram incrementos de 341% na massa dos frutos em populações de tomateiro anão do tipo salada em apenas um retrocruzamento. Neste trabalho o incremento foi de 390%. A partir do terceiro retrocruzamento o acréscimo chegou a 816%, evidenciando que é interessante realizar três retrocruzamentos em busca da recuperação das características de interesse, sendo o principal objetivo transferir genes relacionados à massa dos frutos entre o genitor recorrente e populações anãs. As populações de plantas anãs provenientes do terceiro retrocruzamento apresentaram maiores incrementos em relação a massa dos frutos, proporcionando a produção de maiores frutos (Figura 1). Após a transferência de genes de interesse o retrocruzamento possibilita a restauração das características agronômicas, principalmente relacionadas a produtividade. Na primeira (RC1), segunda (RC2) e terceira (RC3) geração de retrocruzamentos as populações apresentam em média 75%, 87,5% e 93,75% do genoma do genitor recorrente, respectivamente (Borém *et al.*, 2021).

**Figura 1:** Comparação entre o fenótipo dos genitores (doador e recorrente), testemunha comercial (híbrido Paronset®) e as populações anãs F<sub>2</sub>RC<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>RC<sub>2</sub> e F<sub>2</sub>RC<sub>3</sub>.



**Legenda:** Geração RC3 (1: UFU-DTOM 21#2-1-1; 2: UFU-DTOM 19#1-3-1; 3: UFU-DTOM 19#1-4-1; 4: UFU-DTOM 19#1-4-2; 5: UFU-DTOM 4#4-11-1); geração RC2 (6: UFU-DTOM 21#2-1; 7: UFU-DTOM 19#1-3; 8: UFU-DTOM 19#1-4; 9: UFU-DTOM 19#1-5; 10: UFU-DTOM 4#4-11); geração RC1 (11: UFU-DTOM 19#1; 12: UFU-DTOM 4#4; 13: UFU-DTOM 21#2); 14: genitor doador; 15: genitor recorrente; 16: testemunha comercial (híbrido Paronset®).

Fonte: o próprio autor

A superioridade das populações (RC1), (RC2) e (RC3) de tomateiro anão ao genitor doador quanto ao peso médio de frutos, comprimento de frutos, diâmetro de frutos e espessura de polpa (Scott-Knott e Dunnett  $\alpha = 0,05$ ), características relacionadas a massa dos frutos (Vazquez *et al.*, 2022) comprova êxito na restauração do padrão de frutos do segmento salada proveniente do genitor recorrente (UFU-57) nas populações anãs. Os trabalhos de Finzi *et al.* (2020), Gomes *et al.* (2021), Oliveira *et al.* (2021), avaliando tomates dos segmentos salada, santa cruz e saladete, respectivamente, apresentaram resultados similares, demonstrando eficiência ao utilizar retrocruzamentos para o incremento na massa de frutos.

O formato de frutos refere-se à relação entre diâmetro transversal e longitudinal dos frutos. O genitor doador (UFU MC TOM 1) pertence ao segmento minitomate apresentou média

de 1,75, frutos de formato alongado, característica expressa por herança monogênica recessiva (Maciel e Silva, 2008). As demais populações de plantas anãs, genitor recorrente (UFU-57) e testemunha comercial apresentaram formato de frutos próximo de 1, padrão do segmento salada, diferindo estatisticamente em relação ao genitor doador (Scott-Knott e Dunnett  $\alpha = 0,05$ ).

O genitor doador (UFU MC TOM 1) produz frutos do tipo minitomate que apresentam em média 2 lóculos, apenas a população (RC1) UFU-DTOM 21#2 manteve essas características. As demais populações foram diferentes estatisticamente (Scott-Knott e Dunnett  $\alpha = 0,05$ ), demonstrando que os retrocruzamentos proporcionam aumento no número de lóculos, se aproximando do padrão de fruto do tipo salada, representado pelo genitor recorrente (UFU-57) e testemunha comercial.

Frutos com maior espessura de polpa (EP) apresentam maior firmeza, suportando melhor o manuseio e transporte (Melo; Vilela, 2005; Siddiqui; Ayala-Zavala; Dhua, 2015). As plantas anãs provenientes de retrocruzamentos apresentaram maior espessura de polpa em relação ao genitor doador (UFU MC TOM 1). Destacaram-se três populações anãs UFU-DTOM 21#2-1-1, UFU-DTOM 19#1-3-1 e UFU-DTOM 4#4-11-1 pertencentes a geração RC3, UFU-DTOM 21#2-1 geração RC2 e UFU-DTOM 21#2. Portanto, podemos observar que o terceiro retrocruzamento destacou-se em relação ao incremento da espessura de polpa, chegando a um aumento médio de 130% em relação ao genitor doador, com espessura média de 5,17 mm na população UFU-DTOM 4#4-11-1.

Com relação à altura de plantas (AP) e comprimento de internódio (CI), todas as populações de plantas anãs foram inferiores ao genitor recorrente (UFU-57) e testemunha comercial (Híbrido Paronset®) (Scott-Knott e Dunnett  $\alpha = 0,05$ ). A redução do comprimento de internódio influencia diretamente a redução da altura das plantas (Liu *et al.*, 2020; Sun *et al.*, 2019). Os programas de melhoramento visando plantas com arquitetura compacta, por meio de internódios curtos, possibilita maiores produtividades e favorece os tratos culturais (Rajendran *et al.*, 2022; Sun *et al.*, 2019). Dessa maneira, o desenvolvimento de linhagens anãs com frutos do tipo Salada é essencial, pois o germoplasma de plantas anãs é escasso, apresentando um obstáculo para obtenção de futuros híbridos, com plantas mais produtivas e compactas, utilizando essa tecnologia. Panthee e Gardner (2013) e Finzi *et al.* (2017) relataram maiores produtividades por meio de tomateiro com arquitetura compacta.

Atualmente, os programas de melhoramento de tomateiro visam desenvolver materiais produtivos e com qualidade de fruto superior aos disponíveis no mercado (Londonõ-Giraldo *et al.*, 2021). No presente estudo, foram observadas diferenças significativas para caracteres

relacionados à qualidade de fruto, como acidez dos frutos (PH), acidez titulável (ATT), teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}$ Brix),  $\beta$ -Caroteno ( $\beta$ C), Licopeno (LI) (Teste F,  $p \leq 0,05$ ) (Tabela 2).

Tabela 2 - Médias das características de qualidade de fruto avaliadas em populações de tomateiro anão nas gerações do primeiro, segundo e terceiro retrocruzamento.

Genótipos	Geração	PH	ATT	SS ( $^{\circ}$ Brix)	$\beta$ C	LI
UFU-DTOM 21#2-1-1	RC3	4,05 c*	1,32 a*	6,48 c*	12,34 a	10,48 b
UFU-DTOM 19#1-3-1	RC3	4,07 c*	1,10 b*	6,30 d*	10,76 b	10,04 b
UFU-DTOM 19#1-4-1	RC3	4,20 b	0,96 d	6,55 c*	13,25 a*	11,70 a*
UFU-DTOM 19#1-4-2	RC3	4,05 c*	1,03 c*	6,55 c*	10,92 b	8,90 c
UFU-DTOM 4#4-11-1	RC3	4,05 c*	0,94 d	6,00 d*	9,80 c	7,38 d
UFU-DTOM 21#2-1	RC2	4,14 c	1,15 b*	6,50 c*	9,77 c	7,33 d*
UFU-DTOM 19#1-3	RC2	4,10 c	1,09 b*	6,53 c*	8,97 c*	7,76 d
UFU-DTOM 19#1-4	RC2	4,03 c*	0,83 e*	6,18 d*	9,49 c*	10,77 b
UFU-DTOM 19#1-5	RC2	4,21 b	0,85 e	6,50 c*	9,88 c	11,92 a*
UFU-DTOM 4#4-11	RC2	4,22 b	0,91 d	6,15 d*	9,48 c*	6,47 d*
UFU-DTOM 19#1	RC1	4,06 c*	1,03 c*	6,50 c*	9,64 c*	10,36 b
UFU-DTOM 4#4	RC1	3,95 d*	0,86 e	6,28 d*	9,41 c*	8,38 c
UFU-DTOM 21#2	RC1	4,07 c*	1,07 c*	6,43 c*	9,15 c*	7,56 d
UFU-57	GR	4,45 a*	0,88 e	6,53 c*	12,84 a*	12,86 a*
Testemunha Comercial	HB	4,08 c*	0,89 e	6,95 b*	10,80 b	8,79 c
UFU MC TOM1	GD	4,19 b	0,93 d	7,85 a	11,05 b	9,33 c
Média		4,12	0,99	6,51	10,41	9,37
CV (%)		1,11	4,42	3,11	6,03	10,03
DMS Dunnett		0,09	0,09	1,32	1,96	0,42
$h^2$		96,02	97,26	94,06	94,37	93,70
CVg/CVe		2,45	2,98	1,99	2,04	1,92

PH: acidez dos frutos; ATT: acidez titulável; SS: teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}$ Brix);  $\beta$ C: teor de  $\beta$ -caroteno (mg/100mg); LI: teor de licopeno (mg/100mg); RC1: primeiro retrocruzamento; RC2: segundo retrocruzamento; RC3: terceiro retrocruzamento; GR: genitor recorrente; GD: genitor doador; HB: testemunha comercial (híbrido Paronset®); CV (%): Coeficiente de variação;  $h^2$ : coeficientes de determinação genotípica; CVg/CVe: razão entre os coeficientes de variação genética e ambiental. Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste ScottKnott a 0,05. \*Médias na coluna diferem da testemunha linhagem doadora anã UFU MC TOM 1 pelo teste de Dunnett a nível de 0,05 de probabilidade.

Fonte: o próprio autor

Em relação a acidez dos frutos (pH) o genitor recorrente (UFU-57) apresentou maior pH, expressando valor médio de 4,45. Todos apresentaram um pH inferior a 4,5, desejável para garantir que microrganismos patogênicos e deteriorantes tenham maior dificuldade em se desenvolver (Monteiro *et al.*, 2008). O pH e a ATT são parâmetros de qualidade que estão relacionados ao sabor dos frutos (Wati *et al.*, 2021; Monteiro *et al.*, 2008). A acidez titulável

expressa a quantidade de ácido orgânico nos frutos e a adstringência, influenciando diretamente no sabor do fruto, permitindo variar a opção por frutos mais ácidos ou mais doces de acordo com características e preferências culturais de cada região (Nascimento *et al.*, 2013). A variabilidade entre as populações de tomateiro anão em relação a ATT permite a seleção de plantas com frutos mais doces ou ácidos de acordo com a preferência.

O teor de sólidos solúveis está relacionado ao sabor dos frutos, quanto maior o seu teor, mais adocicado e preferidos pelos consumidores os frutos se tornam (Cammarelli *et al.*, 2023; Maciel *et al.*, 2015; Moreira *et al.*, 2023; Schwarz *et al.*, 2013). Teores de sólidos solúveis acima de 3 °Brix são considerados aceitáveis para o consumo de tomates in natura (Schwarz *et al.*, 2013). As populações provenientes de retrocruzamentos apresentaram em média entre 6 e 6.53°brix, portanto são promissoras para o desenvolvimento de linhagens anãs pertencentes ao segmento salada, com alto teor de sólidos solúveis que poderão contribuir para o aperfeiçoamento de variedades atuais de tomateiro em relação a frutos mais adocicados e preferidos pelo mercado consumidor cada vez mais exigente. Dessa forma é importante destacar que a pesquisa busca desenvolver genótipos com frutos mais saborosos e de maior qualidade nutricional em relação aos já disponíveis no mercado.

Quanto aos teores de  $\beta$ -Caroteno ( $\beta$ C) e licopeno (LI), os maiores valores foram observados simultaneamente, em ambos os caracteres, para o genitor recorrente UFU-57 e a população UFU-DTOM 19#1-4-1 (RC3). UFU-DTOM 21#2-1-1 (RC3) também apresentou valores superiores em relação a  $\beta$ -Caroteno e UFU-DTOM 19#1-5 (RC2) a licopeno.

Pode ser observado que o genitor recorrente através dos retrocruzamentos, além de resgatar características de interesse agrônomo também contribuiu para melhorar a qualidade nutricional dos frutos. Os teores de  $\beta$ -Caroteno e licopeno estão relacionados diretamente ao valor nutricional de frutos de tomate (Siddiqui; Ayala-Zavala; Dhua, 2015). Os compostos  $\beta$ -Caroteno e Licopeno proporcionam benefícios à saúde humana devido às suas propriedades antioxidantes e atuam na prevenção de doenças cardiovasculares e diversos tipos de câncer (Shahidi; Ambigaipalan, 2015). Com isso, o desenvolvimento da população de tomateiro anão UFU-DTOM 19#1-4-1 por meio de retrocruzamentos é interessante para a obtenção de frutos biofortificados em híbridos do tipo Salada.

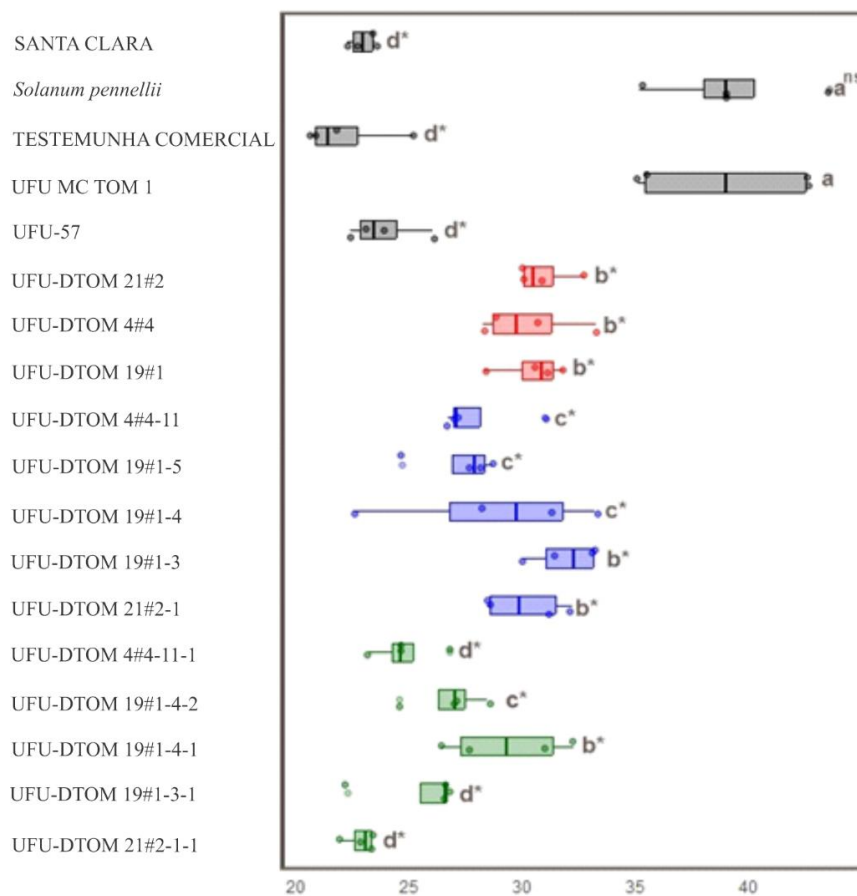
As características agrônomicas e de qualidade de frutos avaliadas apresentaram coeficientes de determinação genotípica ( $h^2$ ) considerados altos (Laviola *et al.*, 2011, 2012, 2013b; Bhering *et al.*, 2013), indicando que existe variabilidade genética entre as populações avaliadas, permitindo ganhos por meio da seleção das melhores populações. Entre as características avaliadas a relação CVg/CVe foi maior que 1. O quociente CVg/CVe é uma

informação importante para o melhoramento, quando o valor chega a 1 ou é superior a situação é benéfica para a seleção (Leite *et al.*, 2016). Portanto, a seleção fenotípica baseado nessas características é favorável.

Melhorar a qualidade nutricional dos frutos e simultaneamente desenvolver genótipos mais produtivos e resistentes a pragas é um grande desafio. Os acilaçúcares são aleloquímicos encontrados nos tricomas glandulares e promovem resistência às diversas pragas pelo mecanismo de antixenose (Maciel *et al.*, 2018a, 2018b; Marinke *et al.*, 2022; Peixoto *et al.*, 2020; Resende *et al.*, 2022).

O acesso silvestre *Solanum pennellii* possui altos teores de acilaçúcares e é utilizado como parâmetro de comparação (Maluf *et al.*, 2010). O genitor doador UFU MC TOM 1 e o *S. pennellii* expressaram maiores médias em relação aos teores de acilaçúcares (Scott Knott  $\alpha = 0,05$ ) (Figura 2).

**Figura 2** - Boxplot comparativo em relação aos valores médios dos teores de acilalúcares.



Médias seguidas por letras distintas, diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 0,05 de significância. Legenda: Verde: terceiro retrocruzamento (RC3); Azul: segundo retrocruzamento (RC2); Vermelho: primeiro retrocruzamento (RC1).

Fonte: o próprio autor

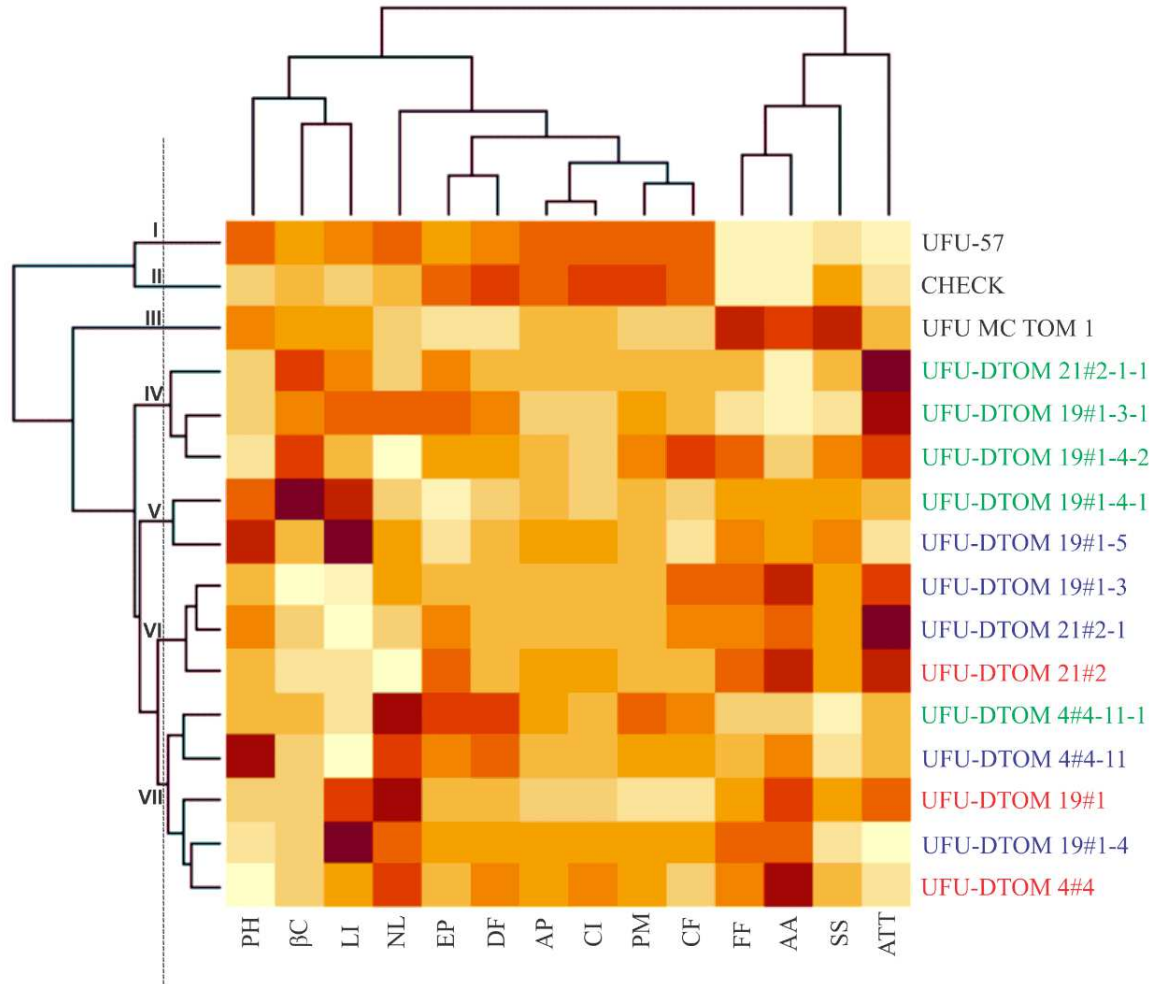


Todas as populações de tomateiro anão (RC1) e (RC2) e 40% das populações (RC3) foram superiores ao genitor recorrente UFU-57, testemunha comercial e cultivar Santa Clara em relação aos teores de acilacúcares (Scott Knott  $\alpha = 0,05$ ). Segundo Dias *et al.* (2021) a segregação referente a teores de acilacúcares é observada em populações avançadas de tomateiro. Finzi *et al.*, (2020), Gomes *et al.*, (2022) e Oliveira *et al.*, (2022) observaram populações de tomateiro anão com teores superiores de acilacúcares. Esses resultados contribuem para a seleção de genótipos promissores para diminuir os danos ocasionados por insetos pragas.

Além de estratégias genéticas voltadas para aprimorar características do tomateiro, como compacidade e produtividade, é crucial focar na melhoria da resistência a pragas. Compostos como acilacúcares surgiram como elementos importantes nessa busca. Os acilacúcares são metabólitos especializados encontrados nos tricomas glandulares dos tomateiros, conhecidos por suas propriedades repelentes a insetos (Marchant *et al.*, 2020; Gasparini *et al.*, 2023). Esses compostos agem como um mecanismo de defesa natural, afastando pragas como pulgões, moscas-brancas e ácaros (Feng *et al.*, 2022; Mutschler *et al.*, 2023). Portanto, integrar características genéticas associadas ao aumento da produção de acilacúcares em programas de melhoramento de tomate pode reforçar a resistência das plantas contra infestações de insetos pragas, contribuindo para práticas de manejo sustentável das culturas. Essa abordagem está alinhada com o objetivo geral de desenvolver cultivares de tomate robustos capazes de resistir a estresses bióticos, ao mesmo tempo em que mantêm alta produtividade e qualidade dos frutos. Embora este estudo não tenha avaliado diretamente os danos causados por insetos, a presença de altos níveis de acilacúcares indica uma provável melhoria da resistência a insetos.

A visualização da dissimilaridade genética utilizando mapa térmico com dendrograma obtido pelo método de UPGMA pela matriz generalizada de Mahalanobis contribuiu para a seleção de populações de tomateiro anão superiores. Por meio da análise visual do dendrograma foi estabelecido a linha de corte a 22.31 %, critério definido considerando a mudança abrupta de nível (Cruz *et al.*, 2012), resultando na formação sete grupos distintos devido a variabilidade genética (Figura 3).

**Figura 3** - Dissimilaridade genética entre os genótipos representado pelo Mapa térmico e dendrograma obtidos pela matriz de distância de Mahalanobis e pelo Método Hierárquico de ligação média UPGMA.



**Legenda:** Verde: terceiro retrocruzamento (RC3); Azul: segundo retrocruzamento (RC2); Vermelho: primeiro retrocruzamento (RC1). Peso médio de fruto (PM), comprimento de fruto (CF), diâmetro de fruto (DF), formato de fruto (FF), espessura de polpa (EP), número de lóculos (NL), altura de plantas (ALT), comprimento de internódio da planta (CI), acidez do fruto (PH), acidez titulável (ATT), teor de sólidos solúveis (SS),  $\beta$ -Caroteno ( $\beta$ C), Licopeno (LI), acilaçucar (AA).

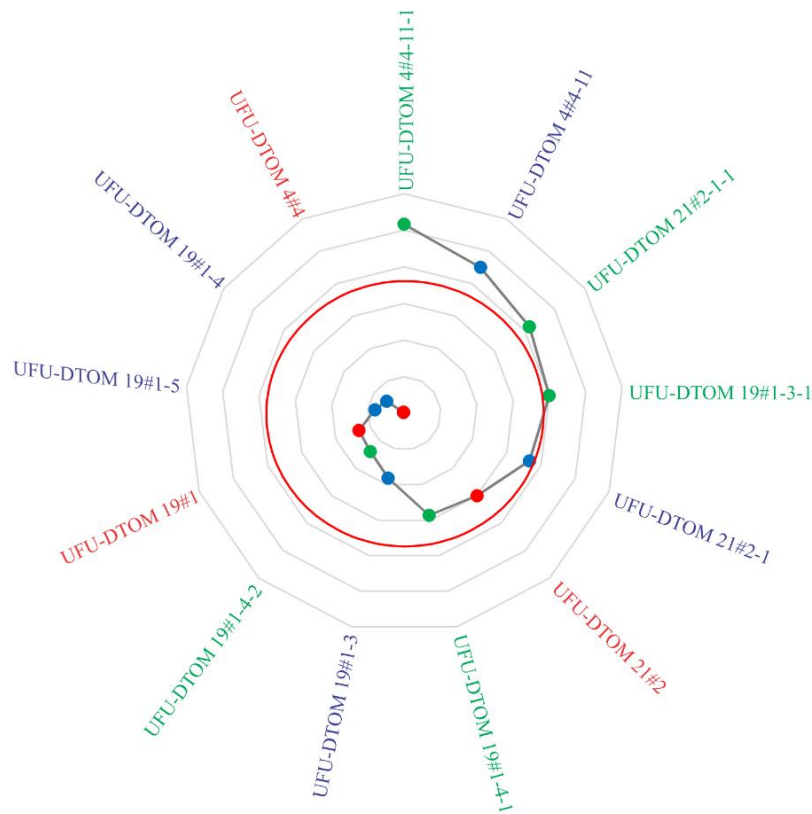
Fonte: o próprio autor

O grupo I foi representado pelo genitor recorrente (UFU-57). O grupo II pela testemunha comercial. O grupo III foi formado pelo genitor doador (UFU MC TOM 1), o grupo IV pelas populações UFU-DTOM 21#2-1-1 (RC3), UFU-DTOM 19#1-3-1 (RC3) e UFU-DTOM 19#1-4-2 (RC3). O grupo V pelas populações UFU-DTOM 19#1-4-1 (RC3) e UFU-DTOM 19#1-5 (RC2). As populações UFU-DTOM 19#1-3 (RC2), UFU-DTOM 21#2-1 (RC2) e UFU-DTOM 21#2 formaram o grupo VI. O grupo VII foi constituído pelas populações UFU-DTOM 4#4-11-1 (RC3), UFU-DTOM 4#4-11 (RC2), UFU-DTOM 19#1 (RC1), UFU-DTOM 19#1-4 (RC2) e UFU-DTOM 4#4 (RC1). O fato do genitor doador (UFU MC TOM 1) não se agrupar as populações de tomateiro anão do segmento salada demonstra que os retrocruzamentos proporcionaram incrementos nas populações anãs, sendo responsável por diferenciá-los.

A partir do dendrograma verificou-se que o grupo IV foi formado somente por populações provenientes do terceiro retrocruzamento, neste grupo encontra-se populações (RC3) com menores distâncias de Mahalanobis. O grupo VII apresentou somente a população UFU-DTOM 4#4-11-1 do terceiro retrocruzamento entre as demais. No entanto, pode-se verificar no mapa térmico que o peso médio de frutos de UFU-DTOM 4#4-11-1 se destaca em relação as outras populações provenientes de dois e três retrocruzamentos. Dessa forma verifica-se que a população UFU-DTOM 4#4-11-1 (RC3) em outro grupo apresenta variabilidade genética em relação as outras populações (RC3). UFU-DTOM 4#4-11-1 (RC3) apresenta maior média em peso médio de frutos no grupo VII e entre todas as populações anãs, portando essa população (RC3) em outro grupo apresenta características superiores permitindo maiores opções para a seleção de populações superiores.

O método de agrupamento UPGMA permitiu representar a dissimilaridade genética entre os genótipos de forma eficiente, o coeficiente de correlação cofenética foi de 0,96. Este método também contribuiu para avaliar a variabilidade entre genótipos de tomateiro em outros estudos (Gomes *et al.* 2021; Finzi *et al.* 2020; Oliveira *et al.*, 2022; Peixoto *et al.* 2019). As medidas de dissimilaridade e o índice de seleção permitem a identificação e seleção de indivíduos com características de interesse. A partir da distância genótipo- ideótipo (Figura 4) foram selecionadas as populações de tomateiro anão superiores.

**Figura 4.** Distância genótipo-ideótipo para seleção de populações anãs superiores após retrocruzamento.



**Legenda:** Verde: terceiro retrocruzamento (RC3); Azul: segundo retrocruzamento (RC2); Vermelho: primeiro retrocruzamento (RC1).

Fonte: o próprio autor

De acordo com o índice genótipo-ideótipo as populações UFU-DTOM 4#4-11-1 (RC3), UFU-DTOM 4#4-11 (RC2), UFU-DTOM 21#2-1-1 (RC3) e UFU-DTOM 19#1-3-1 (RC3) foram selecionadas. Dessa forma o genótipo ideótipo definido selecionou predominantemente populações pertencentes ao terceiro retrocruzamento. As demais populações (RC3), (RC2) e (RC1) apresentaram maiores distâncias e valores intermediários. Essa metodologia permite selecionar genótipos mais próximos de um ideótipo por meio de valores genéticos preditos (Oliveira *et al.*, 2019). E tem sido usada em estudos de melhoramento para seleção de genótipos visando maior rendimento, tolerância ao alagamento e estresse biótico (Almeida *et al.*, 2020; Maranna *et al.*, 2021; Olivoto, Schmidt e Lucio, 2022; Klein *et al.*, 2023).

Oliveira *et al.*, 2022 avaliando populações de tomateiro anão até o segundo retrocruzamento selecionaram predominantemente populações obtidas pelo segundo retrocruzamento. Neste trabalho foi verificado que realizar mais um retrocruzamento pode ser eficiente, pois a maior parte das

populações selecionadas são provenientes do terceiro retrocruzamento. As populações selecionadas são importantes para o melhoramento genético do tomateiro, servindo para incrementar o germoplasma de tomateiro anão, sendo promissoras para o desenvolvimento de linhagens de introgressão e posteriormente, híbridos com vantagens adicionais, compactos, produtivos, resistentes a pragas (Finzi *et al.*, 2017) e pertencentes ao segmento Salada.

#### 4- CONCLUSÃO

Os retrocruzamentos proporcionaram obter incrementos em relação a caracteres agronômicos, qualidade nutricional de frutos e maior resistência a pragas em populações de tomateiro anão.

As populações UFU-DTOM 4#4-11-1 (RC3), UFU-DTOM 21#2-1-1 (RC3) e UFU-DTOM 19#1-3-1 (RC3), UFU-DTOM 4#4-11 (RC2) demonstraram-se promissoras. Entre elas a UFU-DTOM 4#4-11-1 (RC3) se destacou, pois além de ser selecionada de acordo com o índice genótipo-ideótipo, apresentou maior incremento em massa de frutos, umas das características mais importantes para que os frutos se aproximem do padrão do segmento salada. A seleção predominante de populações de tomateiro anão do tipo salada (RC3) demonstra a importância de se realizar o terceiro retrocruzamento para a obtenção de linhagens de introgressão de tomateiro anão com características de frutos do tipo Salada.

## REFERÊNCIAS

- ADEYEYE, Samuel Ayofemi O. *et al.* África e o nexa da pobreza, da desnutrição e das doenças. **Revisões Críticas em Ciência de Alimentos e Nutrição**, [s.l.], v. 63, n. 5, p. 641-656, 2023.
- ALMEIDA, C. L. P. *et al.* Genotype-Ideotype distance index and multivariate analysis to select sources of anthracnose resistance in *Capsicum* spp. **European Journal of Plant Pathology**, [s.l.], v. 156, p. 223–236, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01879-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10658-019-01879-9>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate**: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia. Lavras: Editora UFLA, 2013. 455 p.
- BHERING, L. L. *et al.* Genetic gains in physic nut using selection indexes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 47, p. 402-408, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000300012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/bkMsjz7gSchYf6cRsWLMzFz/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 22 mar. 2024.
- BISHOP, G. J. *et al.* The tomato DWARF enzyme catalyses C-6 oxidation in brassinosteroid biosynthesis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s.l.], v. 96, p. 1761–1766, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.96.4.1761>. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.96.4.1761>. Acesso em: 14 mar. 2024.
- BISHOP, G. J.; HARRISON, K.; JONES, J. D. G. The tomato Dwarf gene isolated by heterologous transposon tagging encodes the first member of a new cytochrome P450 family. **Plant Cell**, [s.l.], v. 8, p. 959–969, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.8.6.959>. Disponível em: <https://academic.oup.com/plcell/article/8/6/959/5985093>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 8. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2021. 384 p.
- CAMMARERI, M. *et al.* Local Agro-Environmental Conditions Impact Fruit Quality, Sensory Properties and Consumer Acceptance of Long Shelf-Life Tomatoes. **Agronomy**, [s.l.], v. 13, p. 1265, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13051265>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/5/1265>. Acesso em: 20 mar. 2024.
- Cepea (2023) - **Revista hortifruti brasil. Especial hortaliças**. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/apos-dois-anos-de-alta-acentuada-custos-das-hortalicas-se-arrefecem-em-2023.aspx>. Acesso em: 18 mar. 2024.
- CRUZ, D. C. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.38, n.4, p. 547-552, out./dez. 2016. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i3.32629>. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/32629/pdf>. Acesso em: 09 fev. 2024.
- DIAS, D. M.; ERPEN-DALLA CORTE, L.; RESENDE, J. T. V.; ZEFFA, D. M.; RESENDE, N. C. V.; ZANIN, D. S.; LIMA FILHO, R. B. Acylsugars in tomato varieties confer resistance

to the whitefly and reduce the spread of fumagine. **Bragantia**, 80, e4421, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210022>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/MWFmpyNrXKp8FngrtbXrqdq/> Acesso em: 22 mar. 2024.

EGEA, I.; ESTRADA, Y.; FLORES, F.B.; BOLARIN, M.C. Improving production and fruit quality of tomato under abiotic stress: Genes for the future of tomato breeding for a sustainable agriculture. *Environmental and Experimental Botany*, Oxford, v.204, 105086 2022, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105086>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098847222003082>. Acesso em: 07 fev. 2024.

EMBRAPA - Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. **Como plantar tomate de mesa: cultivares**. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/tomate-de-mesa/cultivares2>. Acesso em: 20 abr. 2024.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Estatísticas da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação**. [S.l.], 2023. Portal: FAOSTAT. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en>. Acesso em: 20 mar. 2024.

FENG, H. *et al.* Acylsugars protect *Nicotiana benthamiana* against insect herbivory and desiccation. **Plant Mol Biol**, [s.l.], v. 109, p. 505-522, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11103-021-01191-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11103-021-01191-3>. Acesso em: 14 mar. 2024.

FILGUEIRA, Fernando Antônio Reis. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: Ed. UFV, 2008.

FINZI, R. R. *et al.* Agronomic performance of mini-tomato hybrids from dwarf lines. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 41, n. 1, p. 15-21, jan/feb, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-70542017411021416>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cagro/v41n1/1981-1829-cagro-41-01-00015.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2024.

FINZI, R. R. *et al.* Agronomic potential of BC1F2 dwarf round tomato populations. *Ciência e agrotecnologia*, Lavras, v. 44, p. 1-8, abr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-7054202044028819>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cagro/v44/1981-1829-cagro-44-e028819.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2024.

FURQUIM, M. G. D.; REIS, N. A.; CORCIOLI, G. Aspectos gerais sobre a tomaticultura de mesa: uma revisão sistemática de literatura. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, Aracaju-SE, v.12, n.9, p. 598-610, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0046>. Disponível em: <https://www.sustenere.co/index.php/rica/article/view/6266>. Acesso em: 10 fev. 2024.

FURQUIM, M. G. D.; REIS, N. A., SOUZA, C. B. General overview of tomaticulture in the State in Goiás: a descriptive analysis from a bibliographic survey. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v.9, n.7, e955974310, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4310>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/4310>. Acesso em: 02 fev. 2024.

GARDNER, R. G.; PANTHEE, D. R. 'Mountain Magic': An early blight and late blight-resistant specialty type F1 hybrid tomato. **Hortscience**, [S. l.], v. 47, n. 2, p. 299- 300, feb.



2012. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.2.299>. Disponível em: <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/47/2/article-p299.xml>. Acesso em 08 fev. 2024.

GASPARINI, K. *et al.* Natural Genetic Variation In The Hairs Absent (H) Gene Increases Type-Vi Glandular Trichomes In Both Wild And Domesticated Tomatoes. **Journal of Plant Physiology**, [s.l.], v. 280, p. 153859, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2022.153859>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0176161722002450?via%3Dihub>. Acesso em: 14 fev. 2024.

GOMES, D. A.; MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; OLIVEIRA, C. S.; FINZI, R. R.; MARQUES, D. J. Selection of BC 1 F 3 populations of Santa Cruz type dwarf tomato plant by computational intelligence techniques. **Bragantia**, Campinas, v.80, e4821, 2021 DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210046>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/LHhV5PFnhMsRrKP8dynzWqj/>. Acesso: 15 fev. 2024.

INGALLINA, C. *et al.* New hybrid tomato cultivars: An NMR-based chemical characterization. **Applied Sciences**, [s.l.], v. 10, p. 1887, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10051887>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/5/1887>. Acesso em: 18 fev. 2024.

JUPE, S. C.; CAUSTON, D. R.; SCOTT, I. M. Cellular basis of the effects of gibberellin and the pro gene on stem growth in tomato. **Planta**, [s.l.], v. 174, p. 106-111, 1988. <https://doi.org/10.1007/BF00394881>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00394881>. Acesso em: 22 fev. 2024.

KLEIN, L. A. *et al.* Selection of superior black oat lines using the MGIDI index Crop. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [s.l.], v. 23, p. e45112332, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332023v23n3a25>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cbab/a/hjPrzF4JSBhWdFMMRjYwCHd/?lang=en>. Acesso em: 05 mar. 2024.

KWON, C. *et al.* Rapid customization of Solanaceae fruit crops for urban agriculture. **Nature Biotechnology**, [s.l.], v. 38, p. 182-188, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0361-2>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41587-019-0361-2>. Acesso em: 03 mar. 2024.

LAVIOLA, B.G. *et al.* Estimates of genetic parameters for physic nut traits based in the germplasm two years evaluation. **Ciencia Rural**, [s.l.], v. 42, p. 429-435, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000300008>. Disponível em: Acesso em: 10 mar. 2024.

LAVIOLA, Bruno Galvêas et al. Estimates of repeatability coefficients and selection gains in *Jatropha* indicate that higher cumulative genetic gains can be obtained by relaxing the degree of certainty in predicting the best families. **Industrial Crops and Products**, [s.l.], v. 51, p. 70-76, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/zwBV7Ddb67Qdg5xmbGfHxqc/?lang=en>. Acesso em: 14 mar. 2024.

LEITE, W. S.; PAVAN, B. E.; MATOS FILHO, C. H. A.; ALCANTARA NETO, F. de; OLIVEIRA, C. B. de; FEITOSA, F. S. Estimativas de parâmetros genéticos, correlações e índices de seleção para seis caracteres agrônômicos em linhagens F8 de soja. **Comunicata Scientiae**, PiauÍ, v.7, p.302-310, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14295/cs.v7i3.1176>. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/1176>. Acesso em: 15 fev. 2024.

LI, H. *et al.* Effect of tomato consumption on fasting blood glucose and lipid profiles: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **Phytotherapy research**, [s.l.], v. 34, p. 1956-1965, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.6660>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ptr.6660>. Acesso em: 19 mar. 2024.

LIU, X.; YANG, W.; WANG, J.; YANG, M.; WEI, K.; LIU, X.; QIU, Z.; VAN GIANG, T.; WANG, X.; GUO, Y.; LI, J.; LIU, L.; SHU, J.; DU, Y.; HUANG, Z. SIGID1a Is a Putative Candidate Gene for qtph1. 1, a Major-Effect Quantitative Trait Locus Controlling Tomato Plant Height. **Frontiers in genetics**. Lausanne, v.11, n.881, p.1-13. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00881>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgene.2020.00881/full>. Acesso em: 03 fev. 2024.

LONDOÑO-GIRALDO, L.M.; BAENA-PEDROZA, A.M.; MARTINEZ-SEIDEL, F., CORPAS-IGUARÁN E.; TABORDA-OCAMPO, G. Gone wild: Integration of antioxidative, physicochemical, volatilomic and sensorial profiles ratify rustic relatives of cherry tomato as ideal mating partners. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.277, p.1-10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109814>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423820306427>. Acesso em: 20 fev. 2024.

LU, Y.; LUO, S.; LI, Q.; LI, N.; DU, W.; YU, P.; WANG, X.; ZHANG, W.; XUAN, S.; ZHOU, X.; SHEN, J.; ZHAO, J.; WANG, Y.; CHEN, X.; SHEN, S. Phenotypic Characterization and Differential Gene Expression Analysis Reveal That Dwarf Mutant dwf Dwarfism Is Associated with Gibberellin in Eggplant. **Horticulturae**, Basel, v.7, n.5,114, p. 1-10, 2021. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7050114>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/7/5/114>. Acesso em: 17 fev. 2024.

MACIEL, G. M. *et al.* Multivariate techniques in the determination of genetic diversity in pest-resistant mini tomato genotypes. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 36, p. 504-509, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-053620180413>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/fRJZS9xXhkmfmmz6HB3FX3G/?lang=en>. Acesso em: 21 fev. 2024.

MACIEL, G. M. et al. Tomato genotypes with determinate growth and high acylsugar concentration presenting resistance to spider mite. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.18, n. 1, p.1-8, maio. 2018a. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332018v18n1a1>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cbab/v18n1/1984-7033-cbab-18-01-1.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2024.

MACIEL, G. M.; SILVA, E. C.; FERNANDES, M. A. R. Ocorrência de nanismo em planta de tomateiro do tipo grape. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.28, n. 4, p. 259-264, dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n429rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rcaat/v28n4/1983-2125-rcaat-28-04-00259.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2024.

MACIEL, G. M.; SILVA, E. C. da. Herança do formato do fruto em tomateiro do grupo cereja. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v.26, p.495- 498, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362008000400014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/K8j6RQ6RdTxZttkmCFTYMDg/?lang=pt>. Acesso em: 14 fev. 2024.

MACIEL, G. M.; SILVA, E. C. Proposta metodológica para quantificação de acilaçúcares em folíolos de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 32, p. 174-177, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000200009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/XsyhwMYtRsLN8PkRGXfV3c/?lang=pt>. Acesso em: 10 mar. 2024.

MAHAM, S.G.; RAHIMI, A.; SUBRAMANIAN, S.; SMITH, D.L. The environmental impacts of organic greenhouse tomato production based on the nitrogen-fixing plant (*Azolla*). **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v.245, 118679, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118679>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619335498>. Acesso em 06 mar. 2024.

MALUF, W. R.; SILVA, V. de F.; CARDOSO, M. das G.; GOMES, L. A. A.; GONÇALVES NETO, Á. C.; MACIEL, G. M.; NÍZIO, D. A. C. Resistance to the South American tomato pinworm *Tuta absoluta* in high acylsugar and/or high zingibereno tomato genotypes. **Euphytica**, Dordrecht, v.176, p.113-123, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-010-0234-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-010-0234-8>. Acesso em: 17 mar. 2024.

MARANNA, S. *et al.* Breeding for higher yield, early maturity, wider adaptability and waterlogging tolerance in soybean (*Glycine max L.*): A case study. **Scientific Reports**, [s.l.], v. 11, p. 22853, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02064-x>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-02064-x>. Acesso em: 21 fev. 2024.

MARCHANT, W. G. *et al.* Evaluating Acylsugars-Mediated Resistance in Tomato against *Bemisia tabaci* and Transmission of Tomato Yellow Leaf Curl Virus. **Insects**, [s.l.], v. 11, p. 842, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects11120842>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4450/11/12/842>. Acesso em: 03 mar. 2024.

MARINKE, L.S.; RESENDE, J.T.V.; HATA, F.T.; DIAS, D.M.; OLIVEIRA, L.V.B.; VENTURA, M.U.; ZANIN, D.S.; LIMA FILHO, R.B. Selection of tomato genotypes with high resistance to *Tetranychus evansi* mediated by glandular trichomes. **Phytoparasitica**, Bet Dagan n.50, p.629–643, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12600-022-00984-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12600-022-00984-6>. Acesso em: 30 mar. 2024.

MARTI, E. *et al.* Genetic and physiological characterization of tomato cv. Micro-Tom. **Journal of Experimental Botany**, [s.l.], v. 57, p. 2037-2047, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erj154>. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/57/9/2037/622929>. Acesso em: 04 mar. 2024.

MELO, P. C. T.; VILELA, N. J. Desafios e perspectivas para a cadeia brasileira do tomate para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 23, p. 154-157, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362005000100032>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/hb/a/j6Yn8Zww6FbPNX3BrCTTYVw/?lang=pt>. Acesso em: 10 mar. 2024.

MONTEIRO, Cristiane Schüller et al. Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “tipo italiano”. **Alimentos e Nutrição**. Araraquara, v. 19, n. 1, p. 25-31, 2008.

MOREIRA, S. A. *et al.* Risk perception and sensory analyses of fresh tomatoes obtained from an open market in São Paulo, Brazil. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 41, p. e2527, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-2023-e2527>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/gGMg5tFf7PxxvJ8BVXMRpPYh/?lang=en>. Acesso em: 15 fev. 2024.

MUTSCHLER, M. A.; KENNEDY, G. G.; ULLMAN, D. E. Acylsugar-mediated resistance as part of a multilayered defense against thrips, orthotospoviruses, and beyond. **Current Opinion in Insect Science**, [s.l.], v. 56, p. 101021, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2023.101021>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214574523000184?via%3Dihub>. Acesso em: 22 mar. 2024.

NAGATA, M.; YAMASHITA, I. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, Tsukuba**, Ibaraki, v.39, p.925-928, 1992. DOI: <https://doi.org/10.3136/nskkk1962.39.925>. Disponível em: [https://www.jstage.jst.go.jp/browse/nskkk1962/\\_pubinfo/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/browse/nskkk1962/_pubinfo/-char/en). Acesso em: 18 mar. 2024.

NASCIMENTO, A. R. *et al.* Qualidade de tomates de mesa cultivados em sistema orgânico e convencional no estado de Goiás. **Revista Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 31, p. 628-635, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000400020>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/F74RvjfVxcFtHq9RDHRPQwP/?lang=pt>. Acesso em: 15 mar. 2024.

OLIVEIRA, C.S.; MACIEL, G.M.; SIQUIEROLI, A, C, S.; GOMES, D.A.; MARTINS, M.P.C.; FINZI, R.R. Selection of F2 RC1 saladette-type dwarf tomato plant populations for fruit quality and whitefly resistance. 2022. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.26, n.1, p.28-35. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n1p28-35> . Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/XMLgLsR8Rp3JJSXrVwnhn8R/>. Acesso em: 12 mar. 2024.

OLIVEIRA, C. S. *et al.* Selection of tomato genotypes for drought tolerance and agronomic potential through different selection indexes. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 39, p. 102-111, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210115>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/tgR5PZyQcM3BZBDh7BnJM3H/?lang=en>. Acesso em: 12 mar. 2024.

OLIVEIRA, I. C. M.; MARÇAL, T. D. S.; BERNARDINO, K. D. C.; RIBEIRO, P. C. D. O.; PARRELLA, R. A. D. C.; CARNEIRO, P. C. S.; SCHAFFERT, R. E.; CARNEIRO, J. E. D. S. Combining ability of biomass sorghum lines for agroindustrial characters and multitrait selection of photosensitive hybrids for energy cogeneration. **Crop Science**, [s.l.], v. 59, p. 1554-1566, 2019. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.11.0693>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2135/cropsci2018.11.0693>. Acesso em: 10 mar. 2024.

- OLIVOTO, T. *et al.* MGIDI: a powerful tool to analyze plant multivariate data. **Plant Methods**, [s.l.], v. 18, p. 121, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13007-022-00952-5>. Disponível em: <https://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13007-022-00952-5>. Acesso em: 21 fev. 2024.
- PANTHEE, D. R.; GARDNER, R. G. ‘Mountain Honey’ hybrid grape tomato and its parent NC 6 grape breeding line. **Hortscience**, [S. l.], v. 48, n. 9, p. 1192-1194, set. 2013a. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.9.1192>. Disponível em: <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/48/9/article-p1192.xml>. Acesso em: 08 fev. 2024.
- PANTHEE, D. R.; GARDNER, R. G. ‘Mountain Vineyard’ hybrid grape tomato and its parents: NC 4 Grape and NC 5 Grape tomato breeding lines. **HortScience**, [S. l.], v. 48, n. 9, p. 1189-1191, set. 2013b. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.9.1189>. Disponível em: <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/48/9/articlep1189.xml>. Acesso em: 08 mar. 2024.
- PEIXOTO, J. V. M. *et al.* Productivity, acylsugar concentrations and resistance to the two-spotted spider mite in genotypes of salad tomatoes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n.9, p. 596-602, jul. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n9p596-602>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v24n9/1807-1929-rbeaa-24-09-0596.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2024.
- RAJENDRAN, S.; BAE, J. H.; PARK, M. W.; OH, J. H.; JEONG, H. W.; LEE, Y. K.; PARK, S. J. Tomato Yield Effects of Reciprocal Hybridization of *Solanum lycopersicum* Cultivars M82 and Micro-Tom. **Plant breeding and biotechnology**, Suwon, v.10 n.1, p.37-48, 2022. DOI: <https://doi.org/10.9787/PBB.2022.10.1.37>, Disponível em: <https://www.plantbreedbio.org/journal/view.html?uid=731&&vmd=Full>. Acesso em: 20 mar. 2024.
- RESENDE, J. T. V. *et al.* Método colorimétrico para quantificação de acilaçúcar em genótipos de tomateiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, p. 1204-1208, 2002.
- RESENDE, J.T.V.; DIAS, D.M.; ERPEN-DALLA CORTE, L.; CONSTANTINO, L.V.; VENTURA, M.U.; DE LIMA FILHO, R.B.; de OLIVEIRA, L.V.B.; DA-SILVA, P.R. The Introgression of Resistance to *Tuta Absoluta* in Tomato Based on Glandular Trichomes. **Arthropod-Plant Interact.** Dordrecht, v. 16, p. 87–99, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11829-021-09873-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11829-021-09873-x>. Acesso em: 02 mar. 2024.
- RODRIGUES, R. R. *et al.* Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes tensões de água no solo. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 11, p. 1-28, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9777>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/9777>. Acesso em: 16 mar. 2024.
- RODRIGUEZ-AMAYA D. B. **A Guide to Carotenoids Analysis in Food**. Washington, ILSI Press, 2001. 64p.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **HarvestPlus handbook for carotenoid analysis**. IFPRI and CIAT. Washington, DC and Cali: IFPRI and CIAT, 2004. 58p.

SCHRAGER-LAVELLE, A. *et al.* The role of a class III gibberellin 2-oxidase in tomato internode elongation. **The Plant Journal**, [s.l.], v. 97, p. 603-615, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/tpj.14145>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/tpj.14145>. Acesso em: 12 mar. 2024.

SCHWARZ, K. *et al.* Desempenho agrônômico e qualidade físico-química de híbridos de tomateiro em cultivo rasteiro. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 31, p. 410-418, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000300011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/8Rg3VstjBT3S96F9jTVdXsh/?lang=pt>. Acesso em: 19 fev. 2024.

SIDDIQUI, M. W.; AYALA-ZAVALA, J. F.; DHUA, R. S. Genotypic Variation in Tomatoes Affecting Processing and Antioxidant Attributes. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Philadelphia. v.55 p.1819-1835, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.710278>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2012.710278>. Acesso em: 20 mar. 2024.

SILVA, P. T. P. *et al.* Yield prediction of experimental plots based on the harvest of specific fruit clusters for selection of fresh market tomato hybrids. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 39, p. 58-64, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210109>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/HcBLPPC7CfmYzysZskLRWFw/?lang=en>. Acesso em: 10 mar. 2024.

SUN, X. *et al.* Identification and characterization of EI (Elongated Internode) gene in tomato (*Solanum lycopersicum*). **International Journal of Molecular Sciences**, [s.l.], v. 20, n. 9, p. 2204, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20092204>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/9/2204>. Acesso em: 16 mar. 2024.

VAZQUEZ, D.V.; da COSTA, J.H.P.; GODOY, F.N.; CAMBIASO, V.; RODRÍGUEZ, G.R. Genetic basis of the lobedness degree in tomato fruit morphology. **Plant Science**, Shannon, v.319, 111258, p.1-12 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111258>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945222000826?via%3Dihub>. Acesso em: 16 mar. 2024.

VICENTE, M. H. *et al.* Semi-determinate growth habit adjusts the vegetative-to-reproductive balance and increases productivity and water-use efficiency in tomato (*Solanum lycopersicum*). **Journal of Plant Physiology**, [s.l.], v. 177, p. 11-19, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.01.003>. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.01.003>. Acesso em: 22 mar. 2024.

WANG, Q. *et al.* Genetic analysis and mapping of dwarf gene without yield penalty in a  $\gamma$ -ray-induced wheat mutant. **Frontiers in plant science**, [s.l.], v. 14, p. 1133024, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1133024>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1133024/full>. Acesso em: 21 mar. 2024.

WATI, R. K.; PAHLAWAN, M. F. R.; MASITHOH, R. E. Development of calibration model for pH content of intact tomatoes using a low-cost Vis/NIR spectroscopy. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, Yogyakarta, 2021. Proceedings... *The International Conference on Smart and Innovative Agriculture: IOP Publishing*, vol. 686,

2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/686/1/012049>. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/686/1/012049>. Acesso em 22 mar. 2024.

WEYH, Christopher *et al.* O papel dos minerais no funcionamento ideal do sistema imunológico. **Nutrientes**, [s.l.], v. 14, n. 3, p. 644, 2022.

ZANIN, D.S.; de RESENDE, J.T.V.; ZEIST, A.R.; LIMA FILHO, R.B.; GABRIEL, A.; DINIZ, F.C.P.; PERRUD, A.C.; MORALES, R.G.F. . Selection of F2BC1 tomato genotypes for processing containing high levels of zingiberene and resistant to tomato pinworms. **Phytoparasitica**, Bet Dagan, v. 49, p.265–274, v. 2021. <https://doi.org/10.1007/s12600-020-00852-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12600-020-00852-1>. Acesso em: 15 mar. 2024.

ZHANG, J.; ZHANG, X.; CHEN, R.; YANG, L.; FAN, K.; LIU, Y., WANG, G., REN, Z., Llu, Y. Generation of Transgene-Free Semidwarf Maize Plants by Gene Editing of Gibberellin-Oxidase20-3 Using CRISPR/Cas9. **Frontiers in plant science**, Lausanne, v. 11, p. 1048, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01048>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.01048/full>. Acesso: 04 mar. 2024.

ZHU, Q. *et al.* Redesigning the tomato fruit shape for mechanized production. *Nature Plants*, [s.l.], v. 9, p. 1659–1674, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41477-023-01522-w>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41477-023-01522-w>. Acesso em: 09 mar. 2024.

ZSÖGÖN, A. *et al.* Genome editing as a tool to achieve the crop ideotype and de novo domestication of wild relatives: Case study in tomato. **Plant Science**, [S. l.], v. 256, p. 120-130, mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.12.012>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168945216309037?via%3Dihub>. Acesso em: 04 mar. 2024.