



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS MINISTRO PETRÔNIO PORTELLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO**

GABRIEL VIANA FERRAZ

**POTENCIAL ORNAMENTAL E TOLERÂNCIA DE PIMENTEIRAS (*Capsicum* sp.)
ÀS ALTAS TEMPERATURAS: UMA ABORDAGEM BIBLIOMÉTRICA E
EXPERIMENTAL**

GABRIEL VIANA FERRAZ

**POTENCIAL ORNAMENTAL E TOLERÂNCIA DE
PIMENTEIRAS (*Capsicum sp.*) ÀS ALTAS TEMPERATURAS:
UMA ABORDAGEM BIBLIOMÉTRICA E EXPERIMENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portella, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento.

Orientadora:

Profa. Dra. Regina Lucia Ferreira Gomes

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial CCA
Serviço de Representação Temática da Informação

F381p Ferraz, Gabriel Viana.
Potencial ornamental e tolerância de pimenteiras (*Capsicum* sp.)
às altas temperaturas: uma abordagem bibliométrica e experimental.
/ Gabriel Viana Ferraz. -- 2025.
177 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro
de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia,
2025.
“Orientadora: Profa. Dra. Regina Lucia Ferreira Gomes.”

1. Análise bibliométrica. 2. *Capsicum annuum* L. 3. Estresse
térmico. 4. Pimentas ornamentais. 5. Termotolerância. I. Gomes,
Regina Lucia Ferreira. II. Título.

CDD 583.592

GABRIEL VIANA FERRAZ

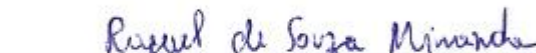
**POTENCIAL ORNAMENTAL E TOLERÂNCIA DE
PIMENTEIRAS (*Capsicum sp.*) ÀS ALTAS TEMPERATURAS:
UMA ABORDAGEM BIBLIOMÉTRICA E EXPERIMENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, Campus Ministro Petrônio Portella, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento.

Aprovada em 27 de agosto de 2025.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Raimundo Nonato Oliveira Silva - UFPI


Prof. Dr. Rafael de Souza Miranda – UFPI


Prof^ª. Dr^ª. Regina Lucia Ferreira Gomes - UFPI
(Orientadora)

AGRADECIMENTOS

Após dois anos e seis meses de muito estudo, dedicação, responsabilidade, renúncias e superação de desafios, encerro mais uma etapa da minha vida pessoal e acadêmica. Por isso, gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para essa jornada

Primeiramente, agradeço a Deus, guia de todos os meus passos, por ter me dado forças para continuar lutando pelos meus propósitos e por ser meu refúgio e conselheiro silencioso nos momentos de dificuldade.

À Universidade Federal do Piauí e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do curso de mestrado, etapa que marcou profundamente minha trajetória acadêmica, profissional e pessoal, os quais foram fundamentais para minha formação omnilateral.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos, essencial para a realização deste mestrado.

À professora Dra. Regina Lucia Ferreira Gomes, minha orientadora, pela confiança no meu trabalho, pelos seus ensinamentos e conselhos, pelo exemplo de liderança e determinação, pela busca constante de oportunidades e pela atenção dedicada aos seus orientandos.

À professora Dra. Ângela Celis de Almeida Lopes, pela generosidade, discursos inspiradores e conselhos de vida.

À professora Dra. Verônica Brito da Silva, pelo auxílio nos experimentos, companheirismo durante o mestrado, amizade, carinho e simpatia. Agradeço também pelo exemplo de profissionalismo, foco e dedicação.

Ao professor Dr. Raimundo Nonato Oliveira Silva, pelas contribuições e pela disposição em colaborar com as análises estatísticas deste estudo.

Ao professor Dr. Rafael de Souza Miranda, pelos ensinamentos e pela prontidão em auxiliar na realização das análises bioquímicas.

À professora Dra. Lívia do Vale Martins e à sua coorientanda Márcia Vieira de Sousa, pelo apoio e ensinamentos na avaliação da viabilidade polínica.

Ao professor Dr. Marcones Ferreira Costa, pela colaboração na submissão dos artigos e nos trâmites envolvidos.

Ao professor Dr. Carlos Humberto Aires Matos Filho, pelas conversas descontraídas e pela disposição em ajudar no transporte dos materiais utilizados nos experimentos.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, em especial os professores da área de Genética e Melhoramento, pelos valiosos ensinamentos e pela convivência respeitosa e colaborativa.

Às amigas de turma Júnia Mariza Alves Araújo e Yasmin Borges Diniz, pela amizade, carinho e apoio ao longo do mestrado.

Aos amigos Dr. Gérson do Nascimento Costa Ferreira, pelos conhecimentos e ensinamentos sobre pimenteiros ornamentais; Ma. Maria Santa de Sousa Silva e Ma. Michelle dos Santos Nascimento, pela amizade e pelos momentos de diversão.

Aos colegas do grupo de pesquisa com plantas ornamentais do Laboratório de Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas (ORN – RGMP), João Gilberto Soares Xavier, Júlio Alves de Oliveira Filho, Luciano Rodrigues de Almeida, Marcos Henrique do Nascimento Franco, Mônica Vilanova Santos Alves e Raissa Matos Monção, pelo auxílio na condução e coleta dos dados nos experimentos em telado.

Aos parceiros nas análises fisiológicas e bioquímicas, Luana Ribeiro da Silva, Marcos Vinícius Carvalho de Castro e Paulo Egdio Araújo Ferreira, pela colaboração e dedicação durante as longas horas de trabalho.

A João Vitor Morais Sousa, pela disponibilidade em obter imagens aéreas do experimento com o uso de drone.

À Me. Maria Valnice de Souza Silveira, Me. Renato Oliveira de Sousa e Me. Teonis Batista da Silva, pelos ensinamentos e suporte na condução das análises bioquímicas.

Aos colegas do Laboratório RGMP, que não cito nominalmente por se tratar de um grupo numeroso, agradeço pela união, amizade, momentos de descontração no laboratório e no campo, e na confiança depositada em mim pelos conselhos sobre elaboração de relatórios, monografias e apresentações – tanto os egressos quanto os que ainda integram o grupo.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia e da Ridesa – Ana Célia Sousa, Cibele Fernandes, Francisca das Chagas, Joelto Pires, Leudimar Aires e Vanessa Santos – pelo apoio nas tarefas diárias.

Aos meus pais, Arlete dos Santos Viana, pelo seu amor incondicional, pelas palavras de incentivo e por sempre estender a mão nas conquistas e dificuldades, e Carlos Antônio de Lisboa Ferraz, que pôde conhecer um pouco do trabalho e colaborou na coleta de dados e na rega das plantas aos sábados.

E a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, deixo meus sinceros agradecimentos.

"Proteger o nosso planeta nunca foi tão importante ou urgente. Em minhas aventuras pelos polos da Terra – locais extremos, espetaculares e perigosos – eu mesmo vi as geleiras encolhendo, as camadas de gelo derretendo e os ursos polares lutando para sobreviver.

(...) Com evidências claras mostrando que são nossas ações diárias que impulsionam as mudanças climáticas, precisamos apenas de um pouco mais de compreensão, compromisso e motivação para criar as soluções que o nosso planeta necessita."

David de Rothschild
Ambientalista, explorador e ativista

RESUMO GERAL

As mudanças climáticas, especialmente o aumento da temperatura média global, representam uma ameaça significativa à agricultura, afetando o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das plantas. Dentre as culturas impactadas, destacam-se as pimenteiiras do gênero *Capsicum*, cujas respostas ao estresse térmico têm despertado interesse crescente na comunidade científica. Assim, o presente trabalho objetivou analisar o panorama das pesquisas sobre a tolerância de pimenteiiras ao estresse térmico e avaliar acessos com potencial ornamental quanto à tolerância a altas temperaturas. No primeiro capítulo, realizou-se uma análise bibliométrica com base em publicações indexadas nas bases de dados Scopus® e Web of Science™, utilizando o pacote estatístico Bibliometrix no programa R. Foram identificados 85 documentos publicados entre 1989 e 2024. Observou-se aumento expressivo no número de estudos nos últimos seis anos, com ênfase em temas como mecanismos bioquímicos, fisiológicos e moleculares relacionados à tolerância ao calor. Seis periódicos se destacaram pelo volume de publicações e impacto, entre eles “*Frontiers in Plant Science*”, “*International Journal of Molecular Sciences*” e “*Journal of Experimental Botany*”. Os países com maior produção científica sobre o tema foram a China e os Estados Unidos. Apesar da relevância global do tema, verificou-se escassez de estudos direcionados a pimenteiiras ornamentais, bem como a ausência de pesquisas no Brasil, evidenciando a necessidade de mais estudos voltados ao desenvolvimento de cultivares adaptadas ao calor, especialmente para utilização na floricultura. No segundo capítulo, avaliou-se a tolerância às altas temperaturas de seis acessos de pimenteiiras com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí. Dois experimentos foram conduzidos simultaneamente em telados com temperaturas distintas, entre abril e novembro de 2024, em delineamento inteiramente casualizado, com dez repetições. Foram analisados descritores morfológicos e agrônômicos quantitativos, além de variáveis fisiológicas e bioquímicas, como viabilidade polínica, extravasamento de eletrólitos e atividade antioxidante. A análise de componentes principais e o índice de tolerância ao calor permitiram classificar os acessos quanto ao grau de termotolerância. O acesso BGC-UFPI 207 destacou-se como termotolerante, demonstrando bom desempenho produtivo, baixo acúmulo de peróxido de hidrogênio, elevada atividade antioxidante, alta viabilidade polínica e características ornamentais satisfatórias. Os acessos BGC-UFPI 203 e BGC-UFPI 258 foram classificados como moderadamente tolerantes, enquanto BGC-UFPI 100, BGC-UFPI 224 e BGC-UFPI 257 foram considerados susceptíveis ao estresse térmico. Os resultados indicaram o acesso BGC-UFPI 207 como promissor para uso ornamental e como genitor em programas de melhoramento genético voltados ao desenvolvimento de cultivares termotolerantes. Esta dissertação contribui para preencher uma lacuna de conhecimentos sobre o tema no Brasil e oferece suportes teóricos e práticos para a seleção de genótipos de pimenteiiras com potencial ornamental mais adaptados às altas temperaturas.

Palavras-chave: *Capsicum annuum* L.; análise bibliométrica; estresse térmico; termotolerância; pimentas ornamentais.

GENERAL ABSTRACT

Climate change, particularly the rise in global average temperature, poses a significant threat to agriculture by affecting plant growth, development, and productivity. Among the impacted crops, pepper plants of the *Capsicum* genus stand out, whose responses to heat stress have attracted increasing interest from the scientific community. This dissertation aimed to (i) analyze the current state of research on heat stress tolerance in *Capsicum* species and (ii) experimentally evaluate the heat tolerance of pepper accessions with ornamental potential. The first chapter consisted of a bibliometric analysis based on publications indexed in the Scopus® and Web of Science™ databases, using the Bibliometrix statistical package in the R software. A total of 85 documents published between 1989 and 2024 were identified. A significant increase in the number of studies was observed over the last six years, with emphasis on biochemical, physiological, and molecular mechanisms related to heat tolerance. Six journals stood out in terms of publication volume and impact, including *Frontiers in Plant Science*, *International Journal of Molecular Sciences*, and *Journal of Experimental Botany*. China and the United States were the leading countries in scientific production on this topic. The main research focuses aimed to elucidate the biochemical and molecular mechanisms associated with thermotolerance and resistance to *Ralstonia solanacearum* in pepper plants. Despite the global relevance of the subject, there is a notable gap in studies focused on ornamental peppers, as well as an absence of Brazilian research in this area, highlighting the need for further studies aimed at developing heat-adapted cultivars, particularly for ornamental horticulture. The second chapter evaluated the heat tolerance of six *Capsicum annuum* L. accessions with ornamental potential. Two experiments were conducted simultaneously under shade houses with contrasting temperature conditions, from April to November 2024, in a completely randomized design with ten replications. Quantitative morphological and agronomic descriptors were assessed, along with physiological and biochemical variables such as pollen viability, electrolyte leakage, and antioxidant activity. Principal component analysis (PCA) and the heat tolerance index were used to classify the accessions according to their degree of thermotolerance. The accession BGC-UFPI 207 was identified as heat-tolerant, showing good productive performance, low hydrogen peroxide accumulation, high antioxidant activity, high pollen viability, and satisfactory ornamental traits. Accessions BGC-UFPI 203 and BGC-UFPI 258 were classified as moderately tolerant, whereas BGC-UFPI 100, BGC-UFPI 224, and BGC-UFPI 257 were considered susceptible to heat stress. The results point to BGC-UFPI 207 as a promising candidate for ornamental use and as a parent in breeding programs aimed at developing thermotolerant cultivars. This dissertation contributes to filling a knowledge gap in Brazil and provides both theoretical and practical support for the selection of ornamental *Capsicum* genotypes better adapted to high temperatures.

Keywords: *Capsicum annuum* L.; bibliometric analysis; heat stress; thermotolerance; ornamental peppers.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figura 1 – Representação esquemática ilustrando a origem e as rotas de dispersão das espécies do gênero *Capsicum*. As formas geométricas coloridas simbolizam os diferentes clados e suas distribuições geográficas. As setas indicam a direção da dispersão das espécies22
- Figura 2 – Valor da produção de pimenteiras do gênero *Capsicum* por estado brasileiro e pelo Distrito Federal, conforme dados do Censo Agropecuário de 201726
- Figura 3 – Variabilidade fenotípica das flores e frutos em acessos de pimenteiras com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.) oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC – UFPI)28
- Figura 4 – Principais efeitos das altas temperaturas sobre características morfológicas, agronômicas, fisiológicas e moleculares em pimenteiras do gênero *Capsicum*36

Capítulo 2

- Figura 5 – Fluxograma mostrando as etapas e procedimentos empregados para a realização da análise bibliométrica sobre a tolerância de pimenteiras do gênero *Capsicum* às altas temperaturas58
- Figura 6 – Visão geral das informações bibliométricas obtidas de documentos extraídos das bases de dados Scopus® e Web of Science™ relacionados à tolerância de pimenteiras do gênero *Capsicum* às altas temperaturas59
- Figura 7 – Evolução do número de documentos científicos publicados entre 1989 e 2024 e indexados nas bases de dados Scopus® e Web of Science™ relacionados à tolerância de pimenteiras do gênero *Capsicum* às altas temperaturas60
- Figura 8 – Evolução do número de citações anuais de documentos científicos publicados entre 1989 e 2024 e indexados nas bases de dados Scopus® e Web of Science™ relacionados à tolerância de pimenteiras do gênero *Capsicum* às altas temperaturas61
- Figura 9 – Distribuição do número de estudos científicos publicados entre 1989 e 2024 sobre a tolerância de pimenteiras do gênero *Capsicum* às altas temperaturas segundo a Lei de Bradford62

Figura 10 – Índices de colaboração entre países com base na afiliação do autor correspondente em estudos sobre a tolerância de pimenteiros do gênero <i>Capsicum</i> às altas temperaturas entre 1989 e 2024	67
Figura 11 – Colaborações internacionais estabelecidas entre diferentes países com base na afiliação do autor correspondente de estudos relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero <i>Capsicum</i> às altas temperaturas entre 1989 e 2024	68
Figura 12 – Produtividade observada dos autores por meio da Lei de Lotka	72
Figura 13 – Frequência das dez palavras-chave mais citadas em artigos científicos sobre a tolerância de pimenteiros do gênero <i>Capsicum</i> às altas temperaturas no período de 1989 a 2024	76
Figura 14 – Análise de agrupamento das palavras-chave mais citadas em artigos científicos sobre a tolerância de pimenteiros do gênero <i>Capsicum</i> às altas temperaturas no período de 1989 a 2024	79

Capítulo 3

Figura 15 – Vista aérea da área experimental do estudo, mostrando os dois telados denominados “Ambiente 1” e “Ambiente 2”, localizados no Departamento de Fitotecnia do CCA/UFPI, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024	102
Figura 16 – Registro mensal das temperaturas mínima, média e máxima, e da umidade relativa média, nos dois ambientes utilizados para a avaliação da tolerância às altas temperaturas dos seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (<i>Capsicum annuum</i> L.), oriundos do Banco de Germoplasma de <i>Capsicum</i> da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), na cidade de Teresina, PI, Brasil.....	103
Figura 17 – Viabilidade polínica dos seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (<i>Capsicum annuum</i> L.), oriundos do Banco de Germoplasma de <i>Capsicum</i> da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), avaliados em dois ambientes com temperaturas distintas em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024	124
Figura 18 – Grãos de pólen dos seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (<i>Capsicum annuum</i> L.), oriundos do Banco de Germoplasma de <i>Capsicum</i> da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), avaliados em dois ambientes com temperaturas distintas	125
Figura 19 – Extravasamento de eletrólitos dos seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (<i>Capsicum annuum</i> L.), oriundos do Banco de Germoplasma de <i>Capsicum</i> da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), avaliados em dois ambientes com temperaturas distintas em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024	127

Figura 20 – Teor de peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂) e atividade enzimática da superóxido dismutase (SOD) avaliados em seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (<i>Capsicum annuum</i> L.), oriundos do Banco de Germoplasma de <i>Capsicum</i> da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), conduzidos em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024	129
Figura 21 – Atividade enzimática da ascorbato peroxidase (APX) e peroxidase (POD) avaliadas em seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (<i>Capsicum annuum</i> L.), oriundos do Banco de Germoplasma de <i>Capsicum</i> da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), conduzidos em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024	130
Figura 22 – Teor de proteínas totais avaliado em seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (<i>Capsicum annuum</i> L.), oriundos do Banco de Germoplasma de <i>Capsicum</i> da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), conduzidos em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024	131
Figura 23 – Dispersão gráfica com base nos dois primeiros componentes principais, obtidos a partir da análise de seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (<i>Capsicum annuum</i> L.), oriundos do Banco de Germoplasma de <i>Capsicum</i> da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), avaliados em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024	134
Figura 24 – Classificação dos seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (<i>Capsicum annuum</i> L.), oriundos do Banco de Germoplasma de <i>Capsicum</i> da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), quanto ao grau de tolerância às altas temperaturas, com base no índice de tolerância ao calor (ITC).....	136
Figura 25 – Representação dos seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (<i>Capsicum annuum</i> L.) oriundos do Banco de Germoplasma de <i>Capsicum</i> da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), em vistas frontal e superior, avaliados em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024	139

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

Tabela 1 – Relação dos dez periódicos mais prolíficos entre 1989 e 2024 sobre estudos científicos relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero <i>Capsicum</i> às altas temperaturas	63
Tabela 2 – Relação dos dez periódicos mais citados globalmente, ordenados pelo número total de citações (NTC), entre 1989 e 2024, sobre estudos científicos relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero <i>Capsicum</i> às altas temperaturas	64
Tabela 3 – Análise da produção científica dos dez países mais produtivos, ordenados pelo número total de citações (NTC), sobre estudos relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero <i>Capsicum</i> às altas temperaturas entre 1989 e 2024.....	66
Tabela 4 – Evolução temporal da produção científica dos dez países mais produtivos, ordenados pelo número total acumulado de publicações (NTP), ao longo de três períodos temporais em estudos sobre a tolerância de pimenteiros do gênero <i>Capsicum</i> às altas temperaturas.....	69
Tabela 5 – Relação dos dez autores mais prolíficos, ordenados pelo número total de citações (NTC), em estudos relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero <i>Capsicum</i> às altas temperaturas entre 1989 e 2024	71
Tabela 6 – Relação dos dez artigos científicos mais citados, ordenados pelo número total de citações (NTC), relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero <i>Capsicum</i> às altas temperaturas entre 1989 e 2024	74
Tabela 7 – Evolução da frequência de citações das dez palavras-chave mais citadas, ordenadas pela frequência acumulada, em artigos científicos relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero <i>Capsicum</i> às altas temperaturas durante três períodos temporais	77

Capítulo 3

Tabela 8 – Relação dos seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (<i>Capsicum annuum</i> L.), oriundos do Banco de Germoplasma de <i>Capsicum</i> da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), avaliados em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024.....	101
Tabela 9 – Quadrados médios referentes aos 15 descritores quantitativos, além da viabilidade polínica, extravasamento de eletrólitos, teor de peróxido de hidrogênio e proteínas totais e atividade de enzimas antioxidantes, avaliados em seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (<i>Capsicum annuum</i> L.), oriundos do Banco de Germoplasma de <i>Capsicum</i> da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), cultivados em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024	114

Tabela 10 – Médias dos 15 descritores quantitativos avaliados em seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (<i>Capsicum annuum</i> L.), oriundos do Banco de Germoplasma de <i>Capsicum</i> da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), conduzidos em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024 (continua).....	119
Tabela 11 – Componentes principais, autovalores, porcentagem da variância explicada e proporção acumulada para seis descritores quantitativos e variáveis fisiológicas e bioquímicas avaliados em seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (<i>Capsicum annuum</i> L.), oriundos do Banco de Germoplasma de <i>Capsicum</i> da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), conduzidos em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024	132
Tabela 12 – Autovetores associados aos dois primeiros componentes principais, obtidos a partir de seis descritores quantitativos e variáveis fisiológicas e bioquímicas, avaliados em seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (<i>Capsicum annuum</i> L.), oriundos do Banco de Germoplasma de <i>Capsicum</i> da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), conduzidos em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024.....	133

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	16
2	ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL	19
3	CAPÍTULO 1: REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1	Origem, domesticação e dispersão das pimenteiras do gênero <i>Capsicum</i>	20
3.2	Importância das pimenteiras do gênero <i>Capsicum</i>	23
3.3	A espécie <i>Capsicum annuum</i> L.	26
3.4	Pimenteiras ornamentais: mercado e potencial econômico	28
3.5	As altas temperaturas e seus impactos nas pimenteiras	32
3.5.1	O aquecimento global e a produtividade agrícola	32
3.5.2	Os efeitos do estresse térmico em pimenteiras	33
3.5.3	Metodologias para avaliação de genótipos quanto à termotolerância	37
3.5.4	Os desafios do clima de Teresina – PI para a produção e comercialização de plantas ornamentais	41
	Referências	43
4	CAPÍTULO 2: TENDÊNCIAS E DESCOBERTAS CIENTÍFICAS SOBRE A TOLERÂNCIA DE PIMENTEIRAS (<i>Capsicum</i> spp.) ÀS ALTAS TEMPERATURAS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	53
	RESUMO	53
	ABSTRACT	54
4.1	Introdução	55
4.2	Material e métodos	57
4.3	Resultados	59
4.3.1	Panorama bibliométrico da produção científica sobre tolerância de pimenteiras do gênero <i>Capsicum</i> às altas temperaturas	59
4.3.2	Periódicos mais prolíficos e citados globalmente e Lei de Bradford	61
4.3.3	Produção científica por países e redes de colaborações	65
4.3.4	Autores mais prolíficos e Lei de Lotka	70
4.3.5	Artigos mais citados sobre tolerância de pimenteiras do gênero <i>Capsicum</i> às altas temperaturas	73
4.3.6	Palavras-chave mais citadas globalmente e análise de agrupamento temático	75
4.4	Discussão	80

4.5 Conclusão	89
Referências	90
5 CAPÍTULO 3: AVALIAÇÃO DE ACESSOS DE PIMENTEIRAS COM POTENCIAL ORNAMENTAL PARA A TOLERÂNCIA ÀS ALTAS TEMPERATURAS	97
RESUMO	97
ABSTRACT	98
5.1 Introdução	99
5.2 Material e métodos	101
5.2.1 Caracterização morfológica e avaliação agrônômica dos acessos de pimenteiras com potencial ornamental	101
5.2.2 Viabilidade polínica	105
5.2.3 Extravasamento de eletrólitos	106
5.2.4 Análises bioquímicas	107
5.2.4.1 <i>Determinação do teor de peróxido de hidrogênio</i>	108
5.2.4.2 <i>Determinação do teor de proteínas totais</i>	108
5.2.4.3 <i>Determinação da atividade da superóxido dismutase</i>	109
5.2.4.4 <i>Determinação da atividade da ascorbato peroxidase</i>	109
5.2.4.5 <i>Determinação da atividade da peroxidase</i>	110
5.2.5 Análises estatísticas	110
5.3 Resultados	113
5.3.1 Análise de variância e teste de comparação de médias dos descritores quantitativos	113
5.3.2 Viabilidade polínica e extravasamento de eletrólitos	123
5.3.3 Análises bioquímicas	127
5.3.4 Análise de componentes principais	131
5.3.5 Índice de tolerância ao calor	136
5.4 Discussão	145
5.5 Conclusão	160
Referências	161
CONSIDERAÇÕES FINAIS	168
APÊNDICES	169
ANEXO.....	176

1 INTRODUÇÃO GERAL

As pimenteiras do gênero *Capsicum* incluem mais de 40 espécies, distribuídas entre os estágios silvestre, semidomesticado e domesticado (Carvalho; Bianchetti, 2008; Almeida *et al.*, 2020a). Atualmente, cinco dessas espécies são reconhecidas como totalmente domesticadas pelo ser humano (Liu *et al.*, 2023).

O gênero *Capsicum* é nativo das Américas, com registros de uso por povos indígenas mexicanos há cerca de sete mil anos (Liu *et al.*, 2023). Durante as Grandes Navegações do século XV, colonizadores europeus disseminaram as pimenteiras para outros continentes, onde se tornaram especiarias valiosas e adquiriram prestígio nas culinárias locais ao redor do mundo (Ribeiro *et al.*, 2020).

O Brasil é um centro de diversidade do gênero *Capsicum*, abrigando espécies em diferentes estágios de domesticação (Almeida *et al.*, 2020a), incluindo *Capsicum chinense*, espécie domesticada pelos indígenas amazônidas (Cruz *et al.*, 2022), além de várias espécies endêmicas na Mata Atlântica (Cavalcanti *et al.*, 2024).

A pungência, característica marcante das pimenteiras, deve-se à presença dos capsaicinoides, alcaloides exclusivos do gênero *Capsicum* (Zhang *et al.*, 2021), cuja concentração varia entre espécies e variedades (Naves *et al.*, 2019). Os frutos das pimenteiras oferecem diversos benefícios à saúde, devido às propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimutagênicas de seus componentes químicos (Antonio; Wiedemann; Veiga Junior, 2018).

O mercado de pimentas tem significativa importância econômica para a agricultura e a indústria alimentícia, sendo fonte de renda para pequenos e médios produtores (Henz; Ribeiro, 2008; Reifschneider; Ribeiro, 2008). Além do uso culinário, pimenteiras do gênero *Capsicum* têm sido cultivadas como plantas ornamentais devido à variabilidade genética do gênero (Costa *et al.*, 2019).

Esse grupo de plantas apresenta características morfológicas interessantes, como porte compacto, diversidade de cores, formatos e tamanhos de frutos, além de coloração variada na folhagem, que aumentam seu valor estético e aceitação no mercado (Neitzke *et al.*, 2016). No entanto, no Brasil, as variedades comerciais de pimenteiras ornamentais são limitadas, com poucas opções disponíveis no mercado (Costa *et al.*, 2019).

Para superar essa limitação, instituições de pesquisa brasileiras têm investido em programas de melhoramento genético para seleção de genótipos de pimenteiras

com potencial ornamental (Costa *et al.*, 2019; Fortunato *et al.*, 2019; Acevedo *et al.*, 2020; Costa *et al.*, 2021; Rêgo *et al.*, 2022b; Ferreira, 2023). Contudo, no Brasil, ainda são escassos estudos voltados para avaliação da tolerância de pimenteiras ornamentais às altas temperaturas, um fator ambiental importante que pode limitar a produção de plantas ornamentais, principalmente diante de um cenário de mudanças climáticas.

Para entender os potenciais impactos do aquecimento global na produção de pimenteiras, diversos estudos experimentais realizados nas últimas duas décadas têm demonstrado que temperaturas entre 33 °C e 40 °C provocam efeitos adversos, como abortamento de flores e frutos, redução da produção (Erickson; Markhart, 2001, 2002) e baixa viabilidade do pólen (Rajeswari *et al.*, 2023; Thakur *et al.*, 2023). Altas temperaturas também aumentam a transpiração, reduzem a taxa fotossintética e os níveis de clorofila (Hussain *et al.*, 2021; Rajametov *et al.*, 2021), promovem a produção de espécies reativas de oxigênio (Huang *et al.*, 2021) e comprometem a integridade da membrana celular (Usman *et al.*, 2014, 2015; Gisbert-Mullor *et al.*, 2023).

Diante desses desafios, é fundamental que os programas de melhoramento genético avaliem os efeitos do estresse térmico, selecionando genótipos promissores com tolerância às altas temperaturas e que garantam uma produção economicamente viável (Wahid *et al.*, 2007).

Diversas abordagens são empregadas para avaliar a tolerância de genótipos às altas temperaturas, como testes em campo e em casa de vegetação sob diferentes condições térmicas, utilizando descritores morfológicos e avaliações agronômicas (Valadares, 2018; Riaz *et al.*, 2021), abordagens fisiológicas que incluem parâmetros de trocas gasosas (Hussain *et al.*, 2021), produção de espécies reativas de oxigênio (Ali *et al.*, 2020), enzimas antioxidantes (Bello *et al.*, 2023), extravasamento de eletrólitos (Usman *et al.*, 2014, 2015; Bala; Sikder, 2017), viabilidade do pólen (Reddy; Kakani, 2007; Oliveira *et al.*, 2020) e abordagens moleculares, como expressão de fatores de transcrição relacionados ao estresse térmico (Wang *et al.*, 2019) e produção de proteínas de choque térmico (Srivastava *et al.*, 2022).

Apesar desses avanços, persistem lacunas quanto ao impacto das altas temperaturas em pimenteiras ornamentais, tanto no Brasil quanto em outros países. Além disso, a constante publicação de novos estudos e indexação em diferentes bases de dados (Cui *et al.*, 2022) dificulta a atualização sistemática do conhecimento (Aria; Cuccurullo, 2017). No contexto dos efeitos das altas temperaturas sobre as

pimenteiras, há aspectos amplamente discutidos e compreendidos, enquanto outros permanecem como lacunas científicas.

Para abordar essas questões, as análises bibliométricas emergem como uma ferramenta valiosa. Elas utilizam técnicas estatísticas para realizar avaliações quantitativas e qualitativas de um grande volume de documentos científicos (Suhaimi; Mahmud, 2022). Essas análises permitem identificar tendências e tópicos emergentes sobre um determinado assunto, bem como lacunas no conhecimento, contribuindo para o planejamento de novas linhas de pesquisa (De Natale *et al.*, 2023).

Com base nas lacunas científicas identificadas, esta dissertação propõe responder às seguintes questões científicas:

- a.** Quais são os principais avanços e lacunas na literatura científica sobre a tolerância de pimenteiras do gênero *Capsicum* às altas temperaturas?
- b.** Existem acessos de pimenteiras com potencial ornamental, oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí, que sejam tolerantes às altas temperaturas e, em caso afirmativo, quais características os diferenciam dos acessos não tolerantes?

2 ESTRATÉGIA EXPERIMENTAL

Esta dissertação está estruturada em três capítulos. O **Capítulo 1**, referente à revisão de literatura, está organizado em três seções secundárias essenciais para auxiliar na contextualização e fundamentação da pesquisa realizada. A seção 3.1 dedica-se à cultura das pimenteiros, abordando sua origem, diversificação, importância econômica, medicinal e comercial, além da descrição botânica da espécie *Capsicum annuum* L., espécie foco do estudo. A seção 3.2 trata do mercado floricultor no Brasil e das pimenteiros ornamentais, ressaltando sua relevância, os estudos já realizados e as lacunas científicas existentes. Por fim, a seção 3.3 discute a problemática central da pesquisa, analisando os impactos das mudanças climáticas e das altas temperaturas no cultivo de pimenteiros, além das metodologias para avaliação e seleção de materiais termotolerantes. Essa estrutura possibilita uma visão abrangente do tema e embasa as discussões ao longo da dissertação.

O **Capítulo 2** tem como objetivo responder à questão científica “a” apresentada na introdução geral. Diante dos resultados obtidos nesse capítulo, foi realizado um estudo experimental (**Capítulo 3**) com o objetivo de responder à questão científica “b”. A metodologia utilizada, assim como os principais resultados encontram-se detalhados nos capítulos.

3 CAPÍTULO 1

REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Origem, domesticação e dispersão das pimenteiras do gênero *Capsicum*

Antes da chegada dos primeiros colonizadores europeus ao continente americano durante as Grandes Navegações do século XV e XVI, as pimenteiras do gênero *Capsicum* já eram amplamente utilizadas pelos indígenas ameríndios, que empregavam essas plantas como condimento alimentar e em práticas de caça. Ao explorarem o Novo Mundo em busca de especiarias, os colonizadores perceberam o potencial das pimenteiras como tempero e promoveram sua disseminação por outros continentes. Cinco séculos após o “descobrimento das Américas”, as pimenteiras se consolidaram como produtos de destaque no mercado global de especiarias pungentes (Reifschneider; Ribeiro, 2008).

O continente americano, especialmente a América Central e do Sul, é considerado o centro de origem do gênero *Capsicum* (Almeida *et al.*, 2020a). Essa conclusão baseia-se em evidências arqueológicas locais, nos relatos dos europeus, que desconheciam a existência dessas plantas antes das Grandes Navegações, e na distribuição atual das espécies não domesticadas (Carvalho; Bianchetti, 2008).

O gênero *Capsicum* (do grego *Kapso*, que significa picar ou arder) pertence à família botânica Solanaceae, que também inclui plantas de grande importância econômica, como o tomate (*Solanum lycopersicum*), a batatinha (*Solanum tuberosum*), a berinjela (*Solanum melongena*) e o jiló (*Solanum aethiopicum*) (Souza; Lorenzi, 2012). Este gênero abrange mais de 40 espécies, das quais cinco foram domesticadas pelo ser humano: *Capsicum annuum* L. var. *annuum*, *Capsicum baccatum* var. *pendulum* (Wild.) Eshbaugh, *Capsicum chinense* Jacquin, *Capsicum frutescens* L. e *Capsicum pubescens* Ruiz & Pavon (Carvalho; Bianchetti, 2008; Almeida *et al.*, 2020a). Entre elas, *Capsicum pubescens* é a única não cultivada no Brasil, devido à sua adaptação natural a climas frios e de altitudes elevadas (Ribeiro *et al.*, 2020).

As pimenteiras do gênero *Capsicum* são originárias da América Central e do Sul. Uma reconstrução filogenética realizada por Carrizo García *et al.* (2016), baseada em dois marcadores plastidiais e um gene nuclear, revelou que *Capsicum* é grupo-

irmão do gênero *Lycianthes*, e que ambos divergiram há cerca de 13 milhões de anos, durante a época Miocena (23,03 a 5,33 milhões de anos atrás). Evidências sugerem que os ancestrais de *Capsicum* tenham surgido em uma ampla área que hoje corresponde a partes da Colômbia, Equador e Peru. A dispersão e evolução das espécies teriam seguido uma rota no sentido horário pela América do Sul: começando ao norte da Bacia Amazônica, passando pelas regiões nordeste e sudeste do Brasil, para o sudoeste e oeste da América do Sul, e, finalmente, em direção à América Central (Figura 1).

Atualmente, as espécies de *Capsicum* estão organizadas em 11 clados (Figura 1). O clado Andino é o mais antigo, com cerca de dez milhões de anos, enquanto o clado Annuum é o mais recente, com aproximadamente seis milhões de anos. Estima-se que a diversidade genética atual de *Capsicum* tenha se desenvolvido entre um e três milhões de anos atrás, durante o período Quaternário (2,58 milhões de anos atrás até o presente) (Carrizo García *et al.*, 2016).

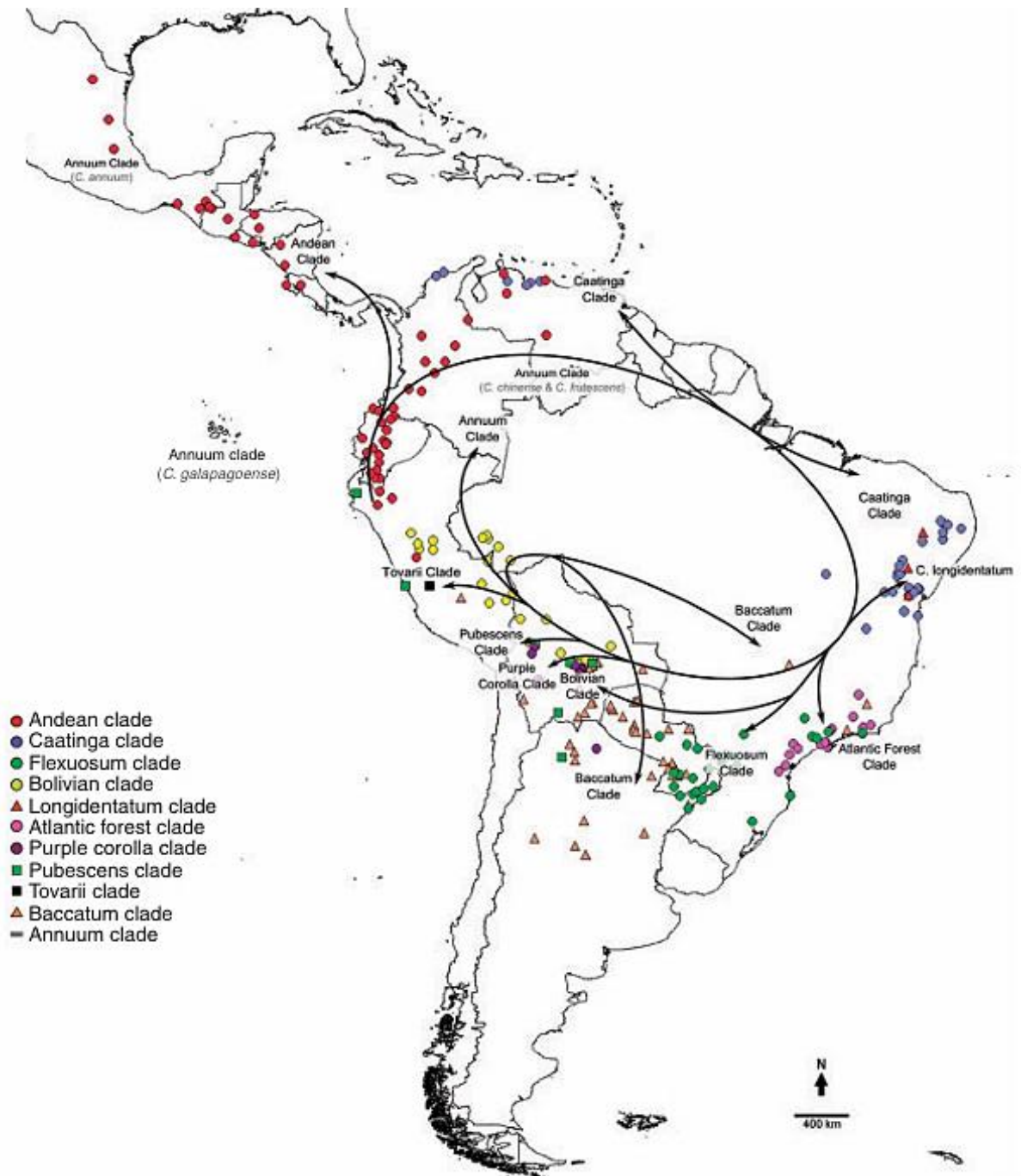


Figura 1 – Representação esquemática ilustrando a origem e as rotas de dispersão das espécies do gênero *Capsicum*. As formas geométricas coloridas simbolizam os diferentes clados e suas distribuições geográficas. As setas indicam a direção da dispersão das espécies.

Fonte: Carrizo García *et al.* (2016).

Tradução: *Andean clade* – clado Andino. *Caatinga clade* – clado Caatinga. *Flexuosum clade* – clado Flexuosum. *Bolivian clade* – clado Boliviano. *Longidentatum clade* – clado Longidentatum. *Atlantic forest clade* – clado Mata Atlântica. *Purple corolla clade* – clado corola roxa. *Pubescens clade* – clado Pubescens. *Tovarii clade* – clado Tovarii. *Baccatum clade* – clado Baccatum. *Annuum clade* – clado Annuum.

Quanto ao processo de domesticação, as cinco espécies domesticadas de *Capsicum* passaram por processos independentes de domesticação em diferentes regiões do continente americano. *C. annuum* e *C. frutescens* foram domesticadas pelos povos indígenas da Mesoamérica, uma região que abrange do centro do México ao noroeste da Costa Rica, enquanto *C. baccatum* e *C. pubescens* foram domesticadas na região andina da Bolívia. Já *C. chinense* foi domesticada nas planícies tropicais da Bacia Amazônica, sendo considerada a espécie “mais brasileira” entre as demais (Carvalho *et al.*, 2014; Almeida *et al.*, 2020a).

As primeiras seleções realizadas pelos antigos povos americanos priorizaram plantas com frutos grandes, não decíduos (que não caem naturalmente) e pendentes, características que facilitavam a colheita e minimizavam perdas na produção (Ribeiro *et al.*, 2020).

3.2 Importância das pimenteiras do gênero *Capsicum*

As pimenteiras do gênero *Capsicum* têm diversas aplicações, sendo apreciadas na culinária pela pungência característica. Seus frutos são amplamente utilizados como condimentos em pratos típicos e podem ser consumidos frescos ou processados em produtos como molhos, corantes, geleias, páprica, entre outros (Henz; Ribeiro, 2008; Finger; Pereira, 2016).

A pungência é a principal característica que torna as pimenteiras tão populares entre os consumidores. Essa qualidade é atribuída aos capsaicínoides, um grupo de alcalóides onde predominam a capsaicina e a diidrocapsaicina, que representam de 89% a 98% dos capsaicínoides em frutos frescos. A concentração desses compostos varia de acordo com a espécie, condições ambientais e estágio de maturação dos frutos. A biossíntese dos capsaicínoides ocorre predominantemente na placenta dos frutos, onde estão em maior concentração, sendo menos abundantes nas sementes (Antonio; Wiedemann; Veiga Junior, 2018).

Os capsaicínoides são exclusivos do gênero *Capsicum*, representando uma característica evolutiva única em relação ao gênero-irmão *Lycianthes*. Em algumas variedades, como os pimentões, a pungência está ausente, refletindo uma reversão dessa característica (Carrizo García *et al.*, 2016). Quando o fruto é lesionado, os capsaicínoides são liberados, ativando receptores químicos na boca que causam sensação de queimação. O grau de pungência das pimentas é medido, embora não

seja muito precisa, pela Escala de Calor Scoville (SHU, do inglês *Scoville Heat Unit*), que permite comparar a intensidade do “ardor”, com valores que vão de zero (para pimentas não pungentes, como os pimentões) (Lopes, 2008) a mais de dois milhões, como na cultivar híbrida Carolina Reaper (*C. chinense*), recordista em pungência (Naves *et al.*, 2019).

Em relação à composição química, os componentes das pimenteiras são divididos em dois grupos principais. O primeiro inclui os capsaicinoides e outros compostos responsáveis pelo sabor, aroma e coloração dos frutos. O segundo grupo abrange nutrientes como fibras, carboidratos, lipídios, proteínas, sais minerais e vitaminas (Lutz; Freitas, 2008). A concentração desses componentes varia conforme a espécie, variedade, estágio de desenvolvimento da planta e condições ambientais (Antonio; Wiedemann; Veiga Junior, 2018).

As pimenteiras do gênero *Capsicum* oferecem diversos benefícios à saúde, destacando-se pelo baixo teor calórico de seus frutos (22 a 105kcal/100g de frutos), elevado teor de fibras, sais minerais e vitaminas. Eles auxiliam na digestão, contribuem para o equilíbrio hídrico corporal e contêm antioxidantes naturais (Lutz; Freitas, 2008).

Os frutos são ricos em vitaminas A, C e E, além de carotenoides e flavonoides (Finger; Pereira, 2016; Almeida *et al.*, 2020a). A vitamina A (retinol) é fundamental para a saúde ocular, o desenvolvimento do sistema ósseo e fetal, e previne a cegueira noturna (Carazo *et al.*, 2021). A vitamina C (ácido ascórbico) atua como antioxidante ao neutralizar espécies reativas de oxigênio, sendo também cofator enzimático e participa na biossíntese de colágeno (Fenech *et al.*, 2019). A vitamina E (tocoferol) previne a oxidação de ácidos graxos, importantes para a integridade do sistema nervoso, por exemplo (Tardy *et al.*, 2020).

Os carotenoides, como α -caroteno, β -caroteno e β -criptoxantina, conferem coloração às flores e frutos das pimenteiras e possuem ação antioxidante e antimutagênica, além de serem precursores de vitamina A. Essas substâncias também protegem moléculas fotossintéticas das plantas contra a oxidação. Por outro lado, os flavonoides, que dão cor a caules, folhas, anteras, pétalas e frutos, têm propriedades antioxidantes, antialérgicas e anti-inflamatórias, além de auxiliar na atração de animais polinizadores (Almeida *et al.*, 2020a; Antonio; Wiedemann; Veiga Junior, 2018).

Os capsaicinoides têm sido estudados por seus benefícios antioxidantes, anti-inflamatórios, anticancerígenos e antiobesidade (Zeng *et al.*, 2023). A capsaicina, em especial, é usada como princípio ativo em medicamentos analgésicos tópicos para o alívio de dores musculoesqueléticas (Batiha *et al.*, 2020).

Além de sua relevância culinária, o cultivo e comercialização de pimentas geram renda para pequenos agricultores familiares, que as vendem em feiras e estradas, e também para médios e grandes produtores que utilizam tecnologias modernas para a produção de pimentas processadas destinadas à exportação e ao mercado nacional.

De acordo com os dados mais recentes do Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2017, a produção nacional de pimenteiras do gênero *Capsicum*¹ movimentou 98,561 milhões de reais, com um volume total de 28,270 mil toneladas. Os estados com maior faturamento na produção foram, em ordem decrescente: Minas Gerais (13,468 milhões de reais), Pará (12,261 milhões de reais), Amazonas (11,867 milhões de reais), São Paulo (10,288 milhões de reais) e Goiás (8,337 milhões de reais), sendo São Paulo o maior produtor nacional de pimentas (IBGE, 2017) (Figura 2). Apesar da significativa representatividade da cultura para o setor agrícola brasileiro, o país ainda explora pouco o mercado externo, limitando-se a um número limitado de produtos e empresas (Henz; Ribeiro, 2008).

O consumo de pimentas varia entre as macrorregiões brasileiras, com algumas variedades específicas de determinadas localidades. No mercado de hortaliças frescas, as variedades da espécie *C. annuum*, como pimentões, pimentas caiena, cereja, “jalapeño” e serrano, são predominantes. *C. baccatum* inclui as pimentas chapéu-de-frade e dedo-de-moça; *C. chinense* abrange as pimentas-de-cheiro, pimenta-de-bode, murupi, murici, fidalga, biquinho, habanero e cumari-do-Pará, enquanto *C. frutescens* engloba as pimentas malagueta, malaguetinha e tabasco (Costa, 2018).

¹ As informações referentes às pimenteiras do gênero *Capsicum* não incluem os pimentões, uma vez que o Censo Agropecuário disponibiliza dados de produção e faturamento separadamente para eles. Além disso, as informações fornecidas referem-se à produção de pimentas de forma geral, sem distinção específica para as variedades ornamentais, por exemplo.

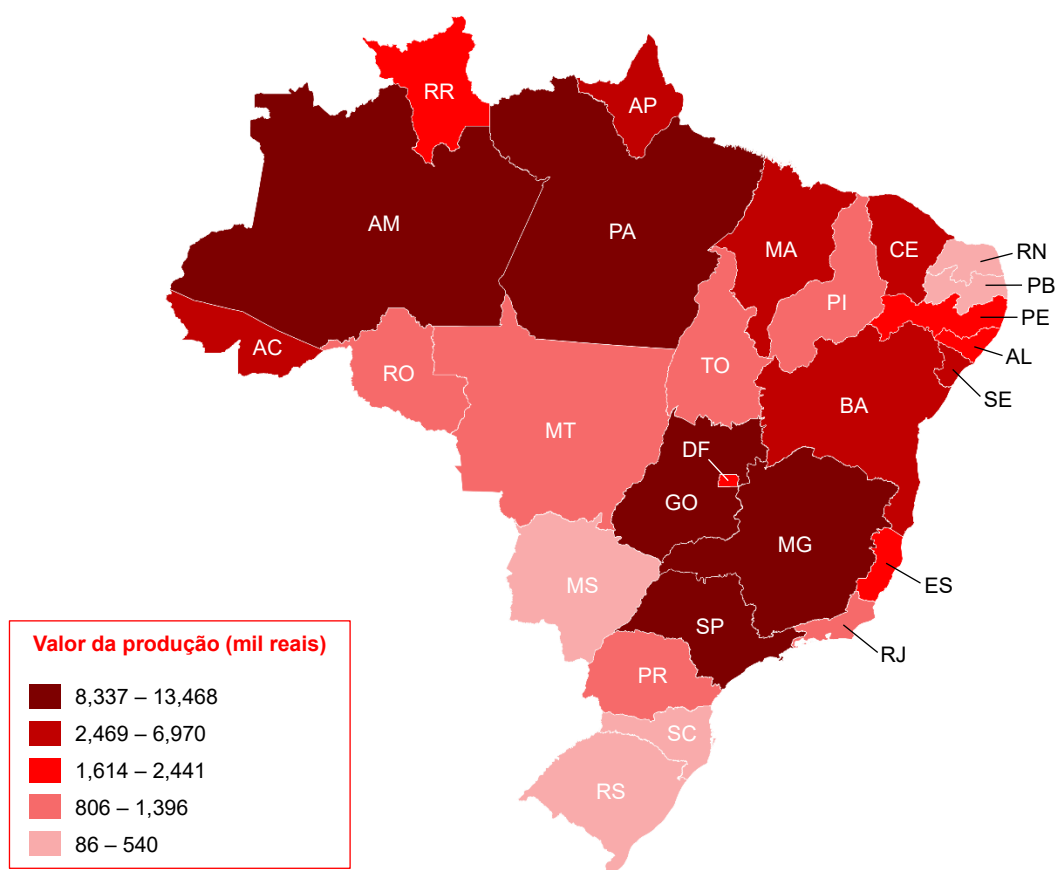


Imagem criada pelo aplicativo MapChart: <https://mapchart.net>

Figura 2 – Valor da produção de pimenteiros do gênero *Capsicum* por estado brasileiro e pelo Distrito Federal, conforme dados do Censo Agropecuário de 2017.

Fonte: IBGE (2017, adaptado).

3.3 A espécie *Capsicum annuum* L.

Capsicum annuum L. é a espécie mais amplamente cultivada e comercializada no mundo entre as cinco espécies domesticadas do gênero *Capsicum* (Costa *et al.*, 2021). Essa espécie destaca-se pela sua ampla variabilidade genética intraespecífica, ou seja, pela diversidade encontrada dentro da própria espécie (Carvalho; Bianchetti, 2008). Essa variabilidade é perceptível em características dos frutos, como coloração, formato, tamanho e pungência. Devido à sua extensa exploração, *C. annuum* possui dois centros de diversidade: o primário, localizado no México e em outras regiões da América Central, e o secundário, que abrange áreas na América Latina, África, Ásia e Europa (Ribeiro *et al.*, 2020).

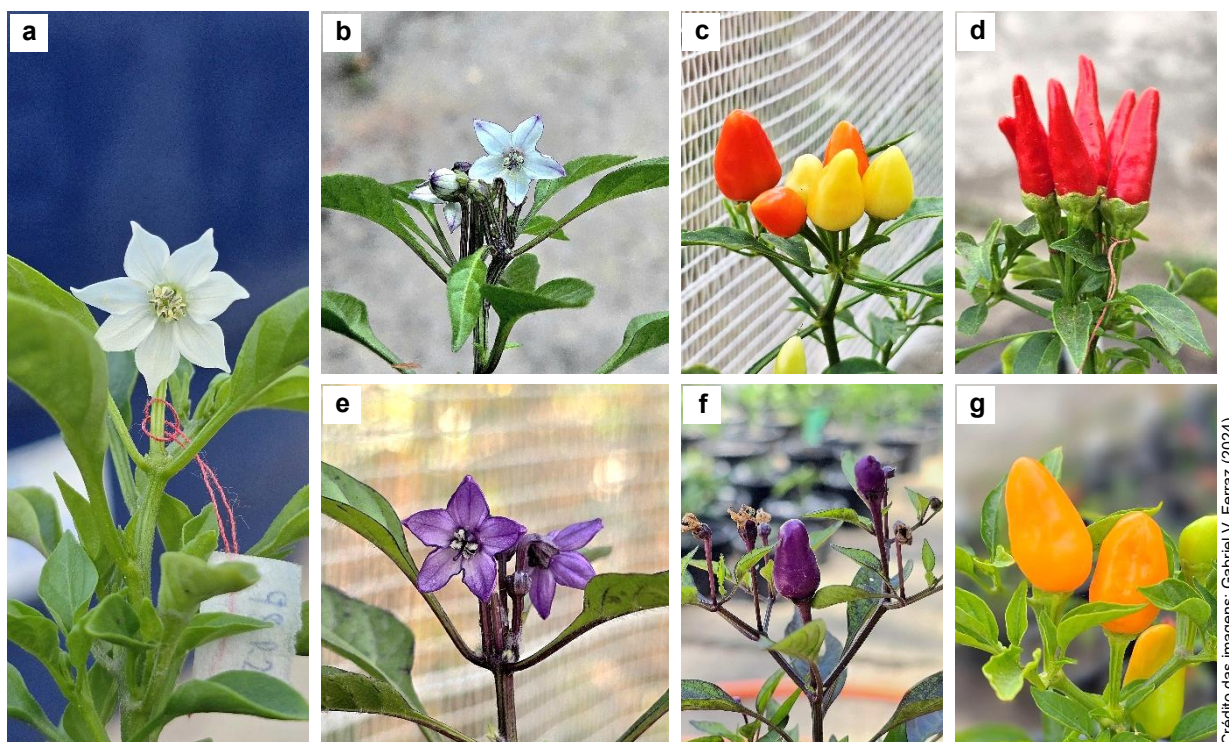
C. annuum é considerada uma planta autógama, ou seja, há uma predominância da autofecundação sobre a polinização cruzada natural, embora essas

taxas possam variar amplamente dependendo das condições ambientais onde as plantas são cultivadas (Ribeiro; Reifschneider, 2008).

Em termos morfológicos, as flores de *C. annuum* são hermafroditas, contendo tanto os órgãos reprodutivos masculinos quanto os femininos na mesma flor, e geralmente apresentam uma flor por nó. Os pedicelos (hastes que sustentam as flores) podem ser eretos, pendentes ou inclinados. As pétalas são predominantemente brancas, embora variações em violeta e outros padrões de cores sejam comuns (Figura 3a, b, e). O número de sépalas e pétalas geralmente é cinco, mas pode variar entre seis e oito (Figura 3a, b, e) (Costa; Henz, 2007; Fonseca, 2016).

Os frutos apresentam ampla variação de cor, tanto no estágio imaturo quanto no maduro, além de diferenças em formato e tamanho (Figura 3c, d, f, g). Eles são carnosos, do tipo baga (com múltiplas sementes) e desprovidos de pelos. As sementes têm coloração clara, variando entre amarelo e bege (Costa; Henz, 2007; Carvalho; Bianchetti, 2008).

A importância econômica de *C. annuum* é evidenciada pela versatilidade de uso de seus frutos na culinária. Variedades como os pimentões, por exemplo, são amplamente consumidas em saladas e podem ser ingeridas cruas, cozidas ou recheadas. Outras variedades são utilizadas como condimentos (Costa; Henz, 2007). Além disso, a ampla variabilidade genética intraespecífica possibilita que algumas variedades sejam comercializadas como plantas ornamentais (Zhang *et al.*, 2020), graças a suas características morfológicas particulares, que agregam valor estético às plantas e incentivam o interesse de consumidores de plantas ornamentais.



Crédito das imagens: Gabriel V. Ferraz (2024).

Figura 3 – Variabilidade fenotípica das flores e frutos em acessos de pimenteiras com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.) oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC – UFPI): (a) corola branca com sete pétalas; (b) corola branca com margens violetas e cinco pétalas; (c) frutos triangulares em diferentes estágios de maturação; (d) frutos alongados organizados em cachos; (e) corola violeta com cinco pétalas; (f) frutos triangulares de cor violeta; (g) frutos triangulares de cor laranja.

3.4 Pimenteiras ornamentais: mercado e potencial econômico

Plantas ornamentais são espécies ou variedades botânicas cultivadas principalmente por sua aparência estética, incluindo flores de corte, flores de vaso e plantas arbustivas ou arbóreas utilizadas em jardinagem e paisagismo com fins decorativos (Costa *et al.*, 2019). No Brasil, o mercado de flores e plantas ornamentais se consolidou como uma atividade profissional, tecnológica e lucrativa a partir da década de 1960. Antes disso, o setor era marcado pelo amadorismo, e a comercialização dos produtos limitava-se a feiras e jardins (Cepea; Ibraflor, 2023).

Atualmente, esse mercado se destaca como uma atividade lucrativa e geradora de empregos (Ibraflor, 2022), sendo um dos setores mais promissores do agronegócio brasileiro (Oliveira *et al.*, 2021). Em 2023, o faturamento da cadeia de flores e plantas ornamentais chegou a 19,872 bilhões de reais, representando um aumento de 8% em

comparação a 2022. Além disso, o setor gerou 272 mil empregos diretos e 800 mil empregos indiretos, sendo que 50% dos postos de trabalho estão concentrados na produção das plantas e o restante distribuído entre varejo e logística (Ibraflor, 2024).

O Brasil oferece condições ideais de solo e clima para o cultivo de diversas espécies vegetais. No segmento de flores e plantas ornamentais, o uso intensivo de tecnologias de produção, o cooperativismo e o rigoroso controle de qualidade dos produtos são características marcantes (Cepea; Ibraflor, 2023). Entretanto, apesar da importância do segmento para o agronegócio brasileiro, os investimentos em propagandas ainda são limitados (Ibraflor, 2022), e há uma carência de novas variedades comerciais no mercado (Costa *et al.*, 2019). Dessa forma, o desenvolvimento de novas variedades comerciais se torna essencial para ampliar e diversificar o segmento (Costa *et al.*, 2021).

Nesse contexto, algumas variedades de pimenteiros do gênero *Capsicum* vêm se destacando como opções promissoras no mercado de plantas ornamentais (Cavalcanti *et al.*, 2024). A crescente aceitação dessas pimenteiros pelos consumidores, que estão sempre em busca de novidades, e o retorno financeiro significativo para os produtores são fatores que impulsionam esse crescimento (Rêgo; Rêgo; Finger, 2015; Rêgo; Rêgo, 2016). A ampla variabilidade genética do gênero *Capsicum*, especialmente na espécie *C. annuum*, é o principal fator por trás do sucesso comercial dessas plantas como ornamentais (Costa *et al.*, 2019; Rêgo *et al.*, 2022a), pois proporciona uma diversidade de características morfológicas que aumentam seu apelo visual.

Embora qualquer espécie ou variedade de pimenta possa ser comercializada como planta ornamental (Costa *et al.*, 2021), as pimenteiros ornamentais possuem características específicas que aumentam seu valor estético, atraindo um público mais amplo e potencializando suas vendas. Entre essas características destacam-se a capacidade de se desenvolverem em vasos pequenos (Fortunato *et al.*, 2019), a baixa estatura (Rêgo; Rêgo, 2016), boa harmonia entre altura e largura da copa vegetal em relação ao vaso, frutos eretos e coloridos que contrastam com a coloração da folhagem, alta densidade foliar (Acevedo *et al.*, 2020) e a longa durabilidade dos frutos (Neitzke *et al.*, 2016).

Um estudo realizado por Neitzke *et al.* (2016) investigou as preferências dos consumidores por pimenteiros ornamentais cultivadas em vaso. Por meio de entrevistas semiestruturadas com o público geral, os autores constataram que a cor

dos frutos é o principal fator na decisão de compra, enquanto a cor das folhas tem menor influência. Além disso, as plantas com frutos numerosos e grandes, que apresentam ampla variação de cores durante a maturação e contrastam com a coloração da folhagem, foram as mais valorizadas pelos consumidores.

Considerar esses aspectos morfológicos é essencial nos estudos sobre pimenteiras ornamentais, pois estão diretamente ligados às preferências dos consumidores. Esse entendimento orienta o planejamento de novos objetivos em programas de melhoramento, especialmente no desenvolvimento de cultivares que tragam inovações ao mercado.

No entanto, no Brasil, ainda há uma escassez de cultivares comerciais de pimentas ornamentais. Essas cultivares são oferecidas por um número limitado de empresas brasileiras, e até mesmo as cultivares estrangeiras importadas são raramente encontradas em floriculturas físicas do país² (Costa *et al.*, 2019). Além disso, a ausência de informações organizadas sobre o registro de cultivares de pimenteiras ornamentais no Ministério da Agricultura e Pecuária agrava essa situação, uma vez que o Registro Nacional de Cultivares não possui uma categoria específica para classificar as cultivares de pimenteiras ornamentais desenvolvidas por programas de melhoramento como “ornamentais” (Cavalcanti *et al.*, 2024).

Diante desse cenário, várias instituições de ensino brasileiras, especialmente públicas, e empresas nacionais³ têm conduzido estudos ao longo da última década para avaliar acessos de pimenteiras mantidos em bancos de germoplasma. O objetivo é identificar aqueles com maior potencial ornamental para o lançamento futuro de novas cultivares comerciais, buscando, assim, atenuar a escassez de novidades comerciais no mercado nacional de plantas ornamentais.

² No Brasil, entre as principais pimenteiras ornamentais comercializadas destacam-se as cultivares Espagueteinho, Pirâmide, Etna, Stromboli (Isla Sementes Ltda.), Mayara Ornamental, Floribela, pimentão *Gracepurple* (Feltrin Sementes Ltda.), Redonda ornamental, Picante ornamental (Agristar do Brasil Ltda.) e *Treasures Red* (Sakata Seed Sudamérica Ltda.). Entre as cultivares estrangeiras importadas, incluem-se *Praire Fire*, *Explosive Ember*, Sangria, *Calypso*, Acapulco, *Karneval*, Medusa, *Numex Centennial*, *Garda Tricolore*, *Black Pearl*, *Black Olive*, *Purple Flash* e o pimentão *Cajun Belle* (Ferreira, 2023).

³ Entre as instituições públicas de ensino e pesquisa que se destacam na condução de estudos com pimenteiras ornamentais estão a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (RJ) (Silva *et al.*, 2015), a Universidade Federal de Goiás (GO) (Dias *et al.*, 2024), a Universidade Federal da Paraíba (PB) (Rêgo *et al.*, 2010), a Universidade Federal do Piauí (PI) (Costa *et al.*, 2019) e a Universidade Federal de Viçosa (MG) (Ribeiro *et al.*, 2015). No setor empresarial, destaca-se a Embrapa Clima Temperado (RS) (Neitzke *et al.*, 2010).

Esses estudos têm focado na estimativa da diversidade genética entre acessos de pimenteiros com potencial ornamental, por meio de caracterizações morfológicas e agronômicas, utilizando descritores quantitativos e qualitativos (Neitzke *et al.*, 2010; Rêgo *et al.*, 2010; Costa *et al.*, 2019; Fortunato *et al.*, 2019; Acevedo *et al.*, 2020). O intuito é selecionar e aprimorar os acessos mais promissores para lançamento como cultivares comerciais. Além disso, pesquisas de hibridização têm sido realizadas para avançar gerações de progênies com características estéticas aprimoradas ou exóticas (Rêgo; Rêgo; Finger, 2015; Pessoa *et al.*, 2019; Carvalho *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2021; Ferreira, 2023). Outras investigações também têm avaliado a tolerância de genótipos de pimenteiros com potencial ornamental ao hormônio vegetal etileno (Lima *et al.*, 2017; Nascimento *et al.*, 2018; Ribeiro *et al.*, 2019; Rêgo *et al.*, 2022b).

A Universidade Federal do Piauí (UFPI) mantém um banco de germoplasma com diversas espécies do gênero *Capsicum*, armazenadas como sementes em uma câmara refrigerada. Em 2018, um estudo de diversidade genética realizado por Costa (2018) identificou oito acessos de pimenteiros com potencial ornamental entre 50 acessos do Nordeste brasileiro avaliados. Em 2021, mais cinco acessos com potencial ornamental foram identificados, o que resultou na criação de um programa de melhoramento genético voltado ao desenvolvimento de linhagens com características estéticas inovadoras. Como resultado, Ferreira (2023) obteve nove híbridos através de cruzamentos dialélicos entre os 13 acessos, seguido da obtenção da geração F₂ em 2023.

Atualmente, as populações segregantes estão na terceira geração filial e passam por uma avaliação contínua de seu potencial ornamental, sendo progressivamente avançadas para as gerações subsequentes. O programa de melhoramento genético de *Capsicum* da UFPI realiza anualmente novos estudos em acessos de pimenteiros com potencial ornamental. Em 2024, uma nova linha de pesquisa foi iniciada, com foco na avaliação da tolerância desses acessos às altas temperaturas.

3.5 As altas temperaturas e seus impactos nas pimenteiras

3.5.1 O aquecimento global e a produtividade agrícola

A Revolução Industrial, iniciada no século XVIII, gerou profundas mudanças tecnológicas, econômicas e sociais, desencadeando uma era marcada pela intensificação do consumo, pela reestruturação das relações de trabalho e introdução de novos modelos de acumulação de capital (Pasquini, 2020). Essas transformações impactaram também as dinâmicas de exploração ambiental e ampliaram a pressão sobre os recursos naturais.

Com a Segunda Revolução Industrial, que teve início na segunda metade do século XIX, a expansão industrial em escala global, aliada ao desmatamento, resultou em um aumento expressivo na emissão de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono, óxido nitroso e metano. A acumulação desses gases na atmosfera intensificou o aquecimento global⁴, cujos impactos negativos são observados até hoje. A elevação da concentração desses gases tem contribuído para o aumento da intensidade e frequência de eventos climáticos extremos, como secas, ondas de calor e inundações em várias regiões do mundo. Esses fenômenos ameaçam a vida humana, a biodiversidade e a segurança alimentar (Habermann *et al.*, 2020).

Segundo dados da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos (NOAA, do inglês *National Oceanic and Atmospheric Administration*), a concentração de dióxido de carbono na atmosfera atingiu 421,73 partes por milhão em dezembro de 2024 (NOAA, 2025), representando um aumento de mais de 50% em relação aos níveis pré-industriais. Projeta-se que essa concentração possa dobrar até o final deste século (Raza *et al.*, 2019). Além disso, as concentrações de óxido nitroso e metano alcançaram, respectivamente, 337,72 e 1.936,64 partes por milhão em setembro de 2024 (NOAA, 2025). Esses aumentos expressivos estão majoritariamente associados a atividades humanas insustentáveis, como a queima de combustíveis fósseis, a industrialização, o desmatamento e práticas agrícolas insustentáveis (Yuan *et al.*, 2024).

⁴ Os gases de efeito estufa retêm o calor emitido pela superfície terrestre, dificultando sua dispersão para o espaço sideral. Esse processo, conhecido como efeito estufa, é o principal responsável pelo aquecimento do planeta (NOAA, 2022).

Em 2024, a temperatura média global alcançou 15,10 °C, superando em 0,12 °C o recorde anterior registrado em 2023 e sendo 1,6 °C mais alta que os níveis pré-industriais de 1850. Esse aumento tornou o ano de 2024 o primeiro ano a exceder o limite estabelecido pelo Acordo de Paris em 2015. Apesar da gravidade do cenário, esse resultado é considerado uma anomalia temporária, atribuída à combinação do fenômeno *El Niño*, com os elevados níveis de gases de efeito estufa na atmosfera (Copernicus Climate Change Service, 2025).

Caso as emissões de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa permaneçam nos níveis atuais, estima-se que, até 2100, a temperatura média global possa aumentar entre 3 °C e 4 °C em relação a 1850, com consequências potencialmente catastróficas para todas as formas de vida, incluindo a espécie humana. Ademais, mesmo que as emissões fossem completamente interrompidas, a temperatura global continuaria a subir, podendo atingir 1,5 °C acima dos níveis registrados em 1900 até o final do século. Isso ocorre porque os gases de efeito estufa acumulados na atmosfera possuem efeitos duradouros, que poderão levar anos para completa dissipação (Urry *et al.*, 2022).

O Acordo de Paris, firmado em 2015 pelos países signatários da Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, durante a 21ª Conferência das Partes (COP21), define como objetivo:

Manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2 °C em relação aos níveis pré-industriais, e envidar esforços para limitar esse aumento da temperatura a 1,5 °C em relação aos níveis pré-industriais, reconhecendo que isso reduziria significativamente os riscos e os impactos da mudança do clima (Brasil, 2021, p. 8).

Embora o limite tenha sido superado em 2024, esse fato isolado não implica que a meta fracassou definitivamente. Para isso, seria necessário que a temperatura global média ultrapasse o limite de forma consistente ao longo de vários anos. Contudo, considerando a atual taxa de aquecimento em mais de 0,2 °C por década, há uma probabilidade significativa de que a meta do Acordo de Paris seja violada na década de 2030 (Copernicus Climate Change Service, 2025).

3.5.2 Os efeitos do estresse térmico em pimenteiras

Devido à sua natureza sésstil, as plantas estão constantemente expostas a diversos estresses abióticos, como seca, salinidade e presença de metais pesados no solo (Hussain *et al.*, 2021). Entre esses fatores, a temperatura se destaca como um

dos principais determinantes da produção agrícola. Segundo De Natale *et al.* (2023), o aumento da temperatura global induz ao estresse térmico, que pode impactar significativamente o crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas, resultando em queda na produtividade e comprometendo a segurança alimentar, especialmente em regiões geograficamente mais vulneráveis.

A temperatura é uma variável ambiental fundamental que regula o metabolismo das plantas, cujos efeitos variam conforme a espécie e as condições climáticas e do solo. Habermann *et al.* (2020) afirmam que o aquecimento global afetará as plantas de maneiras distintas: enquanto espécies de regiões de latitudes mais altas podem se beneficiar do aumento da atividade enzimática e da eficiência metabólica geradas pelo aquecimento, aquelas situadas em regiões tropicais e subtropicais podem sofrer redução na produtividade.

Temperaturas excessivas provocam alterações metabólicas irreversíveis, comprometendo o crescimento e desenvolvimento das plantas, causando o chamado estresse térmico (Wahid *et al.*, 2007). A gravidade desse estresse depende tanto da intensidade e duração da exposição (Chaves-Barrantes; Gutiérrez-Soto, 2017) quanto da capacidade de aclimação ou tolerância das plantas (Taiz *et al.*, 2024).

O estresse térmico induzido por altas temperaturas provoca diversas mudanças morfológicas, anatômicas, fisiológicas e moleculares nas plantas, com intensidade variável conforme a fase de desenvolvimento vegetal (Wahid *et al.*, 2007). Estudos indicam que as pimenteiras apresentam melhor desenvolvimento em temperaturas entre 21 °C e 30 °C (Pinto *et al.*, 2016); já temperaturas acima de 35 °C causam abortamento de flores e, conseqüentemente, redução na produção de frutos (Hallaji *et al.*, 2024). Dada a importância global das pimenteiras, inúmeros estudos das duas últimas décadas investigaram os efeitos das altas temperaturas sobre elas (Erickson; Markhart, 2001, 2002; Bhandari; Kim; Lee, 2018; Wang *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2020; Arnaoudova; Topalova; Todorova, 2020; Huang *et al.*, 2021; Hussain *et al.*, 2021; Rajametov *et al.*, 2021; Rosmaina *et al.*, 2022; Rajeswari *et al.*, 2023; Thakur *et al.*, 2023; Hallaji *et al.*, 2024). A Figura 4 apresenta um resumo dos principais efeitos das altas temperaturas nas pimenteiras.

Projeções indicam um aumento contínuo na concentração atmosférica de dióxido de carbono e na temperatura média global (Garruña-Hernández *et al.*, 2012). Em resposta a essas projeções, alguns estudos têm realizado simulações em

condições controladas para avaliar os potenciais impactos desse cenário sobre pimenteiras.

Um desses estudos constatou que o aumento isolado de dióxido de carbono beneficia a produção de frutos de pimentão. No entanto, quando esse aumento ocorre em conjunto com o aumento da temperatura, os efeitos negativos do calor superaram os benefícios do dióxido de carbônico, reduzindo a produção de frutos em 33% quando a concentração de dióxido de carbono era de 387 partes por milhão e a temperatura de 30,76 °C, em comparação com 350 partes por milhão de dióxido de carbono e 28,73 °C (Kumari; Verma; Bhardwaj, 2019).

Resultados similares foram observados por Pereyda-González *et al.* (2022), que relataram redução na altura das plantas e na produção de frutos, além de aumento no abortamento de flores em *C. annuum* e *C. chinense* cultivadas em condições de 400 µmol de dióxido de carbono e 40 °C de temperatura.

Das *et al.* (2023) observaram que um aumento de 4 °C na temperatura média global anulou os efeitos benéficos da duplicação da concentração de dióxido de carbono (750 partes por milhão) sobre a taxa fotossintética em duas cultivares de *Bhut Jolokia* (*C. chinense*). Esse efeito negativo foi associado à diminuição da abertura estomática, que reduz a assimilação de dióxido de carbono nos tilacóides. Os autores constataram que, em uma projeção futura com 550 partes por milhão de dióxido de carbono e aumento de 2 °C na temperatura média global, a produção das pimenteiras seria beneficiada pelos efeitos positivos do dióxido de carbono. Entretanto, com uma concentração de 750 partes por milhão e aumento de 4 °C, esses benefícios não seriam observados.



Crédito das imagens: folha de pimenta (<https://www.shutterstock.com>), Frutos de pimentas (<https://biologydictionary.net>), Molécula de DNA (<https://pluspng.com>), Célula vegetal (<https://pluspng.com>).

Figura 4 – Principais efeitos das altas temperaturas sobre características morfológicas, agronômicas, fisiológicas e moleculares em pimenteiros do gênero *Capsicum*.

Fonte: Erickson e Markhart (2001, 2002); Bhandari, Kim e Lee (2018); Wang *et al.* (2019); Zhang *et al.* (2019); Arnaoudova, Topalova e Todorova (2020); Huang *et al.* (2021); Hussain *et al.* (2021); Rajametov *et al.* (2021); Rosmaina *et al.* (2022); Rajeswari *et al.* (2023); Thakur *et al.* (2023).

As altas temperaturas também impactam significativamente o setor da floricultura, causando alterações morfológicas que comprometem a qualidade estética das plantas ornamentais, como a abscisão floral e a redução do ciclo de vida pós-colheita (Paiva, 2023). Diante desse cenário, torna-se essencial investigar os efeitos das altas temperaturas em pimenteiras ornamentais para desenvolver estratégias de avaliação e seleção de variedades superiores com maior valor estético e tolerância ao estresse térmico. Esse enfoque é particularmente relevante para o Brasil, onde, segundo o Ibraflor (2024), 88% da produção de flores e plantas ornamentais ocorre em áreas expostas, como em campo aberto, tornando-as altamente vulneráveis às mudanças climáticas.

3.5.3 Metodologias para avaliação de genótipos quanto à termotolerância

Com o aumento global das temperaturas, a agricultura enfrenta desafios significativos, especialmente em culturas de grande importância econômica. Como resposta, programas de melhoramento genético têm se empenhado no desenvolvimento de novas cultivares que possam suportar diversas situações de estresses ambientais a longo prazo. Uma estratégia fundamental consiste na avaliação de acessos de diferentes espécies e variedades armazenados em bancos de germoplasma, visando identificar aqueles com maior tolerância às altas temperaturas com vistas ao desenvolvimento de cultivares produtivas e capazes de suportar o estresse térmico (Wahid *et al.*, 2007; Almeida *et al.*, 2020b).

Para a avaliação da tolerância de diferentes genótipos às altas temperaturas, são realizados ensaios comparativos que expõem os genótipos a duas condições distintas de temperatura, mantendo-se as mesmas práticas culturais em ambas as condições. Parte desses ensaios ocorre em casa de vegetação, onde as plantas são submetidas a temperaturas extremas, enquanto outra parte é conduzida em campo, sob condições naturais.

Alternativamente, os ensaios podem ser inteiramente realizados em campo, mas ao longo de diferentes ciclos anuais, para aproveitar as variações sazonais de temperatura. Essa abordagem permite observar e comparar o desempenho dos genótipos e facilita a seleção dos mais tolerantes às altas temperaturas. Além de pimenteiras, esse método também tem sido utilizado em outras culturas, como

berinjela (Valadares, 2018), trigo (Cargnin *et al.*, 2006; Riaz *et al.*, 2021) e algodão (Zafar *et al.*, 2022).

Na avaliação dos genótipos, são empregados descritores morfológicos e agrônômicos, seguidos de análises multivariadas. Esse método estatístico permite compreender as relações entre várias características simultaneamente, auxiliando na quantificação da diversidade genética e na identificação de materiais promissores para seleção (Almeida *et al.*, 2020b).

Contudo, ao realizar essas avaliações em campo ou em casa de vegetação, é essencial um planejamento cuidadoso, pois o estresse térmico frequentemente se associa ao estresse hídrico (Wahid *et al.*, 2007). Além disso, fatores imprevisíveis, como flutuações na precipitação e incidência de pragas e doenças, podem interferir nos resultados, dificultando a avaliação precisa dos efeitos diretos e indiretos da temperatura.

Para superar essas limitações, abordagens fisiológicas realizadas em condições controladas têm se mostrado alternativas eficientes para avaliar a tolerância de genótipos às altas temperaturas, proporcionando resultados mais precisos. Por exemplo, o uso de parâmetros de trocas gasosas, como a concentração de dióxido de carbono e vapor de água emitidos pelas folhas, fornecem informações sobre a taxa fotossintética, transpiração e condutância estomática. Esses parâmetros, obtidos mediante equipamentos específicos, são importantes indicadores do estado do aparato fotossintético, que é particularmente sensível à variações de temperatura (Bhandari; Kim; Lee, 2018).

Outra metodologia para avaliar a tolerância às altas temperaturas de forma indireta é quantificação do extravasamento de eletrólitos, comumente utilizado como indicador de danos às membranas celulares. Essa técnica mede a quantidade de eletrólitos liberados pelas células foliares quando submetidas ao aquecimento (Usman *et al.*, 2014). Materiais considerados termoestáveis conseguem manter a integridade dos lipídeos e proteínas da membrana plasmática sob calor, o que resulta em menor liberação de eletrólitos (Bala; Sikder, 2017). Em contraste, uma maior liberação de eletrólitos indica menor termoestabilidade da membrana e, conseqüentemente, menor tolerância ao estresse térmico. Essa metodologia tem mostrado bons resultados na seleção de materiais com características produtivas desejáveis e tolerantes às altas temperaturas em diversas culturas, como trigo (Bala; Sikder, 2017), algodão (Singh *et*

al., 2018) e pimentas (Usman *et al.*, 2014, 2015; Motamedi; Haghghi; Goli, 2019; Gisbert-Mullor *et al.*, 2023; Thakur *et al.*, 2023).

A viabilidade polínica é outra técnica eficaz para avaliar a termotolerância. Segundo Wahid *et al.* (2007), nas plantas, as estruturas reprodutivas masculinas, como os grãos de pólen, são mais sensíveis ao estresse térmico do que as estruturas femininas, especialmente nas fases que precedem e sucedem a fertilização. A baixa viabilidade do pólen associada ao crescimento anormal do tubo polínico podem reduzir a produção de frutos (Lin *et al.*, 2021). Diversos estudos têm utilizado essa técnica para selecionar genótipos de pimentas capazes de responderem positivamente ao estresse térmico (Reddy; Kakani, 2007; Oliveira *et al.*, 2020; Lin *et al.*, 2021; Rosmaina *et al.*, 2022; Kim *et al.*, 2023; Rajeswari *et al.*, 2023; Thakur *et al.*, 2023). Genótipos que apresentam alta porcentagem de grãos de pólen viáveis sob condições de estresse térmico são considerados termotolerantes.

Ao longo da evolução no ambiente terrestre, as plantas desenvolveram diferentes mecanismos fisiológicos para enfrentar diversos estresses abióticos (Buschmann; Holzinger, 2020). Esses mecanismos visam manter a homeostase celular, permitindo que as plantas completem seu ciclo de vida mesmo sob condições ambientais adversas. Um exemplo relevante é a síntese de moléculas antioxidantes, que desempenham um papel crucial na proteção contra danos causados pelo acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs) durante o estresse térmico (Taiz *et al.*, 2024).

As EROs consistem em diferentes moléculas tóxicas altamente reativas⁵, como superóxido ($O_2^{\bullet-}$), oxigênio singleto (1O_2), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radical hidroxila (OH^{\bullet}) (Andrés Juan *et al.*, 2021), capazes de oxidar biomoléculas essenciais, como proteínas, clorofilas, lipídeos e ácidos nucleicos (Sahu *et al.*, 2022). Embora sua produção ocorra naturalmente em processos bioenergéticos, como fotossíntese e respiração celular, sua concentração aumenta significativamente sob estresse térmico, comprometendo a integridade celular e as funções fisiológicas das plantas (Taiz *et al.*, 2024).

Para neutralizar os efeitos prejudiciais das EROs, as plantas produzem compostos antioxidantes e enzimas especializadas (Zandi; Schnug, 2022). Entre os

⁵ A instabilidade das EROs decorre da presença de átomos de oxigênio com pelo menos um elétron não pareado em seus orbitais externos. Para alcançar a estabilidade, essas moléculas altamente reativas oxidam outros compostos, removendo seus elétrons. Esse processo, por consequência, causa danos às moléculas oxidadas, que incluem proteínas, lipídeos, ácidos nucleicos, dentre outras, comprometendo a integridade e o funcionamento celular (Andrés Juan *et al.*, 2021).

compostos orgânicos, destacam-se o ascorbato (vitamina C), glutathiona reduzida (GSH; GSSG na forma oxidada), α -tocoferol (vitamina E) e β -caroteno (vitamina A), que atuam como agentes redutores, estabilizando as EROs. Já as enzimas especializadas incluem a superóxido dismutase, que converte o superóxido em oxigênio e peróxido de hidrogênio ($2O_2^{\bullet-} + 2H^+ \rightarrow O_2 + H_2O_2$), a ascorbato peroxidase, que degrada o peróxido de hidrogênio utilizando o ácido ascórbico como agente redutor ($2 \text{ L-ascorbato} + H_2O_2 + 2H^+ \rightarrow 2 \text{ monodesidroascorbato} + 2H_2O$), a catalase, que transforma o peróxido de hidrogênio em água e oxigênio ($2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$) e a glutathiona peroxidase, que reduz o peróxido de hidrogênio utilizando GSH como agente redutor ($H_2O_2 + 2GSH \rightarrow GSSG + 2H_2O$) (Taiz *et al.*, 2024).

A eficiência desses mecanismos bioquímicos são fundamentais para a manutenção da viabilidade celular durante o estresse térmico. Estudos têm demonstrado que a atividade enzimática antioxidante pode ser usada como indicador de termotolerância em pimenteiros, auxiliando na seleção de genótipos mais tolerantes (Zhang *et al.*, 2020; Huang *et al.*, 2021; Srivastava *et al.*, 2022; Hallaji *et al.*, 2024).

Além das enzimas antioxidantes, a prolina desempenha um papel essencial na adaptação das plantas ao estresse térmico. Esse aminoácido atua na regulação osmótica, estabilização de proteínas e membranas celulares e atua como reserva energética (Chun; Paramasivan; Chandrasekaran, 2018). Sua concentração tende a aumentar sob condições de estresse, ajudando as plantas a tolerar variações ambientais adversas, como salinidade, seca e altas temperaturas (Raza *et al.*, 2023). Diferentes estudos já utilizaram a prolina como critério para a seleção de genótipos termotolerantes de pimenteiros (Bhandari; Kim; Lee, 2018; Motamedi; Haghghi; Goli, 2019; Rajametov *et al.*, 2021; Srivastava *et al.*, 2022; Bello *et al.*, 2023; Das *et al.*, 2023).

No aspecto molecular, a tolerância às altas temperaturas também está associada à ativação diferencial de genes que codificam metabólitos envolvidos na homeostase celular, como as proteínas de choque térmico. Essas proteínas formam uma rede de proteção que previne e repara o dobramento incorreto de outras proteínas, evitando sua degradação e agregação ou desagregação sob condições de estresse (Guo *et al.*, 2015). A expressão dessas proteínas tem sido amplamente utilizada como marcador para identificar genótipos termotolerantes de pimenteiros (Wang *et al.*, 2019; Srivastava *et al.*, 2022; Aruna *et al.*, 2024).

Assim, a identificação, o isolamento e a transferência de genes que regulam a produção de metabólitos protetores representam alternativas promissoras para o desenvolvimento de culturas tolerantes ao estresse térmico, incluindo as pimenteiras. O avanço das técnicas biotecnológicas permitirá a obtenção de cultivares mais adaptadas às condições climáticas futuras, garantindo, portanto, maior produtividade e estabilidade na produção agrícola em geral.

3.5.4 Os desafios do clima de Teresina – PI para a produção e comercialização de plantas ornamentais

Embora o aquecimento mundial tenha impactos em escala global, a ocorrência natural de temperaturas elevadas em regiões de clima quente pode acentuar os efeitos dessas condições sobre a produção botânica, incluindo a de plantas ornamentais. Teresina, capital do estado do Piauí, é um exemplo dessas regiões.

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima de Teresina é do tipo “Aw”, caracterizado como tropical úmido com inverno seco (Medeiros; Cavalcanti; Duarte, 2020). Segundo o boletim agrometeorológico mais recente, em 2021, a temperatura média anual da cidade manteve-se elevada, próxima de 28 °C. O regime climático de Teresina apresenta duas estações bem definidas: um período chuvoso que se estende de janeiro a maio e um período seco de junho a dezembro, marcado por baixa precipitação e temperaturas elevadas (Bastos; Andrade Júnior, 2023). Essas condições climáticas representam desafios significativos para a agricultura, incluindo a produção e comercialização de plantas ornamentais.

Entre os fatores climáticos mais impactantes para o cultivo de plantas ornamentais em Teresina estão a alta incidência de radiação solar, períodos prolongados de seca e temperaturas elevadas, que frequentemente ultrapassam 40 °C nos horários de pico. Sem manejos adequados, esses fatores podem causar estresse hídrico e outros efeitos adversos, comprometendo o crescimento, a floração, a frutificação (Wahid *et al.*, 2007) e a durabilidade comercial das plantas. Além disso, a combinação de altas temperaturas com baixa umidade relativa do ar pode prejudicar a qualidade estética das plantas, especialmente de espécies menos adaptadas a essas condições extremas. A redução da qualidade estética das plantas ornamentais diminui seu valor de mercado e aceitação comercial.

No contexto das pimenteiras ornamentais, as condições climáticas de Teresina impõem desafios para sua comercialização. Segundo Pinto *et al.* (2016), essas plantas se desenvolvem melhor em faixas de temperatura entre 21 °C e 30 °C. No entanto, temperaturas superiores a 35 °C, associadas à baixa umidade relativa do ar, afetam negativamente a frutificação – uma característica altamente valorizada pelos consumidores de pimentas ornamentais (Neitzke *et al.*, 2016). Dada a frequência dessas condições climáticas extremas em Teresina, a cidade se torna um ambiente desafiador para a produção e comercialização dessas plantas.

Diante desses desafios, compreender e adaptar-se às condições climáticas de Teresina se torna fundamental para o sucesso do cultivo de pimenteiras ornamentais. Nesse contexto, o investimento em pesquisas para a seleção de genótipos adaptados a essas condições estressantes, por meio de programas de melhoramento genético, configura-se como uma solução viável. Essa estratégia não apenas garante a sobrevivência das cultivares e a sustentabilidade econômica dos produtores a longo prazo, mas também promove a expansão do mercado na região e incentiva a diversificação do setor de plantas ornamentais.

Referências

- ACEVEDO, A. K. O. S. *et al.* Genetic parameters and simultaneous selection using traits of ornamental interest in pepper plants. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 38, n. 4, p. 394-399, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-053620200409>.
- ALI, M. *et al.* The CaChiVI2 gene of *Capsicum annuum* L. confers resistance against heat stress and infection of *Phytophthora capsici*. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 11, p. 1-16, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00219>.
- ALMEIDA, B. M. *et al.* Pimentas *Capsicum* L.: aspectos botânicos, centro de origem, diversificação e domesticação, importância socioeconômica e propriedades terapêuticas (parte I). In: SILVA-MATOS, R. R. S.; LEITE, M. R. L.; MACHADO, N. A. F. (org.). **As vicissitudes da pesquisa e da teoria nas ciências agrárias**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020a. p. 33-47. DOI: <http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.5252004114>.
- ALMEIDA, B. M. *et al.* Pimentas *Capsicum* L.: conservação dos recursos genéticos, caracterização morfológica e citogenética e sequenciamento genômico (parte II). In: SILVA-MATOS, R. R. S.; LEITE, M. R. L.; MACHADO, N. A. F. (org.). **As vicissitudes da pesquisa e da teoria nas ciências agrárias**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020b. p. 48-61. DOI: <http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.5252004114>.
- ANDRÉS JUAN, C. *et al.* The chemistry of Reactive Oxygen Species (ROS) revisited: outlining their role in biological macromolecules (DNA, lipids and proteins) and induced pathologies. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 22, n. 9, p. 1-21, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22094642>.
- ANTONIO, A. S.; WIEDEMANN, L. S. M.; VEIGA JUNIOR, V. F. The genus *Capsicum*: a phytochemical review of bioactive secondary metabolites. **RSC Advances**, [s. l.], v. 8, p. 25767-25784, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/c8ra02067a>.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: an R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.
- ARNAOUDOVA, Y.; TOPALOVA, E.; TODOROVA, V. High temperature effect on the male gametophyte and the photosynthetic activity of two *Capsicum annuum* L. cultivars. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 409-415, 2020. Disponível em: <https://agrojournal.org>. Acesso em: 26 ago. 2023.
- ARUNA, T. S. *et al.* Insights from morpho-physio-biochemical and molecular traits of hot pepper genotypes contrasting for heat tolerance. **Indian Journal of Horticulture**, [s. l.], v. 81, n. 1, p. 13-18, 2024. DOI: <https://doi.org/10.58993/ijh/2024.81.1.2>.
- BALA, P.; SIKDER, S. Evaluation of heat tolerance of wheat genotypes through membrane thermostability test. **MAYFEB Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 2, p. 1-6, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 18 abr. 2023.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Boletim agrometeorológico de 2021 para o município de Teresina, PI**. 1. ed. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2023. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 290). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 6 jan. 2025.

BATIHA, G. E.-S. *et al.* Biological properties, bioactive constituents, and pharmacokinetics of some *Capsicum* spp. and capsaicinoids. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 21, n. 15, p. 1-35, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms21155179>.

BELLO, A. S. *et al.* Heat-stress-induced changes in enzymatic antioxidant activities and biochemical processes in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, [s. l.], v. 47, n. 6, p. 1165-1173, 2023. DOI: <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3155>.

BHANDARI, S. R.; KIM, Y. H.; LEE, J. G. Detection of temperature stress using chlorophyll fluorescence parameters and stress-related chlorophyll and proline content in paprika (*Capsicum annuum* L.) seedlings. **Horticultural Science and Technology**, [s. l.], v. 36, n. 5, p. 619-629, 2018. DOI: <https://doi.org/10.12972/kjhst.20180062>.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações; Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento; Coordenação-Geral do Clima. **Acordo de Paris**. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: 6 jul. 2024.

BUSCHMANN, H.; HOLZINGER, A. Understanding the algae to land plant transition. **Journal of Experimental Botany**, [s. l.], v. 71, n. 11 p. 3241-3246, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa196>.

CARAZO, A. *et al.* Vitamin A update: forms, sources, kinetics, detection, function, deficiency, therapeutic use and toxicity. **Nutrients**, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 1-36, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13051703>.

CARGNIN, A. *et al.* Tolerância ao estresse térmico em genótipos de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 8, p. 1269-1276, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000800009>.

CARRIZO GARCÍA, C. *et al.* Phylogenetic relationships, diversification and expansion of chili peppers (*Capsicum*, Solanaceae). **Annals of Botany**, [s. l.], v. 118, n. 1, p. 35-51, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcw079>.

CARVALHO, M. G. *et al.* Selection among segregating pepper progenies with ornamental potential using multivariate analyses. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 34, n. 3, p. 527-536, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252021v34n304rc>.

CARVALHO, S. I. C. *et al.* Morphological and genetic relationships between wild and domesticated forms of peppers (*Capsicum frutescens* L. and *C. chinense* Jacquin). **Genetics and Molecular Research**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 7447-7464, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4238/2014.September.12.11>.

CARVALHO, S. I. C.; BIANCHETTI, L. B. Botânica e recursos genéticos. *In*: RIBEIRO, C. S. C. *et al.* (ed.). **Pimentas *Capsicum***. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. p. 39-54. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 14 maio 2023.

CAVALCANTI, T. F. M. *et al.* Ornamental peppers: there is some accounting for taste. **Ornamental Horticulture**, [s. l.], v. 30, p. 1-6, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v30.e242724>.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA; INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **PIB da cadeia de flores e plantas ornamentais brasileira**: ano-base 2017. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://cepea.esalq.usp.br>. Acesso em: 5 abr. 2023.

CHAVES-BARRANTES, N. F.; GUTIÉRREZ-SOTO, M. V. Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. **Agronomía Mesoamericana**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 255-271, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15517/AM.V28I1.21904>.

CHUN, S. C.; PARAMASIVAN, M.; CHANDRASEKARAN, M. Proline accumulation influenced by osmotic stress in arbuscular mycorrhizal symbiotic plants. **Frontiers in Microbiology**, [s. l.], v. 9, p. 1-13, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02525>.

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE. **The 2024 Annual Climate Summary**: Global Climate Highlights 2024. 2025. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu>. Acesso em: 11 jan. 2025.

COSTA, C. S. R.; HENZ, G. P. (ed.). **Pimenta (*Capsicum* spp.)**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. (Embrapa Hortaliças. Sistemas de Produção, 2). Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 24 fev. 2024.

COSTA, G. N. **Diversidade genética e avaliação do potencial ornamental de acessos de pimentas (*Capsicum* spp.)**. 2018. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, 2018.

COSTA, G. N. *et al.* Selection of pepper accessions with ornamental potential. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 2, p. 566-574, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n230rc>.

COSTA, M. P. S. D. *et al.* Selection of genotypes with ornamental potential in an F₄ population of ornamental peppers (*Capsicum annuum* L.) based on multivariate analysis. **Comunicata Scientiae**, [s. l.], v. 12, p. 1-8, 2021. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br>. Acesso em: 9 set. 2023.

CRUZ, J. G. *et al.* Genetic variability of bioactive compounds in *Capsicum chinense*. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 42, p. 1-7, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.123721>.

CUI, Y. *et al.* Plant responses to high temperature and drought: a bibliometrics analysis. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 13, p. 1-17, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1052660>.

DAS, S. *et al.* Combinatorial impacts of elevated CO₂ and temperature affect growth, development, and fruit yield in *Capsicum chinense* Jacq. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, [s. l.], v. 29, n. 3, p. 393-407, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12298-023-01294-9>.

DE NATALE, F. *et al.* A bibliometric analysis on drought and heat indices in agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, [s. l.], v. 341, p. 1-15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109626>.

DIAS, F. M. *et al.* Potencial de pimentas do gênero *Capsicum* e uso como planta ornamental. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 17, n. 2, p. 1-16, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.55905/revconv.17n.2-046>.

ERICKSON, A. N.; MARKHART, A. H. Flower developmental stage and organ sensitivity of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to elevated temperature. **Plant, Cell & Environment**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 123-130, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00807.x>.

ERICKSON, A. N.; MARKHART, A. H. Flower production, fruit set, and physiology of bell pepper during elevated temperature and vapor pressure deficit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, [s. l.], v. 126, n. 6, p. 697-702, 2001. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.126.6.697>.

FENECH, M. *et al.* Vitamin C content in fruits: biosynthesis and regulation. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 9, p. 1-21, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02006>.

FERREIRA, G. N. C. **Melhoramento genético de plantas ornamentais com ênfase em *Capsicum* spp., *Pelargonium* spp., *Catharanthus* spp. e *Rosa* spp.** 2023. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, 2023.

FINGER, F. L.; PEREIRA, G. M. Physiology and postharvest of pepper fruits. *In*: RÊGO, E. R.; RÊGO, M. M.; FINGER, F. L. **Production and breeding of chilli peppers (*Capsicum* spp.)**. [S. l.]: Springer, 2016. p. 27-40. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-06532-8_2.

FONSECA, R. M. **Caracterização morfoagronômica de gerações de *Capsicum annuum* x *Capsicum chinense***. 2016. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, 2016. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br>. Acesso em: 23 mar. 2024.

FORTUNATO, F. L. G. *et al.* Genetic diversity in ornamental pepper plants. **Comunicata Scientiae**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 364-375, 2019. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br>. Acesso em: 11 set. 2023.

GARRUÑA-HERNÁNDEZ, R. *et al.* Changes in flowering and fruiting of Habanero pepper in response to higher temperature and CO₂. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, [s. l.], v. 10, p. 802-808, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 17 set. 2023.

GISBERT-MULLOR, R. *et al.* Rootstock-mediated physiological and fruit set responses in pepper under heat stress. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 309, p. 1-12, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111699>.

GUO, M. *et al.* Genome-wide analysis of the CaHsp20 gene family in pepper: comprehensive sequence and expression profile analysis under heat stress. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 6, p. 1-16, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2015.00806>.

HABERMANN, E. *et al.* Efeitos das mudanças climáticas em plantas cultivadas e nativas: atual estado das pesquisas brasileiras. In: LIMA, R. A. (org.). **Avanços e atualidade na botânica brasileira**. Rio Branco, AC: Stricto Sensu Editora, 2020. p. 109-125. DOI: <http://dx.doi.org/10.35170/ss.ed.9786586283006.08>.

HALLAJI, B. *et al.* Effect of foliar applications of aminolevulinic acid (bulk and nano-encapsulated) on bell pepper under heat stress. **Plant Stress**, [s. l.], v. 12, p. 1-12, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100477>.

HENZ, G. P.; RIBEIRO, C. S. C. Mercado e comercialização. In: RIBEIRO, C. S. C. *et al.* (ed.). **Pimentas Capsicum**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. p. 15-24. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 14 maio 2023.

HUANG, Y. *et al.* The photosynthetic characteristics of different purple peppers. **Horticulturae**, [s. l.], v. 7, n. 9, p. 1-8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090304>.

HUSSAIN, T. *et al.* Analysis of morpho-physiological changes occurring in chilli genotypes (*Capsicum* spp.) under high temperature conditions. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, Faisalabad, v. 58, n. 1, p. 43-50, 2021. Disponível em: <https://www.pakjas.com.pk>. Acesso em: 1 set. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **O mercado de flores no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://www.ibraflor.com.br>. Acesso em: 20 abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **O mercado de flores no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://www.ibraflor.com.br>. Acesso em: 14 fev. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de pimenta**. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 23 jan. 2025.

KIM, M. K. *et al.* Comparative heat stress responses of three hot pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes differing temperature sensitivity. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 13, p. 1-11, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41418-5>.

- KUMARI, M.; VERMA, S. C.; BHARDWAJ, S. K. Effect of elevated CO₂ and temperature on crop growth and yield attributes of bell pepper (*Capsicum annuum* L.). **Journal of Agrometeorology**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 1-6, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 15 set. 2023.
- LIMA, P. C. C. *et al.* Action of ethylene, 1-methylcyclopropene and silver thiosulfate in two developmental stages of potted ornamental pepper. **Ornamental Horticulture**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 240-249, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/oh.v23i3.1036>.
- LIN, T. H. *et al.* Growing environment and heat treatment effects on intra-and interspecific pollination in chile pepper (*Capsicum* spp.). **Agronomy**, [s. l.], v. 11, n. 7, p. 1-10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11071275>.
- LIU, F. *et al.* Genomes of cultivated and wild *Capsicum* species provide insights into pepper domestication and population differentiation. **Nature Communications**, [s. l.], v. 13, p. 1-14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41251-4>.
- LOPES, C. A. Ardume, picância, pungência. *In*: RIBEIRO, C. S. C. *et al.* (ed.). **Pimentas *Capsicum***. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. p. 25-30. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 14 maio 2023.
- LUTZ, D. L.; FREITAS, S. C. Valor nutricional. *In*: RIBEIRO, C. S. C. *et al.* (ed.). **Pimentas *Capsicum***. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. p. 31-38. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 14 maio 2023.
- MEDEIROS, R. M.; CAVALCANTI, E. P.; DUARTE, J. F. M. Classificação climática de Köppen para o estado do Piauí – Brasil. **Revista Equador**, Teresina, v. 9, n. 3, p. 82-99, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br>. Acesso em: 6 jan. 2025.
- MOTAMEDI, M.; HAGHIGHI, M.; GOLI, A. Physiological changes of sweet and hot peppers in vegetative and reproductive growth stages treated by Ca and H₂O₂ under unforeseen heat stresses. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 249, p. 306-313, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.040>.
- NASCIMENTO, M. F. *et al.* Sensitivity of potted ornamental peppers to ethylene. **Ornamental Horticulture**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 429-434, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/oh.v24i4.1458>.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Carbon dioxide now more than 50% higher than pre-industrial levels**. 2022. Disponível em: <https://www.noaa.gov>. Acesso em: 15 abr. 2023.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Global Monitoring Laboratory**. Carbon Cycle Greenhouse Gases. Trends in CO₂, CH₄, N₂O, SF₆. 2025. Disponível em: <https://gml.noaa.gov>. Acesso em: 6 jan. 2025.
- NAVES, E. R. *et al.* Capsaicinoids: pungency beyond *Capsicum*. **Trends in Plant Science**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 109-120, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.11.001>.

NEITZKE, R. S. *et al.* Dissimilaridade genética entre acessos de pimenta com potencial ornamental. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 47-53, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362010000100009>.

NEITZKE, R. S. *et al.* Pimentas ornamentais: aceitação e preferências do público consumidor. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 102-109, 2016. DOI - <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620160000100015>.

OLIVEIRA, C. B. *et al.* A cadeia produtiva de flores e plantas ornamentais no Brasil: uma revisão sobre o segmento. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 180-200, 2021. Disponível em: <https://www.relise.eco.br>. Acesso em: 5 abr. 2023.

OLIVEIRA, S. I. *et al.* Meiotic behavior and fertility of *Capsicum* interspecific hybrids. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 38, n. 4, p. 382-386, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536202004007>.

PAIVA, P. D. O. Climate change as a challenge for floriculture. **Ornamental Horticulture**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 6, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/2447-536X.v.29i1.2590>.

PASQUINI, N. C. As revoluções industriais: uma abordagem conceitual. **Revista Tecnológica da Fatec Americana**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 29-44, 2020. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br>. Acesso em: 27 mar. 2024.

PEREYDA-GONZÁLEZ, J. M. *et al.* High temperature and elevated CO₂ modify phenology and growth in pepper plants. **Agronomy**, [s. l.], v. 12, n. 8, p. 1-13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12081836>.

PESSOA, A. M. S. *et al.* Genetic diversity in F₃ population of ornamental peppers (*Capsicum annuum* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 66, n. 6, p. 442-450, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201966060005>.

PINTO, C. M. F. *et al.* Pepper importance and growth (*Capsicum* spp.). In: RÊGO, E. R.; RÊGO, M. M.; FINGER, F. L. **Production and breeding of chilli peppers (*Capsicum* spp.)**. [S. l.]: Springer, 2016. p. 1-25. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06532-8>.

RAJAMETOV, S. N. *et al.* Heat-tolerant hot pepper exhibits constant photosynthesis via increased transpiration rate, high proline content and fast recovery in heat stress condition. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 11, p. 1-9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93697-5>.

RAJESWARI, V. *et al.* Physiological and reproductive abrasions in chilli under combined high temperature and water-deficit stress condition. **Plant Physiology Reports**, [s. l.], v. 29, p. 88-104, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40502-023-00764-2>.

RAZA, A. *et al.* Assessment of proline function in higher plants under extreme temperatures. **Plant Biology**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 379-395, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1111/plb.13510>.

RAZA, A. *et al.* Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: a review. **Plants**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 1-29, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants8020034>.

REDDY, K. R.; KAKANI, V. G. Screening *Capsicum* species of different origins for high temperature tolerance by in vitro pollen germination and pollen tube length. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 112, p. 130-135, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.014>.

RÊGO, E. R. *et al.* Diversidade entre linhagens e importância de caracteres relacionados à longevidade em vaso de linhagens de pimenteiras ornamentais. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 165-168, 2010. DOI: <https://doi.org/10.14295/rbho.v16i2.558>.

RÊGO, E. R. *et al.* Inheritance of morpho-agronomic traits in ornamental peppers (*Capsicum annuum* L.). **Comunicata Scientiae**, [s. l.], v. 13, p. 1-10, 2022a. DOI: <https://doi.org/10.14295/cs.v13.3644>.

RÊGO, E. R. *et al.* Selection of ornamental peppers elite lines for ethylene-insensitive. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 69, n. 3, p. 294-298, 2022b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X202269030006>.

RÊGO, E. R.; RÊGO, M. M. Genetics and breeding of chili pepper *Capsicum* spp.. *In*: RÊGO, E. R.; RÊGO, M. M.; FINGER, F. L. **Production and breeding of chilli peppers (*Capsicum* spp.)**. [S. l.]: Springer, 2016. p. 57-80. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-06532-8_4.

RÊGO, E. R.; RÊGO, M. M.; FINGER, F. L. Methodological basis and advances for ornamental pepper breeding program in Brazil. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v. 1087, p. 309-314, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 24 mar. 2023.

REIFSCHNEIDER, F. J. B.; RIBEIRO, C. S. C. Cultivo. *In*: RIBEIRO, C. S. C. *et al.* (ed.). **Pimentas *Capsicum***. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. p. 11-14. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 14 maio 2023.

RIAZ, M. W. *et al.* Effects of heat stress on growth, physiology of plants, yield and grain quality of different spring wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 1-18, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13052972>.

RIBEIRO, C. S. C. *et al.* **Cultivares de pimentas das espécies *Capsicum* spp. desenvolvidas pela Embrapa Hortaliças**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2020. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 172). Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 18 jul. 2023.

RIBEIRO, C. S. C.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. Genética e melhoramento. *In*: RIBEIRO, C. S. C. *et al.* (ed.). **Pimentas *Capsicum***. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. p. 55-69. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 14 maio 2023.

RIBEIRO, W. S. *et al.* Repeatability of agronomic and morphological characteristics in ornamental pepper. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 33, n. 3, p. 352-355, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620150000300012>.

RIBEIRO, W. S. *et al.* Sensitivity of ornamental pepper to ethylene. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 458-463, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620190415>.

ROSMAINA *et al.* Temperature critical threshold for yield in chili pepper (*Capsicum annuum* L.). **SABRAO Journal of Breeding and Genetics**, [s. l.], v. 54, n. 3, p. 627-637, 2022. DOI: <http://doi.org/10.54910/sabrao2022.54.3.15>.

SAHU, P. K. *et al.* ROS generated from biotic stress: effects on plants and alleviation by endophytic microbes. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 13, p. 1-19, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1042936>.

SILVA, C. Q. *et al.* Phenotyping and selecting parents for ornamental purposes in chili pepper accessions. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 66-73, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620150000100011>.

SINGH, K. *et al.* Genotypic variability among cotton cultivars for heat and drought tolerance using reproductive and physiological traits. **Euphytica**, [s. l.], v. 214, n. 3, p. 1-22, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-018-2135-1>.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III. 3. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2012.

SRIVASTAVA, A. *et al.* Morphological, biochemical and molecular insights on responses to heat stress in chilli. **Indian Journal of Horticulture**, [s. l.], v. 79, n. 1, p. 15-22, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5958/0974-0112.2022.00003.2>.

SUHAIMI, N.; MAHMUD, S. N. D. A bibliometric analysis of climate change literacy between 2001 and 2021. **Sustainability**, [s. l.], v. 14, n. 19, p. 1-13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141911940>.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2024.

TARDY, A.-L. *et al.* Vitamins and minerals for energy, fatigue and cognition: a narrative review of the biochemical and clinical evidence. **Nutrients**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 1-35, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/nu12010228>.

THAKUR, R. K. *et al.* Performance of twelve bell pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes to elevated temperature. **Journal of Biomechanical Science and Engineering**, [s. l.], v. 18, edição especial, p. 49-60, 2023. DOI: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/RVUHP>.

URRY, L. A. *et al.* **Biologia de Campbell**. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2022.

USMAN, M. G. *et al.* Expression of target gene Hsp70 and membrane stability determine heat tolerance in chili pepper. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, [s. l.], v. 140, n. 2, p. 144-150, 2015. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.140.2.144>.

USMAN, M. G. *et al.* Heritability and genetic advance among chili pepper genotypes for heat tolerance and morphophysiological characteristics. **The Scientific World Journal**, [s. l.], v. 2014, p. 1-14, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/308042>.

VALADARES, R. N. **Seleção de linhagens de berinjela tolerantes a alta temperatura e heterose em seus híbridos**. 2018. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2018. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080>. Acesso em: 19 abr. 2023.

WAHID, A. *et al.* Heat tolerance in plants: an overview. **Environmental and Experimental Botany**, [s. l.], v. 61, n. 3, p. 199-223, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>.

WANG, J. *et al.* Integration of transcriptomics and metabolomics for pepper (*Capsicum annuum* L.) in response to heat stress. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 20, n. 20, p. 1-18, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20205042>.

YUAN, X. *et al.* Impacts of global climate change on agricultural production: a comprehensive review. **Agronomy**, [s. l.], v. 14, n. 7, p. 1-19, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14071360>.

ZAFAR, M. M. *et al.* Unraveling heat tolerance in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) using univariate and multivariate analysis. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 12, p. 1-17, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.727835>.

ZANDI, P.; SCHNUG, E. Reactive Oxygen Species, antioxidant responses and implications from a microbial modulation perspective. **Biology**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 1-30, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology11020155>.

ZENG, H. *et al.* Effects of capsaicin on glucose uptake and consumption in hepatocytes. **Molecules**, [s. l.], v. 28, n. 13, p. 1-13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28135258>.

ZHANG, D. *et al.* A comparative overview on chili pepper (*Capsicum* genus) and sichuan pepper (*Zanthoxylum* genus): from pungent spices to pharma-foods. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 117, p. 148-162, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.004>.

ZHANG, Z. *et al.* Response of ornamental pepper to high-temperature stress and role of exogenous salicylic acid in mitigating high temperature. **Journal of Plant Growth Regulation**, [s. l.], v. 39, p. 133-146, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09969-y>.

4 CAPÍTULO 2

TENDÊNCIAS E DESCOBERTAS CIENTÍFICAS SOBRE A TOLERÂNCIA DE PIMENTEIRAS (*Capsicum* spp.) ÀS ALTAS TEMPERATURAS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

RESUMO

As mudanças climáticas representam uma grave ameaça à vida humana, à segurança alimentar e à biodiversidade, com impactos significativos nos sistemas agrícolas, especialmente devido ao aumento da temperatura média global. Essas alterações climáticas prejudicam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, resultando em perdas na produtividade. Neste capítulo, analisou-se as principais pesquisas relacionadas à tolerância de pimenteiras do gênero *Capsicum* às altas temperaturas por meio de uma análise bibliométrica, identificando tendências e focos temáticos a partir de dados extraídos das bases Scopus e Web of Science. A análise foi realizada utilizando-se o pacote estatístico Bibliometrix, integrado ao programa R, que identificou um total de 85 documentos publicados entre 1989 e 2024, incluindo artigos científicos, resumos, artigo completo publicado em anais de evento, revisão, capítulo de livro e livro. Os resultados mostraram que o tema ganhou relevância global nos últimos seis anos, com destaque para o ano de 2013, que apresentou o maior número de citações. Cinco periódicos se destacaram pelo volume de publicações e impacto: “*Journal of Experimental Botany*”, “*Frontiers in Plant Science*”, “*International Journal of Molecular Sciences*”, “*Scientia Horticulturae*” e “*Plant & Cell Physiology*”. A colaboração entre autores foi predominante dentro de um mesmo país, com a China e os Estados Unidos sendo os principais contribuidores para o avanço das pesquisas sobre tolerância de pimenteiras ao estresse térmico. Os estudos mais citados abordaram mecanismos bioquímicos, fisiológicos e moleculares de tolerância ao estresse térmico, além de resistência a patógenos. Nos últimos quatro anos, as palavras-chave mais frequentes foram “*Capsicum annuum*”, “estresse térmico”, “pimenta”, “*Ralstonia solanacearum*” e “termotolerância”. Apesar da relevância do tema, apenas três dos 81 documentos analisaram a tolerância de pimenteiras ornamentais às altas temperaturas, e nem um estudo brasileiro foi identificado. Esses resultados destacam a lacuna de pesquisas no Brasil sobre o tema e reforçam a importância de estudos futuros para o desenvolvimento de cultivares mais resilientes às mudanças climáticas. As informações obtidas nesta pesquisa oferecem subsídios para o planejamento de novas linhas de investigação, incluindo a avaliação e seleção de materiais termotolerantes, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e adaptada aos desafios climáticos já experimentados globalmente.

Palavras-chave: *Capsicum annuum* L., Bibliometrix, estresse térmico, mudanças climáticas, termotolerância.

4 CHAPTER 2

SCIENTIFIC TRENDS AND DISCOVERIES ON THE HEAT TOLERANCE OF PEPPER PLANTS (*Capsicum* spp.): A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

ABSTRACT

Climate change poses a severe threat to human life, food security, and biodiversity, with significant impacts on agricultural systems, particularly due to the increase in average global temperatures. These climatic alterations adversely affect plant growth and development, resulting in productivity losses. This chapter analyzed the main research on the heat tolerance of pepper plants (*Capsicum* spp.) through a bibliometric analysis, identifying trends and thematic focuses based on data retrieved from the Scopus and Web of Science databases. The analysis, conducted using the Bibliometrix statistical package integrated into the R program, identified a total of 85 documents published between 1989 and 2024, including papers, meeting abstracts, proceeding paper, review, book chapter, and book. The findings revealed that the topic has gained global relevance over the past six years, with 2013 standing out as the year with the highest number of global citations. Five journals excelled in publication volume and impact: "Journal of Experimental Botany", "Frontiers in Plant Science", "International Journal of Molecular Sciences", "Scientia Horticulturae", and "Plant & Cell Physiology". Collaboration among authors was predominantly within the same country, with China and the United States leading contributions to advancements in research on the heat tolerance of pepper plants. The most cited studies focused on biochemical, physiological, and molecular mechanisms of heat stress tolerance, as well as pathogen resistance. Over the last four years, the most frequently cited keywords included "*Capsicum annuum*", "heat stress", "pepper", "*Ralstonia solanacearum*", and "thermotolerance". Despite the topic's importance, only three of the 81 documents addressed the heat tolerance of ornamental pepper plants, and no Brazilian studies were identified. These findings highlight a research gap in Brazil on this subject and underscore the importance of future studies aimed at developing cultivars more resilient to climate change. The information gathered in this research provides valuable insights for planning new lines of investigation, including the evaluation and selection of heat-tolerant materials, contributing to a more sustainable and climate-adapted agriculture globally.

Keywords: *Capsicum annuum* L.; climate change; Bibliometrix; heat stress; thermotolerance.

4.1 Introdução

A Segunda Revolução Industrial, consolidada na segunda metade do século XIX nos Estados Unidos, gerou profundas transformações econômicas, políticas, sociais, culturais e ambientais (Mohajan, 2020). Contudo, esse período histórico também marcou o início de um aumento substancial nas emissões de dióxido de carbono, intensificando o efeito estufa e elevando a temperatura média global (IPCC, 2023). Projeções indicam que, atualmente, a concentração de dióxido de carbono na atmosfera aumentou em 50% em relação aos níveis pré-industriais (NOAA, 2025) e a temperatura média global está 1,6 °C acima dos níveis pré-industriais (Copernicus Climate Change Service, 2025).

Esse aumento de temperatura é uma das principais consequências das mudanças climáticas, resultantes, sobretudo, da queima de combustíveis fósseis, desmatamento e de práticas agropecuárias insustentáveis (Yuan *et al.*, 2024). Eventos climáticos extremos, como chuvas intensas, secas, ciclones e ondas de calor, tornaram-se mais frequentes (Seneviratne *et al.*, 2023), afetando especialmente regiões tropicais, subtropicais e comunidades socialmente vulneráveis (IPCC, 2023).

Os sistemas agrícolas, em particular, são sensíveis às mudanças climáticas (Parker *et al.*, 2019), especialmente ao aumento das temperaturas. Quando essas temperaturas excedem o limite suportado pelas plantas, causam alterações morfológicas, bioquímicas, fisiológicas e moleculares que comprometem seu crescimento e desenvolvimento, podendo levar até à morte das culturas (Wahid *et al.*, 2007). Esses impactos podem reduzir a produtividade agrícola e ameaçar a segurança alimentar (Das *et al.*, 2023), além de causar desnutrição, escassez de alimentos (Molotok; Smith; Dawson, 2021), aumento nos preços dos alimentos (Wu *et al.*, 2023) e provocar migrações populacionais. Essas consequências poderão ser mais acentuadas entre as comunidades mais vulneráveis (Kaczan; Orgill-Meyer, 2019).

Diante desses desafios, a comunidade científica tem realizado pesquisas sobre as mudanças climáticas, seus efeitos e estratégias de adaptação, particularmente no setor agrícola (Wu *et al.*, 2023). No entanto, o crescente volume de publicações científicas dificulta a atualização constante sobre o assunto (Aria; Cuccurullo, 2017), pois as informações estão dispersas e indexadas em diversas bases de dados (Cui *et al.*, 2022). Essa dispersão dificulta a identificação de temas e tendências relevantes,

a detecção de lacunas no conhecimento e a formulação de novas hipóteses de pesquisa, dificultando o planejamento de futuros estudos (De Natale *et al.*, 2023).

Nesse contexto, a análise bibliométrica emerge como uma ferramenta fundamental para examinar grandes volumes de dados científicos, oferecendo uma visão abrangente e identificando tendências em temas específicos (Cui *et al.*, 2022). Essa metodologia aplica técnicas estatísticas para realizar análises quantitativas e qualitativas da literatura científica indexada em bases de dados (Suhaimi; Mahmud, 2022), a partir da utilização de palavras-chave associadas ao tema de interesse.

Os resultados da análise são visualizados com o auxílio de programas computacionais especializados (Wu *et al.*, 2023), os quais fornecem uma visão atualizada da literatura, incluindo o crescimento de publicações (Suhaimi; Mahmud, 2022), os autores e estudos mais influentes, além de mapear colaborações entre periódicos, países e instituições, bem como identificar as palavras-chave mais frequentes sobre uma temática em particular (Cui *et al.*, 2022).

Adicionalmente, essa abordagem é especialmente valiosa para fornecer suporte teórico aos pesquisadores, auxiliando-os na discussão dos resultados de suas pesquisas, na distinção do conhecimento consolidado das lacunas a serem exploradas e na formulação de novas linhas de pesquisa (Linnenluecke; Marrone; Singh, 2020).

Diversos estudos já realizaram análises bibliométricas para identificar tendências em áreas diversas, como ciência animal (Di Cosmo *et al.*, 2021; Marino; Petrera; Abeni, 2023), conservação ambiental (Folharini *et al.*, 2023), conservação do solo e da água (Wang, Y. *et al.*, 2019) e os impactos das mudanças climáticas na agricultura (Cui *et al.*, 2022; De Natale *et al.*, 2023; Dumitru *et al.*, 2023; Wu *et al.*, 2023). Também há estudos focados em culturas específicas, como algodão (Yuan; Sun, 2021), milho (Yuan; Sun, 2020), arroz (Sun; Yuan, 2020; Yuan; Sun, 2022) e melão (Yuan; Bie; Sun, 2021). Entretanto, até o momento, não foram realizadas análises bibliométricas específicas para pimenteiras.

Assim, este capítulo objetivou realizar a primeira análise bibliométrica sobre as principais pesquisas relacionadas à tolerância de pimenteiras do gênero *Capsicum* às altas temperaturas, identificando tendências e principais focos temáticos a partir de dados compilados das bases Scopus e Web of Science.

4.2 Material e métodos

Para realizar a análise bibliométrica da produção científica global sobre a tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas, foram consultadas as bases de dados Scopus® (Elsevier, 2024a) e Web of Science™ (Clarivate Analytics, 2024a). O fluxograma da Figura 5 sintetiza as etapas e os procedimentos utilizados para a realização da análise.

A busca pelos documentos foi realizada utilizando a seguinte expressão com operadores booleanos, aplicada em ambas as bases: (“*Capsicum*” OR “*Capsicum annum*” OR “*pepper*”) AND (“*heat tolerance*” OR “*heat stress tolerance*” OR “*high temperature tolerance*” OR “*thermotolerance*”). As palavras-chave foram pesquisadas nos títulos, resumos e palavras-chave dos documentos, sem restrições quanto a período temporal, tipo de documento, idioma, afiliação ou área de pesquisa.

A pesquisa bibliométrica foi realizada em 22 de novembro de 2024. Todos os documentos encontrados foram selecionados e exportados, em formato CSV no caso da Scopus e em formato de texto no caso da Web of Science. Os dados extraídos incluíram informações como autoria, título, periódico de publicação, tipo e ano de publicação, afiliação dos autores, resumos, palavras-chave, idioma, entre outras informações.

Após análise dos títulos, resumos e palavras-chave de cada documento extraído, 66 registros não relacionados ao tema foram excluídos, mantendo-se apenas os documentos diretamente pertinentes à tolerância de pimenteiros *Capsicum* às altas temperaturas.

A análise bibliométrica foi realizada no programa estatístico R, versão 4.4.2 (R Core Team, 2024), utilizando o pacote Bibliometrix (Aria; Cuccurullo, 2017). Os arquivos das bases de dados foram combinados em um único arquivo CSV, sendo eliminados os documentos duplicados. Posteriormente, utilizou-se a extensão Biblioshiny, integrada ao Bibliometrix, para a análise detalhada dos resultados.

Os principais resultados incluíram a evolução temporal das publicações e citações, os periódicos mais prolíficos e citados globalmente, a distribuição geográfica da produção científica e análises de autoria, documentos e palavras-chave. Os fatores de impacto dos periódicos foram obtidos com base na avaliação mais recente do Journal Citation Reports™ (Clarivate Analytics, 2024b).

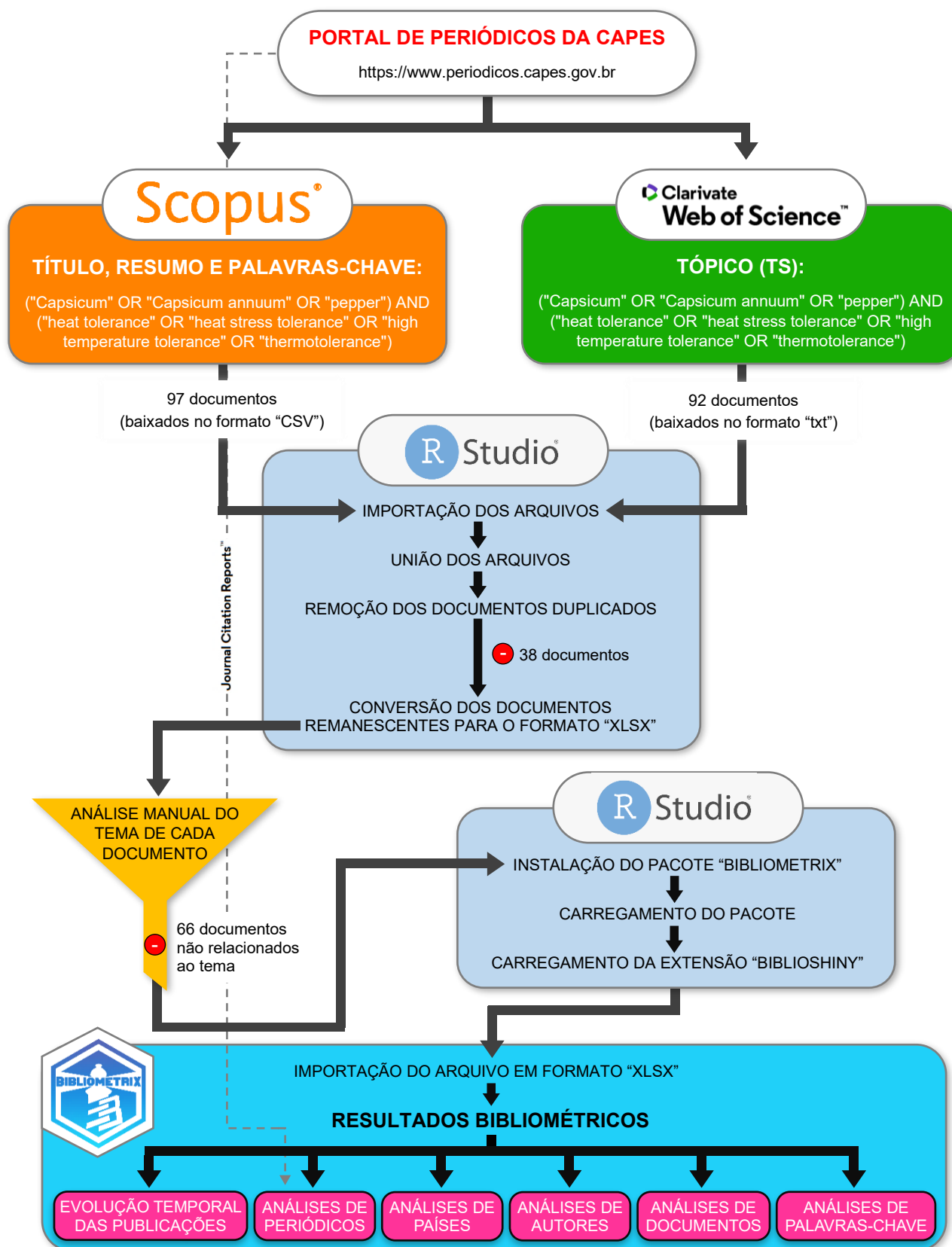


Figura 5 – Fluxograma mostrando as etapas e procedimentos empregados para a realização da análise bibliométrica sobre a tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas.

4.3 Resultados

4.3.1 Panorama bibliométrico da produção científica sobre tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas

A análise bibliométrica identificou 85 documentos (Apêndice A) publicados em 48 fontes distintas entre 1989 e 2024, incluindo periódicos, livros e outros meios. Do total, 78 documentos (91,76%) eram artigos científicos, enquanto os demais incluíram resumos (3,52%), artigo completo publicado em anais de evento, artigo de revisão, capítulo de livro e livro (cada um representando 1,17%). A taxa de crescimento anual das publicações foi de 5,25%, com uma idade média dos documentos de 7,48 anos (Figura 6), indicando que a maioria foi publicada entre 2018 e 2024 (Figura 7).

Os documentos foram produzidos por 312 autores, com apenas dois publicando de forma independente: Anderson (2002, 2006, 2007) e Ilyas (2006). A média de coautores por documento foi de sete, e a maior parte dos coautores (84,71%) era do mesmo país do autor correspondente (Figura 6).



Figura 6 – Visão geral das informações bibliométricas obtidas de documentos extraídos das bases de dados Scopus® e Web of Science™ relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas. Fonte: Aria e Cuccurullo (2017, adaptado).

A produção científica sobre a tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas iniciou em 1989, com o estudo de Coons *et al.* (1989), que avaliaram a taxa de germinação de sete cultivares sob estresse térmico. Desde então, a produção variou em períodos de crescimento e declínio até 2017. A partir de 2018, houve um crescimento expressivo, com aumento de 50% no número de publicações entre 2018 e 2022 e de 66,66% entre 2022 e 2023. Esse período de seis anos corresponde a 69,41% do total de publicações, com 2023 sendo o ano mais produtivo (15 documentos publicados) (Figura 7).

Quanto às citações anuais, os valores oscilaram entre 2001 e 2024. Entre 1989 e 2000, a média foi de 0,13 citações anuais, aumentando para 0,88 entre 2001 e 2012 e atingindo 9,00 entre 2013 e 2017, embora tenha reduzido para 3,53 entre 2018 e 2024. O período entre 2012 e 2013 foi especialmente notável, com 2013 registrando o maior número de citações anuais (19,17) (Figura 8). A média geral de citações por documento entre 1989 e 2024 foi de 22,25 (Figura 6).

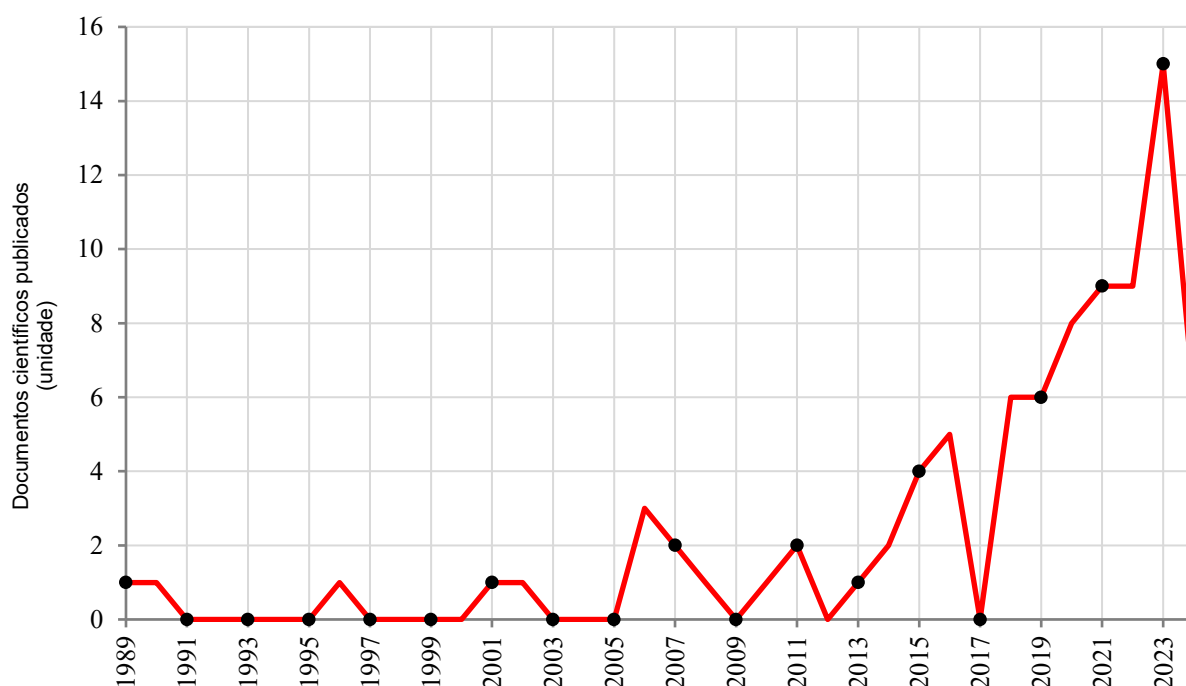


Figura 7 – Evolução do número de documentos científicos publicados entre 1989 e 2024 e indexados nas bases de dados Scopus® e Web of Science™ relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas.

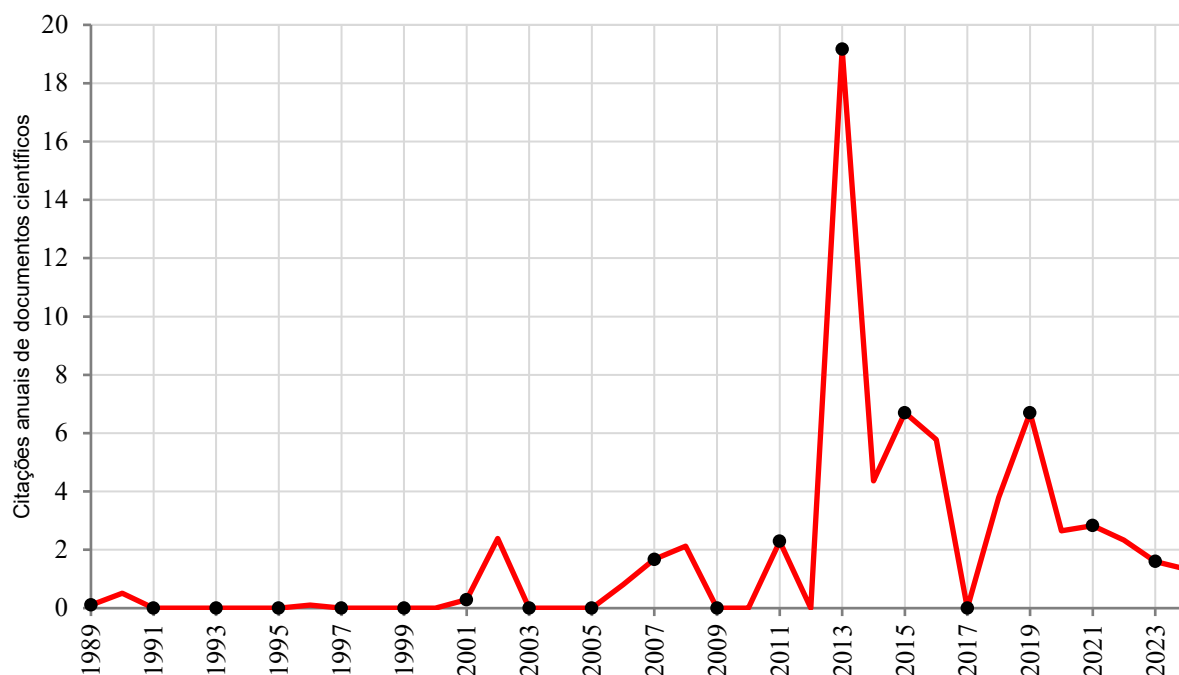


Figura 8 – Evolução do número de citações anuais de documentos científicos publicados entre 1989 e 2024 e indexados nas bases de dados Scopus® e Web of Science™ relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas.

4.3.2 Periódicos mais prolíficos e citados globalmente e Lei de Bradford

Entre 1989 e 2024, os documentos sobre a tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas, que se encontram indexados na base Scopus, concentraram-se majoritariamente nas áreas de ciências agrárias e biológicas, bioquímica, genética e biologia molecular. Já os documentos da Web of Science foram predominantemente associados à fitotecnia e horticultura, com inserções também em bioquímica e biologia celular e molecular.

No total, 45 periódicos publicaram estudos relacionados ao tema, sendo que os dez periódicos mais prolíficos responderam por 45 documentos (52,94% do total). Os cinco principais periódicos, em termos de número de publicações, foram: “*HortScience*” (8 estudos, sendo 5 artigos e 3 resumos), “*Frontiers in Plant Science*” (7 artigos), “*Scientia Horticulturae*” (7 artigos), “*International Journal of Molecular Sciences*” (6 artigos) e “*Journal of Experimental Botany*” (5 artigos) (Tabela 1). Juntos, esses periódicos representaram 38,82% do total de documentos (Figura 9).

A Tabela 2 evidenciou que esses cinco periódicos também figuraram entre os mais citados globalmente: “*Journal of Experimental Botany*” liderou com 237 citações,

seguido por “*Frontiers in Plant Science*” (226 citações), “*International Journal of Molecular Sciences*” (146 citações), “*Scientia Horticulturae*” (135 citações) e “*HortScience*” (105 citações). O periódico “*Plant & Cell Physiology*” também se destacou pela relevância em publicações e citações globais (Tabelas 1 e 2).

Quanto ao fator de impacto, os seis periódicos listados como os mais prolíficos e citados globalmente, com exceção da “*HortScience*”, apresentaram valores elevados, destacando-se “*Journal of Experimental Botany*” (5,8), “*International Journal of Molecular Sciences*” (4,9) e “*Frontiers in Plant Science*” (4,1) (Tabelas 1 e 2). Além disso, dois periódicos com os maiores fatores de impacto (6,1), “*Plant, Cell & Environment*” e “*Plant Physiology and Biochemistry*”, também se destacaram nas citações globais, embora não estejam entre os dez periódicos que mais publicaram estudos sobre o tema.

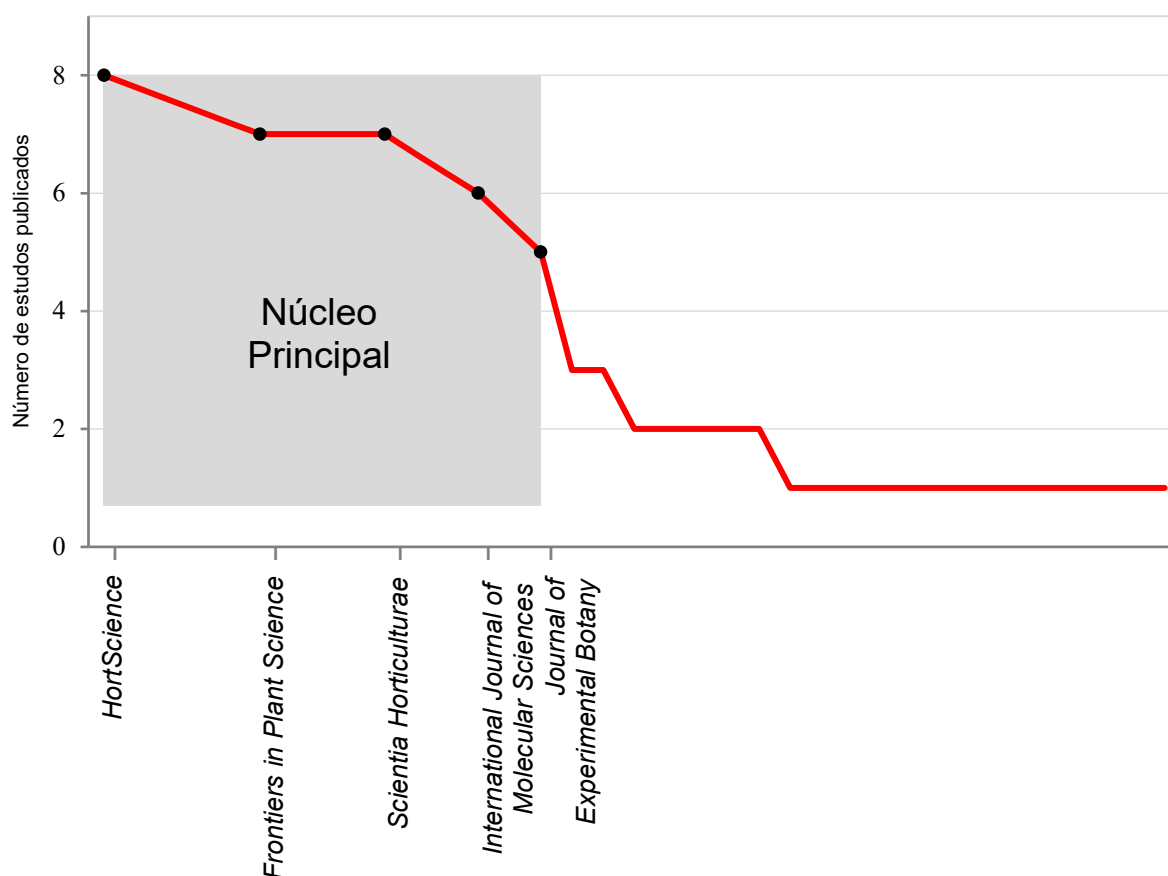


Figura 9 – Distribuição do número de estudos científicos publicados entre 1989 e 2024 sobre a tolerância de pimenteiças do gênero *Capsicum* às altas temperaturas segundo a Lei de Bradford. O núcleo principal destaca que um pequeno grupo de periódicos foram responsáveis pela maior parte das publicações de estudos sobre o tema.

Fonte: Aria e Cuccurullo (2017, adaptado).

Tabela 1 – Relação dos dez periódicos mais prolíficos entre 1989 e 2024 sobre estudos científicos relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas

Posição	Periódico	Editora	País	NTP	FI
1	<i>HortScience</i>	<i>American Society for Horticultural Science</i>	Estados Unidos	8	1,5
2	<i>Frontiers in Plant Science</i>	<i>Frontiers Media AS.</i>	Suíça	7	4,1
3	<i>Scientia Horticulturae</i>	<i>Elsevier</i>	Holanda	7	3,9
4	<i>International Journal of Molecular Sciences</i>	MDPI	Suíça	6	4,9
5	<i>Journal of Experimental Botany</i>	<i>Oxford University Press</i>	Inglaterra	5	5,8
6	<i>Horticulturae</i>	MDPI	Suíça	3	3,1
7	<i>Journal of the American Society for Horticultural Science</i>	<i>American Society for Horticultural Science</i>	Estados Unidos	3	1,2
8	<i>Environmental and Experimental Botany</i>	<i>Pergamon – Elsevier Science LTD.</i>	Inglaterra	2	4,5
9	<i>Indian Journal of Horticulture</i>	<i>Indian Academy of Horticultural Sciences</i>	Índia	2	0,16
10	<i>Plant & Cell Physiology</i>	<i>Oxford University Press</i>	Japão	2	4,0

Legenda: NTP – número total de publicações do periódico. FI – fator de impacto do periódico referente ao ano de 2023, segundo o *Journal Citation Reports*™.

Tabela 2 – Relação dos dez periódicos mais citados globalmente, ordenados pelo número total de citações (NTC), entre 1989 e 2024, sobre estudos científicos relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas

Posição	Periódico	Editora	País	NTC	FI
1	<i>Journal of Experimental Botany</i>	<i>Oxford University Press</i>	Inglaterra	237	5,8
2	<i>Plant, Cell & Environment</i>	<i>Wiley</i>	Inglaterra	230	6,1
3	<i>Frontiers in Plant Science</i>	<i>Frontiers Media SA.</i>	Suíça	226	4,1
4	<i>International Journal of Molecular Sciences</i>	MDPI	Suíça	146	4,9
5	<i>Scientia Horticulturae</i>	<i>Elsevier</i>	Holanda	135	3,9
6	<i>HortScience</i>	<i>American Society for Horticultural Science</i>	Estados Unidos	105	1,5
7	<i>Plant Physiology and Biochemistry</i>	<i>Elsevier France – Editions Scientifiques Medicales Elsevier</i>	França	70	6,1
8	<i>Plant & Cell Physiology</i>	<i>Oxford University Press</i>	Japão	68	4,0
9	<i>Plant Science</i>	<i>Elsevier Ireland LTD.</i>	Irlanda	66	4,2
10	<i>Protoplasma</i>	<i>Springer Wien</i>	Áustria	56	2,5

Legenda: FI – fator de impacto do periódico referente ao ano de 2023, segundo o *Journal Citation Reports*™.

4.3.3 Produção científica por países e redes de colaborações

Entre 1989 e 2024, 17 países contribuíram com estudos sobre a tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas, sendo a maioria localizada na Ásia (11 países). Conforme a Tabela 3, a China liderou tanto em número de publicações (124) quanto em citações (1.273), com uma média de 28,30 citações por artigo. Os Estados Unidos destacaram-se pelo maior número médio de citações por artigo (32,80), seguidos pela Coreia do Sul (31,30) e pela China. No entanto, em número de publicações, os Estados Unidos (12 artigos) foram superados pela Índia, que ocupou a segunda posição com 16 estudos. Juntos, China e Estados Unidos acumularam 1.470 citações em 35 anos, consolidando-se como os principais líderes na pesquisa e disseminação do tema.

Além dos países mais produtivos, outros, como Espanha e Hungria, contribuíram com dois estudos cada, enquanto Austrália, Canadá, Cuba, Indonésia e Tailândia, publicaram um estudo cada.

A análise das colaborações entre autores revelou que a maior parte ocorreu entre pesquisadores de mesma nacionalidade, embora afiliados a diferentes instituições (Figura 10). Parcerias internacionais foram observadas em quatro países: China, Malásia, Coreia do Sul e Hungria, sendo esta última caracterizada exclusivamente por colaborações internacionais com o Irã. A China estabeleceu colaborações internacionais amplas, predominantemente com o Paquistão, mas também com países como Austrália, Canadá, Estados Unidos, Índia, Malásia e Tailândia. A Malásia colaborou com Austrália e Bangladesh, enquanto a Coreia do Sul realizou parcerias com o Japão (Figura 11).

Entre 1989 e 2012, os Estados Unidos lideraram a produção científica sobre o tema, com 11 artigos publicados, seguidos pela Coreia do Sul (2 artigos), China e Japão (1 artigo cada). De 2013 a 2019, a China ultrapassou os Estados Unidos e assumiu a liderança, publicando 41 estudos. Os Estados Unidos mantiveram sua contribuição, com 12 estudos no período (Tabela 4).

No intervalo mais recente (2020-2024), a China consolidou sua posição de liderança com um crescimento de 69,75% no número de publicações em comparação ao período anterior. A Índia assumiu o segundo lugar, com 15 novos estudos em apenas cinco anos, superando os Estados Unidos, que mantiveram o mesmo número de publicações do período anterior. Todos os demais países, com exceção da Turquia,

apresentaram aumento no número de publicações entre 2019 e 2024, com destaque para a Malásia, que registrou um crescimento de dois para nove publicações (Tabela 4).

Tabela 3 – Análise da produção científica dos dez países mais produtivos, ordenados pelo número total de citações (NTC), sobre estudos relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas entre 1989 e 2024

Posição	País	NTC	NTP	Média de citações por artigo
1	China	1.273	124	28,30
2	Estados Unidos	197	12	32,80
3	Coreia do Sul	94	8	31,30
4	Malásia	66	9	16,50
5	Irã	15	5	15,00
6	Índia	9	16	1,50
7	Paquistão	3	7	3,00
8	Japão	2	5	2,00
9	Turquia	1	5	1,00
10	Bangladesh	0	3	0,00

Legenda: NTP – número total de publicações.

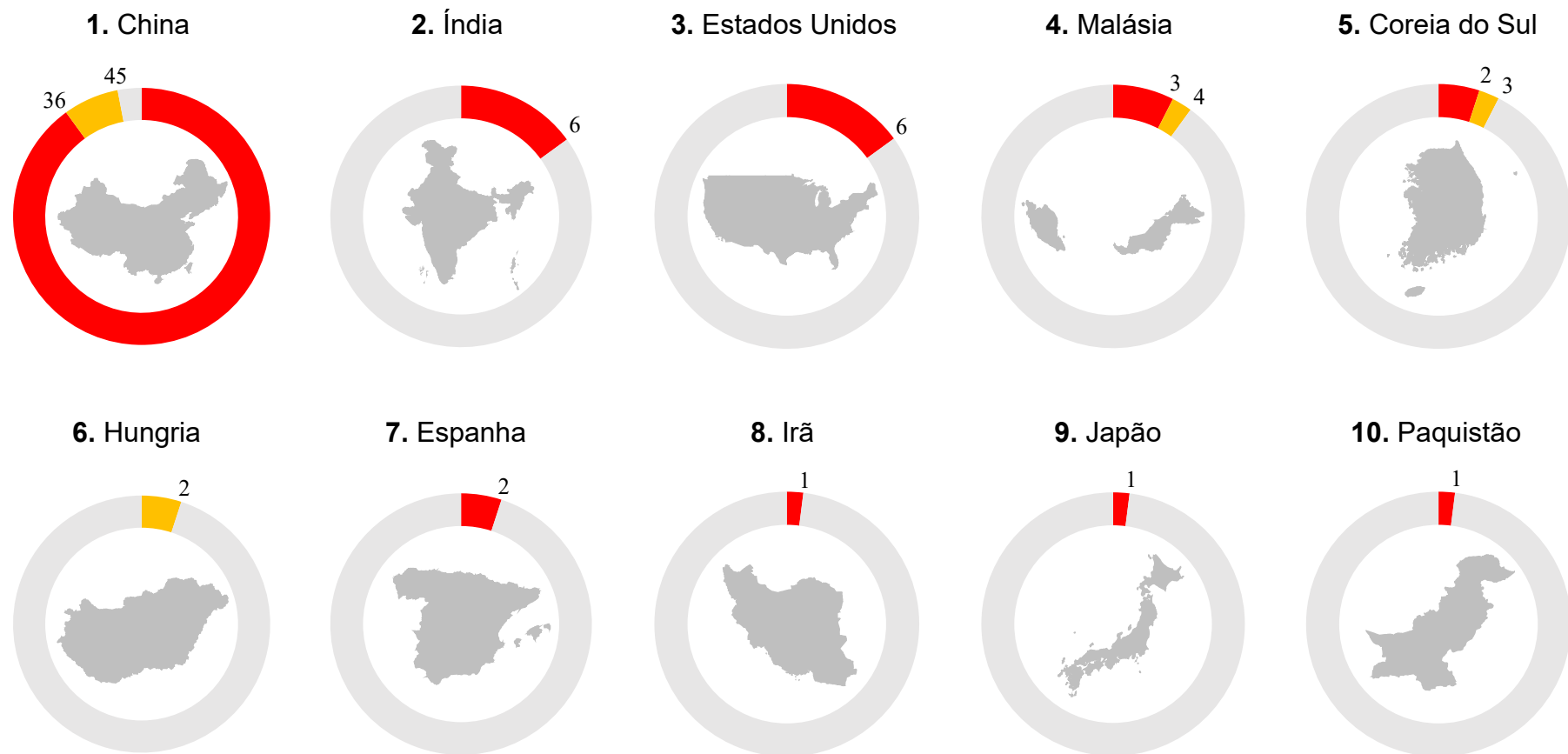


Figura 10 – Índices de colaboração entre países com base na afiliação do autor correspondente em estudos sobre a tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas entre 1989 e 2024. Os arcos vermelhos indicam a colaboração entre autores correspondentes e coautores de mesma nacionalidade, enquanto os arcos amarelos indicam a colaboração entre autores correspondentes e coautores de nacionalidades distintas.

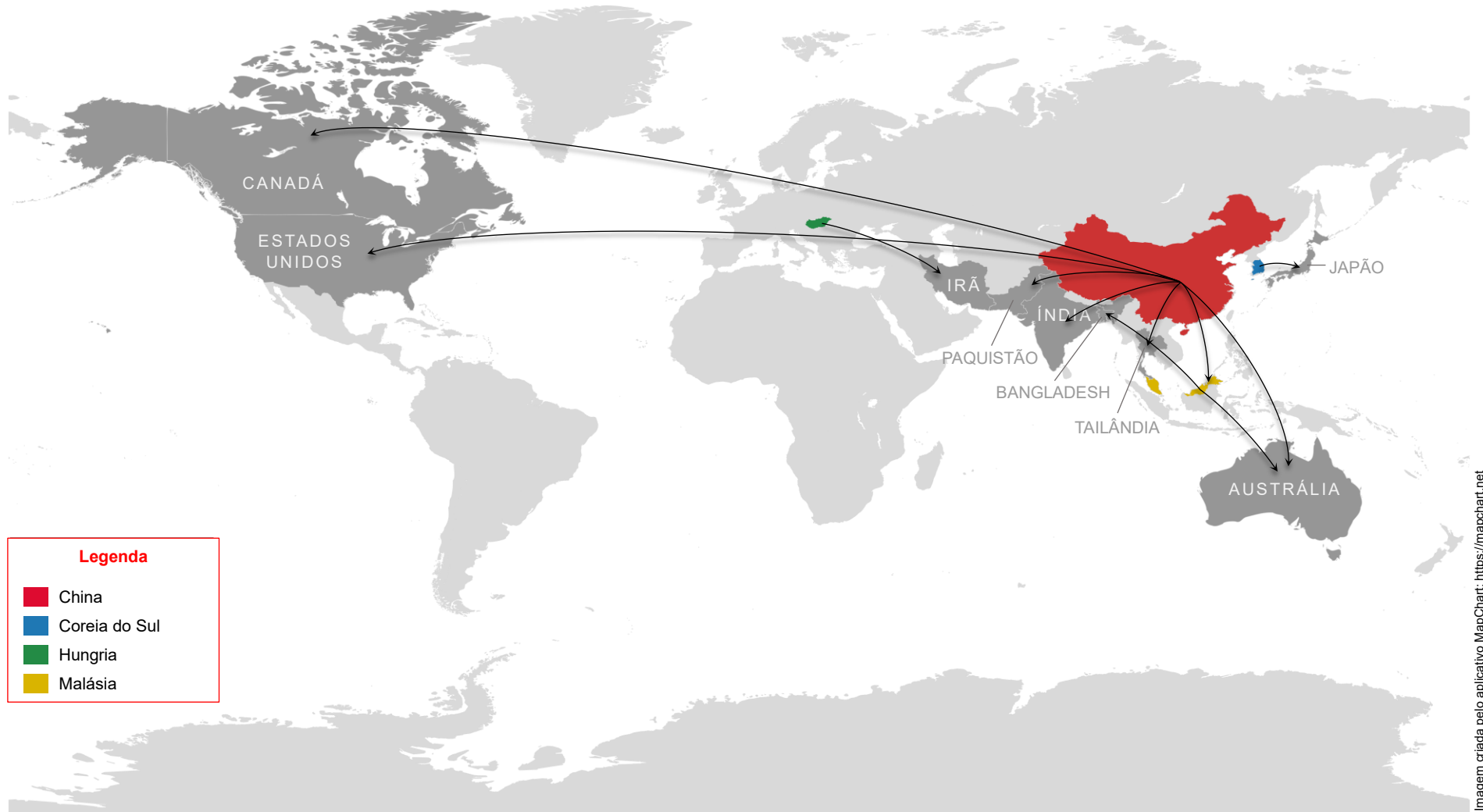


Figura 11 – Colaborações internacionais estabelecidas entre diferentes países com base na afiliação do autor correspondente de estudos relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas entre 1989 e 2024. As linhas de conexão entre os países indicam o estabelecimento de parcerias internacionais entre os países associados.

Tabela 4 – Evolução temporal da produção científica dos dez países mais produtivos, ordenados pelo número total acumulado de publicações (NTP), ao longo de três períodos temporais em estudos sobre a tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas

Posição	Período 1989-2012		Período 2013-2019		Período 2020-2024	
	País	NTP	País	NTP	País	NTP
1	Estados Unidos	11	China	41	China	124
2	Coreia do Sul	2	Estados Unidos	12	Índia	16
3	China	1	Coreia do Sul	6	Estados Unidos	12
4	Japão	1	Turquia	5	Malásia	9
5	Bangladesh	0	Bangladesh	2	Coreia do Sul	8
6	Índia	0	Irã	2	Paquistão	7
7	Irã	0	Malásia	2	Irã	5
8	Malásia	0	Paquistão	2	Japão	5
9	Paquistão	0	Índia	1	Turquia	5
10	Turquia	0	Japão	1	Bangladesh	3

4.3.4 Autores mais prolíficos e Lei de Lotka

A produção científica sobre a tolerância de pimenteiras do gênero *Capsicum* às altas temperaturas entre 1989 e 2024 envolveu 312 autores, incluindo correspondentes e coautores, com a produção concentrada em um grupo reduzido de pesquisadores. Os dez autores mais citados globalmente, todos chineses, publicaram juntos 118 estudos. Esse número excede o total de publicações identificadas pela análise bibliométrica sobre o tema, devido à prática de coautoria. Cada autor contabiliza individualmente em sua produção científica os estudos em que participa, mas a análise bibliométrica considera cada publicação uma única vez.

Embora a série histórica tenha iniciado em 1989, a contribuição desses autores iniciou-se apenas em 2006 com Yuzhu Wang. Três autores se destacaram significativamente tanto em produtividade quanto em impacto (Tabela 5): Shuilin He foi o autor mais produtivo (21 estudos), o mais citado (743 citações) e apresentou o maior índice-H (13), refletindo a relevância e influência de seus trabalhos. Deyi Guan acumulou 685 citações, sendo o segundo autor mais citado. Este autor publicou 18 estudos, ocupando a terceira posição em produtividade, com índice-H 11. Sheng Yang destacou-se como o segundo autor mais produtivo (19 estudos), o segundo maior índice-H (12) e o terceiro mais citado (685 citações).

Esses autores também possuem longas trajetórias acadêmicas, variando de nove anos (Sheng Yang) a 11 anos (Shuilin He e Deyi Guan), reforçando a consistência e impacto de suas publicações (Tabela 5).

Dentre os autores listados na Tabela 5, o pesquisador Weiwei Cai apresenta a trajetória científica mais recente, com apenas quatro anos de atividade. Contudo, seu impacto é notável, pois apresenta média de 42,66 citações por ano, valor superior ao de autores com maior tempo de atividade, como Yapeng Zhang, que apresenta o dobro de tempo de carreira e registra número médio de citações por ano três vezes menor. Embora ainda jovem em sua carreira, Weiwei Cai apresenta estudos de alta relevância e impacto global.

Tabela 5 – Relação dos dez autores mais prolíficos, ordenados pelo número total de citações (NTC), em estudos relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas entre 1989 e 2024

Posição	Autor	Instituto	Período de atividade	NTC	NEP	Índice-H
1	Shuilin He	<i>Key Laboratory of Applied Genetics of Universities in Fujian Province, China</i>	2013 – 2024	743	21	13
2	Deyi Guan	<i>Key Laboratory of Applied Genetics of Universities in Fujian Province, China</i>	2013 – 2024	685	18	11
3	Sheng Yang	<i>Key Laboratory of Applied Genetics of Universities in Fujian Province, China</i>	2015 – 2024	575	19	12
4	Zhiqin Liu	<i>Key Laboratory of Applied Genetics of Universities in Fujian Province, China</i>	2013 – 2024	461	8	6
5	Zhen-Hui Gong	<i>Northwest A&F University, China</i>	2014 – 2023	455	10	8
6	Yuzhu Wang	<i>Key Laboratory of Applied Genetics of Universities in Fujian Province, China</i>	2006 – 2022	368	8	5
7	Minghui Lu	<i>Northwest A&F University, China</i>	2014 – 2023	321	9	5
8	Lei Shen	<i>Key Laboratory of Applied Genetics of Universities in Fujian Province, China</i>	2016 – 2024	224	9	7
9	Weiwei Cai	<i>Key Laboratory of Applied Genetics of Universities in Fujian Province, China</i>	2021 – 2024	128	9	6
10	Yapeng Zhang	<i>Key Laboratory of Applied Genetics of Universities in Fujian Province, China</i>	2016 – 2024	114	7	5

Legenda: NEP – número total de estudos publicados.

Com base na Lei de Lotka, a análise da produtividade dos 312 autores que contribuíram com estudos sobre a tolerância de pimenteiros *Capsicum* às altas temperaturas revelou que 67,60% dos autores publicaram apenas um estudo, demonstrando uma concentração de autores com baixa produtividade. Outros 14,40% (45 autores) publicaram dois estudos, 8,30% (26 autores) publicaram três estudos, e apenas 4,20% (13 autores) publicaram quatro estudos (Figura 12). Um grupo de quatro autores (1,28%) publicou dez ou mais estudos: Zhen-Hui Gong (10 artigos), Deyi Guan (18 artigos), Sheng Yang (19 artigos) e Shuilin He (21 artigos) (Tabela 5).

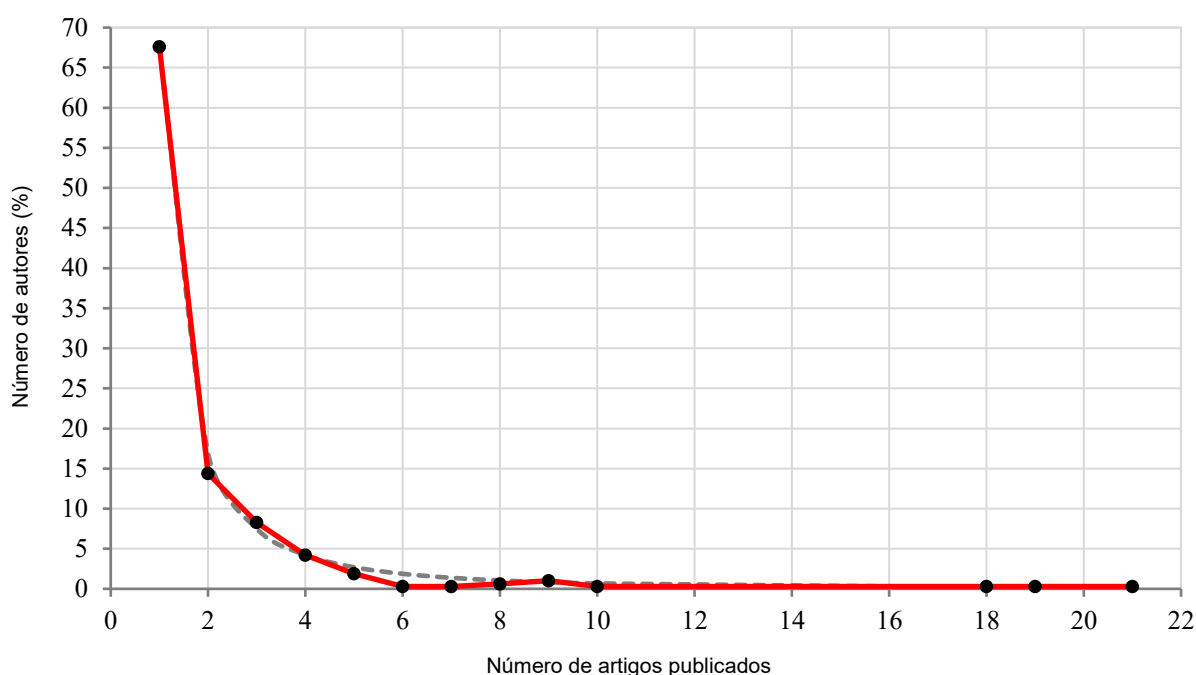


Figura 12 – Produtividade observada dos autores por meio da Lei de Lotka. A linha pontilhada em cinza indica a tendência esperada baseada no ajuste da Lei⁶.

Fonte: Aria e Cuccurullo (2017, adaptado).

⁶ A tendência esperada da produtividade dos autores com base na Lei de Lotka é calculada com base na fórmula: $A(r) = \frac{A(1)}{r^m}$, em que $A(r)$ é o número de autores que publicaram r obras, r é o número de obras publicadas por um autor, $A(1)$ é o número de autores que publicaram apenas uma obra e m é uma potência que geralmente varia entre um e dois (Bailón-Moreno *et al.*, 2005).

4.3.5 Artigos mais citados sobre tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas

A Tabela 6 apresenta os dez artigos mais citados entre 1989 e 2024 relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas. Os dois estudos mais citados foram realizados por Dang *et al.* (2013), com 230 citações globais e por Cai *et al.* (2015), com 137 citações. Esses dois estudos também registraram as maiores médias anuais de citações, reforçando sua relevância no campo.

Entre os oito periódicos responsáveis pela publicação desses artigos, todos figuram entre os dez mais citados globalmente em estudos relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas (Tabelas 2 e 6). Com exceção de “*Plant, Cell & Environment*”, “*Plant Physiology and Biochemistry*”, “*Plant Science*” e “*Protoplasma*”, os outros quatro estão entre os que mais publicaram sobre o tema. Apenas um dos autores desses artigos mais citados, Lei Shen, está listado entre os autores mais prolíficos no campo (Tabelas 1 e 6).

Entre os 85 documentos analisados, não foram encontradas contribuições de autores brasileiros para pesquisas sobre a tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas. Essa ausência evidencia uma lacuna significativa na produção científica nacional. Além disso, apenas três estudos investigaram a tolerância de pimenteiros ornamentais às altas temperaturas (Gajanayake *et al.*, 2010, 2011; Zhang *et al.*, 2020). Este dado reforça a necessidade de mais pesquisas voltadas ao contexto das pimenteiros ornamentais.

Tabela 6 – Relação dos dez artigos científicos mais citados, ordenados pelo número total de citações (NTC), relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas entre 1989 e 2024

Posição	Artigos científicos (citação)	DOI ⁷	Periódico de publicação	NTC	TCA
1	Dang <i>et al.</i> (2013)	10.1111/pce.12011	<i>Plant, Cell & Environment</i>	230	19,17
2	Cai <i>et al.</i> (2015)	10.1093/jxb/erv125	<i>Journal of Experimental Botany</i>	137	13,70
3	Guo <i>et al.</i> (2015)	10.3389/fpls.2015.00806	<i>Frontiers in Plant Science</i>	94	9,40
4	Zhai <i>et al.</i> (2016)	10.3389/fpls.2016.00131	<i>Frontiers in Plant Science</i>	76	8,44
5	Shen <i>et al.</i> (2016)	10.1093/jxb/erw069	<i>Journal of Experimental Botany</i>	70	7,78
6	Feng <i>et al.</i> (2019)	10.1016/j.plaphy.2019.07.001	<i>Plant Physiology and Biochemistry</i>	69	11,50
7	Guo <i>et al.</i> (2016)	10.1016/j.plantsci.2016.07.001	<i>Plant Science</i>	66	7,33
8	Huang <i>et al.</i> (2019)	10.1007/s00709-018-1280-7	<i>Protoplasma</i>	56	9,33
9	Anderson (2002)	10.1016/S0304-4238(02)00076-6	<i>Scientia Horticulturae</i>	55	2,39
10	Wang, J. <i>et al.</i> (2019)	10.3390/ijms20205042	<i>International Journal of Molecular Sciences</i>	55	9,17

Legenda: DOI – *Digital Object Identifier*. TCA – número total de citações por ano.

⁷ O DOI (do inglês *Digital Object Identifier*) é um identificador digital único atribuído a documentos, como artigos, livros, capítulos de livros, entre outros conteúdos publicados em meio eletrônico. Ele funciona como um “código de barras”, garantindo que os documentos possam ser localizados e acessados permanentemente, independentemente de alterações realizadas no endereço eletrônico onde foram originalmente publicados.

4.3.6 Palavras-chave mais citadas globalmente e análise de agrupamento temático

A análise das dez palavras-chave mais frequentes em artigos sobre a tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas revelou que “*Capsicum annuum*”, “estresse térmico” e “pimenta” foram as mais citadas, com 23 citações para as duas primeiras e 20 para a terceira entre 1989 e 2024 (Figura 13). Essas palavras refletem o foco central das pesquisas na avaliação dos efeitos do estresse térmico nas pimenteiros, principalmente na espécie *Capsicum annuum*.

Outras palavras-chave incluíram fatores de transcrição como “CaWRKY40” e “CabZIP63”, que estão relacionados às respostas de plantas a estresses abióticos e bióticos. Além disso, “*Ralstonia solanacearum*”, uma bactéria causadora da murcha bacteriana, surgiu como um tema de interesse devido ao seu impacto econômico em culturas de solanáceas (Figura 13).

A tabela 7 apresenta a evolução da frequência das palavras-chave mais citadas ao longo de três períodos temporais. Entre 1989 e 2012, as palavras-chave tiveram frequência relativamente baixa, refletindo o estágio inicial das pesquisas sobre o tema. Nesse período, “*Capsicum annuum*” foi citada quatro vezes, enquanto “estresse térmico”, duas vezes.

Entre 2013 e 2019, observou-se aumento considerável na frequência de “*Capsicum annuum*”, “estresse térmico” e “pimenta”, juntamente com o surgimento de palavras específicas como “CaWRKY40”, “CabZIP63” e “*Ralstonia solanacearum*”. De 2020 a 2024, o foco das pesquisas ainda se manteve sobre “*Capsicum annuum*”, “estresse térmico” e “pimenta”. Nesse período, “*Ralstonia solanacearum*” destacou-se significativamente, subindo da oitava para a quarta posição, demonstrando maior relevância no intervalo temporal mais recente (Tabela 7).

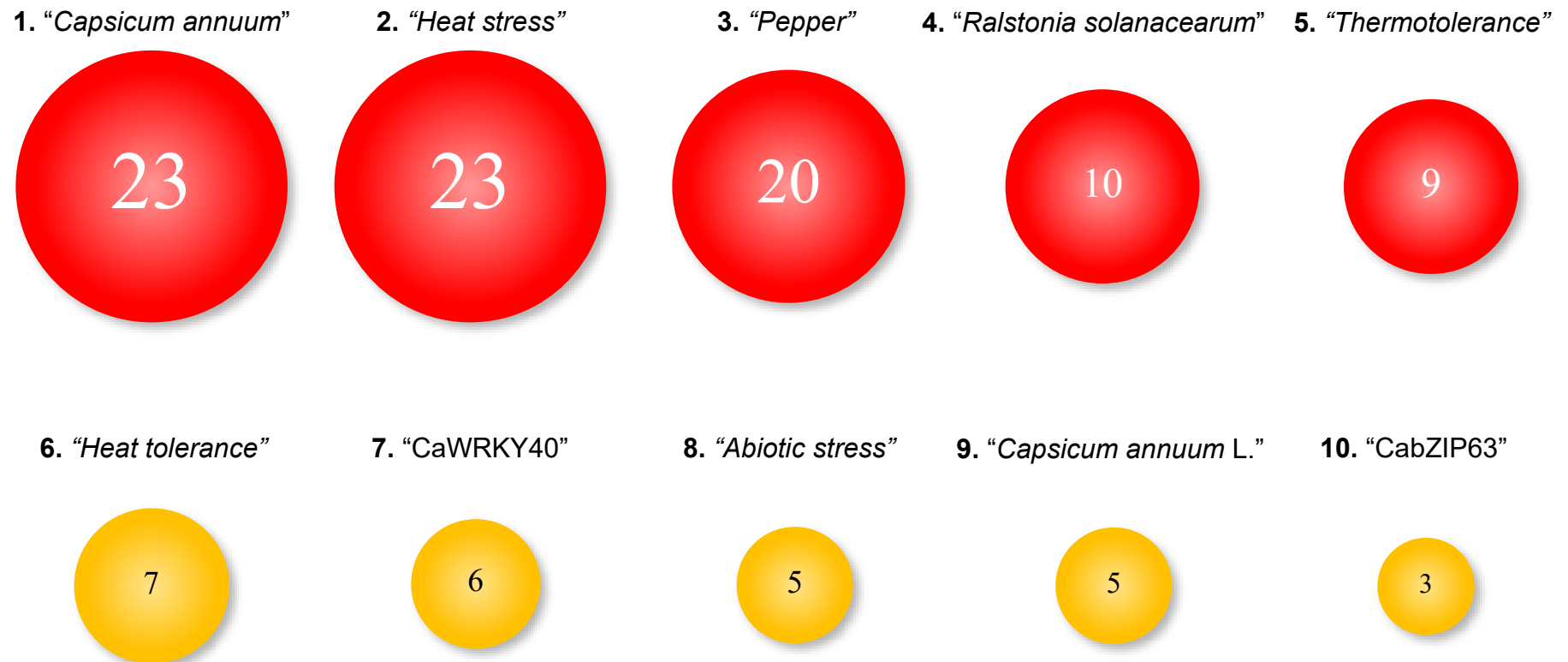


Figura 13 –Frequência das dez palavras-chave mais citadas em artigos científicos sobre a tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas no período de 1989 a 2024. O diâmetro dos círculos e o tamanho dos números correspondem à magnitude da frequência de citação das palavras-chave.

Tradução: *Heat stress* – estresse térmico. *Pepper* – pimenta. *Thermotolerance* – termotolerância. *Heat tolerance* – tolerância ao calor. *Abiotic stress* – estresse abiótico.

Tabela 7 – Evolução da frequência de citações das dez palavras-chave mais citadas, ordenadas pela frequência acumulada, em artigos científicos relacionados à tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas durante três períodos temporais

Posição	Período 1989-2012		Período 2013-2019		Período 2020-2024	
	Palavra-chave	Frequência acumulada	Palavra-chave	Frequência acumulada	Palavra-chave	Frequência acumulada
1	<i>Capsicum annuum</i>	4	<i>Capsicum annuum</i>	10	<i>Capsicum annuum</i>	23
2	<i>Heat stress</i>	2	<i>Heat stress</i>	10	<i>Heat stress</i>	23
3	<i>Abiotic stress</i>	1	<i>Pepper</i>	7	<i>Pepper</i>	20
4	<i>Heat tolerance</i>	1	<i>Capsicum annuum</i> L.	5	<i>Ralstonia solanacearum</i>	10
5	<i>Pepper</i>	1	<i>Thermotolerance</i>	4	<i>Thermotolerance</i>	9
6	<i>Thermotolerance</i>	1	<i>Abiotic stress</i>	3	<i>Heat tolerance</i>	7
7	CabZIP63	0	CaWRKY40	3	CaWRKY40	6
8	<i>Capsicum annuum</i> L.	0	<i>Ralstonia solanacearum</i>	3	<i>Abiotic stress</i>	5
9	CaWRKY40	0	CabZIP63	1	<i>Capsicum annuum</i> L.	5
10	<i>Ralstonia solanacearum</i>	0	<i>Heat tolerance</i>	1	CabZIP63	3

Tradução: *Abiotic stress* – estresse abiótico. *Heat stress* – estresse térmico. *Heat tolerance* – tolerância ao calor. *Pepper* – pimenta. *Thermotolerance* – termotolerância.

A análise de agrupamento (Figura 14) revelou a formação de quatro grupos principais de palavras-chave:

- Grupo 1 (azul): formado por dez palavras-chave e inclui "*Capsicum annuum*" como palavra-chave central e fatores de transcrição como "CaWRKY40" e "CabZIP63", além de "termotolerância" e "*Ralstonia solanacearum*".
- Grupo 2 (vermelho): formado por 13 palavras-chave. Tem como palavra-chave principal "estresse térmico" e destaca "pimenta", "estresse abiótico", "*Capsicum annuum* L.", "autofagia", "expressão gênica" e "silenciamento gênico" como palavras associadas.
- Grupo 3 (verde): formado por "tolerância ao calor" e "viabilidade polínica".
- Grupo 4 (violeta): formado por "enzimas antioxidantes" e "tolerância ao estresse térmico".

Entre as dez palavras-chave mais frequentes, cinco estavam no Grupo 1 e quatro no Grupo 2. A palavra-chave "*Heat tolerance*" (tolerância ao calor) apareceu isolada no Grupo 3, associada à "viabilidade do pólen". Isso infere que a avaliação da viabilidade polínica está diretamente relacionada à capacidade de genótipos de *Capsicum* tolerarem altas temperaturas (Figura 14).

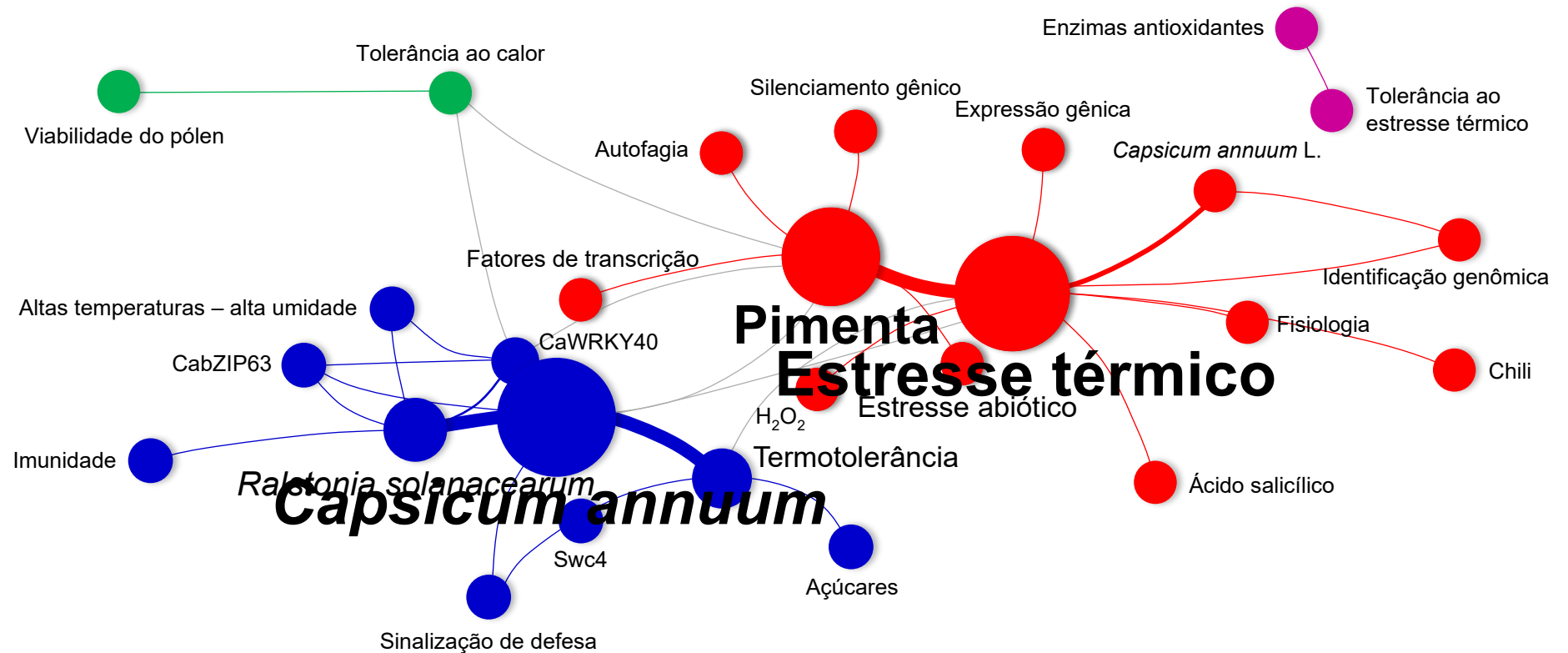


Figura 14 –Análise de agrupamento das palavras-chave mais citadas em artigos científicos sobre a tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas no período de 1989 a 2024. Os grupos de palavras-chave são identificados por cores diferentes. O diâmetro dos círculos e das fontes correspondem à magnitude da frequência de citações das palavras-chave. As linhas entre os círculos representam as associações entre as palavras-chave, com o tamanho e a espessura das linhas indicando o grau de associação.

Fonte: Aria e Cuccurullo (2017, adaptado).

4.4 Discussão

As anomalias climáticas anuais e as mudanças observadas ao longo de décadas têm gerado impactos significativos nos sistemas agrícolas globais, afetando a produtividade das culturas, a segurança alimentar e o bem-estar social. Essas alterações, como secas frequentes e o aumento global das temperaturas, têm causado prejuízos severos à produtividade vegetal, agravando os riscos de escassez alimentar no futuro. Em resposta a esse cenário, a comunidade científica intensificou esforços para compreender os efeitos das mudanças climáticas sobre plantas de interesse agrônomico, dada a reconhecida sensibilidade da agricultura a essas mudanças (Wu *et al.*, 2023).

Os resultados da análise revelaram um aumento expressivo no número de publicações sobre a tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas nos últimos seis anos, totalizando 59 documentos no período (Figura 7). Esse crescimento reflete a crescente preocupação global com os efeitos adversos do aquecimento global na produção agrícola (Dumitru *et al.*, 2023). Nesse contexto, as pimenteiros *Capsicum* destacam-se como uma cultura vegetal de grande relevância econômica e social, justificando os esforços direcionados ao desenvolvimento de cultivares geneticamente melhoradas para tolerar condições de altas temperaturas, um objetivo crucial no âmbito do melhoramento genético de pimenteiros (Rajametov *et al.*, 2021).

Particularmente, o ano de 2013 apresentou o maior número médio de citações por documento (19,17), evidenciando um interesse mais intenso da comunidade científica nesse período (Figura 8). Esse aumento pode estar associado aos eventos climáticos extremos registrados em 2013, considerado o quarto ano mais quente desde o início dos registros em 1880. Regiões como Austrália, Argentina, Etiópia e Tanzânia enfrentaram temperaturas recordes e ondas de calor significativas (NOAA National Centers for Environmental Information, 2014). Esses eventos climáticos extremos parecem ter motivado a intensificação de estudos revisando os potenciais impactos das altas temperaturas em culturas agrícolas, incluindo as pimenteiros.

Até 2013, as pesquisas sobre a tolerância de pimenteiros *Capsicum* às altas temperaturas eram incipientes e contribuíram pouco para o entendimento dos mecanismos de termotolerância envolvidos, o que explica o baixo número de citações nesse período (Figura 8). Entre 2020 e 2024, observou-se uma nova redução no

número de citações, provavelmente relacionada aos impactos da pandemia de Covid-19. Durante esse período, a comunidade científica enfrentou uma mudança significativa nas prioridades de pesquisa, com foco predominante em temas relacionados à pandemia (Wu *et al.*, 2023). Medidas de controle, como o fechamento de universidades, instituições de pesquisa, empresas e fronteiras, afetaram diretamente a condução de estudos em diversas áreas, incluindo a agricultura (Sohrabi *et al.*, 2021). Como resultado, o avanço das pesquisas sobre a tolerância ao estresse térmico foi temporariamente relegado a segundo plano.

A análise dos periódicos revelou que cinco revistas se destacaram na publicação de estudos relevantes sobre a tolerância de pimenteiros *Capsicum* às altas temperaturas: “*HortScience*”, “*Frontiers in Plant Science*”, “*Scientia Horticulturae*”, “*International Journal of Molecular Sciences*” e “*Journal of Experimental Botany*” (Tabela 1). Juntos, esses periódicos publicaram 38,82% dos 85 documentos analisados, enquanto o restante foi disperso entre outros periódicos, muitos dos quais publicaram apenas um estudo sobre o tema. Esses resultados destacam o impacto desses periódicos na consolidação e disseminação do conhecimento científico sobre a termotolerância em pimenteiros.

Esses resultados são, em parte, consistentes com os obtidos por Cui *et al.* (2022), que realizaram uma análise bibliométrica de documentos extraídos da Web of Science relacionados à resposta das plantas às altas temperaturas e à seca. Nesse estudo, os autores utilizaram ferramentas como o pacote Bibliometrix do programa R e o VOSviewer. As conclusões dos autores reforçam a importância de compreender as estratégias de adaptação das plantas a estresses abióticos e destacam o papel de periódicos de alto impacto na disseminação desses conhecimentos.

Entre os periódicos mais citados, “*Plant, Cell & Environment*” e “*Plant Physiology and Biochemistry*” apresentaram os maiores fatores de impacto (6,1), embora não estejam entre os dez mais prolíficos na publicação de estudos sobre o tema. Essa discrepância pode ser explicada pela alta seletividade desses periódicos, que priorizam trabalhos de grande relevância global e com impacto significativo. O escopo da “*Plant, Cell & Environment*”, por exemplo, foca em trabalhos que integram aspectos biológicos e ecológicos (Wiley, 2024), enquanto “*Plant Physiology and Biochemistry*” publica apenas estudos originais e inovadores nos campos da fisiologia e bioquímica vegetal, rejeitando manuscritos que não apresentem avanços

substanciais no campo (Elsevier, 2024b). Essa seletividade rigorosa eleva o prestígio desses periódicos, o que, por sua vez, contribui para seus altos fatores de impacto.

O fator de impacto, amplamente utilizado para avaliação de periódicos, é publicado anualmente pela *Clarivate Analytics*, por meio do relatório *Journal Citation Reports™* (JCR). A *Clarivate* utiliza dados de citação da Web of Science para calcular essa métrica. Ele é calculado com base no número de citações recebidas por artigos publicados em um determinado ano em relação ao total de publicações nos dois anos anteriores (Suelzer; Jackson, 2022).

Embora essa métrica seja útil para avaliar o prestígio de periódicos, possui limitações, como a incapacidade de refletir a qualidade individual dos artigos, a variabilidade entre áreas de pesquisa e a influência de autocitações. Além disso, ela não considera o impacto a longo prazo dos estudos publicados (Mech *et al.*, 2020). Por isso, recomenda-se combiná-lo com outras métricas quantitativas e qualitativas para obter uma avaliação mais abrangente da qualidade dos periódicos.

Essas observações destacam a relevância de uma análise criteriosa na escolha de periódicos para publicações e consulta científica, considerando tanto métricas tradicionais quanto indicadores complementares de impacto acadêmico. Esse cuidado é essencial para garantir a robustez e a confiabilidade da produção científica sobre a tolerância de pimenteiros *Capsicum* às altas temperaturas.

Dezessete nações publicaram estudos sobre a tolerância de pimenteiros do gênero *Capsicum* às altas temperaturas, com destaque para a China e os Estados Unidos, que lideram em produção científica e número de citações globais até a data da análise bibliométrica (Tabela 3). Essa liderança reflete a prioridade atribuída por esses países às questões relacionadas às mudanças climáticas e à segurança alimentar (Dumitru *et al.*, 2023).

Diversos problemas agrícolas relacionados às mudanças climáticas impactaram significativamente esses países nas últimas décadas. Na China, fatores como degradação do solo, secas, enchentes e ondas de calor reduziram a produtividade agrícola (Habib-ur-Rahman *et al.*, 2022). Nos Estados Unidos, aumentos de temperatura e alterações nos padrões de precipitação resultaram em secas prolongadas, especialmente na Califórnia, uma importante região agrícola. Culturas que demandam maior número de “horas de frio” para a dormência, como frutas e nozes, também sofreram reduções na produtividade e qualidade (Pathak *et al.*, 2018).

Os fenômenos climáticos extremos enfrentados por esses países têm fomentado discussões científicas e políticas voltadas para mitigação dos impactos das mudanças climáticas em setores estratégicos (Wu *et al.*, 2022), como a agricultura. Nas últimas décadas, os Estados Unidos e a China têm investido significativamente em pesquisas para avaliar os impactos das mudanças climáticas, como o aumento da temperatura global, na produção de diversas culturas, incluindo as pimenteiras, conforme evidenciado pelos seus protagonismos tanto na produção quanto na citação de estudos sobre o tema (Tabela 3).

O destaque desses países na produção científica também se deve ao forte investimento em pesquisa e infraestrutura científica (Brainard; Normile, 2022). De acordo com a Tabela 6, os artigos mais citados globalmente foram predominantemente de autoria chinesa e publicados em periódicos de alto prestígio internacional, o que amplifica seu alcance e impacto. Yuan e Sun (2022) corroboram com esse resultado, destacando que o crescimento econômico acelerado vivenciado pela China nas últimas décadas propiciou um ambiente favorável ao avanço científico no país, similarmente ao observado em estudos sobre mudanças climáticas e seus efeitos no arroz.

Além disso, fatores culturais e econômicos reforçam a relevância das pimenteiras *Capsicum* nesses países. Dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, do inglês *Food and Agriculture Organization of the United Nations*) indicam que a China e os Estados Unidos lideram em importações de frutos de pimentas, confirmando a importância da cultura para a culinária nesses países (FAO, 2023). Esses fatores contribuem para a alta qualidade e impacto das publicações científicas desses países, consolidando-os como líderes no estudo da tolerância de pimenteiras às altas temperaturas.

Entre os 17 países que contribuíram na publicação de estudos sobre o tema, 11 são asiáticos, o que reflete a importância cultural das pimenteiras *Capsicum* na tradição desses países. Dados da FAO apontam Índia, Bangladesh, Tailândia, China e Paquistão entre os dez maiores produtores pimentas secas (FAO, 2023). Esse contexto justifica a proliferação de estudos na Índia, que figura como o segundo país mais prolífico nos últimos quatro anos (Tabela 4). Segundo Aruna *et al.* (2023), a intensificação dos efeitos das altas temperaturas na última década motivou a Índia a desenvolver estudos genéticos e para o desenvolvimento de cultivares de pimenteiras resilientes ao estresse térmico.

A análise da colaboração entre autores revelou que a maioria das parcerias estabelecidas foi intranacional, ou seja, realizada entre pesquisadores do mesmo país. Colaborações internacionais ocorreram envolvendo principalmente a China, Coreia do Sul, Hungria e Malásia, mas ainda foram limitadas (Figura 10). Resultados semelhantes foram encontrados por Folharini *et al.* (2023), ao analisarem colaborações em pesquisas sobre incêndios florestais e áreas protegidas, onde as parcerias intranacionais também predominaram.

Essa predominância pode ser atribuída a fatores históricos, geográficos, tecnológicos e sociológicos. Barreiras linguísticas, complicações administrativas e dificuldades de financiamento tornam a colaboração intranacional mais prática e acessível (Dusdal; Powell, 2021; Fitzgerald; Ojanperä; O'Clery, 2021). Além disso, o conceito de nacionalismo científico, conforme destacado por Li, Ren e Wang (2024) também contribui para a prevalência de parcerias intranacionais. O nacionalismo científico reflete a priorização de pesquisas que atendam interesses estratégicos nacionais, como o aprimoramento das capacidades econômicas, tecnológicas e militares. Essa abordagem busca proteger direitos de propriedade intelectual e tecnologias proprietárias, frequentemente limitando as colaborações internacionais (Li; Ren; Wang, 2024).

Para superar essas limitações e fomentar colaborações internacionais, algumas estratégias podem ser implementadas, como programas de financiamento conjunto entre nações, intercâmbios acadêmicos e uso de plataformas digitais que facilitem a comunicação entre pesquisadores de diferentes nações (Moshtari; Safarpour, 2024). Essas medidas podem promover o desenvolvimento científico mútuo, reduzir desigualdades tecnológicas e fortalecer redes internacionais de colaboração.

Um total de 312 autores contribuiu com estudos sobre a tolerância de pimenteirias do gênero *Capsicum* às altas temperaturas. Entre eles, os dez mais prolíficos são chineses, reforçando o protagonismo da China na publicação e citação de trabalhos sobre o tema. Destacaram-se Shuilin He, Deyi Guan e Sheng Yang, que lideram tanto em produtividade quanto em impacto, refletido por seus altos índices-H – métrica que avalia simultaneamente a quantidade e a relevância das publicações de um pesquisador (Hirsch, 2005). O índice é baseado no conjunto dos artigos mais citados do pesquisador e no número de citações que eles receberam em outras publicações (Aria; Cuccurullo, 2017). O índice de Shuilin He, por exemplo, é 13,

indicando que 13 de suas 21 publicações foram citadas pelo menos 13 vezes cada, evidenciando a relevância de suas pesquisas para a comunidade científica.

Essa proeminência é corroborada pelos artigos apresentados na Tabela 6, onde os dois mais citados globalmente contam com a participação desses autores, exceto Shang Yang no primeiro artigo. Weiwei Cai, que tem a trajetória científica mais recente entre os autores destacados na Tabela 5, acumulou 128 citações em apenas quatro anos de atividade acadêmica. Sua relevância científica pode ser atribuída à colaboração com pesquisadores renomados como Shuilin He, Deyi Guan e Sheng Yang, que participaram dos nove estudos de Cai. Esses quatro autores, em conjunto, contribuíram significativamente para elucidar mecanismos moleculares e metabólicos relacionados à termotolerância e à resistência à bactéria *Ralstonia solanacearum* em pimenteiras.

Os dez artigos mais citados globalmente focam na investigação das alterações bioquímicas e moleculares que ocorrem em pimenteiras sob estresse térmico ou outros fatores biológicos adversos. A relevância desses estudos é reforçada, entre outras razões, pela publicação em periódicos de alto prestígio internacional. O trabalho de Dang *et al.* (2013), o mais citado, demonstrou que a superexpressão da proteína CaWRKY40, da família de fatores de transcrição WRKY, é induzida por estresse térmico ou pela bactéria *R. solanacearum* em pimenteiras. Esse mecanismo ativa genes que protegem as plantas contra a bactéria e aumentam a termotolerância. Por outro lado, o silenciamento de CaWRKY40 aumentou a susceptibilidade das pimenteiras à bactéria e comprometeu sua tolerância ao estresse térmico.

Complementando esses achados, Cai *et al.* (2015) identificaram outro fator de transcrição, CaWRKY6, que regula a expressão de CaWRKY40, revelando a interação funcional entre os dois genes no fortalecimento da resistência das pimentas a estresses abióticos e bióticos. Outros estudos, como os de Meng Guo (Guo *et al.*, 2015, 2016), exploraram genes que codificam proteínas de choque térmico (HSPs, do inglês *heat shock proteins*) no genoma das pimenteiras. Essas proteínas compreendem uma família diversificada de proteínas que desempenham um papel essencial ao proteger células contra o envelhecimento inadequado e a agregação de proteínas defeituosas em condições de estresse térmico (Boopathy *et al.*, 2022).

Zhai *et al.* (2016) investigaram genes CaATG associados à autofagia, um mecanismo de defesa ao estresse térmico em pimenteiras. Shen *et al.* (2016) elucidaram a regulação de CaWRKY40 por meio do fator de transcrição CabZIP63.

Feng *et al.* (2019) identificaram a indução da proteína de choque térmico CaHsp25.9, que reduz o acúmulo de espécies reativas de oxigênio e aumenta a síntese de enzimas antioxidantes em pimenteiros submetidas ao estresse térmico. Huang *et al.* (2019) relataram resultados semelhantes para a proteína CaHsp16.4.

Anderson (2002) contribuiu com uma abordagem fisiológica, demonstrando a redução na atividade de enzimas antioxidantes e na estabilidade das membranas celulares em pimenteiros submetidas ao estresse térmico. Já Wang, J. *et al.* (2019) utilizaram técnicas de transcriptômica e metabolômica para comparar as respostas de uma cultivar de pimenta termotolerante e uma sensível sob estresse térmico. Eles observaram que a cultivar tolerante apresentou mudanças mais significativas na expressão gênica e nos metabólitos, o que explica sua maior tolerância ao estresse térmico.

Esses estudos, ao abordar diversos mecanismos de adaptação ao estresse térmico, fornecem bases científicas importantes para o futuro desenvolvimento de cultivares de pimenteiros mais resilientes, que contribuirão para a mitigação dos impactos das mudanças climáticas na agricultura.

As análises de palavras-chave evidenciaram que as pesquisas sobre a tolerância de pimenteiros às altas temperaturas concentraram-se principalmente na espécie *Capsicum annuum* L., utilizando abordagens moleculares, como a expressão de fatores de transcrição e análises de expressão gênica. Estudos relacionados à resistência de genótipos à infecção por *R. solanacearum* também se destacaram (Figura 1.9), refletindo o foco principal dos dez artigos mais citados.

A evolução temporal das palavras-chave sugere mudanças nos tópicos predominantes das pesquisas e nas direções das investigações (Cui *et al.*, 2022). Entre 1989 e 2012, o número reduzido de artigos resultou em baixa frequência de palavras-chave, com destaque para “*Capsicum annuum*” e “estresse térmico”. Esse padrão continuou entre 2013 e 2019, período que apresentou maior frequência desses termos, tendência que persistiu entre 2020 e 2024 (Tabela 7). A predominância de *C. annuum* nas pesquisas relacionadas ao estresse térmico em pimenteiros deve-se à sua importância como a espécie de *Capsicum* mais cultivada globalmente, utilizada tanto como alimento quanto em medicamentos devido à presença de compostos bioativos diversificados (Liu *et al.*, 2023).

Entre 2013 e 2019, houve um aumento no uso de abordagens moleculares para investigar os mecanismos adaptativos de resposta ao estresse térmico. Esses

mecanismos, segundo Zhang *et al.* (2022), envolvem modificações multiníveis nas plantas, incluindo detecção do estresse, transdução de sinais e alterações transcricionais, translacionais e pós-traducionais. Compreender tais processos é essencial para o desenvolvimento de cultivares mais resistentes às mudanças climáticas.

Nos últimos anos (2020-2024), as pesquisas passaram a explorar também os fatores bióticos, como a interação com *R. solanacearum*. Estudos identificaram fatores de transcrição, como CaWRKY40 e CaWRKY6, que promovem a tolerância ao estresse térmico e resistência à bactéria (Dang *et al.*, 2013; Cai *et al.*, 2015; Shen *et al.*, 2016). Esses achados reforçam a relevância de estratégias moleculares no desenvolvimento de plantas mais resistentes à estresses abióticos e bióticos.

A análise de agrupamento (Figura 14) identifica as palavras-chave frequentemente citadas em conjunto nos documentos, revelando redes temáticas e suas conexões (Folharini *et al.*, 2023). Esses agrupamentos refletem as principais áreas de interesse em pesquisas sobre tolerância ao estresse térmico em pimenteiras. O Grupo 1 (azul) destacou-se por abordar estudos moleculares e genéticos, com ênfase em genes como CaWRKY40 e CabZIP63, relacionados à termotolerância e à imunidade de *C. annuum* contra *R. solanacearum*. Este grupo reflete o eixo principal das temáticas abordadas pelos artigos mais citados, sendo foco das pesquisas de autores renomados como Shuilin He, Deyi Guan e Sheng Yang.

O Grupo 2 (vermelho) concentrou-se nas respostas fisiológicas e moleculares das pimenteiras ao estresse térmico, abordando mecanismos como expressão e silenciamento gênico e autofagia. O Grupo 3 (verde) focou nos aspectos reprodutivos, analisando, em especial, os impactos do estresse térmico na fertilidade dos grãos de pólen, tema central do estudo de Reddy e Kakani (2007). Já o Grupo 4 (violeta) destacou-se pelos estudos sobre os mecanismos de defesa antioxidante em resposta ao estresse térmico, como explorado por Anderson (2002).

A interligação entre os Grupos 1 e 2 sugerem que os estudos genéticos, incluindo a regulação de fatores de transcrição, estão intimamente conectados às investigações fisiológicas e bioquímicas sobre a resposta das pimenteiras ao estresse térmico (Figura 14). Essas conexões corroboram com os achados de Dang *et al.* (2013) e Cai *et al.* (2015). Além disso, as interações entre os Grupos 1, 2 e 3 indicam um foco na investigação de aspectos reprodutivos, como o impacto do estresse

térmico na formação e viabilidade dos grãos de pólen, tema investigado por Reddy e Kakani (2007), Rosmaina *et al.* (2022) e Gisbert-Mullor *et al.* (2023).

Em relação às pimenteiras ornamentais, a análise bibliométrica identificou apenas três estudos relevantes. Gajanayake *et al.* (2010, 2011) avaliaram a influência de temperaturas entre 10 °C e 45 °C na germinação *in vitro* de grãos de pólen, no comprimento do tubo polínico e na estabilidade das membranas celulares em 12 cultivares de pimenta ornamental. Zhang *et al.* (2020), por sua vez, analisaram os efeitos das altas temperaturas no crescimento e desenvolvimento de pimentas ornamentais, observando que a aplicação de ácido salicílico exógeno pode mitigar os impactos negativos do estresse térmico.

Apesar de suas contribuições, esses estudos não abordaram de forma abrangente os impactos das altas temperaturas na qualidade estética das plantas, fator crucial para o mercado de plantas ornamentais.

Ademais, a análise bibliométrica não identificou estudos brasileiros que investigassem a tolerância de pimenteiras às altas temperaturas, mesmo com significativa produção científica nacional sobre pimenteiras ornamentais. Essa lacuna científica limita o desenvolvimento de cultivares que aliem tolerância às altas temperaturas com características estéticas inovadoras, prejudicando o avanço da floricultura no país e colocando o Brasil em desvantagem em relação a outros países que já investigaram essa temática.

4.5 Conclusão

Os resultados da análise bibliométrica revelaram que as pesquisas sobre a tolerância ao estresse térmico em pimenteiras, especialmente *Capsicum annuum*, têm se concentrado em abordagens bioquímicas e moleculares. Esses estudos destacam a expressão gênica, os fatores de transcrição e as proteínas de choque térmico como elementos-chave para a termotolerância e a resistência da espécie a fatores bióticos, como infecções pela bactéria *Ralstonia solanacearum*. Esses resultados poderão facilitar a implementação de estratégias em programas de melhoramento genético, favorecendo o desenvolvimento de cultivares termotolerantes e contribuindo para a promoção de uma agricultura mais resiliente às mudanças climáticas.

As investigações voltadas para pimenteiras ornamentais ainda são escassas, apesar do progresso científico verificado nas últimas duas décadas em compreender os mecanismos de termotolerância em pimenteiras. Merece destaque o fato das pesquisas serem limitadas a aspectos fisiológicos, e não avaliarem de forma abrangente os impactos das altas temperaturas nas características estéticas dessas plantas, fator essencial para o mercado de plantas ornamentais.

A análise bibliométrica revelou a ausência de estudos no Brasil sobre a tolerância de pimenteiras às altas temperaturas, ressaltando uma lacuna científica significativa. Essa deficiência compromete o avanço na seleção de genótipos ornamentais adaptados a condições climáticas adversas.

Os dados destacam a necessidade urgente de pesquisas mais abrangentes, que integrem os aspectos fisiológicos, moleculares e morfológicos das pimenteiras ornamentais. No contexto brasileiro, tal integração é fundamental para promover o desenvolvimento de novas cultivares resilientes às altas temperaturas e competitivas no mercado global de plantas ornamentais.

Referências

- ANDERSON, J. A. Additive effects of alcohols and polyols on thermostability of pepper leaf extracts. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, [s. l.], v. 132, n. 1, p. 67-72, 2007. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.132.1.67>.
- ANDERSON, J. A. Catalase activity, hydrogen peroxide content and thermotolerance of pepper leaves. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 95, p. 277-284, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00076-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00076-6).
- ANDERSON, J. A. Heat stability of pepper leaf extracts. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, [s. l.], v. 131, n. 1, p. 17-23, 2006. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.131.1.17>.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: an R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, [s. l.], v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.
- ARUNA, T. S. *et al.* Genetic analysis of heat tolerance in hot pepper: insights from comprehensive phenotyping and QTL mapping. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 14, p. 1-18, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1232800>.
- ASHRAF, M. F. *et al.* *Capsicum annuum* HsfB2a positively regulates the response to *Ralstonia solanacearum* infection or high temperature and high humidity forming transcriptional cascade with CaWRKY6 and CaWRKY40. **Plant & Cell Physiology**, [s. l.], v. 59, n. 12, p. 2608-2623, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcy181>.
- BAILÓN-MORENO, R. *et al.* Bibliometric laws: empirical flaws of fit. **Scientometrics**, [s. l.], v. 63, n. 2, p. 209-229, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-005-0211-5>.
- BOOPATHY, L. R. A. *et al.* Mechanisms tailoring the expression of heat shock proteins to proteostasis challenges. **Journal of Biological Chemistry**, [s. l.], v. 298, n. 5, p. 1-19, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbc.2022.101796>.
- BRAINARD, J.; NORMILE, D. China rises to first place in one key metric of research impact. **Science**, [s. l.], v. 377, n. 6608, p. 799, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.ade4585>.
- CAI, H. *et al.* CaWRKY6 transcriptionally activates CaWRKY40, regulates *Ralstonia solanacearum* resistance, and confers high-temperature and high-humidity tolerance in pepper. **Journal of Experimental Botany**, [s. l.], v. 66, n. 11, p. 3163-3174, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv125>.
- CLARIVATE ANALYTICS. **Journal Citation Reports**. 2024b. Disponível em: <https://jcr-clarivate.ez17.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 22 nov. 2024.
- CLARIVATE ANALYTICS. **Web of Science Core Collection**. 2024a. Disponível em: <https://www-webofscience.ez17.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 22 nov. 2024.

COONS, J. M. *et al.* Seed germination of seven pepper cultivars at constant or alternating high temperatures. **Journal of Horticultural Science**, [s. l.], v. 64, n. 6, p. 705-710, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1080/14620316.1989.11516012>.

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE. **The 2024 Annual Climate Summary**: Global Climate Highlights 2024. 2025. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu>. Acesso em: 11 jan. 2025.

CUI, Y. *et al.* Plant responses to high temperature and drought: a bibliometrics analysis. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 13, p. 1-17, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1052660>.

DANG, F.-F. *et al.* CaWRKY40, a WRKY protein of pepper, plays an important role in the regulation of tolerance to heat stress and resistance to *Ralstonia solanacearum* infection. **Plant, Cell & Environment**, [s. l.], v. 36, p. 757-774, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.12011>.

DAS, S. *et al.* Combinatorial impacts of elevated CO₂ and temperature affect growth, development, and fruit yield in *Capsicum chinense* Jacq. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, [s. l.], v. 29, n. 3, p. 393-407, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12298-023-01294-9>.

DE NATALE, F. *et al.* A bibliometric analysis on drought and heat indices in agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, [s. l.], v. 341, p. 1-15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109626>.

DI COSMO, A. *et al.* Research trends in octopus biological studies. **Animals**, [s. l.], v. 11, n. 6, p. 1-16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11061808>.

DUMITRU, E. A. *et al.* Climate change impacts on vegetable crops: a systematic review. **Agriculture**, [s. l.], v. 13, n. 10, p. 1-18, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13101891>.

DUSDAL, J.; POWELL, J. J. W. Benefits, motivations, and challenges of international collaborative research: a sociology of science case study. **Science and Public Policy**, [s. l.], v. 48, n. 2, p. 235-245, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1093/scipol/scab010>.

ELSEVIER. **Plant Physiology and Biochemistry**. 2024b. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com>. Acesso em: 5 dez. 2024.

ELSEVIER. **Scopus**: comprehensive, multidisciplinary, trusted abstract and citation database. 2024a. Disponível em: <https://www-scopus.ez17.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 22 nov. 2024.

FENG, X.-H. *et al.* A small heat shock protein CaHsp25.9 positively regulates heat, salt, and drought stress tolerance in pepper (*Capsicum annuum* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, [s. l.], v. 142, p. 151-162, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.07.001>.

FITZGERALD, J.; OJANPERÄ, S.; O'CLERY, N. Is academia becoming more localised? The growth of regional knowledge networks within international research collaboration. **Applied Network Science**, [s. l.], v. 6, p. 1-27, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41109-021-00371-w>.

FOLHARINI, S. *et al.* Bibliometric analysis on wildfires and protected areas. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 11, p. 1-17, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15118536>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT**: statistical database. Countries by commodity. 2023. Disponível em: <https://www.fao.org>. Acesso em: 5 dez. 2024.

GAJANAYAKE, B. *et al.* Screening ornamental pepper cultivars for temperature tolerance using pollen and physiological parameters. **HortScience**, [s. l.], v. 46, n. 6, p. 878-884, 2011. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.6.878>.

GAJANAYAKE, B. *et al.* Screening ornamental peppers (*Capsicum* spp.) for high temperature tolerance using in vitro pollen germination, pollen tube length and cell membrane thermostability. **HortScience**, [s. l.], v. 45, n. 4, p. 487, 2010. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.4.486>.

GISBERT-MULLOR, R. *et al.* Rootstock-mediated physiological and fruit set responses in pepper under heat stress. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 309, p. 1-12, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111699>.

GUO, M. *et al.* Genome-wide analysis of the CaHsp20 gene family in pepper: comprehensive sequence and expression profile analysis under heat stress. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 6, p. 1-16, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2015.00806>.

GUO, M. *et al.* Genome-wide analysis of the Hsp70 family genes in pepper (*Capsicum annuum* L.) and functional identification of CaHsp70-2 involvement in heat stress. **Plant Science**, [s. l.], v. 252, p. 246-256, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.07.001>.

HABIB-UR-RAHMAN, M. *et al.* Impact of climate change on agricultural production; Issues, challenges, and opportunities in Asia. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 13, p. 1-22, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.925548>.

HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 102, n. 46, p. 16569-16572, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>.

HUANG, L.-J. *et al.* CaHsp16.4, a small heat shock protein gene in pepper, is involved in heat and drought tolerance. **Protoplasma**, [s. l.], v. 256, p. 39-51, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00709-018-1280-7>.

ILYAS, S. Matriconditioning improves thermotolerance in pepper seeds through increased in 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthesis and utilization. **HAYATI Journal of Biosciences**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 13-18, 2006. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1978-3019\(16\)30373-4](https://doi.org/10.1016/S1978-3019(16)30373-4).

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. *In*: CORE WRITING TEAM; LEE, H.; ROMERO, J. (ed.). **Climate change 2023**: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023. p. 1-34. DOI: <http://dx.doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.

KACZAN, D. J.; ORGILL-MEYER, J. The impact of climate change on migration: a synthesis of recent empirical insights. **Climatic Change**, [s. l.], v. 158, p. 281-300, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02560-0>.

LI, R.; REN, F.; WANG, Q. China – US scientific collaboration on sustainable development amidst geopolitical tensions. **Humanities and Social Sciences Communications**, [s. l.], v. 14, p. 1-19, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03948-9> 1-14.

LINNENLUECKE, M. K.; MARRONE, M.; SINGH, A. K. Conducting systematic literature reviews and bibliometric analyses. **Australian Journal of Management**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 175-194, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1177/0312896219877678>.

LIU, F. *et al.* Genomes of cultivated and wild *Capsicum* species provide insights into pepper domestication and population differentiation. **Nature Communications**, [s. l.], v. 14, p. 1-14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41251-4>.

MARINO, R.; PETRERA, F.; ABENI, F. Scientific productions on precision livestock farming: an overview of the evolution and current state of research based on a bibliometric analysis. **Animals**, [s. l.], v. 13, n. 14, p. 1-25, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13142280>.

MECH, E. *et al.* Evaluating Journal Impact Factor: a systematic survey of the pros and cons, and overview of alternative measures. **Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases**, Botucatu, SP, v. 26, p. 1-14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-9199-jvatitd-2019-0082>.

MOHAJAN, H. K. The Second Industrial Revolution has brought modern social and economic developments. **Journal of Social Sciences and Humanities**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 1-14, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 20 jul. 2024.

MOLOTOKS, A.; SMITH, P.; DAWSON, T. P. Impacts of land use, population, and climate change on global food security. **Food and Energy Security**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 1-20, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/fes3.261>.

MOSHTARI, M.; SAFARPOUR, A. Challenges and strategies for the internationalization of higher education in low-income East African countries. **Higher Education**, [s. l.], v. 87, p. 89-109, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10734-023-00994-1>.

NOAA NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION. **Monthly Global Climate Report for December 2013**. 2014. Disponível em: <https://www.ncei.noaa.gov>. Acesso em: 18 maio 2024.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Global Monitoring Laboratory**. Carbon Cycle Greenhouse Gases. Trends in CO₂, CH₄, N₂O, SF₆. 2025. Disponível em: <https://gml.noaa.gov>. Acesso em: 6 jan. 2025.

PARKER, L. *et al.* Vulnerability of the agricultural sector to climate change: the development of a pan-tropical Climate Risk Vulnerability Assessment to inform sub-national decision making. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 1-25, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213641>.

PATHAK, T. B. *et al.* Climate change trends and impacts on California agriculture: a detailed review. **Agronomy**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 1-27, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy8030025>.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 19 abr. 2024.

RAJAMETOV, S. N. *et al.* Heat-tolerant hot pepper exhibits constant photosynthesis via increased transpiration rate, high proline content and fast recovery in heat stress condition. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 11, p. 1-9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93697-5>.

REDDY, K. R.; KAKANI, V. G. Screening *Capsicum* species of different origins for high temperature tolerance by in vitro pollen germination and pollen tube length. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 112, n. 2, p. 130-135, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.014>.

ROSMINA *et al.* Temperature critical threshold for yield in chili pepper (*Capsicum annum* L.). **SABRAO Journal of Breeding and Genetics**, [s. l.], v. 54, n. 3, p. 627-637, 2022. DOI: <http://doi.org/10.54910/sabrao2022.54.3.15>.

SENEVIRATNE, S. I. *et al.* Weather and climate extreme events in a changing climate. In: MASSON-DELMOTTE, V. *et al.* (ed.). **Climate change 2021**: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2023. p. 1513-1766. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.

SHEN, L. *et al.* Pepper CabZIP63 acts as a positive regulator during *Ralstonia solanacearum* or high temperature-high humidity challenge in a positive feedback loop with CaWRKY40. **Journal of Experimental Botany**, [s. l.], v. 67, n. 8, p. 2439-2451, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erw069>.

SOHRABI, C. *et al.* Impact of the coronavirus (COVID-19) pandemic on scientific research and implications for clinical academic training – a review. **International Journal of Surgery**, [s. l.], v. 86, p. 57-63, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2020.12.008>.

SUELZER, E. M.; JACKSON, J. L. Measures of impact for journals, articles, and authors. **Journal of General Internal Medicine**, [s. l.], v. 37, n. 7, p. 1593-1597, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11606-022-07475-8>.

SUHAIMI, N.; MAHMUD, S. N. D. A bibliometric analysis of climate change literacy between 2001 and 2021. **Sustainability**, [s. l.], v. 14, n. 19, p. 1-13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141911940>.

SUN, J.; YUAN, B.-Z. A bibliometric analysis of research on rice and irrigation from the 'Agronomy' category based on the Web of Science. **Current Science**, [s. l.], v. 119, n. 3, p. 438-446, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.18520/cs/v119/i3/438-446>.

WAHID, A. *et al.* Heat tolerance in plants: an overview. **Environmental and Experimental Botany**, [s. l.], v. 61, n. 3, p. 199-223, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>.

WANG, J. *et al.* Integration of transcriptomics and metabolomics for pepper (*Capsicum annuum* L.) in response to heat stress. **International Journal of Molecular Sciences**, [s. l.], v. 20, n. 20, p. 1-18, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20205042>.

WANG, Y. *et al.* A Bibliometric analysis of soil and water conservation in the Loess tableland-gully region of China. **Water**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 1-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11010020>.

WILEY. **Plant, Cell & Environment**. 2024. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com>. Acesso em: 6 dez. 2024.

WU, Y. *et al.* A bibliometric analysis of research for climate impact on agriculture. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [s. l.], v. 7, p. 1-15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1191305>.

WU, Z. *et al.* The United States and China on the paths and policies to carbon neutrality. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 320, p. 1-16, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115785>.

YUAN, B.-Z.; BIE, Z.-L.; SUN, J. Bibliometric analysis of global research on muskmelon (*Cucumis melo* L.) based on Web of Science. **HortScience**, [s. l.], v. 56, n. 8, p. 867-874, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15827-21>.

YUAN, B.-Z.; SUN, J. Bibliometric analysis of cotton research from plant sciences category based on Web of Science. **Journal of Natural Fibers**, [s. l.], v. 19, n. 14, p. 7579-7593, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1952139>.

YUAN, B.-Z.; SUN, J. Bibliometric analysis of research on the maize based on top papers during 2009-2019. **COLLNET Journal of Scientometrics and Information Management**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 75-92, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/09737766.2020.1787110>.

YUAN, B.-Z.; SUN, J. Bibliometric analysis of rice and climate change publications based on Web of Science. **Theoretical and Applied Climatology**, [s. l.], v. 150, p. 347-362, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04169-3>.

YUAN, X. *et al.* Impacts of global climate change on agricultural production: a comprehensive review. **Agronomy**, [s. l.], v. 14, n. 7, p. 1-19, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14071360>.

ZHAI, Y. *et al.* Autophagy, a conserved mechanism for protein degradation, responds to heat, and other abiotic stresses in *Capsicum annuum* L. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 7, p. 1-13, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2016.00131>.

ZHANG, H. *et al.* Abiotic stress responses in plants. **Nature Reviews Genetics**, [s. l.], v. 23, p. 104-119, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41576-021-00413-0>.

ZHANG, Z. *et al.* Response of ornamental pepper to high-temperature stress and role of exogenous salicylic acid in mitigating high temperature. **Journal of Plant Growth Regulation**, [s. l.], v. 39, 133-146, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09969-y>.

5 CAPÍTULO 3

AVALIAÇÃO DE ACESSOS DE PIMENTEIRAS COM POTENCIAL ORNAMENTAL PARA A TOLERÂNCIA ÀS ALTAS TEMPERATURAS

RESUMO

Este capítulo avaliou a tolerância às altas temperaturas de seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (UFPI). A pesquisa foi motivada pela crescente necessidade de desenvolver cultivares ornamentais adaptadas às altas temperaturas, decorrentes das mudanças climáticas, e pela escassez de informações na literatura nacional sobre o tema. Foram conduzidos dois experimentos em telados com temperaturas distintas, entre abril e novembro de 2024, na UFPI, em Teresina, PI. Empregou-se o delineamento inteiramente casualizado, com dez repetições. Os acessos foram avaliados por meio de variáveis morfológicas, agrônômicas, fisiológicas e bioquímicas. Com base nos dados obtidos, realizou-se análise de componentes principais (ACP) para identificar as variáveis mais relevantes na distinção entre os acessos, seguida da construção de um índice de tolerância ao calor (ITC). Houve divergência significativa entre os acessos para a maioria das variáveis, sendo a constituição genética o principal fator responsável por essas diferenças. A ACP indicou que características ligadas à produção (número de flores e frutos por planta e índice de pegamento de frutos), viabilidade polínica, danos à membrana celular e atividade de enzimas antioxidantes foram as que mais contribuíram para os dois primeiros componentes principais, os quais explicaram mais de 80% da variação total observada. O ITC possibilitou classificar os acessos quanto ao grau de termotolerância. O acesso BGC-UFPI 207 apresentou o maior valor (0,78), sendo considerado termotolerante, destacando-se pelo baixo acúmulo de peróxido de hidrogênio, elevada atividade antioxidante, alta viabilidade polínica, ciclo longo, bom desempenho produtivo e características estéticas satisfatórias para o mercado de pimenteiras ornamentais. Os acessos BGC-UFPI 203 e BGC-UFPI 258 foram classificados como moderadamente tolerantes, com bom desempenho agrônomico e ornamental, embora tenham apresentado menor eficiência em mecanismos fisiológicos e bioquímicos de resposta ao estresse térmico. Por outro lado, os acessos BGC-UFPI 100, BGC-UFPI 224 e BGC-UFPI 257 foram considerados pouco tolerantes, devido à baixa atividade antioxidante, menor viabilidade polínica (exceto o BGC-UFPI 224), maior dano à membrana celular e reduzida produção. Entre os acessos avaliados, o BGC-UFPI 207 demonstrou ser um candidato promissor tanto para uso ornamental quanto como genitor em programas de melhoramento genético voltados à termotolerância.

Palavras-chave: *Capsicum annuum* L.; estresse térmico; viabilidade polínica; enzimas antioxidantes; extravasamento de eletrólitos.

5 CHAPTER 3

EVALUATION OF ORNAMENTAL PEPPER PLANTS FOR HIGH TEMPERATURE TOLERANCE

ABSTRACT

This chapter aimed to evaluate the heat tolerance of six accessions of pepper plants (*Capsicum annuum* L.) with ornamental potential, obtained from the *Capsicum* Germplasm Bank of the Federal University of Piauí (UFPI). The study was driven by the growing need to develop ornamental cultivars adapted to high temperatures resulting from climate change, as well as by the lack of information on this subject in the Brazilian scientific literature. Two experiments were conducted under shaded structures with contrasting temperature conditions at UFPI, in Teresina, PI, from April to November 2024. A completely randomized design was used, with ten replications. The accessions were evaluated based on morphological, agronomic, physiological, and biochemical variables. Principal Component Analysis (PCA) was performed to identify the most relevant variables contributing to the differentiation among accessions, followed by the construction of a Heat Tolerance Index (HTI). Significant variation was observed among the accessions for most traits, with genetic constitution being the main factor responsible for the differences. PCA indicated that traits related to productivity (such as the number of flowers and fruits per plant and fruit set rate), pollen viability, cellular membrane damage, and antioxidant enzyme activity contributed most to the first two principal components, which together explained over 80% of the total variation. The HTI allowed for the classification of the accessions according to their degree of thermotolerance. Accession BGC-UFPI 207 exhibited the highest HTI value (0.78) and was classified as thermotolerant. It was characterized by low hydrogen peroxide accumulation, high antioxidant activity, elevated pollen viability, a long life cycle, good productive performance, and satisfactory ornamental traits for the ornamental pepper market. Accessions BGC-UFPI 203 and BGC-UFPI 258 were classified as moderately tolerant, showing good agronomic and ornamental performance, although with lower efficiency in physiological and biochemical mechanisms of heat stress response. In contrast, accessions BGC-UFPI 100, BGC-UFPI 224, and BGC-UFPI 257 were considered poorly tolerant, due to low antioxidant activity, reduced pollen viability (except for BGC-UFPI 224), higher cellular membrane damage, and low productivity. Among the evaluated accessions, BGC-UFPI 207 emerged as a promising candidate for both ornamental use and as a parent in breeding programs focused on heat tolerance.

Keywords: *Capsicum annuum* L.; heat stress; pollen viability; antioxidant enzymes; electrolyte leakage.

5.1 Introdução

As mudanças climáticas correspondem a alterações de longo prazo nos padrões climáticos globais, causadas principalmente pela emissão de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. Esses gases, ao se acumularem na atmosfera, impedem que o calor escape para o espaço, resultando no aquecimento global. Suas emissões provêm tanto de processos naturais, como incêndios florestais e atividades vulcânicas, quanto de ações humanas insustentáveis, incluindo práticas industriais, produção de energia e mudanças no uso do solo (Fawzy *et al.*, 2020).

O Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas aponta que, em 2019, cerca de 22% das emissões globais de gases de efeito estufa foram associadas a práticas agropecuárias insustentáveis e ao uso inadequado da terra (IPCC, 2023). Essas atividades contribuem para o aumento da temperatura global, alterações nos padrões de precipitação, desertificação e eventos climáticos extremos, que afetam a agricultura e outros setores em diversos países (Fawzy *et al.*, 2020).

As mudanças climáticas impactam significativamente a produção agrícola (Yuan *et al.*, 2024). O aumento das temperaturas globais, por exemplo, interfere no desenvolvimento e metabolismo das plantas (Hallaji *et al.*, 2024), podendo reduzir a produtividade e qualidade das culturas e, assim, elevar os custos de produção (Yuan *et al.*, 2024). Entre as culturas particularmente sensíveis a essas variações climáticas estão as pimenteiros do gênero *Capsicum* (Lahbib *et al.*, 2021), especialmente as variedades ornamentais (Zhang *et al.*, 2020).

Nas últimas décadas, as pimenteiros ganharam popularidade no mercado global de plantas ornamentais, atraindo diferentes consumidores pela sua diversidade estética (Custódio *et al.*, 2023). Essa atratividade se deve, em grande parte, à variabilidade genética do gênero *Capsicum* (Rodrigues *et al.*, 2022), resultando em frutos de diferentes cores, formatos e tamanhos, entre outras características morfológicas (Neitzke *et al.*, 2016), que adicionam valor estético e econômico ao setor da floricultura.

Além disso, essas plantas são versáteis, adequadas tanto para cultivo em vasos pequenos quanto para o paisagismo em jardins e ambientes internos (Costa,

2018). No entanto, o cultivo de pimenteiras ornamentais enfrenta desafios consideráveis devido às temperaturas elevadas causadas pelas mudanças climáticas.

Temperaturas elevadas podem alterar características morfológicas de pimenteiras ornamentais, o que pode reduzir sua atratividade comercial e impactar negativamente a cadeia produtiva da floricultura. Apesar dessa relevância, poucos estudos investigaram a tolerância dessas plantas às altas temperaturas, e os existentes na literatura utilizaram variáveis fisiológicas e bioquímicas, como viabilidade polínica, extravasamento de eletrólitos (Gajanayake *et al.*, 2010, 2011), trocas gasosas, níveis e fluorescência da clorofila e atividade enzimática (Zhang *et al.*, 2020). No Brasil, apesar do crescente número de estudos voltados para o desenvolvimento de novas cultivares ornamentais de pimenteiras, pesquisas específicas sobre a avaliação de sua termotolerância ainda são inexistentes.

Nesse contexto, o melhoramento genético é a ferramenta essencial para desenvolver cultivares de pimenteiras ornamentais que aliem apelo estético à termotolerância (Wahid *et al.*, 2007). Investimentos em pesquisas de pré-melhoramento e melhoramento genético, com foco na seleção de genótipos tolerantes às altas temperaturas, são vitais para a sustentabilidade do setor da floricultura em um cenário de mudanças climáticas. Assim, cultivares de pimenteiras ornamentais tolerantes às altas temperaturas são fundamentais para garantir uma floricultura resiliente frente às mudanças climáticas.

Este capítulo, portanto, objetivou avaliar a tolerância de acessos de pimenteiras com potencial ornamental para cultivo em vasos às altas temperaturas, utilizando descritores morfológicos e agrônômicos, além de variáveis fisiológicas e bioquímicas.

5.2 Material e métodos

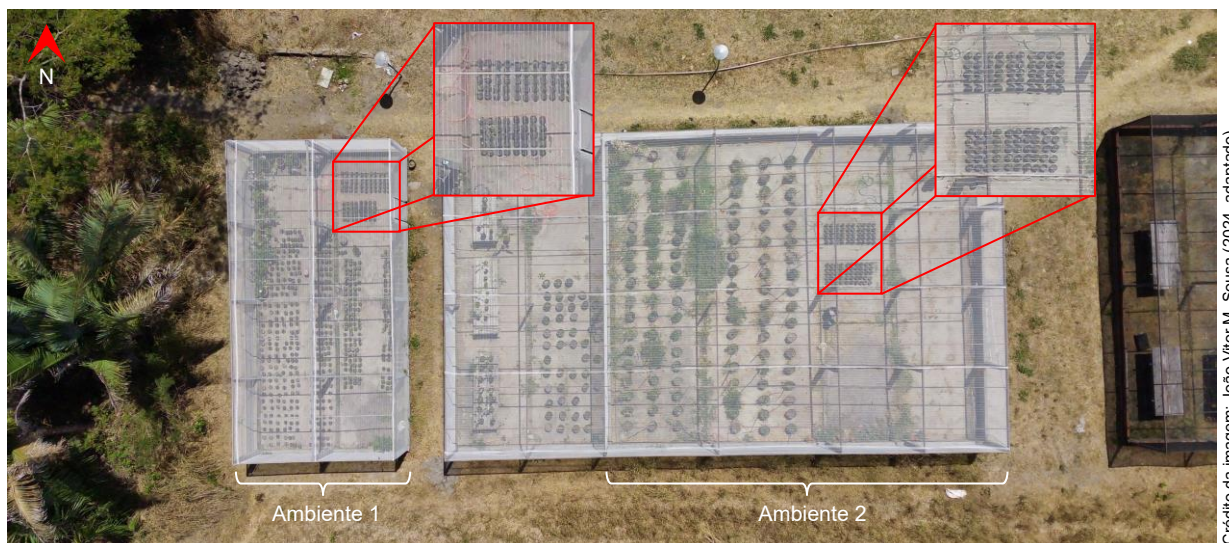
5.2.1 Caracterização morfológica e avaliação agrônômica dos acessos de pimenteiras com potencial ornamental

Foram avaliados seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (*Capsicum annum* L.), identificados por Costa (2018) e Ferreira (2023), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI) (Tabela 8).

Tabela 8 – Relação dos seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (*Capsicum annum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), avaliados em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024

Acesso	Nome comum	Procedência
BGC-UFPI 100	Ornamental vermelha	Teresina, PI
BGC-UFPI 203	Pimenta-de-mesa “arco-íris”	Areia, PB
BGC-UFPI 207	Ornamental amarela	Ibiapina, CE
BGC-UFPI 224	Ornamental vermelha	Timon, MA
BGC-UFPI 257	Roxa longa	Ibiapina, CE
BGC-UFPI 258	Roxinha	Ibiapina, CE

Dois experimentos idênticos foram conduzidos simultaneamente entre abril e novembro de 2024, em dois telados (Figura 15) cobertos com tela sombrite de 40% de sombreamento, localizados no Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí (CCA/UFPI) (05°02'34" S, 42°47'03" O, 73 m de altitude), em Teresina, Piauí, Brasil. O clima da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo “Aw” – tropical com estação seca no inverno, caracterizado por temperaturas elevadas ao longo do ano e estação chuvosa bem definida, geralmente no verão (Medeiros; Cavalcanti; Duarte, 2020).

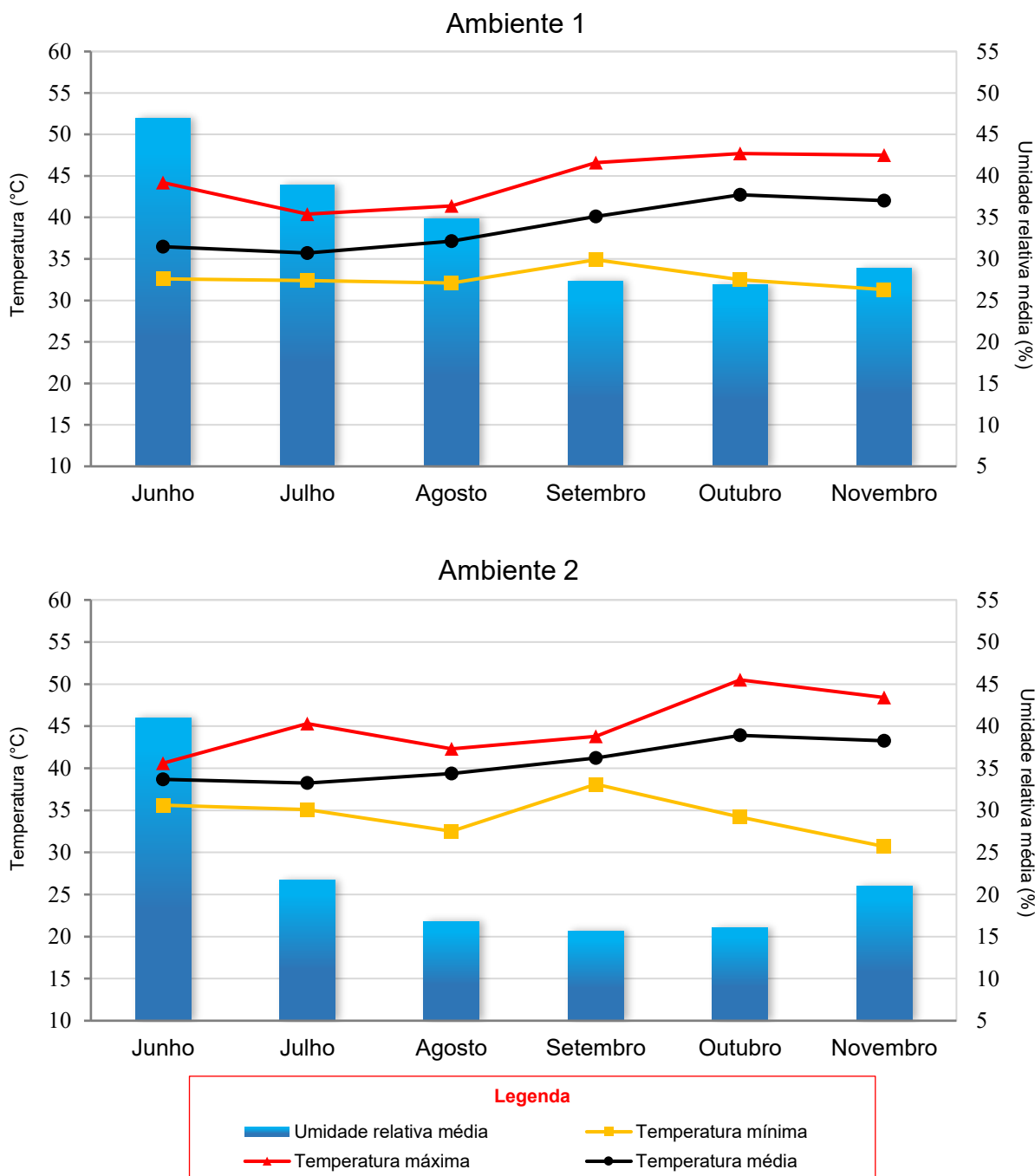


Crédito da imagem: João Vitor M. Sousa (2024, adaptado).

Figura 15 – Vista aérea da área experimental do estudo (figuras destacadas), mostrando os dois telados denominados “Ambiente 1” e “Ambiente 2”, localizados no Departamento de Fitotecnia do CCA/UFPI, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024.

O primeiro telado, denominado “Ambiente 1”, apresentou, desde o transplante ao término do experimento⁸, temperatura mínima, média e máxima de 31,30 °C, 39,10 °C e 47,70 °C, respectivamente, umidade relativa média de 32,27% e sete horas diárias de luz solar direta. No segundo telado, denominado “Ambiente 2”, os valores registrados foram: temperatura mínima, média e máxima de 30,70 °C, 40,83 °C e 50,50 °C, respectivamente, umidade relativa média de 18,68% e nove horas diárias de luz solar direta (Figura 16).

⁸ A expressão “término do experimento” refere-se ao momento em que todas as plantas completaram seu ciclo de vida em, pelo menos, um dos ambientes. No presente estudo, esse ambiente foi o Ambiente 2. Com o término do experimento, também foi finalizada a coleta diária de dados de temperatura e umidade relativa média.



Crédito da imagem: Gabriel V. Ferraz (2024).

Figura 16 – Registro mensal das temperaturas mínima, média e máxima, e da umidade relativa média, monitoradas de junho a novembro de 2024, nos dois ambientes utilizados para a avaliação da tolerância às altas temperaturas dos seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), na cidade de Teresina, PI, Brasil.

A sementeira foi realizada em 4 de abril de 2024, utilizando-se 60 sementes de cada acesso, previamente desinfetadas conforme o protocolo descrito por Fernandes, Gomes e Nogueira (2019). As sementes foram semeadas em bandejas de polipropileno flexível com 128 células, contendo o substrato comercial Carolina Soil®. Sessenta dias após a sementeira, quando as plântulas apresentaram entre seis e oito folhas definitivas, elas foram transplantadas para vasos de polietileno Holambra NP 14, com diâmetro superior, diâmetro inferior e altura de 14,00 cm, 9,50 cm e 10,30 cm, respectivamente, e volume de 1 l, preenchidos com uma mistura de três partes de solo para uma parte do composto orgânico BioAdubo.

A adubação foi realizada mensalmente, com aplicação de 3 g de nitrogênio-fósforo-potássio (NPK, 9-15-10) por vaso, formulação adequada para plantas cultivadas em vasos. Além disso, semanalmente, foi aplicado o fertilizante organomineral foliar Amino AgRoss® (1 ml/1 l de água), conforme as recomendações do fabricante.

O controle fitossanitário foi realizado ao longo do experimento com a aplicação de uma solução composta por detergente, vinagre e água (15 ml/15 ml/500 ml, respectivamente). Durante o período de maturação dos frutos, aplicou-se os inseticidas Decis® e Pirate®, além de um produto comercial à base de deltametrina, para o controle de pulgões, cochonilhas e formigas. A irrigação foi realizada diariamente, com aplicação de 200 ml de água por vaso⁹.

Nos dois telados, empregou-se o delineamento inteiramente casualizado, com dez repetições, sendo cada parcela experimental composta por uma planta em vaso. O espaçamento entre parcelas e entre tratamentos foi de 10 cm. A coleta de dados de temperatura e umidade foi realizada diariamente, de segunda a sexta-feira, em dois períodos: entre 10h e 11h e entre 15h e 16h, desde o transplante ao término do experimento. Para isso, utilizaram-se dois termo-higrômetros digitais (modelo 7666.02.0.00; Incoterm, Brasil) instalados em cada telado.

A caracterização morfológica e a avaliação agrônômica foram realizadas nas repetições de um a cinco, em ambos os ambientes experimentais. Para isso, utilizaram-se dez descritores quantitativos (Anexo), baseados no catálogo de

⁹ A determinação do volume de irrigação foi baseada em testes preliminares, nos quais volumes crescentes de água foram adicionados até identificar a quantidade mínima necessária para evitar a murcha das plantas. Esse procedimento permitiu o controle do estresse hídrico e garantiu que todas as parcelas experimentais recebessem volumes uniformes de água, evitando vantagens competitivas associadas a esse recurso.

descritores para o gênero *Capsicum*, publicado pelo *Bioversity International* (IPGRI; AVRDC; CATIE, 1995), com adaptações. Além disso, foram considerados os Critérios de Classificação de Pimenta Ornamental da Cooperativa Veiling Holambra (Veiling Holambra, [entre 2010 e 2018]), que estabelecem padrões nacionais de qualidade para pimenteiros cultivados em vaso, conforme normativas do Instituto Brasileiro de Floricultura.

Os descritores quantitativos avaliados foram: número de dias para o florescimento, altura da planta, largura do dossel vegetal, número de dias para a maturação dos frutos, comprimento do pedicelo, comprimento do fruto, largura do fruto, massa do fruto, número de frutos por planta e persistência dos frutos.

Adicionalmente, foram estimados o número de flores por planta, número de flores abortadas, número de frutos abortados¹⁰, índice de pegamento de frutos¹¹ e duração do ciclo da planta (Anexo).

As medições foram realizadas com os seguintes instrumentos: régua para a altura da planta e largura do dossel vegetal, paquímetro digital (modelo 1112-150; Insize, China) para comprimento do pedicelo, comprimento do fruto e largura do fruto, e balança de precisão digital para massa do fruto.

5.2.2 Viabilidade polínica

A avaliação da viabilidade polínica foi realizada 70 dias após o transplante, no Laboratório de Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas, localizado no Departamento de Fitotecnia do CCA/UFPI. A metodologia seguiu as diretrizes de Oliveira *et al.* (2020), com adaptações. Entre 9h e 10h, botões florais em estágio de pré-antese foram coletados das repetições seis e sete de cada acesso, em ambos os ambientes experimentais. As amostras foram fixadas em uma solução de álcool e ácido acético (3:1) por 24 horas, à temperatura ambiente. Em seguida, foram transferidas para tubos de ensaio contendo 6 ml de álcool etílico a 70% e armazenados a 0,5 °C até o momento da análise.

Para cada acesso foram preparadas seis lâminas (três por repetição). Utilizando-se um microscópio estereoscópico binocular (modelo TIM-30; Opton,

¹⁰ Os descritores “número de flores abortadas” e “número de frutos abortados” foram adaptados da metodologia original proposta por Garruña-Hernández *et al.* (2012), onde avaliaram a produção de flores e frutos através de contagens semanais.

¹¹ Descritor baseado na metodologia adotada por Valadares (2018).

Brasil), as anteras foram extraídas com pinças e maceradas suavemente para liberação dos grãos de pólen, que foram distribuídos uniformemente no centro da lâmina. Após a remoção dos resíduos das anteras, aplicou-se 5 µl de carmim acético a 2% sobre os grãos de pólen, seguida da colocação da lamínula para observação em um microscópio biológico binocular (modelo TIM-2008; Opton, Brasil).

Os grãos de pólen foram analisados com aumento de 400 vezes, contabilizando-se 400 grãos por lâmina, totalizando 1.200 grãos por repetição. Foram considerados viáveis os grãos corados de vermelho e com contornos nítidos, enquanto os incolores ou deformados foram classificados como inviáveis. A viabilidade polínica (VP) foi então calculada conforme a seguinte fórmula:

$$VP (\%) = \left(\frac{\text{número de grãos viáveis}}{400} \right) \times 100$$

5.2.3 Extravasamento de eletrólitos

A estimação do extravasamento de eletrólitos (indicador da integridade da membrana celular sob estresse térmico) foi realizada 112 dias após o transplante, no Laboratório de Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas, seguindo a metodologia de Gisbert-Mullor *et al.* (2023), com adaptações. Foram coletadas três folhas completamente expandidas e saudáveis, localizadas entre a terceira e quarta incisões foliares a partir do ápice do eixo caulinar, de cada uma das dez repetições, em ambos os ambientes experimentais.

Em cada acesso e ambiente, as folhas foram utilizadas para a obtenção de 30 discos foliares com 1,30 cm de diâmetro, utilizando um perfurador metálico. Esses discos foram distribuídos em seis tubos de ensaio, cada um contendo 10 ml de água ultrapura Milli-Q® e cinco discos foliares. Três desses tubos constituíram o grupo controle, enquanto os outros três o grupo tratamento. A água dos tubos foi trocada três vezes, em intervalos de 20 minutos, para remover eletrólitos aderidos à superfície dos discos. Após essa etapa, os tubos foram novamente preenchidos com 10 ml de água ultrapura Milli-Q®

Os tubos do grupo tratamento foram selados com papel alumínio para evitar a evaporação da água e submetido a aquecimento em banho maria (modelo Thermomix®; B. Braun Biotech International, Alemanha) a 50 °C por 20 minutos. O

grupo controle permaneceu à temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C) pelo mesmo período. Em seguida, todas as amostras foram incubadas em geladeira a 0,5 °C por 24 horas.

No dia seguinte, as amostras foram aquecidas a 25 °C, e a primeira leitura de condutividade elétrica foi realizada utilizando um medidor de condutividade portátil (modelo AK52; AKSO, Brasil). Posteriormente, os tubos do grupo tratamento foram selados com papel alumínio e autoclavados a 121 °C e 0,15 MPa por 20 minutos, para obtenção de tecido foliar morto. Após o resfriamento a 25 °C, foi realizada a segunda leitura de condutividade elétrica. O extravasamento de eletrólitos (EE) foi estimado pela fórmula:

$$EE (\%) = \left(\frac{T_1 - C}{T_2 - C} \right) \times 100$$

Em que:

- T_1 e T_2 correspondem, respectivamente, à primeira e segunda leituras de condutividade elétrica do grupo tratamento;
- C corresponde à leitura de condutividade elétrica do grupo controle.

5.2.4 Análises bioquímicas

As análises bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Biotecnologia, vinculado ao Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (PMGCA – Ridesa), localizado no CCA/UFPI, em Teresina, Piauí, Brasil.

Inicialmente, foram coletadas folhas completamente expandidas e saudáveis, situadas entre a terceira e quarta incisões foliares a partir do ápice do eixo caulinar, das repetições seis a nove, em ambos os ambientes experimentais, 126 dias após o transplante. As amostras foram armazenadas a -80 °C até a maceração, realizada 153 dias após a coleta.

Realizou-se a maceração de 0,373 g de folhas com nitrogênio líquido, seguida da adição de 5 ml de tampão de extração composto por fosfato de potássio 0,1 M e ácido etilenodiaminotetraacético (EDTA) 0,1 mM (pH = 7,0), mantido sob refrigeração. O extrato foi homogeneizado por dois minutos, transferido para tubos de ensaio e

centrifugado (modelo NT 835; Novatécnica, Brasil) a $12.000 \times g$, durante 15 minutos a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Todas as etapas descritas foram realizadas em banho de gelo. O sobrenadante foi então pipetado, distribuído em quatro tubos de ensaio e armazenados a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ para posterior determinação do teor de peróxido de hidrogênio e proteínas totais e da atividade de enzimas antioxidantes.

5.2.4.1 *Determinação do teor de peróxido de hidrogênio*

O teor de peróxido de hidrogênio foi determinado conforme o método descrito por Velikova, Yordanov e Edreva (2000), com adaptações. Para isso, em tubos de ensaio, foram adicionados $125\text{ }\mu\text{L}$ do extrato enzimático, $125\text{ }\mu\text{L}$ de tampão fosfato de potássio (10 mM , $\text{pH} = 7,0$) e $250\text{ }\mu\text{L}$ de iodeto de potássio (KI , 1 M). Um tubo de ensaio adicional foi preparado como controle (“branco”), contendo o tampão de extração em substituição ao extrato enzimático.

As amostras foram homogeneizadas em um agitador e incubadas em câmara escura por 30 minutos à temperatura ambiente. Após esse período, $200\text{ }\mu\text{L}$ da solução foram transferidos para microplacas de poliestireno transparente contendo 96 poços, em quadruplicata, e a leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro de microplacas (modelo Epoch Agilent BioTek; *Agilent Technologies*, Estados Unidos) a 390 nm . Os valores de absorbância foram interpolados em uma curva padrão estabelecida com solução de peróxido de hidrogênio (H_2O_2 , 1 mM), e os resultados foram expressos em $\text{mmol H}_2\text{O}_2.\text{mg}^{-1}$ massa fresca.

5.2.4.2 *Determinação do teor de proteínas totais*

O teor de proteínas totais dos extratos enzimáticos foi determinado pelo método de Bradford (Bradford, 1976). Em tubos de ensaio, adicionou-se $50\text{ }\mu\text{L}$ do extrato enzimático e $500\text{ }\mu\text{L}$ do “reagente de Bradford”, composto pelo corante *Coomassie Brilliant Blue G-250* ($0,01\%$), etanol ($4,75\%$) e ácido fosfórico ($8,5\%$). Um tubo de ensaio (“branco”) também foi preparado substituindo o extrato enzimático por $50\text{ }\mu\text{L}$ do tampão de extração.

Após homogeneização por 15 minutos, $200\text{ }\mu\text{L}$ da mistura foram pipetados nas microplacas, em duplicata, e a absorbância foi medida a 595 nm . Os resultados,

expressos em miligramas de proteína solúvel, foram comparados à curva padrão obtida a partir da reação do “reagente de Bradford” com diferentes concentrações de albumina de soro bovino em tampão fosfato de potássio 50 mM (pH = 7,0).

5.2.4.3 Determinação da atividade da superóxido dismutase

A atividade da superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1¹²), foi determinada conforme o método descrito por Giannopolitis e Ries (1977), com adaptações. Para isso, adicionou-se em tubos de ensaio 95 µl de tampão de reação (fosfato de potássio 0,05 M, EDTA 0,1 mM e metionina 19,5 mM, pH = 7,8), 15 µL de nitroazul de tetrazólio (NBT, do inglês *nitroblue tetrazolium*, 750 µM), 30 µL de riboflavina (10 µM) e 10 µl do extrato enzimático, previamente descongelado e mantido a 4 °C em banho de gelo.

Foram preparados dois tubos de ensaio controle: um “branco”, contendo apenas tampão de extração e reagentes, e um “escuro”, mantido protegido da luz. As amostras e o “branco” foram incubadas em câmara escura com lâmpadas fluorescentes de 20 W por 15 minutos. Em seguida, 150 µl da solução foram pipetados nas microplacas, em duplicata, e a absorbância foi medida a 560 nm. A atividade enzimática total foi expressa em unidades de atividade por miligrama de proteína (U.mg⁻¹ proteína), considerando-se uma unidade de atividade a quantidade de enzima necessária para inibir em 50% a taxa de redução do NBT.

5.2.4.4 Determinação da atividade da ascorbato peroxidase

A atividade da ascorbato peroxidase (APX, EC 1.11.1.11) foi determinada segundo o método de Nakano e Asada (1981), com adaptações. Inicialmente, 110 µl do tampão de reação (fosfato de potássio 50 mM e EDTA 50 µM, pH = 6,0) foi adicionado em tubos de ensaio e mantidos em temperatura ambiente por 15 minutos. Em seguida, pipetou-se 20 µL do extrato enzimático, 10 µL de peróxido de hidrogênio (H₂O₂, 30 mM) e 10 µl de ácido ascórbico (15 mM) em microplacas de absorção de luz ultravioleta, em triplicata. A leitura foi realizada imediatamente após adição do ácido ascórbico, a 290 nm, no intervalo de três minutos. A atividade enzimática total

¹² O código EC (do inglês *Enzyme Commission Number*, Número da Comissão de Enzimas) é uma classificação universal atribuída pelo Comitê de Nomenclatura da União Internacional de Bioquímica e Biologia Molecular para identificar enzimas com base nas reações que catalisam (IUBMB, 2024).

foi calculada utilizando o coeficiente de extinção molar do ascorbato ($\varepsilon = 2,8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) e expressa em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ proteína.

5.2.4.5 Determinação da atividade da peroxidase

A atividade da peroxidase (POD, EC 1.11.1.7) foi determinada pelo método de Urbanek, Kuzniak-Gebarowska e Herka (1991), com adaptações. Primeiramente, 95 μL do tampão de reação (fosfato de potássio 0,1 M e EDTA 0,1 mM, pH = 7,0) foram adicionados a tubos de ensaio e mantidos em temperatura ambiente por 15 minutos. Posteriormente, acrescentou-se 50 μL de guaiacol (0,02 M), 50 μL de peróxido de hidrogênio (0,06 M) e 5 μL do extrato enzimático. A mistura foi pipetada nas microplacas, em triplicata, e a absorbância foi medida imediatamente após a adição do extrato enzimático, a 470 nm, no intervalo de cinco minutos. A atividade enzimática total foi calculada com base no coeficiente de extinção molar do tetraguaiacol formado na reação ($\varepsilon = 26,6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) e expressa em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ proteína.

5.2.5 Análises estatísticas

Os dados foram inicialmente submetidos à análise de variância. Em seguida, aplicou-se o teste de comparações múltiplas de Tukey (Tukey, 1949), ao nível de 5% de significância.

Após a realização da análise de variância individual em cada ambiente experimental, foi aplicado o teste de homogeneidade de variâncias. Confirmada a homogeneidade, procedeu-se à análise de variância conjunta, considerando como efeitos fixos os fatores “acessos”, “ambientes” e a “interação acessos e ambientes”¹³, enquanto o efeito da repetição foi tratado como aleatório. A significância dos efeitos fixos foi avaliada com ajuste dos graus de liberdade pelo método de Satterthwaite.

O modelo estatístico adotado considerou as características quantitativas, o extravasamento de eletrólitos e as variáveis bioquímicas, segundo a expressão matemática:

¹³ Nas seções seguintes, os acessos avaliados são identificados pela sigla “G”, os ambientes por “A”, e a interação entre ambos pelo código “G x A”, fazendo referência à interação genótipo por ambiente. Esta, por sua vez, está representada pela denominação “interação acessos por ambientes”.

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + GA_{ij} + R/A_{kj} + \varepsilon_{ijk}$$

em que:

- Y_{ijk} representa o valor observado do i -ésimo acesso, na k -ésima repetição (variou conforme a característica analisada) dentro do j -ésimo ambiente;
- μ é a média geral;
- G_i é o efeito fixo do i -ésimo acesso ($i = 1, 2, 3, \dots, 6$);
- A_j é o efeito fixo do j -ésimo ambiente ($j = 1, 2$);
- GA_{ij} é o efeito fixo entre o i -ésimo acesso e o j -ésimo ambiente;
- R/A_{kj} é o efeito aleatório da k -ésima repetição dentro do j -ésimo ambiente;
- ε_{ijk} é o erro aleatório, assumido como normalmente e independentemente distribuído com média igual a zero e variância σ_e^2 : $NID(0, \sigma_e^2)$.

Para a viabilidade polínica, foi incluído um componente adicional ao modelo, representado por $T_{l(k(j))}$, que corresponde ao efeito aleatório da l -ésima triplicata ($l = 1, 2, 3$) dentro da k -ésima repetição do j -ésimo ambiente, assumido como normalmente e independentemente distribuído com média igual a zero e variância σ_t^2 : $NID(0, \sigma_t^2)$.

As análises foram conduzidas por meio de modelos lineares mistos ajustados pelo método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML, do inglês *Restricted Maximum Likelihood*), com o objetivo de estimar os componentes de variância de forma mais precisa e considerando que os dados do estudo foram desbalanceados:

$$Y = X\beta + Zu + \varepsilon$$

Em que:

- Y é o vetor de observações para a variável;
- X é a matriz de delineamento para os efeitos fixos;
- β é o vetor de parâmetros dos efeitos fixos;
- Z é a matriz de delineamento para os efeitos aleatórios;
- u é o vetor de efeitos aleatórios das repetições, $N(0, \sigma_u^2 I)$;
- ε é o vetor de erros aleatórios residuais, $N(0, \sigma_e^2 I)$.

O índice de tolerância ao calor (ITC) foi calculado empregando-se a seguinte fórmula matemática¹⁴:

$$ITC_i = \sum_{j=1}^n \left(\omega_j \times \text{sinal}_j \times \frac{X_{ij} - \mu_j}{\sigma_j} \right)$$

Em que:

- ω_j é o peso atribuído à j-ésima variável, determinada com base em sua importância biológica para tolerância ao calor;
- sinal_j representa a contribuição da j-ésima variável para a tolerância ao calor, sendo positivo ou negativo;
- X_{ij} é o valor observado do i-ésimo acesso para a j-ésima variável;
- μ_j é a média da j-ésima variável;
- σ_j é o desvio padrão da j-ésima variável.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico R, versão 4.4.2 (R Core Team, 2024), com o auxílio dos pacotes: Imer4 (Bates *et al.*, 2015), ImerTest (Kuznetsova; Brockhoff; Christensen, 2017), emmeans (Lenth, 2025), readxl (Wickham; Bryan, 2025), dplyr (Wickham *et al.*, 2023) e multcompView (Graves; Piepho; Selzer, 2024).

¹⁴ No Apêndice C encontram-se informações adicionais para facilitar o entendimento do cálculo e das simbologias adotadas na fórmula matemática.

5.3 Resultados

5.3.1 Análise de variância e teste de comparação de médias dos descritores quantitativos

Os resultados apresentados (Tabela 9) indicaram diferenças significativas em pelo menos uma fonte de variação para a maioria dos descritores avaliados. Quanto ao efeito dos acessos, não foram observadas diferenças significativas apenas para “número de dias para o florescimento” e “número de dias para a maturação dos frutos”.

Em relação ao efeito dos ambientes, houve diferenças significativas para “largura do fruto”, “persistência dos frutos”, “duração do ciclo da planta”, bem como para os parâmetros fisiológicos “viabilidade polínica” e “extravasamento de eletrólitos” e o bioquímico “teor de peróxido de hidrogênio”.

A interação entre acessos e ambientes foi significativa para “número de dias para o florescimento”, “número de dias para a maturação dos frutos”, “viabilidade polínica”, “extravasamento de eletrólitos”, “teor de peróxido de hidrogênio” e “teor de proteínas totais”.

O coeficiente de variação experimental (CV), calculado pela razão entre a raiz quadrada do quadrado médio do erro experimental e a média aritmética de cada descritor, variou de 7,74% (duração do ciclo da planta) a 89,18% (número de frutos abortados).

A acurácia seletiva estimada foi alta, com valores variando de 0,72 (número de dias para o florescimento) a 0,99 (teor de proteínas totais e atividade enzimática da superóxido dismutase). Esses resultados indicam elevada confiabilidade na predição dos valores genotípicos.

Tabela 9 – Quadrados médios referentes aos 15 descritores quantitativos, além da viabilidade polínica, extravasamento de eletrólitos, teor de peróxido de hidrogênio e proteínas totais e atividade de enzimas antioxidantes, avaliados em seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), cultivados em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024 (continua)

Descritores	Quadrados médios das fontes de variação				CV (%)	Acurácia
	Acessos (G)	Ambientes (A)	Interação G x A	Erro aleatório		
Número de dias para o florescimento	351,08 ^{ns}	504,60 ^{ns}	474,56 [*]	166,44	12,29	0,72
Altura da planta	51,22 ^{***}	0,82 ^{ns}	8,03 ^{ns}	3,59	16,9	0,96
Largura do dossel vegetal	39,21 ^{***}	0,07 ^{ns}	9,58 ^{ns}	5,45	23,6	0,92
Número de dias para a maturação dos frutos	141,81 ^{ns}	719,14 ^{ns}	833,87 [*]	339,09	11,58	-
Comprimento do pedicelo	23,30 ^{**}	0,49 ^{ns}	12,63 ^{ns}	5,78	18,81	0,86
Comprimento do fruto	176,00 ^{***}	0,06 ^{ns}	16,58 ^{ns}	20,20	29,63	0,94
Largura do fruto	94,17 ^{***}	25,79 ^{**}	1,08 ^{ns}	2,37	16,38	0,98
Massa do fruto	6,42 ^{***}	0,70 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,33	49,7	0,97
Número de frutos por planta	1.455,43 ^{***}	205,35 ^{ns}	193,59 ^{ns}	271,23	76,78	0,9
Persistência dos frutos	61,93 ^{**}	89,03 [*]	4,00 ^{ns}	16,21	26,36	0,85
Número de flores por planta	1.768,71 ^{***}	426,67 ^{ns}	236,39 ^{ns}	301,13	71,51	0,91
Graus de liberdade	5	1	5	48	-	-

Legenda: *, **, *** – significativo a 5%, 1% e 0,1% pelo teste F, respectivamente. ^{ns} – valores não significativos. CV – coeficiente de variação experimental.

Tabela 9 – Quadrados médios referentes aos 15 descritores quantitativos, além da viabilidade polínica, extravasamento de eletrólitos, teor de peróxido de hidrogênio e proteínas totais e atividade de enzimas antioxidantes, avaliados em seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), cultivados em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024

Descritores	Quadrados médios das fontes de variação				CV (%)	Acurácia
	Acessos (G)	Ambientes (A)	Interação G x A	Erro aleatório		
Número de flores abortadas	21,41 **	18,49 ^{ns}	3,44 ^{ns}	5,46	74,88	0,86
Número de frutos abortados	929,34 **	3,75 ^{ns}	212,59 ^{ns}	216,09	89,18	0,87
Índice de pegamento de frutos	805,61 *	517,19 ^{ns}	446,00 ^{ns}	279,03	28,37	0,8
Duração do ciclo da planta	1.871,00 ***	11.872,30 ***	570,60 ^{ns}	252,66	7,74	0,93
Viabilidade polínica	3.128,40 ***	6.854,20 ***	1.739,00 ***	172,67	18,52	0,83
Extravasamento de eletrólitos	48,41 *	331,85 ***	45,18 *	14,47	41,61	0,83
Teor de peróxido de hidrogênio	2,37 ***	0,8721 *	1,24 ***	0,15	17,46	0,96
Teor de proteínas totais	0,003 ***	0,0001 ^{ns}	0,0006 ***	0,0001	20,82	0,99
Superóxido dismutase	2.313,709 ***	1.529,00 ^{ns}	18.709,00 ^{ns}	27.117,67	46,28	0,99
Ascorbato peroxidase	141,57 ***	1,54 ^{ns}	21,89 ^{ns}	10,44	51,87	0,96
Peroxidase	3.844,8 ***	181,2 ^{ns}	63,50 ^{ns}	80,01	56,28	0,98
Graus de liberdade	5	1	5	48	-	-

Legenda: *, **, *** – significativo a 5%, 1% e 0,1% pelo teste F, respectivamente. ^{ns} – valores não significativos. CV – coeficiente de variação experimental.

A análise de variância (Tabela 9) indicou interação significativa entre os acessos e ambientes para o número de dias para o florescimento, demonstrando que o desempenho dos acessos variou conforme o ambiente de cultivo. Essa diferença foi observada no ambiente 2, que apresentou as temperaturas mais elevadas. Nesse ambiente (Tabela 10), os acessos BGC-UFPI 224, BGC-UFPI 257 e BGC-UFPI 258 floresceram mais precocemente em comparação ao ambiente 1, enquanto os acessos BGC-UFPI 100, BGC-UFPI 203 e BGC-UFPI 207 apresentaram maior número de dias até o florescimento. No ambiente 2, a maior diferença foi registrada entre os acessos BGC-UFPI 257 (90,80 dias) e BGC-UFPI 203 (118,40 dias). No ambiente 1, não foram observadas diferenças significativas entre os acessos.

Para o descritor altura da planta (Tabela 9), foram observadas diferenças significativas apenas entre os acessos, o que indica que a variabilidade genética foi o principal fator responsável pelas variações. No ambiente 1, os acessos BGC-UFPI 207 e BGC-UFPI 258 apresentaram as maiores alturas (14,00 cm e 14,16 cm, respectivamente), contrastando com os acessos BGC-UFPI 224 (9,78 cm) e BGC-UFPI 257 (7,08 cm). No ambiente 2, o mesmo padrão foi observado: BGC-UFPI 207 e BGC-UFPI 258 superaram BGC-UFPI 100 e BGC-UFPI 257 (12,96 cm e 14,07 cm contra 8,22 cm e 8,12 cm, respectivamente).

Em relação à largura do dossel vegetal (Tabela 10), no ambiente 1, os acessos BGC-UFPI 100, BGC-UFPI 203 e BGC-UFPI 258 apresentaram os maiores valores e formaram o mesmo grupo estatístico (grupo “b”), sendo superiores ao acesso BGC-UFPI 257, que compôs um grupo distinto (grupo “a”). Os acessos BGC-UFPI 207 e BGC-UFPI 224 apresentaram desempenho intermediário. No ambiente 2, as diferenças foram menos acentuadas, com distinção apenas entre os acessos BGC-UFPI 257 e BGC-UFPI 258.

Para o número de dias para a maturação dos frutos (Tabela 9), a análise de variância indicou efeito significativo da interação entre acessos e ambientes. No entanto, o teste de Tukey (Tabela 10) não revelou diferenças estatísticas entre os acessos dentro de cada ambiente, uma vez que todos foram contidos no mesmo grupo (grupo “A”). Isso indica que, apesar das variações observadas, as médias não foram suficientemente distintas para caracterizar diferenças significativas. Resultados semelhantes foram observados para a persistência dos frutos quanto ao efeito dos ambientes e o número de flores abortadas quanto ao efeito dos acessos.

O comprimento do pedicelo apresentou diferenças significativas apenas entre os acessos, com variações pouco expressivas. Em ambos os ambientes, muitos acessos apresentaram desempenho intermediário, sem distinção estatística clara entre os extremos. No ambiente 1, os acessos mais contrastantes foram BGC-UFPI 203 (10,06 mm) e BGC-UFPI 224 (14,85 mm). No ambiente 2, destacaram-se BGC-UFPI 257 (9,35 mm) e BGC-UFPI 207 (16,12 mm).

Para o comprimento do fruto, também foram encontradas diferenças mínimas entre os acessos. No ambiente 1, os acessos BGC-UFPI 100 e BGC-UFPI 207 apresentaram os maiores valores, contrastando com BGC-UFPI 258 (9,85 mm). No ambiente 2, embora os resultados tenham sido mais variados, BGC-UFPI 258 continuou entre os acessos com menor comprimento de fruto.

Em relação à largura do fruto, houve efeito significativo dos acessos e do ambiente, indicando que essa característica foi influenciada pela constituição genotípica dos acessos e pelas condições ambientais. A ausência de efeito significativo dos acessos e da interação acessos e ambientes revela que todos os acessos responderam de forma semelhante à variação ambiental, apresentando, em média, menor largura do fruto no ambiente 2. No ambiente 1, os acessos BGC-UFPI 100, BGC-UFPI 203 e BGC-UFPI 224 exibiram as maiores larguras, enquanto BGC-UFPI 207, BGC-UFPI 257 e BGC-UFPI 258 apresentaram os menores valores. No ambiente 2, os maiores valores foram registrados para BGC-UFPI 100 e BGC-UFPI 203, diferindo estatisticamente de BGC-UFPI 257 e BGC-UFPI 258. Os acessos BGC-UFPI 207 e BGC-UFPI 224 apresentaram valores intermediários.

Quanto à massa do fruto, os acessos BGC-UFPI 100 e BGC-UFPI 203 destacaram-se com os maiores valores médios em ambos os ambientes, indicando boa produção mesmo em altas temperaturas. Em contrapartida, os menores valores foram observados para BGC-UFPI 207, BGC-UFPI 257 e BGC-UFPI 258, independentemente do ambiente

Para o número de frutos por planta, observaram-se diferenças significativas apenas entre os acessos. No entanto, essas diferenças foram detectadas exclusivamente no ambiente 2, uma vez que no ambiente 1 o desempenho dos acessos foi mais uniforme. No ambiente 2, o acesso BGC-UFPI 258 apresentou a maior produção de frutos, diferindo estatisticamente dos demais, especialmente de BGC-UFPI 100 e BGC-UFPI 224, cujas médias não diferiram entre si.

Quanto ao número de flores por planta, no ambiente 1, os acessos BGC-UFPI 207 e BGC-UFPI 257 apresentaram os desempenhos mais contrastantes, sendo a produção de flores do primeiro seis vezes maior que a do segundo. Os demais acessos exibiram valores intermediários. Já no ambiente 2, o acesso BGC-UFPI 258 destacou-se por apresentar o maior número de flores, diferindo significativamente dos acessos BGC-UFPI 100 e BGC-UFPI 224, cujas médias foram semelhantes entre si.

Em relação ao número de frutos abortados e índice de pegamento de frutos, também foram verificadas diferenças significativas entre os acessos, embora distinguíveis apenas no ambiente 2. O acesso BGC-UFPI 258 apresentou o maior número de frutos abortados, exceto quando comparado aos acessos BGC-UFPI 203 e BGC-UFPI 207, com os quais não houve diferença significativa.

O maior índice de pegamento de frutos foi observado para o acesso BGC-UFPI 207 (73,20%), enquanto o menor foi registrado para BGC-UFPI 224 (39,90%). No que se refere à duração do ciclo da planta, foram verificadas diferenças significativas para o efeito de acessos e ambiental, com redução do ciclo de vida das plantas no ambiente 2, em razão das altas temperaturas. O acesso BGC-UFPI 224 apresentou o menor valor (153 dias), diferindo estatisticamente dos demais. Além disso, esse descritor também foi influenciado pelo ambiente, com o ambiente 2 reduzindo o ciclo de vida das plantas em razão das altas temperaturas.

Tabela 10 – Médias dos 15 descritores quantitativos avaliados em seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), conduzidos em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024 (continua)

Acessos	NDFI (dias)		ADP (cm)		LDV (cm)		NDM (dias)	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
BGC-UFPI 100	99,00 ± 5,77 a	104,00 ± 5,77 ab	11,84 ± 0,84 bc	8,22 ± 0,95 a	12,33 ± 1,10 b	9,65 ± 1,12 abc	145 ± 8,27 a	168 ± 9,33 a
BGC-UFPI 203	111,40 ± 5,77 a	118,40 ± 5,77 b	11,02 ± 0,84 bc	11,24 ± 0,95 ab	11,76 ± 1,10 b	12,44 ± 1,13 bc	159 ± 8,27 a	169 ± 9,33 a
BGC-UFPI 207	99,20 ± 5,77 a	99,60 ± 5,77 ab	14,00 ± 0,84 c	12,96 ± 0,84 b	8,45 ± 1,10 ab	10,05 ± 1,10 abc	144 ± 8,27 a	166 ± 8,27 a
BGC-UFPI 224	114,40 ± 5,77 a	102,00 ± 5,77 ab	9,78 ± 0,84 ab	11,75 ± 1,12 ab	9,59 ± 1,10 ab	7,12 ± 1,42 ab	172 ± 8,27 a	156 ± 10,90 a
BGC-UFPI 257	120,80 ± 5,77 a	90,80 ± 5,77 a	7,08 ± 0,84 a	8,12 ± 0,95 a	6,09 ± 1,10 a	7,21 ± 1,23 a	165 ± 8,27 a	147 ± 9,33 a
BGC-UFPI 258	102,60 ± 5,77 a	97,80 ± 5,77 ab	14,16 ± 0,84 c	14,07 ± 0,95 b	10,57 ± 1,10 b	12,78 ± 1,23 c	148 ± 8,27 a	171 ± 9,33 a

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, segundo o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. O valor após o símbolo ± corresponde ao erro padrão da média.

Legenda: NDFI – número de dias para o florescimento. ADP – altura da planta. LDV – largura do dossel vegetal. NDM – número de dias para a maturação dos frutos. A1 – ambiente 1. A2 – ambiente 2.

Tabela 10 – Médias dos 15 descritores quantitativos avaliados em seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), conduzidos em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024 (continua)

Acessos	CDPe (mm)		CDF (mm)		LDF (mm)		MDF (g)	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
BGC-UFPI 100	13,95 ± 1,10 ab	13,26 ± 1,23 ab	18,48 ± 2,03 b	18,09 ± 2,28 bc	13,44 ± 0,70 b	11,64 ± 0,79 c	1,79 ± 0,25 c	1,74 ± 0,29 bc
BGC-UFPI 203	10,06 ± 1,10 a	12,89 ± 1,23 ab	13,75 ± 2,03 ab	13,59 ± 2,28 ab	13,41 ± 0,70 b	12,24 ± 0,79 c	2,59 ± 0,25 c	2,49 ± 0,29 c
BGC-UFPI 207	13,62 ± 1,10 ab	16,12 ± 1,10 b	18,79 ± 2,03 b	23,62 ± 2,03 c	7,39 ± 0,70 a	7,10 ± 0,70 ab	0,68 ± 0,25 ab	0,71 ± 0,25 ab
BGC-UFPI 224	14,85 ± 1,10 b	12,70 ± 1,43 ab	14,64 ± 2,03 ab	14,28 ± 2,66 abc	12,41 ± 0,70 b	10,40 ± 0,91 bc	1,57 ± 0,25 bc	0,34 ± 0,34 a
BGC-UFPI 257	12,11 ± 1,10 ab	9,35 ± 1,23 a	13,65 ± 2,03 ab	12,76 ± 2,29 ab	7,07 ± 0,70 a	5,95 ± 0,79 a	0,32 ± 0,25 a	0,58 ± 0,34 ab
BGC-UFPI 258	11,09 ± 1,10 ab	12,56 ± 1,43 ab	9,85 ± 2,03 a	6,39 ± 2,66 a	6,30 ± 0,70 a	4,15 ± 0,91 a	0,50 ± 0,25 ab	0,18 ± 0,34 a

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, segundo o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. O valor após o símbolo ± corresponde ao erro padrão da média.

Legenda: CDPe – comprimento do pedicelo. CDF – comprimento do fruto. LDF – largura do fruto. MDF – massa do fruto. A1 – ambiente 1. A2 – ambiente 2.

Tabela 10 – Médias dos 15 descritores quantitativos avaliados em seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), conduzidos em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024 (continua)

Acessos	NFP (unidade)		PSF (dias)		NFIP (unidade)		NFIA (unidade)	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
BGC-UFPI 100	19,80 ± 7,55 a	8,60 ± 7,55 a	20,60 ± 1,80 a	16,50 ± 2,03 a	24,40 ± 7,90 ab	9,40 ± 7,90 a	4,80 ± 1,05 a	2,00 ± 1,18 a
BGC-UFPI 203	31,60 ± 7,55 a	26,60 ± 7,55 ab	16,80 ± 1,80 a	13,80 ± 2,03 a	36,80 ± 7,90 ab	29,00 ± 7,90 ab	5,60 ± 1,05 a	3,60 ± 1,05 a
BGC-UFPI 207	36,60 ± 7,55 a	27,40 ± 7,55 ab	14,00 ± 1,80 a	12,20 ± 1,80 a	39,60 ± 7,90 b	29,40 ± 7,90 ab	2,80 ± 1,05 a	2,00 ± 1,05 a
BGC-UFPI 224	15,20 ± 7,55 a	4,00 ± 7,55 a	14,20 ± 1,80 a	14,00 ± 2,37 a	16,60 ± 7,90 ab	4,40 ± 7,90 a	1,40 ± 1,05 a	1,00 ± 1,18 a
BGC-UFPI 257	5,60 ± 7,55 a	11,20 ± 7,55 ab	19,40 ± 1,80 a	16,50 ± 2,03 a	6,80 ± 7,90 a	13,40 ± 7,90 ab	1,60 ± 1,05 a	2,20 ± 1,05 a
BGC-UFPI 258	31,00 ± 7,55 a	39,80 ± 7,55 b	13,80 ± 1,80 a	10,20 ± 2,03 a	37,00 ± 7,90 ab	44,00 ± 7,90 b	5,60 ± 1,05 a	4,20 ± 1,05 a

Médias seguidas de pelo menos uma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, segundo o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. O valor após o símbolo ± corresponde ao erro padrão da média.

Legenda: NFP – número de frutos por planta. PSF – persistência dos frutos. NFIP – número de flores por planta. NFIA – número de flores abortadas. A1 – ambiente 1. A2 – ambiente 2.

Tabela 10 – Médias dos 15 descritores quantitativos avaliados em seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), conduzidos em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024

Acessos	NFA (unidade)		IPF (%)		DCP (dias)	
	A1	A2	A1	A2	A1	A2
BGC-UFPI 100	16,00 ± 6,67 a	7,20 ± 6,67 a	45,40 ± 7,47 a	58,20 ± 7,47 ab	219 ± 7,64 a	189 ± 7,64 b
BGC-UFPI 203	23,60 ± 6,67 a	19,20 ± 6,67 ab	53,40 ± 7,47 a	70,00 ± 7,47 ab	226 ± 7,64 a	201 ± 7,64 b
BGC-UFPI 207	24,20 ± 6,67 a	22,00 ± 6,67 ab	68,40 ± 7,47 a	73,20 ± 7,47 b	218 ± 7,64 a	204 ± 7,64 b
BGC-UFPI 224	11,00 ± 6,67 a	3,40 ± 6,67 a	59,40 ± 7,47 a	39,90 ± 7,47 a	208 ± 7,64 a	153 ± 7,64 a
BGC-UFPI 257	3,80 ± 6,67 a	8,00 ± 6,67 a	44,60 ± 7,47 a	59,50 ± 7,47 ab	218 ± 7,64 a	189 ± 7,64 b
BGC-UFPI 258	21,80 ± 6,67 a	37,60 ± 6,67 b	64,40 ± 7,47 a	70,20 ± 7,47 ab	228 ± 7,64 a	213 ± 7,64 b

Médias seguidas de pelo menos uma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, segundo o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. O valor após o símbolo ± corresponde ao erro padrão da média.

Legenda: NFA – número de frutos abortados. IPF – índice de pegamento de frutos. DCP – duração do ciclo da planta. A1 – ambiente 1. A2 – ambiente 2.

5.3.2 Viabilidade polínica e extravasamento de eletrólitos

A análise de variância indicou diferenças significativas para os efeitos de acessos, ambientes e da interação entre ambos para a viabilidade polínica, demonstrando que os acessos responderam de forma diferenciada às condições ambientais. Conforme demonstrado na figura 17, o ambiente 1 favoreceu a viabilidade polínica de todos os acessos, com destaque para BGC-UFPI 207 e BGC-UFPI 258, cujas médias foram estatisticamente superiores às dos acessos BGC-UFPI 224 e BGC-UFPI 257. No ambiente 2, entretanto, observou-se queda acentuada nos valores médios, exceto para BGC-UFPI 224, cuja viabilidade polínica manteve alta mesmo em temperaturas mais elevadas. Os acessos BGC-UFPI 100 e BGC-UFPI 257 apresentaram as maiores reduções percentuais, de 56,24% e 68,57%, respectivamente. Os grãos de pólen desses acessos mostraram-se descoloridos em relação aos dos demais acessos, além de apresentarem-se menores e deformados (Figura 18).

Padrão semelhante foi observado para o extravasamento de eletrólitos. Como mostrado na figura 19, no ambiente 1 não foram encontradas diferenças significativas para os acessos. No ambiente 2, contudo, a integridade das membranas foi comprometida, refletida por um maior extravasamento de eletrólitos. O acesso BGC-UFPI 207 foi o que apresentou membranas celulares mais estáveis ao calor (5,47%, ambiente 2), contrastando com BGC-UFPI 224 e BGC-UFPI 258, que apresentaram os maiores níveis de extravasamento, conseqüentemente membranas menos estáveis, com aumentos de 231,84% e 387,93%, respectivamente. Em comparação, o aumento observado para BGC-UFPI 207 foi de apenas 20,48%, cerca de 90 vezes menor que o registrado para BGC-UFPI 224.

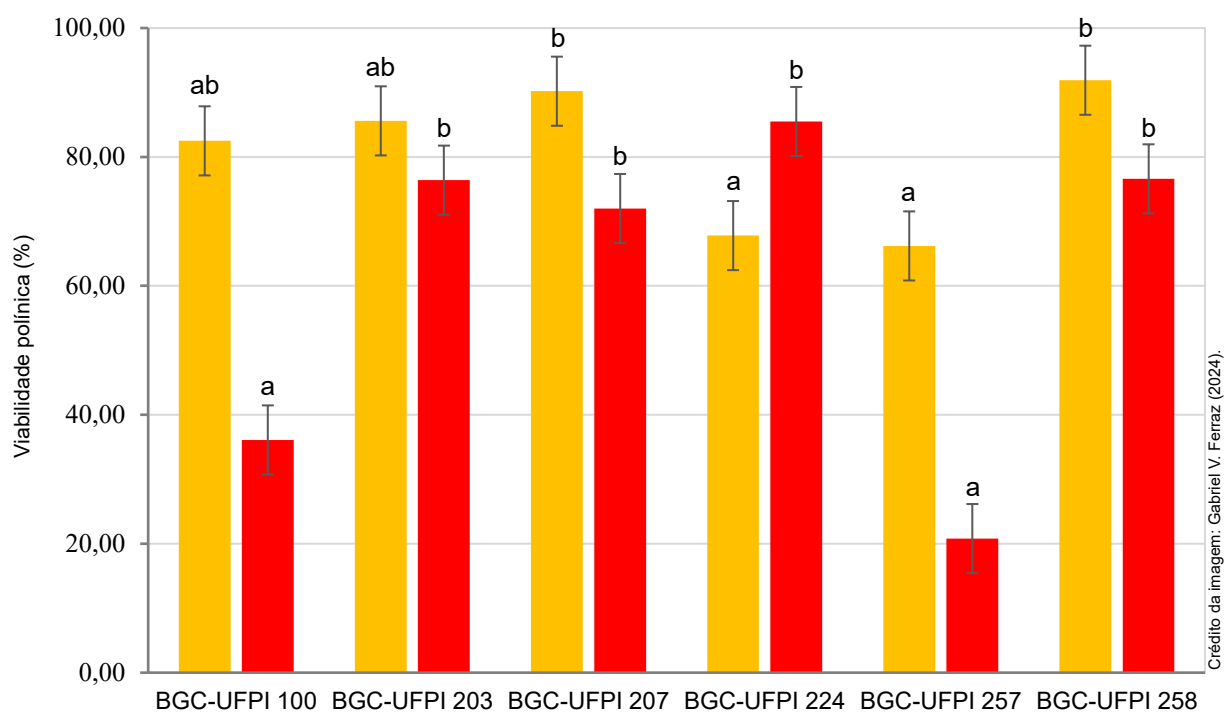
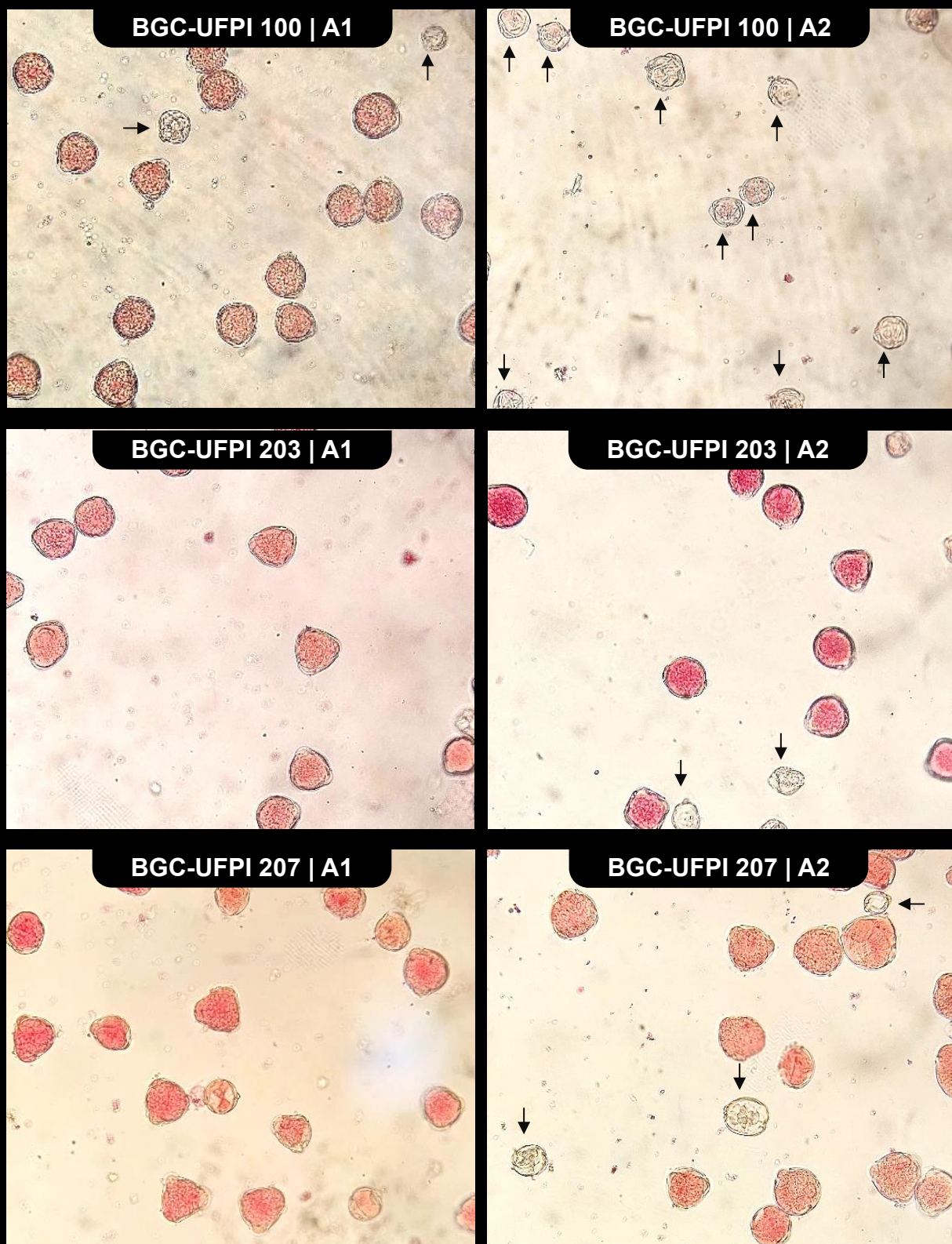
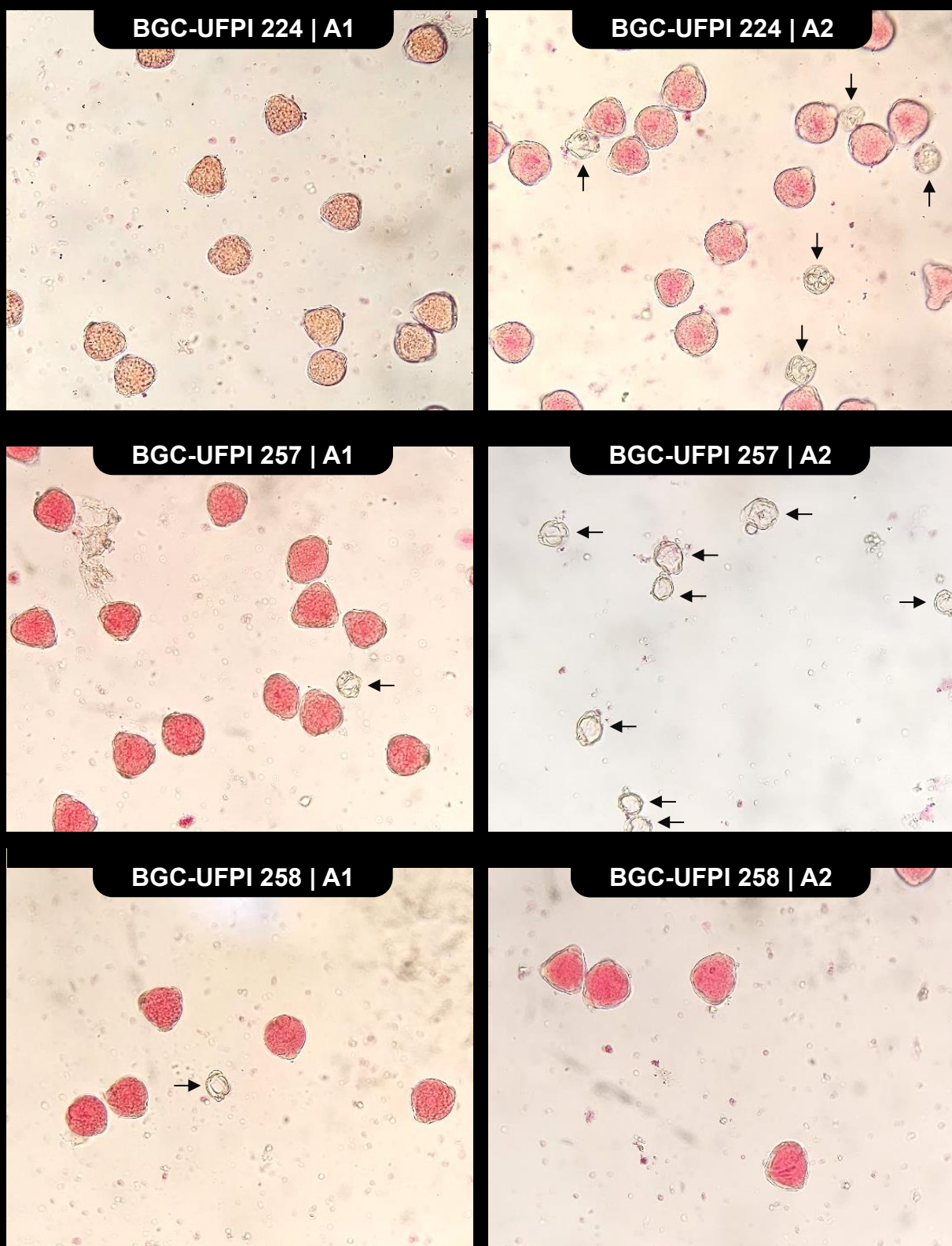


Figura 17 – Viabilidade polínica dos seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), avaliados em dois ambientes com temperaturas distintas em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024. As barras amarelas representam o ambiente 1, e as vermelhas, o Ambiente 2. Médias seguidas de pelo menos uma letra, dentro de cada ambiente, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de significância. As barras representam o erro padrão da média. Os dados originais foram transformados pela função arco-seno.



Crédito das imagens: Gabriel V. Ferraz (2024).

Figura 18 – Grãos de pólen dos seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), avaliados em dois ambientes com temperaturas distintas. As setas indicam os grãos de pólen inviáveis. A1 – Ambiente 1; A2 – Ambiente 2. Imagens obtidas com aumento de 400x (continua).



Crédito das imagens: Gabriel V. Ferraz (2024).

Figura 18 – Grãos de pólen dos seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.) oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), avaliados em dois ambientes com temperaturas distintas. As setas indicam os grãos de pólen inviáveis. A1 – Ambiente 1; A2 – Ambiente 2. Imagens obtidas com aumento de 400x.

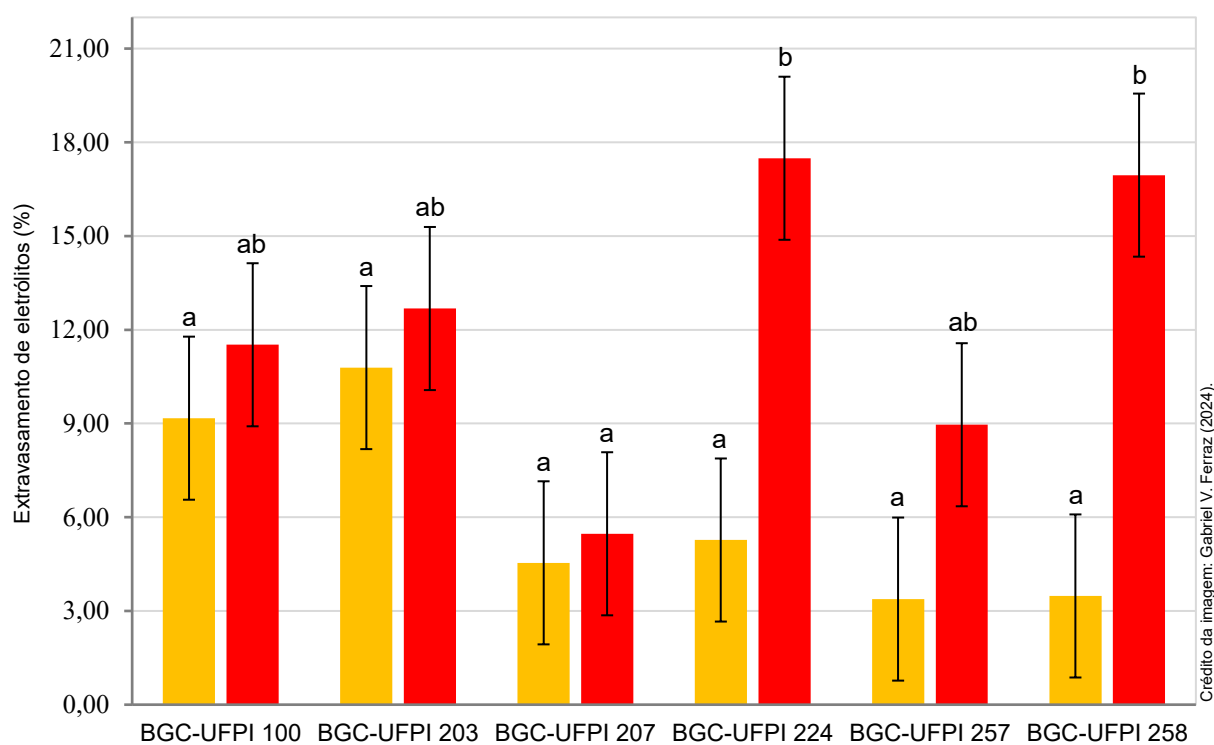


Figura 19 – Extravasamento de eletrólitos dos seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), avaliados em dois ambientes com temperaturas distintas em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024. As barras amarelas representam o ambiente 1, e as vermelhas, o Ambiente 2. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, dentro de cada ambiente, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de significância. As barras representam o erro padrão da média.

5.3.3 Análises bioquímicas

A análise de variância revelou efeito significativo dos acessos para todas as características avaliadas, além de efeito dos ambientes para o “teor de peróxido de hidrogênio” e interação significativa entre acessos e ambientes para “teor de peróxido de hidrogênio” e “teor de proteínas totais”.

O teor de peróxido de hidrogênio variou entre os acessos nos dois ambientes (Figura 20). No ambiente 1, o acesso BGC-UFPI 203 apresentou o maior valor, enquanto BGC-UFPI 258 apresentou o menor. Já no ambiente 2, os acessos BGC-UFPI 203 e BGC-UFPI 258 apresentaram teores elevados e semelhantes, diferindo significativamente do acesso BGC-UFPI 100, que teve o menor valor.

Em relação à atividade da enzima superóxido dismutase, o acesso BGC-UFPI 207 se destacou com os maiores valores em ambos os ambientes (Figura 21). Quanto à atividade da ascorbato peroxidase, esse mesmo acesso também se sobressaiu no ambiente 2, diferenciando-se estatisticamente dos demais. No ambiente 1, BGC-UFPI 207 apresentou atividade semelhante à de BGC-UFPI 258, ambas superiores às dos acessos BGC-UFPI 100 e BGC-UFPI 224 (Figura 21).

Para a atividade da enzima peroxidase, o acesso BGC-UFPI 207 novamente apresentou os maiores valores em ambos os ambientes. No ambiente 1, BGC-UFPI 203 apresentou desempenho intermediário entre BGC-UFPI 207 e os demais acessos (Figura 21).

Por fim, quanto ao teor de proteínas totais, o acesso BGC-UFPI 224 apresentou os maiores valores nos dois ambientes, com destaque para o ambiente 2, onde não diferiu estatisticamente de BGC-UFPI 258. Em contraposição, BGC-UFPI 207 obteve os menores teores proteicos, com valores semelhantes nos dois ambientes e estatisticamente inferiores aos demais acessos, exceto o BGC-UFPI 203 no ambiente 2 (Figura 22).

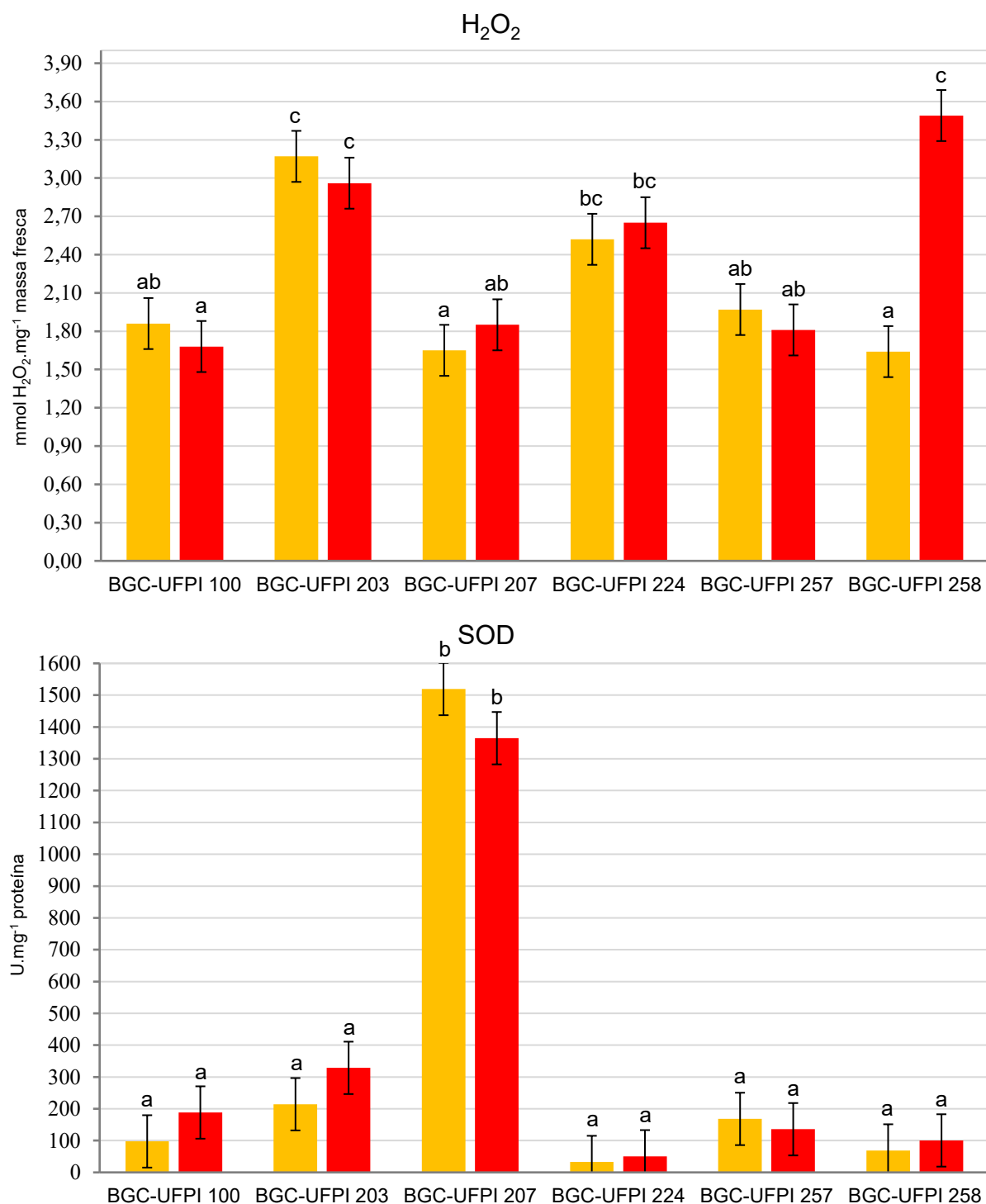


Figura 20 – Teor de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e atividade enzimática da superóxido dismutase (SOD) avaliados em seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), conduzidos em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024. As barras amarelas representam o ambiente 1, e as vermelhas, o Ambiente 2. Médias seguidas de pelo menos uma letra, dentro de cada ambiente, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de significância. As barras representam o erro padrão da média.

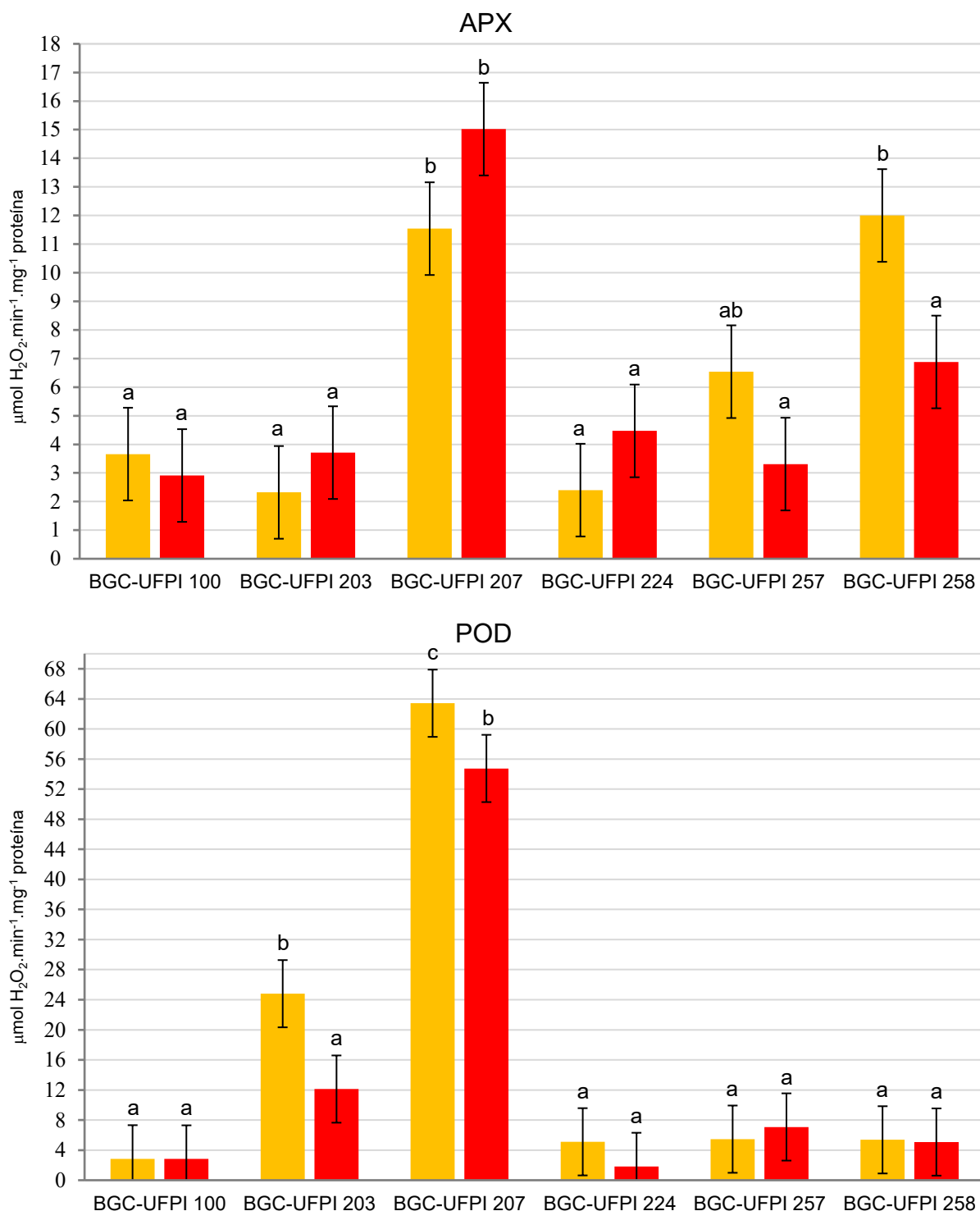


Figura 21 – Atividade enzimática da ascorbato peroxidase (APX) e peroxidase (POD) avaliadas em seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), conduzidos em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024. As barras amarelas representam o ambiente 1, e as vermelhas, o Ambiente 2. Médias seguidas de pelo menos uma letra, dentro de cada ambiente, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de significância. As barras representam o erro padrão da média.

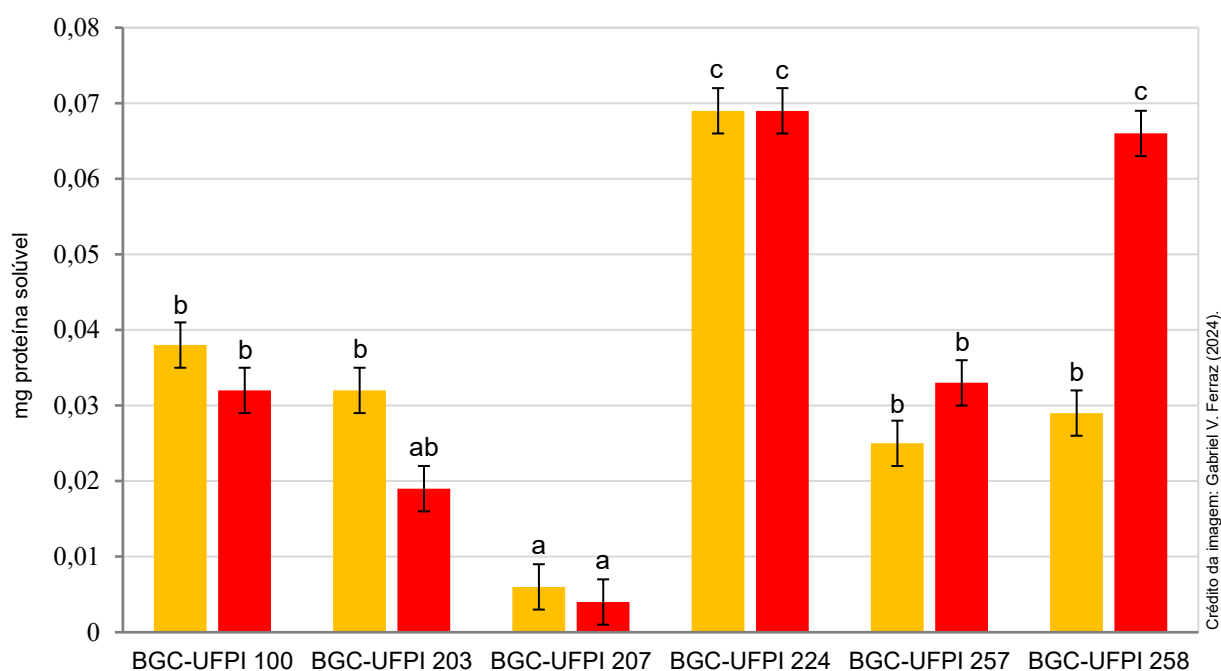


Figura 22 – Teor de proteínas totais avaliado em seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), conduzidos em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024. As barras amarelas representam o ambiente 1, e as vermelhas, o Ambiente 2. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, dentro de cada ambiente, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de significância. As barras representam o erro padrão da média.

5.3.4 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais foi realizada a partir das médias dos seguintes descritores: “número de dias para o florescimento”, “número de frutos por planta”, “número de flores por planta”, “número de frutos abortados”, “índice de pegamento de frutos” e “duração do ciclo da planta”, além das variáveis fisiológicas “viabilidade polínica” e “extravasamento de eletrólitos” e as bioquímicas “teor de peróxido de hidrogênio” e “teor de proteínas totais” e atividade das enzimas antioxidantes “superóxido dismutase”, “ascorbato peroxidase” e “peroxidase”. Essas variáveis foram selecionadas por estarem mais sujeitas aos efeitos da temperatura e por terem apresentado diferenças estatisticamente significativas entre os acessos e/ou ambientes avaliados.

Na tabela 11 são apresentados os autovalores de cada componente principal, que indicam a variância explicada por cada componente (isto é, a quantidade de

informação dos dados originais que cada um carrega), a porcentagem da variância total representada por cada componente e a variância acumulada, que expressa o total de variância explicada até determinado componente. Os dois primeiros componentes principais foram suficientes para explicar mais de 80% da variância total das variáveis analisadas, sendo os respectivos autovalores elevados: 7,33 para o primeiro componente e 3,45 para o segundo, evidenciando seu alto poder discriminatório.

Tabela 11 – Componentes principais, autovalores, porcentagem da variância explicada e proporção acumulada para seis descritores quantitativos e variáveis fisiológicas e bioquímicas avaliados em seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), conduzidos em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024

	Componente principal					
	1	2	3	4	5	6
Autovalores	7,33	3,45	0,99	0,84	0,37	0,00
Variância (%)	56,40	26,58	7,65	6,47	2,90	0,00
Variância acumulada (%)	56,40	82,98	90,63	97,10	100,00	100,00

A análise dos autovetores – que representam a direção e a importância relativa de cada variável na formação dos componentes principais – indicou que os descritores relacionados à produção (número de flores por planta, número de frutos por planta e número de frutos abortados), bem como as enzimas antioxidantes (superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e peroxidase), foram os que mais contribuíram para a formação do componente principal 1 (Tabela 12, números em destaque).

Já o componente principal 2 foi fortemente influenciado pelas variáveis “número de dias para o florescimento”, “índice de pegamento de frutos”, “viabilidade polínica” e, também, por características associadas a danos celulares, como “extravasamento de eletrólitos” e “teor de peróxido de hidrogênio”.

Tabela 12 – Autovetores associados aos dois primeiros componentes principais, obtidos a partir de seis descritores quantitativos e variáveis fisiológicas e bioquímicas, avaliados em seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), conduzidos em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024

Variável	Componente principal 1	Componente principal 2
NDFI	-4,45	-10,57
NFIP	11,79	-3,46
NFP	11,92	-3,50
NFA	11,85	-3,36
IPF	7,30	-9,21
DCP	6,75	-0,25
VP	3,58	-15,13
EE	-3,64	-17,36
Teor de proteínas totais	-7,62	-3,87
SOD	10,04	3,22
APX	10,26	2,41
POD	10,59	1,01
H ₂ O ₂	-0,12	-26,59

Legenda: NDFI – número de dias para o florescimento. NFIP – número de flores por planta. NFP – número de frutos por planta. NFA – número de frutos abortados. IPF – índice de pegamento de frutos. DCP – duração do ciclo da planta. VP – viabilidade polínica. EE – extravasamento de eletrólitos. SOD -superóxido dismutase. APX – ascorbato peroxidase. POD – peroxidase. H₂O₂ – teor de peróxido de hidrogênio.

A análise de componentes principais revelou que as variáveis relacionadas à produção, as fisiológicas e bioquímicas foram as que mais contribuíram para a divergência genética e comportamental entre os acessos. Portanto, essas características demonstraram ser os principais fatores diferenciadores entre os acessos quanto à tolerância às altas temperaturas.

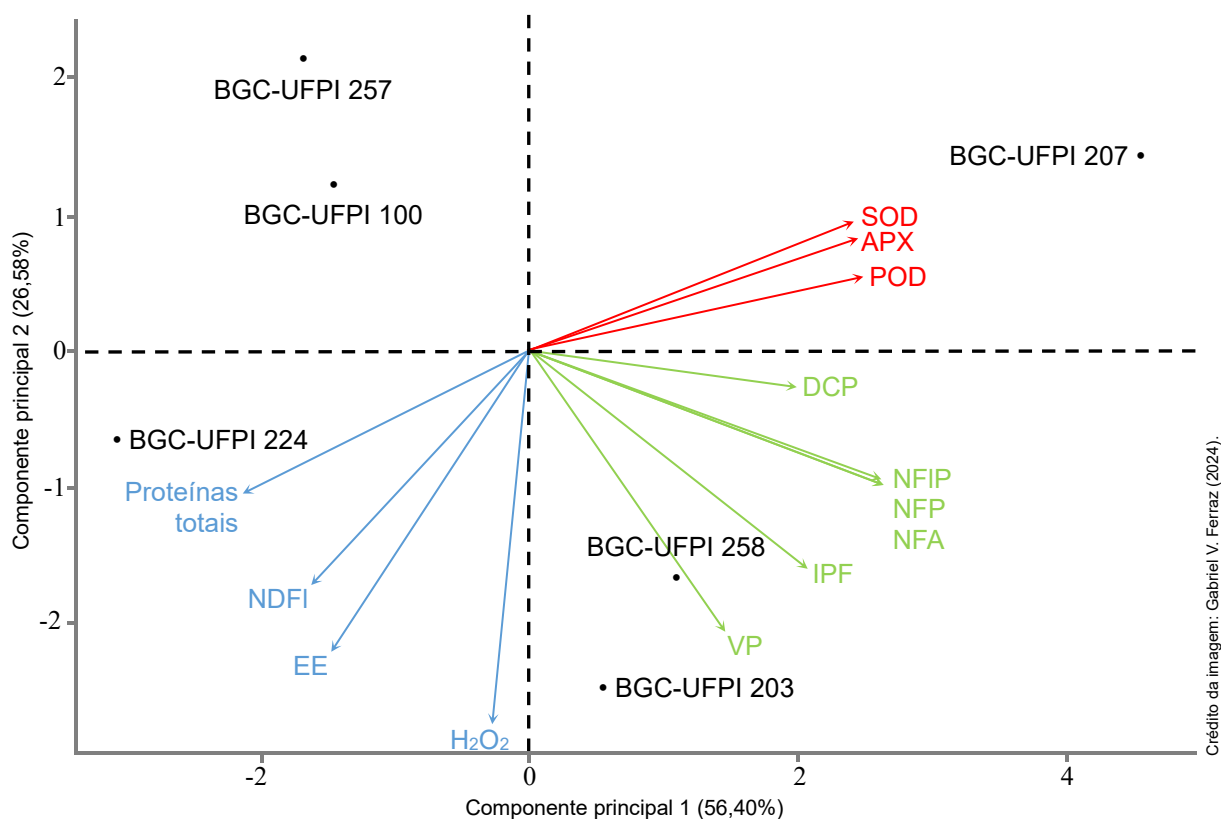


Figura 23 – Dispersão gráfica com base nos dois primeiros componentes principais, obtidos a partir da análise de seis acessos de pimenteira com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), avaliados em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024.

Legenda: NDFI – número de dias para o florescimento. NFIP – número de flores por planta. NFP – número de frutos por planta. NFA – número de frutos abortados. IPF – índice de pegamento de frutos. DCP – duração do ciclo da planta. VP – viabilidade polínica. EE – extravasamento de eletrólitos. SOD – superóxido dismutase. APX – ascorbato peroxidase. POD – peroxidase. H₂O₂ – teor de peróxido de hidrogênio.

A figura 23 apresenta a dispersão gráfica dos acessos com base nos dois primeiros componentes principais. Nessa representação, os ângulos formados entre os vetores das variáveis indicam a correlação entre elas: ângulos agudos (menores que 90°) indicam correlação positiva, ou seja, o aumento de uma variável tende a acompanhar o aumento da outra. Ângulos obtusos (maiores que 90°) indicam correlação negativa, quando uma variável aumenta, a outra tende a diminuir. Ângulos retos (90°) indicam ausência de correlação.

Com base nisso, observou-se correlação positiva entre as variáveis “superóxido dismutase”, “ascorbato peroxidase”, “peroxidase”, “duração do ciclo da planta”, “número de flores por planta”, “número de frutos por planta” e “número de frutos

abortados”. Essas, por sua vez, apresentaram correlação negativa com “número de dias para o florescimento”, “extravasamento de eletrólitos” e “teor de peróxido de hidrogênio”. Também foram observadas correlações positivas entre “teor de proteínas totais”, “número de dias para o florescimento”, “extravasamento de eletrólitos” e “teor de peróxido de hidrogênio”, bem como entre “índice de pegamento de frutos” e “viabilidade polínica”. Já o “teor de proteínas totais” mostrou ausência de correlação com a “viabilidade polínica”, assim como a atividade das três enzimas antioxidantes não apresentaram correlação significativa com a viabilidade polínica.

Além das correlações entre variáveis, a dispersão gráfica permitiu a visualização do desempenho individual dos acessos em relação às variáveis avaliadas.

O acesso BGC-UFPI 207, isolado no quadrante superior direito, destacou-se por apresentar altos valores para a atividade das enzimas antioxidantes (superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e peroxidase), além de alta produção (número de flores e frutos por planta) e longa duração do ciclo da planta. Apresentou ainda baixos valores de teor de peróxido de hidrogênio e proteínas totais, número de dias para o florescimento e extravasamento de eletrólitos, o que indica um perfil compatível com alta termotolerância.

Os acessos BGC-UFPI 203 e BGC-UFPI 258, localizados no quadrante inferior direito, apresentaram desempenho intermediário. Destacaram-se pela alta viabilidade polínica, mas também apresentaram altos valores de extravasamento de eletrólitos e teor de peróxido de hidrogênio, indicando resposta fisiológica mista ao estresse térmico.

O acesso BGC-UFPI 224, posicionado no quadrante inferior esquerdo, apresentou desempenho oposto ao BGC-UFPI 207, com altos valores de teor de peróxido de hidrogênio e proteínas totais, número de dias para o florescimento e extravasamento de eletrólitos, e baixos valores para as enzimas antioxidantes, produção e duração do ciclo da planta. Esse perfil indica susceptibilidade às altas temperaturas.

Por último, os acessos BGC-UFPI 100 e BGC-UFPI 257, localizados no quadrante superior esquerdo, não apresentaram destaque expressivo para nenhuma das variáveis, embora exibiram características agronômicas, fisiológicas e bioquímicas demonstrativas de susceptibilidade ao estresse térmico.

A análise de componentes principais permitiu identificar as variáveis mais relevantes para a diferenciação dos acessos em relação à resposta ao estresse térmico. A partir dessa estrutura multivariada, foi possível visualizar padrões de agrupamento entre os acessos. Contudo, para uma avaliação mais direta e quantitativa do desempenho de cada acesso, foi calculado um índice de tolerância ao calor (ITC, Figura 24), baseado em uma fórmula (ver material e métodos, subseção análises estatísticas) que integra as variáveis mais associadas à termotolerância.

5.3.5 Índice de tolerância ao calor

Com base nesse índice, o acesso BGC-UFPI 207 ocupou a primeira posição, com o maior valor de ITC (0,78), sendo classificado como termotolerante. BGC-UFPI 258 e BGC-UFPI 203 ficaram em segunda e terceira posições, respectivamente, e sendo classificados como moderadamente tolerantes. BGC-UFPI 100, BGC-UFPI 224 e BGC-UFPI 257 foram considerados susceptíveis ao estresse térmico.

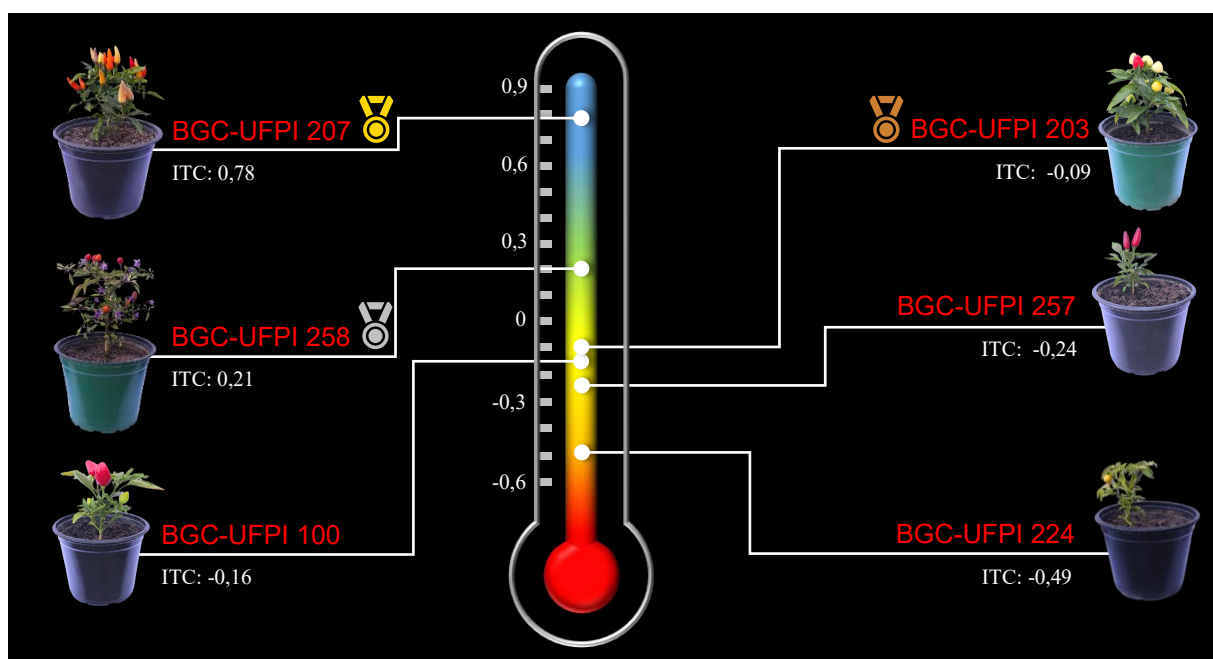


Figura 24 – Classificação dos seis acessos de pimentas com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.), oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), quanto ao grau de tolerância às altas temperaturas, com base no índice de tolerância ao calor (ITC). Valores mais positivos do ITC indicam maior tolerância às altas temperaturas, enquanto valores mais negativos indicam maior susceptibilidade.

O acesso BGC-UFPI 207 apresentou um conjunto de características agrônomicas, fisiológicas e bioquímicas consistentes com alta tolerância às altas temperaturas. Dentre os principais atributos, destacam-se: baixo acúmulo de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), elevada atividade das enzimas antioxidantes, alta viabilidade polínica, menor dano à membrana celular, elevado desempenho produtivo (número de flores, frutos e índice de pegamento de frutos), além de um ciclo mais longo. Em termos morfológicos, apresentou corola branca e ereta, frutos amarelos no estágio intermediário e vermelhos no estágio maduro, folhagem verde a verde-escura com alta densidade, e frutos alongados e eretos (Figura 25).

Embora o acesso BGC-UFPI 258 tenha apresentado bom desempenho morfológico, agrônomico e elevada viabilidade polínica, demonstrou alto acúmulo de H_2O_2 e menor estabilidade da membrana celular. Esses dados sugerem que, apesar de sofrer estresse oxidativo, esse acesso possui mecanismos fisiológicos compensatórios que sustentam sua produção, embora com menor eficiência em comparação ao BGC-UFPI 207. Morfologicamente, apresentou flores violetas, frutos de coloração violeta escura no estágio intermediário e vermelha no estágio maduro, folhagem variegada (verde com manchas violetas), presença de antocianina nodal violeta e frutos triangulares (Figura 25).

As características de BGC-UFPI 258, especialmente a coloração intensa de flores e frutos, conferem alto valor ornamental, atendendo à demanda crescente por plantas com tons roxos e escuros (Costa *et al.*, 2019). De acordo com Neitzke *et al.* (2016), frutos com coloração violeta no estágio intermediário e vermelha no maduro, associados ao contraste com a folhagem, são preferidos pelo público consumidor de plantas ornamentais.

O acesso BGC-UFPI 203 apresentou elevado acúmulo de H_2O_2 , baixa atividade enzimática antioxidante e baixa síntese proteica, o que evidencia a presença de estresse oxidativo. No entanto, tais limitações foram compensadas por um bom desempenho morfológico, agrônomico e reprodutivo. A corola é branca; os frutos variaram do branco ao amarelo no estágio intermediário e tornaram-se vermelhos no estágio maduro. A folhagem é verde-escura, com alta densidade, e os frutos são grandes, triangulares, eretos e pesados (Figura 25).

Os acessos BGC-UFPI 100 e BGC-UFPI 257 exibiram desempenhos inferiores. Ambos apresentaram baixa viabilidade polínica, reduzida atividade enzimática

antioxidante e baixa síntese de proteínas, perfil consistente com susceptibilidade ao estresse térmico.

Por fim, o acesso BGC-UFPI 224 apresentou resultados contraditórios. Apesar da alta viabilidade polínica e do acúmulo de proteínas, apresentou baixa atividade antioxidante, reduzido número de flores e frutos, ciclo curto e elevado acúmulo de H_2O_2 . Esse conjunto de características indica baixa termotolerância, com indícios de dano oxidativo relevante.

BGC-UFPI 100



Figura 25 – Representação dos seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.) oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), em vistas frontal e superior, avaliados em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024 (continua).

BGC-UFPI 203



Figura 25 – Representação dos seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.) oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), em vistas frontal e superior, avaliados em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024 (continua).

BGC-UFPI 207



Escala 1:2,72



ADP: 16,00 cm | LDV: 13,50 cm | CDF: 2,50 cm



Escala 1:2,69



ADP: 12,80 cm | LDV: 13,75 cm | CDF: 2,10 cm



Figura 25 – Representação dos seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.) oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), em vistas frontal e superior, avaliados em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024 (continua).

BGC-UFPI 224



Escala 1:2,59



Escala 1:4,11

Figura 25 – Representação dos seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.) oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), em vistas frontal e superior, avaliados em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024 (continua).

BGC-UFPI 257



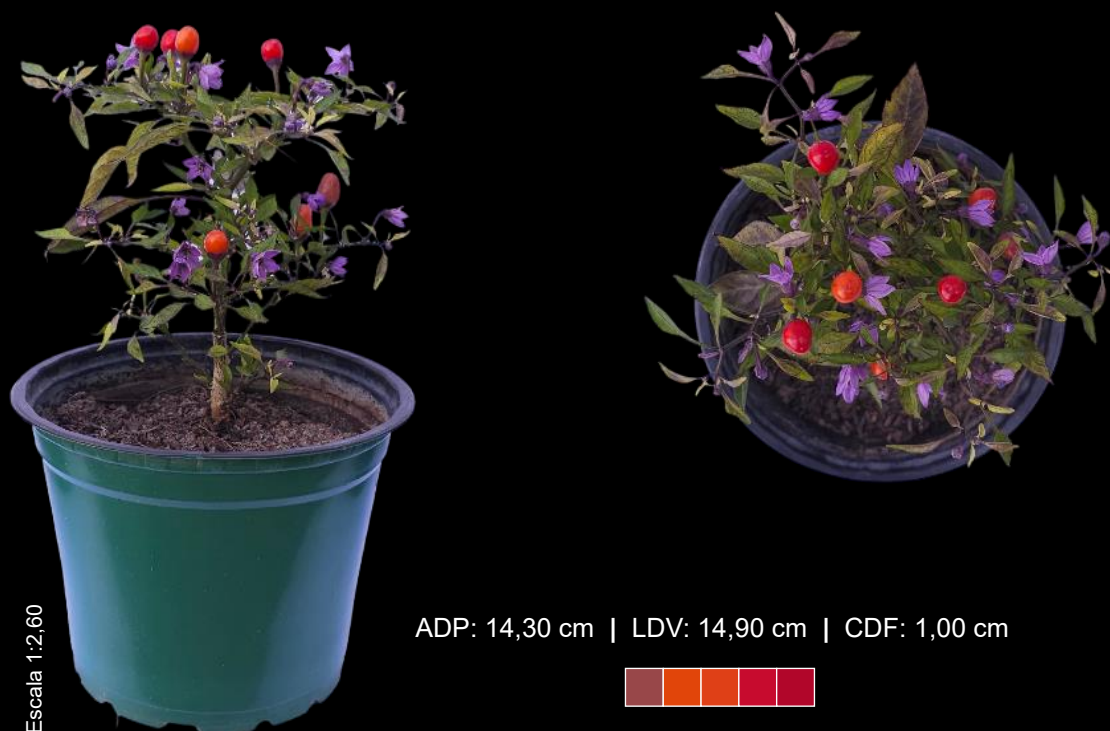
Figura 25 – Representação dos seis acessos de pimenteiros com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.) oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), em vistas frontal e superior, avaliados em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024 (continua).

BGC-UFPI 258



Escala 1:2,64

ADP: 15,20 cm | LDV: 11,00 cm | CDF: 1,50 cm



Escala 1:2,60

ADP: 14,30 cm | LDV: 14,90 cm | CDF: 1,00 cm

Figura 25 – Representação dos seis acessos de pimenteiras com potencial ornamental (*Capsicum annuum* L.) oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí (BGC-UFPI), em vistas frontal e superior, avaliados em dois ambientes com temperaturas distintas, em Teresina, PI, Brasil, no ano de 2024.

5.4 Discussão

As mudanças climáticas representam uma das principais ameaças à agricultura no século XXI. O aumento da temperatura média global, resultante do desmatamento, da queima de combustíveis fósseis e de práticas agropecuárias insustentáveis, afeta direta ou indiretamente a morfologia, a fisiologia e, conseqüentemente, a produtividade das plantas. Nesse contexto, o desenvolvimento de cultivares termotolerantes surge como estratégia essencial para mitigar os efeitos adversos do estresse térmico, contribuindo para a adaptação das culturas agrícolas aos novos desafios climáticos (Raza *et al.*, 2019). Diante disso, estudos de pré-melhoramento genético são fundamentais para avaliar a tolerância de genótipos às altas temperaturas.

A análise estatística dos dados foi realizada com o uso de modelos lineares mistos, os quais permitem a inclusão simultânea de efeitos fixos e aleatórios. Neste estudo, tanto os acessos quanto os ambientes foram considerados efeito fixo, por se tratarem de acessos e condições experimentais previamente definidos. O objetivo foi avaliar o desempenho individual dos acessos e suas respostas sob diferentes condições térmicas.

Segundo Resende *et al.* (2001) e Resende (2016), os modelos mistos são especialmente indicados para a comparação de genótipos em diferentes ambientes, utilizando grandes volumes de dados oriundos de vários experimentos, inclusive em situações com dados desbalanceados (ou seja, com dados ausentes), como foi observado neste estudo.

As repetições dentro de cada ambiente foram consideradas como efeitos aleatórios, representando a variabilidade experimental inerente ao delineamento. Isso possibilita a estimativa do erro experimental, isto é, a quantificação da influência de fontes aleatórias de variação, que não são de interesse específico.

Para estimar as variâncias associadas aos efeitos aleatórios, utilizou-se o método da Máxima Verossimilhança Restrita, amplamente utilizado em modelos mistos por fornecer estimativas mais precisas e não tendenciosas (Resende, 2016), especialmente em conjuntos de dados desbalanceados (Resende, 2002).

O coeficiente de variação experimental (CV), que expressa a variabilidade dos dados em relação à média, foi utilizado para avaliar a precisão dos experimentos. Em geral, quanto menor o CV, maior a precisão experimental (Lima; Nunes; Bezerra Neto,

2004). Segundo a classificação proposta por Pimentel-Gomes (2022), valores de CV são considerados baixos (inferior a 10%), médios (entre 10% e 20%), altos (entre 20% e 30%) e muito altos (acima a 30%).

No presente estudo, os CVs foram majoritariamente classificados como de média precisão experimental, como nos casos de “número de dias para o florescimento”, “altura da planta”, “número de dias para a maturação dos frutos”, “comprimento do pedicelo”, “largura do fruto”, “viabilidade polínica” e “teor de peróxido de hidrogênio” e muito altos para “massa do fruto”, “número de frutos por planta”, “número de flores por planta”, “número de flores abortadas”, “número de frutos abortados”, “extravasamento de eletrólitos” e “atividade das enzimas superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e peroxidase” (Tabela 9).

Contudo, Lima, Nunes e Bezerra Neto (2004) alertam que essa classificação pode ser generalista, pois não leva em conta a cultura, a variável analisada ou o tipo de experimento. Além disso, Pimentel-Gomes (2022) afirma que o cálculo do CV ignora o número de repetições, o que representa um importante defeito.

Não existem valores de referência específicos de CV para pimenteiras. Assim, embora o CV seja uma ferramenta útil para avaliar a confiabilidade dos dados, sua interpretação deve considerar a natureza das variáveis envolvidas. Neste estudo, os altos CVs observados podem ser atribuídos tanto à natureza quantitativa das variáveis quanto à variabilidade genética entre os acessos, evidenciada pelas diferenças significativas encontradas para quase todas as variáveis analisadas (Tabela 9).

A acurácia seletiva estimada para as variáveis avaliadas variou de 0,72 (número de dias para o florescimento) até 0,99 (teor de proteínas totais e atividade enzimática da superóxido dismutase) (Tabela 9). A acurácia expressa o grau de proximidade entre os valores fenotípicos observados e os valores genéticos reais, indicando a confiabilidade das estimativas genotípicas. Valores superiores a 0,70 são considerados elevados, o que evidencia alta confiabilidade das médias genotípicas (Resende, 2002).

Além disso, a acurácia está relacionada à herdabilidade da característica avaliada e, portanto, à eficiência da seleção pelo melhorista (Resende, 2002). Mesmo com a presença de alta variação residual (elevados CVs), os altos valores de acurácia obtidos indicam que os dados do estudo são confiáveis para fins de seleção. Esses resultados reforçam a robustez do modelo estatístico adotado, permitindo a identificação segura de acessos superiores quanto à tolerância às altas temperaturas.

Conforme demonstrado pela análise de variância conjunta (Tabela 9), a maioria das variáveis avaliadas apresentou efeito significativo para os acessos, indicando variabilidade genética entre eles. Esse resultado sugere que os acessos diferem entre si em relação ao desempenho morfológico, agrônômico, fisiológico e bioquímico, o que é promissor para a seleção de acessos superiores quanto à tolerância às altas temperaturas. Por outro lado, os efeitos do ambiente e da interação entre acessos e ambientes não foram significativos para a maioria das variáveis.

Dois hipóteses podem explicar essa ausência de significância. A primeira está relacionada à duração e ao estágio fenológico em que a planta foi exposta ao estresse térmico. Estudos anteriores sobre termotolerância frequentemente se restringem a períodos curtos de estresse, concentrando-se em fases específicas do desenvolvimento, como germinação ou floração. Nesses casos, os efeitos adversos do calor são mais pronunciados e imediatos. No entanto, a exposição prolongada pode induzir mecanismos de aclimatação conhecidos como “memória térmica” – capacidade da planta de ajustar seu metabolismo com base em exposições anteriores ao estresse, tornando-se mais eficiente na resposta a eventos subsequentes (Kim *et al.*, 2023). Esses autores observaram que, embora algumas plantas apresentassem crescimento reduzido durante os primeiros 40 dias de estresse térmico, elas conseguiram se recuperar após esse período, igualando-se ao desempenho das plantas sob condição ideais. Tal mecanismo pode ter contribuído para a redução das diferenças entre os acessos sob as condições de estresse prolongado avaliadas neste estudo.

A segunda hipótese refere-se ao baixo contraste térmico entre os ambientes avaliados. Estudos prévios que obtiveram efeitos significativos de interação genótipo por ambiente relataram variações térmicas entre ambientes experimentais de 6 °C (Kaur *et al.*, 2016), 10 °C (Garruña-Hernández *et al.*, 2014) e até 15 °C (Bello *et al.*, 2023). No presente estudo, no entanto, as diferenças de temperatura foram consideravelmente menores: menos de 1 °C para a temperatura mínima, menos de 2 °C para a média e menos de 3 °C para a máxima (Figura 16). Tais variações podem ter sido insuficientes para provocar respostas significativamente distintas entre os acessos, o que reduziu os efeitos da interação entre os acessos e ambientes.

Com base nesses achados, recomenda-se que estudos futuros incorporem ambientes com contrastes térmicos mais acentuados. Isso permitirá melhor avaliação

da adaptabilidade e estabilidade fenotípicas de genótipos quanto à termotolerância, aspectos essenciais em programas de melhoramento genético.

Ainda que não tenham sido observadas interações significativas entre acessos e ambientes para a maioria das variáveis, os dados obtidos forneceram informações relevantes para o desempenho dos acessos avaliados. De acordo com Pinto *et al.* (2016), as pimenteiras tendem a apresentar melhor desempenho em temperaturas entre 21 °C e 30 °C, sendo que valores superiores a 35 °C compromete o crescimento e a frutificação (Hallaji *et al.*, 2024). No presente estudo, as temperaturas médias registradas ultrapassaram o limite superior recomendado, tornando a cidade de Teresina, PI, um ambiente ao mesmo tempo desafiador para a produção de pimenteiras ornamentais e apropriado para estudos voltados à avaliação de genótipos quanto à termotolerância.

A diversidade genética, portanto, emergiu como o principal fator responsável pelo desempenho diferencial dos acessos. A termotolerância é um caráter influenciado por muitos genes (Aruna *et al.*, 2024). Essa complexidade genética resulta em centenas de rotas metabólicas e sinalizações moleculares que, em condições adversas, são ajustadas pela planta de forma coordenada, mantendo o equilíbrio metabólico necessário para o crescimento e reprodução (Taiz *et al.*, 2024).

Para os descritores “altura da planta”, “largura do dossel vegetal”, “comprimento do pedicelo” e “comprimento do fruto”, observou-se efeito significativo apenas para os acessos (Tabela 9). Isso indica que a variação observada nessas características está relacionada principalmente à base genética dos acessos, e não às condições ambientais avaliadas. Tal padrão sugere uma baixa plasticidade fenotípica dessas características, o que pode ser vantajoso em programas de melhoramento genético, uma vez que indica maior estabilidade fenotípica dos acessos (Huang *et al.*, 2023).

De acordo com os critérios da cooperativa Veiling Holambra para a classificação de pimenteiras ornamentais destinadas à comercialização em vasos número 14, a altura ideal das plantas deve estar entre 12 cm e 38,5 cm (Veiling Holambra, [entre 2010 e 2018]). Apenas dois acessos atenderam ao critério mínimo de altura nos dois ambientes: BGC-UFPI 207, com 14,00 cm no ambiente 1 e 12,96 cm no ambiente 2, e BGC-UFPI 258, com 14,16 cm e 14,07 cm, respectivamente (Tabela 10). Esses acessos, portanto, demonstram potencial ornamental com base na altura da planta.

Com relação à largura do dossel vegetal, embora a Veiling Holambra não estabeleça valores específicos, recomenda-se que as plantas apresentem boa cobertura do vaso. De acordo com Ferreira (2023), esse parâmetro pode ser avaliado justamente pela largura do dossel. Nesse estudo, os valores observados variaram entre 16,00 cm e 35,60 cm. Dessa forma, nenhum dos acessos avaliados no presente estudo apresentou largura do dossel vegetal suficiente para atender o critério de Ferreira (2023), demonstrando baixa eficiência para a seleção de acessos com base nesse descritor.

O comprimento do pedicelo, importante para fins ornamentais por influenciar o destaque visual dos frutos em relação à folhagem (Costa *et al.*, 2019), variou de 9,85 mm (BGC-UFPI 257, ambiente 2) a 13,95 mm (BGC-UFPI 100, ambiente 1) (Tabela 2.3). No entanto, esses valores foram inferiores aos observados por Ferreira (2023), o que indica que esse descritor também não se mostrou eficiente para a seleção de acessos ornamentais no presente estudo.

Quanto ao comprimento do fruto, os acessos apresentaram ampla variação, de 6,39 mm (BGC-UFPI 258, ambiente 2) a 23,62 mm (BGC-UFPI 207, ambiente 2) (Tabela 10). Segundo Fortunato *et al.* (2019), frutos de maior comprimento podem ser utilizados para consumo *in natura* ou desidratados, enquanto os menores são mais adequados para uso ornamental. No entanto, não há um valor-padrão definido para essa distinção, tornando-a subjetiva. Além disso, uma pesquisa conduzida por Neitzke *et al.* (2016) sobre a preferência dos consumidores de pimenteiros ornamentais indicou que o tamanho dos frutos não foi um fator decisivo de compra. Assim, considera-se que todos os seis acessos avaliados possuem potencial ornamental com base nessa característica.

Seis características – “massa do fruto”, “número de frutos por planta”, “número de flores por planta”, “número de flores abortadas”, “número de frutos abortados” e “índice de pegamento de frutos” – geralmente são afetadas por altas temperaturas, conforme relatado por Rosmaina *et al.* (2022), Rajeswari *et al.* (2023) e Aruna *et al.* (2024). No entanto, neste estudo, observou-se efeito significativo apenas para os acessos (Tabela 16), indicando que o desempenho produtivo e reprodutivo foi determinado principalmente por fatores genéticos.

Esse resultado pode estar associado à capacidade intrínseca de adaptação dos acessos às condições de cultivo, o que resultou em estabilidade fenotípica, mesmo diante de variações térmicas. Por outro lado, é possível que os ambientes avaliados

não tenham imposto contrastes térmicos suficientemente expressivos para provocar alterações significativas nessas características. Assim, estudos futuros conduzidos sob condições ambientais mais contrastantes são necessários para verificar essas hipóteses.

Entre os acessos avaliados, alguns se destacaram por seu desempenho reprodutivo. BGC-UFPI 100 e BGC-UFPI 203 apresentaram a maior massa de fruto em ambos os ambientes, evidenciando seus potenciais genéticos para esse caráter, enquanto BGC-UFPI 257 (ambiente 1) e BGC-UFPI 258 (ambiente 2) apresentaram os menores valores (Tabela 17).

Embora estudos anteriores confirmaram que a massa do fruto pode ser influenciada por variações térmicas (Pereyda-González *et al.*, 2022; Rosmaina *et al.*, 2022; Thakur *et al.*, 2023), essa característica não é considerada prioritária na seleção de pimenteiras com potencial ornamental, pois não afeta diretamente o apelo visual. De acordo com Neitzke *et al.* (2016), características como cor, formato, posição, quantidade e longevidade dos frutos são mais determinantes na atratividade comercial do que a massa.

Quanto ao número de frutos por planta, diferenças significativas foram observadas apenas no ambiente 2. O acesso BGC-UFPI 258 apresentou o maior valor (39,80 frutos), enquanto BGC-UFPI 100 e BGC-UFPI 224 apresentaram os menores (8,60 e 4,00 frutos, respectivamente) (Tabela 17). De acordo com os critérios da Cooperativa Veiling Holambra, pimenteiras cultivadas em vasos de número 14 devem apresentar no mínimo dez frutos por vaso (Veiling Holambra, [entre 2010 e 2018]). Assim, os acessos BGC-UFPI 100 e BGC-UFPI 224 não atenderam o padrão mínimo estabelecido para comercialização.

Em relação ao número de flores por planta, dois acessos se destacaram por apresentarem alto número de flores: BGC-UFPI 207 (39,60 flores, ambiente 1) e BGC-UFPI 258 (44 flores, ambiente 2). Conforme evidenciado pela correlação entre variáveis (Figura 23), o número de flores possui correlação positiva com a produção de frutos.

Em relação ao número de frutos abortados, o acesso BGC-UFPI 258 apresentou o maior índice de abortamento no ambiente 2 (37,60 frutos), enquanto BGC-UFPI 100, BGC-UFPI 224 e BGC-UFPI 257 apresentaram os menores valores (Tabela 10), indicando maior eficiência reprodutiva. O abortamento de frutos é um fenômeno influenciado por temperaturas elevadas, que promovem a redução do

transporte de auxina e o aumento na síntese do etileno, culminando no abortamento dos frutos (Garraña-Hernández *et al.*, 2012). Dessa forma, as variações nos níveis de abortamento entre os acessos, observadas mesmo em condições ambientais semelhantes, podem refletir diferenças quanto à sensibilidade a esses hormônios.

Além disso, a dinâmica reprodutiva em pimenteiras depende do equilíbrio fisiológico entre floração, frutificação e abortamento. Frutos em estágio de desenvolvimento podem aumentar o abortamento de flores e de frutos jovens, uma vez que esses frutos atuam como drenos majoritários de recursos assimilados, reduzindo a disponibilidade para novas estruturas reprodutivas. Quando atingem o tamanho final, tornam-se drenos minoritários, permitindo o reinício da floração e, conseqüentemente, novos ciclos reprodutivos (Brandão Filho *et al.*, 2018). Assim, embora maior número de flores possa gerar maior frutificação, o acúmulo excessivo dessas estruturas pode sobrecarregar a planta, especialmente sob estresse térmico, elevando os índices de abortamento. Esse comportamento foi corroborado pela correlação positiva observada entre o número de flores, frutos e frutos abortados no presente estudo (Figura 23).

O índice de pegamento de frutos, que expressa a proporção de botões florais que resultam em frutos, também variou no ambiente 2. O acesso BGC-UFPI 207 apresentou o maior valor, ao passo que BGC-UFPI 224 exibiu o menor. Esse descritor está diretamente relacionado à produção das plantas, sendo indicativo de bom desempenho mesmo sob estresse térmico (Kaur *et al.*, 2016). Portanto, BGC-UFPI 207 mostra-se promissor para uso ornamental e para a seleção em programas de melhoramento voltados à tolerância às altas temperaturas.

Uma observação relevante deve ser feita em relação ao número de flores abortadas. Embora a análise de variância tenha indicado diferenças significativas entre os acessos, o teste de comparação de médias não identificou diferenças estatísticas entre eles (Tabelas 9 e 10). Resultado semelhante foi observado em estudos de simulação conduzidos por Rodrigues (2015), que atribuiu esse fenômeno à elevada variabilidade entre repetições ou à proximidade entre as médias dos tratamentos, o que compromete o poder discriminativo dos testes pós-análise de variância. A autora recomenda uma avaliação crítica quanto ao uso desses testes, considerando as características do experimento e a sensibilidade do teste estatístico escolhido.

A análise de variância revelou efeitos significativos para acessos e ambientes sobre três características agrônômicas: “largura do fruto”, “persistência do fruto” e “duração do ciclo da planta” (Tabela 9). Isso demonstra a influência direta da constituição genotípica dos acessos, mas também das condições de temperatura e umidade dos ambientes experimentais sobre essas variáveis.

A largura do fruto apresentou menores médias no ambiente 2, o que pode estar associada ao estresse térmico mais intenso nesse local. Em contrapartida, o comprimento do fruto não foi influenciado pelo ambiente, possivelmente devido ao elevado coeficiente de variação experimental para essa característica, o que pode ter mascarado eventuais efeitos ambientais (Tabela 9). Os acessos BGC-UFPI 100 e BGC-UFPI 203 destacaram-se pela estabilidade fenotípica da largura do fruto, com os maiores valores em ambos os ambientes (Tabela 10). De acordo com Oh e Koh (2019), altas temperaturas reduzem o tamanho dos frutos de pimenteiras em virtude da diminuição da taxa fotossintética, o que compromete a produção e o transporte de sacarose das folhas para os frutos.

A persistência do fruto também foi afetada pelo ambiente, com valores inferiores no ambiente 2. Tal comportamento pode estar relacionado às condições mais estressantes nesse ambiente, que favorecem a senescência e a abscisão precoce dos frutos. Cheng *et al.* (2023) relatam que o calor excessivo acelera a maturação, promove a perda de água e reduz a vida útil dos frutos. Ainda que não tenham sido observadas diferenças estatísticas entre os acessos dentro de cada ambiente, a persistência variou de dez dias (BGC-UFPI 258, ambiente 2) a 20 dias (BGC-UFPI 100, ambiente 1) (Tabela 10). A literatura não define um padrão mínimo de dias para a persistência dos frutos, mas destaca que sua longa duração é desejável (Neitzke *et al.*, 2016), pois aumenta a vida útil da planta, favorecendo a aceitação comercial (Custódio *et al.*, 2023).

Por fim, a duração do ciclo da planta também variou entre os ambientes. Todos os acessos apresentaram redução do ciclo no ambiente 2, sendo o BGC-UFPI 224 o único com diferença estatisticamente significativa, com ciclo mais curto (153 dias) (Tabela 10). Assim, os demais acessos mostram-se promissores para programas de melhoramento, uma vez que um ciclo mais longo está associado à maior durabilidade pós-produção, características valorizadas no desenvolvimento de cultivares ornamentais de pimenteiras (Rêgo; Rêgo; Finger, 2015).

A ausência de efeitos principais significativos para os fatores acessos e ambientes, aliada à presença de interação significativa entre esses fatores para os descritores “número de dias para o florescimento” e “número de dias para a maturação dos frutos”, indica que o desempenho dos acessos nessas características dependeu diretamente do ambiente em que foram avaliados (Tabela 9). Tal comportamento caracteriza a interação genótipo por ambiente, na qual os genótipos apresentam respostas inconsistentes entre diferentes ambientes, sem um padrão uniforme de desempenho superior ou inferior, mas com mudanças relativas no ranqueamento entre os genótipos (Bratković *et al.*, 2024).

No que se refere ao número de dias para o florescimento, o teste de médias revelou diferenças significativas entre os acessos apenas no ambiente 2. Esse resultado sugere que as condições específicas desse ambiente – possivelmente relacionadas às altas temperaturas, maior incidência de radiação solar ou baixa umidade relativa – afetaram de forma diferenciada a indução floral entre os acessos. Três acessos (BGC-UFPI 100, BGC-UFPI 203 e BGC-UFPI 207) apresentaram atraso no florescimento nesse ambiente, enquanto os demais anteciparam esse processo. Destacou-se o acesso BGC-UFPI 203, que levou sete dias a mais para florescer no ambiente 2 em comparação ao ambiente 1, contrastando como o acesso BGC-UFPI 257, que floresceu 30 dias mais cedo no mesmo ambiente (Tabela 10).

Resultados semelhantes foram reportados por Garruña-Hernández *et al.* (2012) e Srivastava *et al.* (2022). De acordo com Taiz *et al.* (2024), plantas de ciclo anual, como os acessos avaliados no estudo, tendem a acelerar seu metabolismo sob estresse abiótico, com o objetivo de completar o ciclo reprodutivo e garantir a produção de sementes viáveis. Já as plantas perenes, diante das mesmas condições, priorizam o armazenamento de recursos alimentares e, em alguns casos, interrompem temporariamente a reprodução, entrando em dormência até que o ambiente se torne mais favorável. Assim, o florescimento precoce observado em alguns acessos pode ser interpretado como uma resposta adaptativa ao estresse, típica de espécies anuais.

Quanto ao número de dias para a maturação dos frutos, embora a interação genótipo por ambiente tenha sido significativa, não foram observadas diferenças estatísticas entre os acessos em nenhum dos ambientes. Apenas os acessos BGC-UFPI 224 e BGC-UFPI 257 apresentaram tendência à precocidade no ambiente 2, enquanto os demais acessos mantiveram um padrão mais tardio (Tabela 10).

A combinação de florescimento precoce com maturação tardia é considerada ideal para pimenteiras ornamentais. O florescimento antecipado reduz o ciclo produtivo, o que permite maior número de ciclos por ano, reduz custos com manejo e insumos, e limita a incidência de pragas e doenças. Tais vantagens são especialmente rentáveis para pequenos e médios produtores, principais responsáveis pela comercialização de pimenteiras ornamentais. Por outro lado, a maturação mais lenta dos frutos contribui para a longevidade do visual ornamental, mantendo os frutos por mais tempo na planta e prolongando seu valor estético e comercial (Custódio *et al.*, 2023).

A viabilidade polínica e o extravasamento de eletrólitos apresentaram diferenças estatísticas significativas para os efeitos de acessos, ambientes e da interação entre ambos, indicando que essas variáveis são influenciadas tanto pela constituição genética dos acessos quanto pelas condições ambientais impostas. De forma geral, a viabilidade polínica foi reduzida no ambiente 2 (Figura 17), provavelmente em decorrência do estresse térmico característico desse ambiente, comprometendo a integridade e funcionalidade dos grãos de pólen. Esses resultados estão de acordo com a literatura, que apontaram a redução da viabilidade polínica sob altas temperaturas (Arnaudova; Topalova; Todorova, 2020, Gisbert-Mullor *et al.*, 2023, Rajeswari *et al.*, 2023).

A baixa viabilidade polínica compromete a capacidade de germinação dos grãos de pólen, resultando em menor formação de frutos. Em condições de estresse térmico, os grãos de pólen podem apresentar deformações, como encolhimento e aspecto vazio, o que os tornam inviáveis e incapazes de absorver corantes utilizados para análise microscópica (Figura 18). Além disso, esse tipo de estresse pode prejudicar o desenvolvimento das células-mãe dos grãos de pólen (Rosmaina *et al.*, 2022).

Segundo Begcy *et al.* (2019), a fase de tétrade – estágio em que quatro micrósporos permanecem unidos após a meiose – é especialmente sensível ao estresse térmico, ocorrendo baixa deposição de amido e redução da atividade enzimática, o que compromete a morfologia e viabilidade dos grãos. Karni e Aloni (2002) destacam ainda a importância da enzima frutoquinase no metabolismo da glicose durante o desenvolvimento do pólen; sua diminuição está correlacionada à menor viabilidade polínica, devido à redução da energia disponível para o crescimento do tubo polínico.

Entre os acessos avaliados, apenas BGC-UFPI 224 apresentou maior viabilidade polínica no ambiente 2 em relação ao ambiente 1, indicando maior tolerância ao estresse térmico durante a formação dos grãos de pólen. Entretanto, esse acesso apresentou baixa produtividade e reduzido índice de pegamento de frutos, possivelmente devido à menor produção de flores, como também relatado por Ferraz (2022). Já os acessos BGC-UFPI 100 e BGC-UFPI 257 foram os que apresentaram menor viabilidade polínica no ambiente 2 (Figura 2.3), aliada à baixa produção de flores e frutos, características correlacionadas positivamente (Figura 23), reforçando sua susceptibilidade ao estresse térmico.

O extravasamento de eletrólitos aumentou no ambiente 2 (Figura 19), evidenciando maior dano estrutural às membranas em resposta ao estresse térmico. Essa variável é avaliada com base na condutividade elétrica gerada pelo extravasamento de eletrólitos das células foliares danificadas: quanto maior a condutividade, menor a estabilidade das membranas (Bala; Sikder, 2017). Wahid *et al.* (2007) explicam que o calor provoca maior agitação das moléculas na bicamada fosfolipídica, enfraquecendo suas ligações e aumentando a permeabilidade, o que resulta no vazamento de solutos.

No presente estudo, os acessos BGC-UFPI 224 e BGC-UFPI 258 foram os mais susceptíveis, enquanto BGC-UFPI 207 se destacou por manter maior integridade das membranas sob altas temperaturas (Figura 19). Esse resultado sugere maior capacidade adaptativa desse acesso ao estresse térmico, associada à maior estabilidade celular.

As diferenças significativas entre os acessos sob diferentes condições térmicas ressaltam a relevância do extravasamento de eletrólitos como critério de seleção em programas de melhoramento visando termotolerância. Essa abordagem tem se mostrado promissora em culturas como pimenteiras (Usman *et al.*, 2014, 2015; Chowdhury *et al.*, 2023; Gisbert-Mullor *et al.*, 2023), tomate (Islam *et al.*, 2014), trigo (Bala; Sikder, 2017) e algodão (Singh *et al.*, 2018).

O teor de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) também apresentou efeito significativo para os acessos, ambientes e para sua interação, demonstrando que a produção desse composto reativo é influenciada tanto pela genética dos acessos quanto pelas condições ambientais. Observou-se que três acessos (BGC-UFPI 100, BGC-UFPI 203 e BGC-UFPI 257) apresentarem maiores concentrações de H₂O₂ no ambiente 1,

enquanto os demais destacaram-se no ambiente 2, indicando diferentes estratégias fisiológicas frente ao estresse térmico (Figura 20).

O acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs), como o H_2O_2 , pode ocorrer como resposta ao estresse, mas também desempenha papel crucial na sinalização celular, ativando mecanismos de defesa antioxidantes. O controle do nível dessas espécies é essencial para evitar danos oxidativos (Taiz *et al.*, 2024). No presente estudo, foi observada correlação positiva entre a concentração de H_2O_2 e o extravasamento de eletrólitos (Figura 23), constatando que o excesso de EROs compromete a integridade das membranas, como descrito por Gisbert-Mullor *et al.* (2023). Assim, o menor extravasamento de eletrólitos observado no acesso BGC-UFPI 207, aliado à menor concentração de H_2O_2 , pode estar relacionado a uma resposta antioxidante mais eficiente. Em contraste, os acessos BGC-UFPI 203, BGC-UFPI 224 e BGC-UFPI 258 apresentaram maiores concentrações de H_2O_2 e maior dano às membranas, reforçando sua sensibilidade ao estresse térmico.

O teor de proteínas totais apresentou diferenças estatisticamente significativas apenas entre acessos e na interação acessos e ambientes (Tabela 9). Os acessos BGC-UFPI 224 e BGC-UFPI 258 apresentaram os maiores teores de proteínas no ambiente 2 (Figura 22), o que pode estar associado à ativação de vias metabólicas ligadas à síntese de proteínas relacionadas ao estresse térmico, como chaperonas e enzimas antioxidantes, conforme evidenciado por Srivastava *et al.* (2022). Por outro lado, o acesso BGC-UFPI 207 apresentou menor teor de proteínas totais no ambiente 2. Esse comportamento pode indicar uma resposta mais eficiente e energeticamente econômica ao estresse térmico, caracterizada por um controle metabólico mais ajustado e menor necessidade de um aumento generalizado da síntese proteica.

A atividade das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX) e peroxidase (POD) apresentaram efeito significativo apenas para o fator acessos (Tabela 9), o que reforça o forte controle genético na regulação dessas enzimas, conforme evidenciado em outros estudos (Gulen; Ipek; Turhan, 2016; Srivastava *et al.*, 2022; Aruna *et al.*, 2024). Em geral, esses estudos demonstraram que genótipos mais tolerantes ao estresse térmico apresentam maior atividade dessas enzimas, que atuam na eliminação de EROs.

O acesso BGC-UFPI 207 se destacou positivamente para as três enzimas avaliadas (Figuras 20 e 21), o que reforça sua termotolerância. A SOD é considerada a primeira linha de defesa antioxidante nas plantas, catalisando o radical superóxido

em peróxido de hidrogênio e oxigênio molecular (Wang *et al.*, 2018). A elevada atividade dessa enzima observada em BGC-UFPI 207 sugere uma alta eficiência na neutralização do radical superóxido. Por sua vez, as enzimas APX e POD atuam na decomposição do H_2O_2 , processo essencial para evitar o acúmulo desse composto tóxico (Taiz *et al.*, 2024). A maior atividade dessas enzimas nesse acesso provavelmente explica os baixos níveis de H_2O_2 detectados em ambos os ambientes, o que, por sua vez, está relacionado à maior estabilidade observada nas membranas celulares.

Como hipótese alternativa, a baixa atividade antioxidantes observada nos demais acessos pode estar relacionada à desnaturação das enzimas sob altas temperaturas. Essa possibilidade é corroborada por estudos que relataram respostas variáveis da atividade enzimática frente ao estresse térmico. Zhou *et al.* (2024) verificaram aumento nas atividades de SOD e APX, mas redução em POD e catalase em mudas de pimenteiras expostas às altas temperaturas. Anderson (2002) observou redução da atividade de catalase e APX após exposição a 54 °C por 15 minutos, e Gulen, Ipek e Turhan (2016) também relataram queda na atividade de catalase a partir de 40 °C e de APX a partir de 50 °C.

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica estatística multivariada amplamente utilizada na redução da dimensionalidade de conjuntos de dados complexos. Essa abordagem transforma um conjunto original de variáveis correlacionadas em um número menor de variáveis não correlacionadas, denominadas componentes principais. Cada componente principal corresponde a uma combinação linear das variáveis originais e é calculado de modo a reter o máximo possível da variância total presente nos dados, em ordem decrescente de importância (Salem; Hussein, 2019).

Para explicar a aplicabilidade da ACP neste estudo, considere as 13 variáveis analisadas pela ACP. Representar graficamente esse conjunto de dados exigiria um espaço com 13 dimensões, o que inviabilizaria a visualização e a interpretação precisa dos resultados. A ACP permite, portanto, a redução desse conjunto para um número menor de componentes – geralmente dois ou três – que explicam a maior parte da variabilidade presente no conjunto original, com perdas mínimas de informação. Os dois primeiros componentes principais costumam captar a maior parcela da variância total e podem ser utilizados para representar graficamente as relações entre os

acessos e as variáveis em um plano bidimensional, facilitando a visualização da similaridade ou distinção entre os acessos avaliados.

Neste estudo, a ACP revelou que as variáveis relacionadas à produção, à viabilidade polínica, à integridade das membranas celulares e à atividade enzimática antioxidante foram as que mais contribuíram para a formação dos dois primeiros componentes (Tabela 12). Isso indica que essas variáveis explicam grande parte da variabilidade entre os acessos, sendo, portanto, determinantes na diferenciação dos acessos sob as condições de estresse térmico avaliadas. A predominância dessas variáveis nesses componentes principais sugere que os mecanismos fisiológicos e bioquímicos, aliados ao desempenho produtivo, são fatores-chave para a tolerância dos acessos às altas temperaturas.

Diante disso, essas variáveis devem ser priorizadas nos critérios de seleção de genótipos mais tolerantes ao calor. Além disso, os resultados da ACP fornecem suportes robustos para a construção de índices multivariados de seleção, como o índice de tolerância ao calor desenvolvido neste estudo (Figura 24), que integra múltiplas variáveis em uma única medida, facilitando a identificação de materiais superiores de forma mais precisa.

Em síntese, os resultados obtidos demonstraram que os acessos avaliados apresentam diferentes estratégias frente ao estresse térmico, variando entre os mais tolerantes e os mais susceptíveis. A variabilidade observada entre os acessos reforça a importância da avaliação fisiológica e bioquímica detalhada como ferramenta relevante na seleção de materiais geneticamente superiores quanto à tolerância ao calor. Observou-se que a termotolerância em pimenteiros ornamentais está associada a um equilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio, como o peróxido de hidrogênio, o controle da síntese proteica e a ativação do sistema antioxidante, responsável por mitigar os efeitos negativos do estresse térmico.

Entre os acessos avaliados, destacou-se BGC-UFPI 207, que apresentou excelente desempenho morfológico e agrônômico, aliado à presença de mecanismos fisiológicos e bioquímicos de defesa frente ao estresse térmico. Diante disso, esse acesso apresenta potencial para ser utilizado como genitor em cruzamentos com outros materiais de elevado valor ornamental, com o objetivo de gerar progênies que combinem características estéticas inovadoras e tolerância ao calor.

Partindo dessa perspectiva, Ferreira *et al.* (2024) obtiveram híbridos promissores ao cruzar BGC-UFPI 207 com o acesso BGC-UFPI 203, resultando em

plantas compactas, com alta densidade foliar, presença de antocianina nodal e frutos triangulares brilhantes que variam do amarelo claro no estágio intermediário ao vermelho no estágio maduro. Tais características são desejáveis do ponto de vista ornamental.

Contudo, são necessários estudos complementares que avaliem o desempenho de BGEC-UFPI 207 em ambientes contrastantes, a fim de verificar sua adaptabilidade e estabilidade frente ao estresse térmico em diferentes condições climáticas.

5.5 Conclusão

Este estudo demonstrou existir acessos de pimenteiros com potencial ornamental oriundos do Banco de Germoplasma de *Capsicum* da Universidade Federal do Piauí tolerantes às altas temperaturas. As variáveis relacionadas à produção, como número de frutos por planta, número de flores por planta e índice de pegamento de frutos, além da viabilidade polínica, extravasamento de eletrólitos e as variáveis bioquímicas se mostraram determinantes para a diferenciação dos acessos quanto à termotolerância.

Entre os acessos avaliados, BGC-UFPI 207 destacou-se por seu desempenho superior em múltiplas variáveis, sendo considerado promissor para o cultivo como pimenteira ornamental em regiões de clima quente e para uso como genitor em programas de melhoramento genético voltados ao desenvolvimento de cultivares termotolerantes.

Referências

- ANDERSON, J. A. Catalase activity, hydrogen peroxide content and thermotolerance of pepper leaves. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 95, p. 277-284, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00076-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00076-6).
- ARNAOUDOVA, Y.; TOPALOVA, E.; TODOROVA, V. High temperature effect on the male gametophyte and the photosynthetic activity of two *Capsicum annuum* L. cultivars. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 409-415, 2020. Disponível em: <https://agrojournal.org>. Acesso em: 26 ago. 2023.
- ARUNA, T. S. *et al.* Insights from morpho-physio-biochemical and molecular traits of hot pepper genotypes contrasting for heat tolerance. **Indian Journal of Horticulture**, [s. l.], v. 81, n. 1, p. 13-18, 2024. DOI: <https://doi.org/10.58993/ijh/2024.81.1.2>.
- BALA, P.; SIKDER, S. Evaluation of heat tolerance of wheat genotypes through membrane thermostability test. **MAYFEB Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 2, p. 1-6, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 18 abr. 2023.
- BATES, D. *et al.* Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, [s. l.], v. 67, n. 1, p. 1-48, 2015. DOI: <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>.
- BEGCY, K. *et al.* Male sterility in maize after transient heat stress during the tetrad stage of pollen development. **Plant Physiology**, [s. l.], v. 181, n. 2, p. 683-700, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.19.00707>.
- BELLO, A. S. *et al.* Heat-stress-induced changes in enzymatic antioxidant activities and biochemical processes in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, [s. l.], v. 47, n. 6, p. 1165-1173, 2023. DOI: <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3155>.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, [s. l.], v. 72, n. 1-2, p. 248-2547, 1976. DOI: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3).
- BRANDÃO FILHO, J. U. T. *et al.* Solanáceas. BRANDÃO FILHO, J. U. T. *et al.* (org.). **Hortaliças-fruto**. Maringá, PR: Eduem, 2018. p. 37-70. Disponível em: <https://books.scielo.org>. Acesso em: 14 maio 2025.
- BRATKOVIĆ, K. *et al.* Interpreting the interaction of genotype with environmental factors in barley using partial least squares regression model. **Agronomy**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 1-23, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14010194>.
- CHENG, Y. *et al.* Effects of storage temperature at the early postharvest stage on the firmness, bioactive substances, and amino acid compositions of chili pepper (*Capsicum annuum* L.). **Metabolites**, [s. l.], v. 13, n. 7, p. 1-15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/metabo13070820>.

CHOWDHURY, F. N. *et al.* Growth and yield performances, pathogenicity, heat tolerance, antioxidant activity, and pungency level of anthracnose resistant and heat tolerant inbred lines and their F1 hybrids of chili (*Capsicum annuum* L.). **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 309, p. 1-16, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111606>.

COSTA, G. N. **Diversidade genética e avaliação do potencial ornamental de acessos de pimentas (*Capsicum* spp.)**. 2018. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, 2018.

COSTA, G. N. *et al.* Selection of pepper accessions with ornamental potential. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 2, p. 566-574, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n230rc>.

CUSTÓDIO, G. C. A. *et al.* Selection of ideal genotypes in peppers with ornamental potential. **Folia Horticulturae**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 467-478, 2023. DOI: <https://doi.org/10.2478/fhort-2023-0033>.

FAWZY, S. *et al.* Strategies for mitigation of climate change: a review. **Environmental Chemistry Letters**, [s. l.], v. 18, p. 2069-2094, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01059-w>.

FERNANDES, M. R. C.; GOMES, B. H.; NOGUEIRA, A. P. O. Germinação e avaliação morfológica de plântulas de pimentas (*Capsicum* spp.) cultivadas *in vitro*. **Revista Agrária Acadêmica**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 62-75, 2019. DOI: <https://doi.org/10.32406/v2n32019/62-75/agrariacad>.

FERRAZ, G. V. **Densidade de plantas no cultivo de acessos de pimenta ornamental**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, 2022.

FERREIRA, G. N. C. *et al.* Assessment of phenotypic divergence and hybrid development in ornamental peppers (*Capsicum* spp.). **Genetic Resources and Crop Evolution**, [s. l.], v. 71, n. 8, p. 1-15, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-024-02291-x>.

FERREIRA, G. N. C. **Melhoramento genético de plantas ornamentais com ênfase em *Capsicum* spp., *Pelargonium* spp., *Catharanthus* spp. e *Rosa* spp.** 2023. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, 2023.

FORTUNATO, F. L. G. *et al.* Genetic diversity in ornamental pepper plants. **Comunicata Scientiae**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 364-375, 2019. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br>. Acesso em: 11 set. 2023.

GAJANAYAKE, B. *et al.* Screening ornamental pepper cultivars for temperature tolerance using pollen and physiological parameters. **HortScience**, [s. l.], v. 46, n. 6, p. 878-884, 2011. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.6.878>.

GAJANAYAKE, B. *et al.* Screening ornamental peppers (*Capsicum* spp.) for high temperature tolerance using in vitro pollen germination, pollen tube length and cell membrane thermostability. **HortScience**, [s. l.], v. 45, n. 4, p. 487, 2010. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.4.486>.

GARRUÑA-HERNÁNDEZ, R. *et al.* Changes in flowering and fruiting of Habanero pepper in response to higher temperature and CO₂. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 10, n. 3-4, p. 802-808, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 16 dez. 2024.

GARRUÑA-HERNÁNDEZ, R. *et al.* Understanding the physiological responses of a tropical crop (*Capsicum chinense* Jacq.) at high temperature. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 9, n. 11, p. 1-9, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111402>.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, [s. l.], v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>.

GISBERT-MULLOR, R. *et al.* Rootstock-mediated physiological and fruit set responses in pepper under heat stress. **Scientia Horticulturae**, [s. l.], v. 309, p. 1-12, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111699>.

GRAVES, S.; PIEPHO, H.-P.; SELZER, L. **multcompView**: visualizations of paired comparisons. Versão 0.1-10. 2024. DOI: <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.multcompView>.

GULEN, H.; IPEK, A.; TURHAN, E. Effects of antioxidant enzymes on heat stress tolerance of pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v. 1145, p. 43-50, 2016. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1145.7>.

HALLAJI, B. *et al.* Effect of foliar applications of aminolevulinic acid (bulk and nano-encapsulated) on bell pepper under heat stress. **Plant Stress**, [s. l.], v. 12, p. 1-12, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100477>.

HUANG, Y. *et al.* Genetic interrogation of phenotypic plasticity informs genome-enabled breeding in cotton. **Journal of Genetics and Genomics**, [s. l.], v. 50, n. 12, p. 971-982, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2023.05.004>.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. *In*: CORE WRITING TEAM; LEE, H.; ROMERO, J. (ed.). **Climate change 2023**: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023. p. 1-34. DOI: <http://dx.doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.

INTERNATIONAL PLANT GENETIC RESOURCES INSTITUTE; ASIAN VEGETABLE RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER; CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA. **Descriptors for *Capsicum* (*Capsicum* spp.)**. Rome: International Plant Genetic Resources Institute, 1995. Disponível em: <https://alliancebioiversityciat.org>. Acesso em: 2 mar. 2023.

INTERNATIONAL UNION OF BIOCHEMISTRY AND MOLECULAR BIOLOGY.

Enzyme Nomenclature: recommendations of the Nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology on the nomenclature and classification of enzymes by the reactions they catalyse. 2024. Disponível em: <https://iubmb.qmul.ac.uk>. Acesso em: 23 mar. 2025.

ISLAM, M. S. *et al.* Identification of tomato inbred lines for heat tolerance through agronomic and physiological approaches. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 281-284, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 15 maio 2025.

KARNI, L.; ALONI, B. Fructokinase and hexokinase from pollen grains of bell pepper (*Capsicum annuum* L.): possible role in pollen germination under conditions of high temperature and CO₂ enrichment. **Annals of Botany**, [s. l.], v. 90, n. 5, p. 607-612, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcf234>.

KAUR, N. *et al.* Evaluation of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes for heat tolerance during reproductive phase. **International Journal of Bio-resource and Stress Management**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 126-129, 2016. DOI: <https://doi.org/10.23910/ijbsm/2016.7.1.1386>.

KIM, M. K. *et al.* Comparative heat stress responses of three hot pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes differing temperature sensitivity. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 13, p. 1-11, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41418-5>.

KUZNETSOVA, A.; BROCKHOFF, P. B.; CHRISTENSEN, R. H. B. ImerTest package: tests in linear mixed effects models. **Journal of Statistical Software**, [s. l.], v. 82, n. 13, p. 1-26, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18637/jss.v082.i13>.

LAHBIB, K. *et al.* Agro-morphological, biochemical and antioxidant characterization of a Tunisian chili pepper germplasm collection. **Agriculture**, [s. l.], v. 11, n. 12, p. 1-15, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11121236>.

LENTH, R. V. **Emmeans:** estimated marginal means, aka least-squares means. Versão 1.11.1. 2025. DOI: <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.emmeans>.

LIMA, L. L.; NUNES; G. H. S.; BEZERRA NETO, F. Coeficientes de variação de algumas características do meloeiro: uma proposta de classificação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 14-17, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362004000100003>.

MEDEIROS, R. M.; CAVALCANTI, E. P.; DUARTE, J. F. M. Classificação climática de Köppen para o estado do Piauí – Brasil. **Revista Equador**, Teresina, v. 9, n. 3, p. 82-99, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br>. Acesso em: 6 jan. 2025.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, [s. l.], v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>.

NEITZKE, R. S. *et al.* Pimentas ornamentais: aceitação e preferências do público consumidor. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 102-109, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620160000100015>.

OH, S.-Y.; KOH, S. C. Fruit development and quality of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) under various temperature regimes. **Horticultural Science and Technology**, [s. l.], v. 37, n. 3, p. 313-321, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7235/HORT.20190032>.

OLIVEIRA, S. I. *et al.* Meiotic behavior and fertility of *Capsicum* interspecific hybrids. **Horticultura Brasileira**, [s. l.], v. 38, n. 4, p. 382-386, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-0536202004007>.

PEREYDA-GONZÁLEZ, J. M. *et al.* High temperature and elevated CO₂ modify phenology and growth in pepper plants. **Agronomy**, [s. l.], v. 12, n. 8, p. 1-13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12081836>.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 15. ed. Piracicaba, SP: FEALQ, 2022.

PINTO, C. M. F. *et al.* Pepper importance and growth (*Capsicum* spp.). In: RÊGO, E. R.; RÊGO, M. M.; FINGER, F. L. **Production and breeding of chilli peppers (*Capsicum* spp.)**. [S. l.]: Springer, 2016. p. 1-25. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06532-8>.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 12 maio 2025.

RAJESWARI, V. *et al.* Physiological and reproductive abrasions in chilli under combined high temperature and water-deficit stress condition. **Plant Physiology Reports**, [s. l.], v. 29, p. 88-104, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40502-023-00764-2>.

RAZA, A. *et al.* Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: a review. **Plants**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 1-29, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants8020034>.

RÊGO, E. R.; RÊGO, M. M.; FINGER, F. L. Methodological basis and advances for ornamental pepper breeding program in Brazil. **Acta Horticulturae**, [s. l.], v. 1087, p. 309-314, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 24 mar. 2023.

RESENDE, M. D. V. *et al.* Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 185-193, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052001000300005>.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 330-339, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332016v16n4a49>.

RODRIGUES, C. A. P. S. *et al.* RAPD markers in the discrimination of genetic variability in ornamental peppers. **Comunicata Scientiae**, [s. l.], v. 14, p. 1-9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14295/CS.v14.3709>.

RODRIGUES, J. **Um estudo sobre testes de comparação de médias e sua aplicação condicional a um teste F global significativo na análise de variância**. 2015. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2015. Disponível em: <https://teses.usp.br>. Acesso em: 10 maio 2025.

ROSMAINA *et al.* Temperature critical threshold for yield in chili pepper (*Capsicum annuum* L.). **SABRAO Journal of Breeding and Genetics**, [s. l.], v. 54, n. 3, p. 627-637, 2022. DOI: <http://doi.org/10.54910/sabrao2022.54.3.15>.

SALEM, N.; HUSSEIN, S. Data dimensional reduction and principal components analysis. **Procedia Computer Science**, [s. l.], v. 163, p. 292-299, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.111>.

SILVA, A. R. *et al.* Avaliação do coeficiente de variação experimental para caracteres de frutos de pimenteiras. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 2, p. 168-171, 2011. DOI: <https://ojs.ceres.ufv.br/ceres/article/view/3594/1475>.

SINGH, K. *et al.* Genotypic variability among cotton cultivars for heat and drought tolerance using reproductive and physiological traits. **Euphytica**, [s. l.], v. 214, n. 3, p. 1-22, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-018-2135-1>.

SOUZA, I. R. P.; PINTO, M. O. **Marcador SNP associado ao QTL de efeito maior conferindo resistência ao mosaico-comum-do-milho**. 1. ed. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 213). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 10 maio 2025.

SRIVASTAVA, A. *et al.* Morphological, biochemical and molecular insights on responses to heat stress in chilli. **Indian Journal of Horticulture**, [s. l.], v. 79, n. 1, p. 15-22, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5958/0974-0112.2022.00003.2>.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2024.

THAKUR, R. K. *et al.* Performance of twelve bell pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes to elevated temperature. **Journal of Biomechanical Science and Engineering**, [s. l.], v. 18, edição especial, p. 49-60, 2023. DOI: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/RVUHP>.

TUKEY, J. W. Comparing individual means in the analysis of variance. **Biometrics**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 99-114, 1949. DOI: <https://doi.org/10.2307/3001913>.

URBANEK, H.; KUZNIAK-GEBAROWSKA, E.; HERKA, K. Elicitation of defense responses in bean leaves by *Botrytis cinerea* polygalacturonase. **Acta Physiologiae Plantarum**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 43-50, 1991.

USMAN, M. G. *et al.* Expression of target gene Hsp70 and membrane stability determine heat tolerance in chili pepper. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, [s. l.], v. 140, n. 2, p. 144-150, 2015. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.140.2.144>.

USMAN, M. G. *et al.* Heritability and genetic advance among chili pepper genotypes for heat tolerance and morphophysiological characteristics. **The Scientific World Journal**, [s. l.], v. 2014, p. 1-14, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/308042>.

VALADARES, R. N. **Seleção de linhagens de berinjela tolerantes a alta temperatura e heterose em seus híbridos**. 2018. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2018. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080>. Acesso em: 19 abr. 2023.

VEILING HOLAMBRA. **Crítérios de Classificação Pimenta Ornamental**. Santo Antônio de Posse, SP: Cooperativa Veiling Holambra, [entre 2010 e 2018].

VELIKOVA, V.; YORDANOV, I.; EDREVA, A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, [s. l.], v. 151, n. 1, p. 59-66, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1).

WAHID, A. *et al.* Heat tolerance in plants: an overview. **Environmental and Experimental Botany**, [s. l.], v. 61, n. 3, p. 199-223, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>.

WANG, Y. *et al.* Superoxide dismutases: dual roles in controlling ROS damage and regulating ROS signaling. **Journal of Cell Biology**, [s. l.], v. 217, n. 6, p. 1915-1928, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1083/jcb.201708007>.

WICKHAM, H. *et al.* **dplyr**: a grammar of data manipulation. Versão 1.1.4. 2023. DOI: <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.dplyr>.

WICKHAM, H.; BRYAN, J. **readxl**: read excel files. Versão 1.4.5. 2025. DOI: <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.readxl>.

YUAN, X. *et al.* Impacts of global climate change on agricultural production: a comprehensive review. **Agronomy**, [s. l.], v. 14, n. 7, p. 1-19, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14071360>.

ZHANG, Z. *et al.* Response of ornamental pepper to high-temperature stress and role of exogenous salicylic acid in mitigating high temperature. **Journal of Plant Growth Regulation**, [s. l.], v. 39, p. 133-146, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09969-y>.

ZHOU, Y. *et al.* Mitigating high-temperature stress in peppers: the role of exogenous NO in antioxidant enzyme activities and nitrogen metabolism. **Horticulturae**, [s. l.], v. 10, n. 9, p. 1-17, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae10090906>.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação abordou de forma integrada o cenário atual das pesquisas sobre a tolerância ao estresse térmico em pimenteiras e a avaliação experimental de acessos com potencial ornamental, contribuindo significativamente para a ampliação do conhecimento científico na área.

A análise bibliométrica realizada no capítulo 1 evidenciou que, apesar dos avanços nas abordagens bioquímicas e moleculares voltadas à termotolerância em *Capsicum annuum*, há uma expressiva lacuna científica quanto às investigações envolvendo pimenteiras ornamentais, especialmente no Brasil, comprometendo o desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições climáticas brasileiras.

Os resultados experimentais do capítulo 2 confirmaram a existência de variabilidade genética entre os acessos avaliados quanto à resposta ao estresse térmico. As variáveis morfológicas, agronômicas, fisiológicas e moleculares permitiram selecionar acessos termotolerantes como BGC-UFPI 207.

Dessa forma, os resultados obtidos nesta dissertação preenchem lacunas importantes no campo da ciência das pimenteiras ornamentais, e também oferecem suportes práticos para a seleção de acessos adaptados às altas temperaturas. A abordagem utilizada reforça a importância de integrar diferentes variáveis (morfológicas, fisiológicas e bioquímicas) na avaliação da tolerância às altas temperaturas, especialmente em pimenteiras ornamentais.

Recomenda-se, para pesquisas futuras, a ampliação de estudos de termotolerância com um número maior de acessos em ambientes com contrastes térmicos mais expressivos e multianuais, bem como a incorporação de abordagens genômicas, visando identificar marcadores moleculares associados à QTLs (*Quantitative Trait Loci*, loci de características quantitativas) relacionados à termotolerância.

APÊNDICE A – RELAÇÃO DOS 85 DOCUMENTOS EXTRAÍDOS DAS BASES DE DADOS SCOPUS® E WEB OF SCIENCE™ RELACIONADOS À TOLERÂNCIA DE PIMENTEIRAS DO GÊNERO *Capsicum* ÀS ALTAS TEMPERATURAS (CONTINUA)

Autoria (citação)	DOI	Tipo de documento	Periódico de publicação
1. Aruna <i>et al.</i> (2024)	10.58993/ijh/2024.81.1.2	A	<i>Indian Journal of Horticulture</i>
2. Cheng <i>et al.</i> (2024)	10.1093/hr/uhae066	A	<i>Horticulture Research</i>
3. Hallaji <i>et al.</i> (2024)	10.1016/j.stress.2024.100477	A	<i>Plant Stress</i>
4. Huang <i>et al.</i> (2024)	10.1093/jxb/erad479	A	<i>Journal of Experimental Botany</i>
5. Mou <i>et al.</i> (2024)	10.1093/plphys/kiae037	A	<i>Plant Physiology</i>
6. Shi <i>et al.</i> (2024)	10.3390/plants13131775	A	<i>Plants</i>
7. Aruna <i>et al.</i> (2023)	10.3389/fpls.2023.1232800	A	<i>Frontiers in Plant Science</i>
8. Chowdhury <i>et al.</i> (2023)	10.1016/j.scienta.2022.111606	A	<i>Scientia Horticulturae</i>
9. Fumia <i>et al.</i> (2023)	10.1002/ppj2.20071	A	<i>The Plant Phenome Journal</i>
10. Gai <i>et al.</i> (2023)	10.1016/j.scienta.2022.111786	A	<i>Scientia Horticulturae</i>
11. Gisbert-Mullor <i>et al.</i> (2023)	10.1016/j.scienta.2022.111699	A	<i>Scientia Horticulturae</i>
12. Halaji <i>et al.</i> (2023)	10.1007/s42729-023-01486-y	A	<i>Journal of Soil Science and Plant Nutrition</i>
13. Huang <i>et al.</i> (2023)	10.3390/ijms24054849	A	<i>International Journal of Molecular Sciences</i>
14. Liang <i>et al.</i> (2023)	10.1016/j.scienta.2022.111559	A	<i>Scientia Horticulturae</i>
15. Mumtaz <i>et al.</i> (2023)	10.1016/j.envexpbot.2023.105341	A	<i>Environmental and Experimental Botany</i>
16. Preet <i>et al.</i> (2023)	10.52547/jast.25.1.171	A	<i>Journal of Agricultural Science and Technology</i>
17. Song <i>et al.</i> (2023)	10.3390/horticulturae9070801	A	<i>Horticulturae</i>
18. Yan <i>et al.</i> (2023)	10.16420/j.issn.0513-353x.2022-0996	A	<i>Acta Horticulturae Sinica</i>
19. Yang <i>et al.</i> (2023)	10.1038/s41467-023-40251-8	A	<i>Nature Communications</i>
20. Zhang <i>et al.</i> (2023)	10.1093/jxb/erad092	A	<i>Journal of Experimental Botany</i>

Legenda: A – artigo. AR – artigo de revisão. R – resumo. AAE – artigo completo publicado em anais de evento. L – livro. CL – capítulo de livro.

APÊNDICE A – RELAÇÃO DOS 85 DOCUMENTOS EXTRAÍDOS DAS BASES DE DADOS SCOPUS® E WEB OF SCIENCE™ RELACIONADOS À TOLERÂNCIA DE PIMENTEIRAS DO GÊNERO *Capsicum* ÀS ALTAS TEMPERATURAS (CONTINUA)

Autoria (citação)	DOI	Tipo de documento	Periódico de publicação
21. Zheng <i>et al.</i> (2023)	10.1016/j.plaphy.2023.108202	A	<i>Plant Physiology and Biochemistry</i>
22. Cai <i>et al.</i> (2022)	10.1371/journal.pgen.1010023	A	<i>PLoS Genetics</i>
23. Gao <i>et al.</i> (2022)	10.13592/j.cnki.ppj.100176	A	<i>Zhiwu Shengli Xuebao/Plant Physiology Journal</i>
24. Lin <i>et al.</i> (2022)	10.21273/HORTSCI16258-21	A	<i>HortScience</i>
25. Liu <i>et al.</i> (2022)	10.3864/j.issn.0578-1752.2022.16.011	A	<i>Scientia Agricultura Sinica</i>
26. Lu <i>et al.</i> (2022)	10.3390/ijms23052656	A	<i>International Journal of Molecular Sciences</i>
27. Otálora <i>et al.</i> (2022)	10.3389/fpls.2022.1014230	A	<i>Frontiers in Plant Science</i>
28. Preet, Ghai e Jindal (2022)	10.5958/2395-146X.2022.00061.8	A	<i>Agricultural Research Journal</i>
29. Srivastava <i>et al.</i> (2022)	10.5958/0974-0112.2022.00003.2	A	<i>Indian Journal of Horticulture</i>
30. Yang <i>et al.</i> (2022)	10.1111/nph.17891	A	<i>The New Phytologist</i>
31. Cai <i>et al.</i> (2021)	10.1093/plphys/kiab190	A	<i>Plant Physiology</i>
32. Hussain <i>et al.</i> (2021)	10.21162/PAKJAS/21.7185	A	<i>Pakistan Journal of Agricultural Sciences</i>
33. Lin <i>et al.</i> (2021)	10.3390/agronomy11071275	A	<i>Agronomy</i>
34. Liu <i>et al.</i> (2021)	10.3390/horticulturae7050117	A	<i>Horticulturae</i>
35. Rajametov <i>et al.</i> (2021)	10.1038/s41598-021-93697-5	A	<i>Scientific Reports</i>
36. Wang, F. <i>et al.</i> (2021)	10.3390/horticulturae7100339	A	<i>Horticulturae</i>
37. Wang, J. <i>et al.</i> (2021)	10.7717/peerj.11509	A	<i>PeerJ</i>
38. Xiao <i>et al.</i> (2021)	10.3390/ijms22136953	A	<i>International Journal of Molecular Sciences</i>
39. Yang <i>et al.</i> (2021)	10.1094/mpmi-12-20-0361-r	A	<i>Molecular Plant-microbe Interactions</i>
40. Chowdhury <i>et al.</i> (2020)	10.32604/biocell.2020.09627	AR	<i>Biocell</i>

Legenda: A – artigo. AR – artigo de revisão. R – resumo. AAE – artigo completo publicado em anais de evento. L – livro. CL – capítulo de livro.

**APÊNDICE A – RELAÇÃO DOS 85 DOCUMENTOS EXTRAÍDOS DAS BASES DE DADOS SCOPUS® E WEB OF SCIENCE™
RELACIONADOS À TOLERÂNCIA DE PIMENTEIRAS DO GÊNERO *Capsicum* ÀS ALTAS TEMPERATURAS (CONTINUA)**

	Autoria (citação)	DOI	Tipo de documento	Periódico de publicação
41.	Gai <i>et al.</i> (2020)	10.3390/ijms21218374	A	<i>International Journal of Molecular Sciences</i>
42.	Huang <i>et al.</i> (2020)	10.1093/jxb/eraa350	A	<i>Journal of Experimental Botany</i>
43.	Lin <i>et al.</i> (2020)	10.21273/HORTSCI.55.9S.S1	R	<i>HortScience</i>
44.	Mishra <i>et al.</i> (2020)	10.1017/S147926211900042X	A	<i>Plant Genetic Resources</i>
45.	Yamazaki, Shirasawa e Hosokawa (2020)	10.1007/s10681-020-02712-9	A	<i>Euphytica</i>
46.	Yang <i>et al.</i> (2020)	10.1093/pcp/pcaa052	A	<i>Plant & Cell Physiology</i>
47.	Zhang <i>et al.</i> (2020)	10.1007/s00344-019-09969-y	A	<i>Journal of Plant Growth Regulation</i>
48.	Feng <i>et al.</i> (2019)	10.1016/j.plaphy.2019.07.001	A	<i>Plant Physiology and Biochemistry</i>
49.	Huang <i>et al.</i> (2019)	10.1007/s00709-018-1280-7	A	<i>Protoplasma</i>
50.	Motamedi, Haghghi e Goli (2019)	10.1016/j.scienta.2019.01.040	A	<i>Scientia Horticulturae</i>
51.	Noman <i>et al.</i> (2019)	10.1016/j.envexpbot.2018.12.017	A	<i>Environmental and Experimental Botany</i>
52.	Wang, H. <i>et al.</i> (2019)	10.3389/fpls.2019.00591	A	<i>Frontiers in Plant Science</i>
53.	Wang, J. <i>et al.</i> (2019)	10.3390/ijms20205042	A	<i>International Journal of Molecular Sciences</i>
54.	Ashraf <i>et al.</i> (2018)	10.1093/pcp/pcy181	A	<i>Plant & Cell Physiology</i>
55.	Bhandari, Kim e Lee (2018)	10.12972/kjhst.20180062	A	<i>Horticultural Science and Technology</i>
56.	Dang <i>et al.</i> (2018)	10.3389/fpls.2018.01633	A	<i>Frontiers in Plant Science</i>
57.	Guan <i>et al.</i> (2018)	10.3389/fpls.2018.01802	A	<i>Frontiers in Plant Science</i>
58.	Noman <i>et al.</i> (2018)	10.1016/j.micpath.2018.03.044	A	<i>Microbial Pathogenesis</i>
59.	Usman <i>et al.</i> (2018)	10.1007/s12192-017-0836-3	A	<i>Cell Stress & Chaperones</i>
60.	Gulen, Ipek e Turhan (2016)	10.17660/ActaHortic.2016.1145.7	AAE	<i>International Symposium on Biotechnology and Other Omics in Vegetable Science</i>

Legenda: A – artigo. AR – artigo de revisão. R – resumo. AAE – artigo completo publicado em anais de evento. L – livro. CL – capítulo de livro.

**APÊNDICE A – RELAÇÃO DOS 85 DOCUMENTOS EXTRAÍDOS DAS BASES DE DADOS SCOPUS® E WEB OF SCIENCE™
RELACIONADOS À TOLERÂNCIA DE PIMENTEIRAS DO GÊNERO *Capsicum* ÀS ALTAS TEMPERATURAS (CONTINUA)**

	Autoria (citação)	DOI	Tipo de documento	Periódico de publicação
61.	Guo <i>et al.</i> (2016)	10.1016/j.plantsci.2016.07.001	A	<i>Plant Science</i>
62.	Shen <i>et al.</i> (2016)	10.1093/jxb/erw069	A	<i>Journal of Experimental Botany</i>
63.	Srinivasa Rao, Shivashankara e Laxman (2016)	10.1007/978-81-322-2725-0	L	-
64.	Zhai <i>et al.</i> (2016)	10.3389/fpls.2016.00131	A	<i>Frontiers in Plant Science</i>
65.	Cai <i>et al.</i> (2015)	10.1093/jxb/erv125	A	<i>Journal of Experimental Botany</i>
66.	Guo <i>et al.</i> (2015)	10.3389/fpls.2015.00806	A	<i>Frontiers in Plant Science</i>
67.	Keles <i>et al.</i> (2015)	10.21273/HORTSCI.50.9S.S1	R	<i>HortScience</i>
68.	Usman <i>et al.</i> (2015)	10.21273/JASHS.140.2.144	A	<i>Journal of the American Society for Horticultural Science</i>
69.	Guo <i>et al.</i> (2014)	10.3390/ijms151119741	A	<i>International Journal of Molecular Sciences</i>
70.	Usman <i>et al.</i> (2014)	10.1155/2014/308042	A	<i>The Scientific World Journal</i>
71.	Dang <i>et al.</i> (2013)	10.1111/pce.12011	A	<i>Plant, Cell & Environment</i>
72.	De la Peña <i>et al.</i> (2011)	10.1002/9780470960929.ch27	CL	-
73.	Gajanayake <i>et al.</i> (2011)	10.21273/HORTSCI.46.6.878	A	<i>HortScience</i>
74.	Gajanayake <i>et al.</i> (2010)	10.21273/HORTSCI.45.4.486	R	<i>HortScience</i>
75.	Youm <i>et al.</i> (2008)	10.1007/s00425-008-0782-5	A	Planta
76.	Anderson (2007)	10.21273/JASHS.132.1.67	A	<i>Journal of the American Society for Horticultural Science</i>
77.	Reddy e Kakani (2007)	10.1016/j.scienta.2006.12.014	A	<i>Scientia Horticulturae</i>
78.	Anderson (2006)	10.21273/JASHS.131.1.17	A	<i>Journal of the American Society for Horticultural Science</i>
79.	Ilyas (2006)	10.1016/S1978-3019(16)30373-4	A	<i>HAYATI Journal of Biosciences</i>

Legenda: A – artigo. AR – artigo de revisão. R – resumo. AAE – artigo completo publicado em anais de evento. L – livro. CL – capítulo de livro.

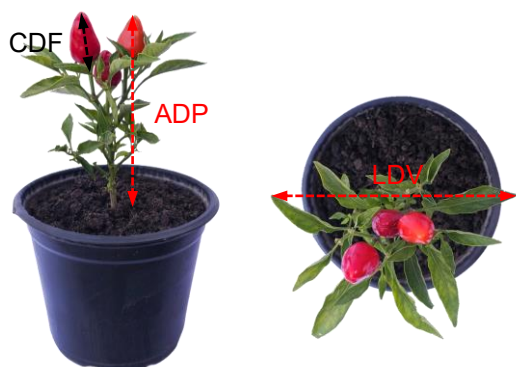
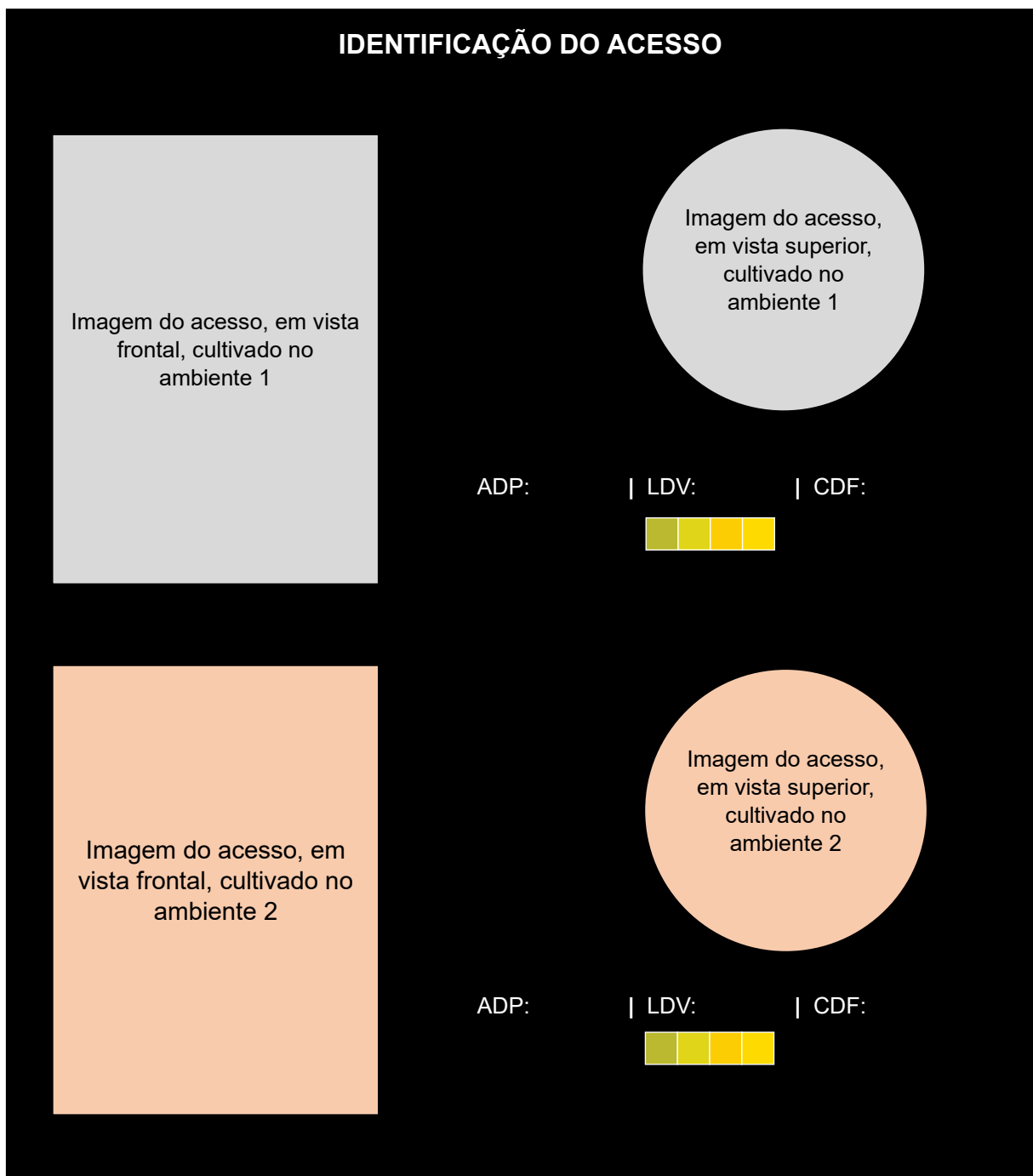
**APÊNDICE A – RELAÇÃO DOS 85 DOCUMENTOS EXTRAÍDOS DAS BASES DE DADOS SCOPUS® E WEB OF SCIENCE™
RELACIONADOS À TOLERÂNCIA DE PIMENTEIRAS DO GÊNERO *Capsicum* ÀS ALTAS TEMPERATURAS**

	Autoria (citação)	DOI	Tipo de documento	Periódico de publicação
80.	Niu, Rodriguez e Wang (2006)	10.21273/HORTSCI.41.6.1408	A	<i>HortScience</i>
81.	Anderson (2002)	10.1016/S0304-4238(02)00076-6	A	<i>Scientia Horticulturae</i>
82.	Sánchez Rendón, Muñoz e Fresneda (2001)*	-	A	<i>Seed Science and Technology</i>
83.	Liu <i>et al.</i> (1996)	10.21273/HORTSCI.31.1.160	A	<i>HortScience</i>
84.	Anderson, McCollum e Roberts (1990)	10.21273/HORTSCI.25.10.1272	A	<i>HortScience</i>
85.	Coons <i>et al.</i> (1989)	10.1080/14620316.1989.11516012	A	<i>Journal of Horticultural Science & Biotechnology</i>

Legenda: A – artigo. AR – artigo de revisão. R – resumo. AAE – artigo completo publicado em anais de evento. L – livro. CL – capítulo de livro.

* O documento pode ser acessado pelo endereço eletrônico: <https://www.researchgate.net>.

APÊNDICE B – LEGENDAS E OUTRAS EXPLICAÇÕES PARA FACILITAR A COMPREENSÃO DAS INFORMAÇÕES APRESENTADAS NA FIGURA 25




Legenda

ADP: altura da planta (real)

LDV: largura do dossel vegetal (real)

CDF: comprimento do fruto (real)

 : escala cromática que representa as diferentes cores observadas nos frutos do acesso

APÊNDICE C – INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES SOBRE O CÁLCULO DO ÍNDICE DE TOLERÂNCIA AO CALOR

Variável	Peso (ω)	Sinal
Número de dias para o florescimento (NDFI)	4	Negativo
Número de frutos por planta (NFP)	10	Positivo
Número de flores por planta (NFIP)	6	Positivo
Número de frutos abortados (NFA)	6	Negativo
Índice de pegamento de frutos (IPF)	10	Positivo
Duração do ciclo da planta (DCP)	14	Positivo
Viabilidade polínica (VP)	9	Positivo
Extravasamento de eletrólitos (EE)	6	Negativo
Teor de peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂)	10	Negativo
Atividade da superóxido dismutase (SOD)	9	Positivo
Atividade da ascorbato peroxidase (APX)	9	Positivo
Atividade da peroxidase (POD)	7	Positivo

ANEXO – RELAÇÃO DOS 15 DESCRITORES QUANTITATIVOS UTILIZADOS PARA A AVALIAÇÃO DE SEIS ACESSOS DE PIMENTEIRAS COM POTENCIAL ORNAMENTAL (*Capsicum annuum* L.), ORIUNDOS DO BANCO DE GERMOPLASMA DE *Capsicum* DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ (BGC-UFPI), QUANTO À TOLERÂNCIA ÀS ALTAS TEMPERATURAS (CONTINUA)

Descritores baseados no catálogo de descritores para o gênero <i>Capsicum</i> , publicado pelo <i>Bioversity International</i> , com modificações			
Descritor	Sigla	Descrição	Unidade de medida
Número de dias para o florescimento	NDFI	Número de dias desde a semeadura até que a parcela possua pelo menos uma flor aberta	Dias
Altura da planta	ADP	Medida da base do caule até o ápice do fruto maduro mais alto	Centímetros
Largura do dossel vegetal	LDV	Dimensão média do diâmetro da copa da planta	Centímetros
Número de dias para a maturação dos frutos	NDM	Número de dias desde a semeadura até que a parcela possua pelo menos um fruto maduro	Dias
Comprimento do pedicelo	CDPe	Comprimento médio do pedicelo de cinco frutos maduros, selecionados aleatoriamente	Milímetros
Comprimento do fruto	CDF	Comprimento médio de cinco frutos maduros, selecionados aleatoriamente	Milímetros
Largura do fruto	LDF	Largura média de cinco frutos maduros, selecionados aleatoriamente, tomada do ponto mais largo do fruto	Milímetros
Massa do fruto	MDF	Massa média de cinco frutos maduros, selecionados aleatoriamente	Gramas
Número de frutos por planta	NFP	Número total de frutos por parcela, considerando os frutos abortados	Unidade
Persistência dos frutos	PSF	Número de dias desde a maturação do primeiro fruto até a senescência de pelo menos um fruto por parcela	Dias

ANEXO – RELAÇÃO DOS 15 DESCRITORES QUANTITATIVOS UTILIZADOS PARA A AVALIAÇÃO DE SEIS ACESSOS DE PIMENTEIRAS COM POTENCIAL ORNAMENTAL (*Capsicum annuum* L.), ORIUNDOS DO BANCO DE GERMOPLASMA DE *Capsicum* DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ (BGC-UFPI), QUANTO À TOLERÂNCIA ÀS ALTAS TEMPERATURAS

Descritores adicionais			
Descritor	Sigla	Descrição	Unidade de medida
Número de flores por planta	NFIP	Número total de flores por parcela, considerando as flores abortadas	Unidade
Número de flores abortadas	NFIA	Somatório do número de flores abortadas, verificado a cada sete dias	Unidade
Número de frutos abortados	NFA	Somatório do número de frutos abortados, verificado a cada sete dias	Unidade
Índice de pegamento de frutos	IPF	Razão entre o número de frutos produzidos pela parcela, considerando os frutos abortados, e o número total de botões florais, considerando os botões abortados	Porcentagem
Duração do ciclo da planta	DCP	Número de dias decorridos desde a semeadura até o fim do ciclo de vida da parcela	Dias