

ATRIBUTOS MORFOAGRONÔMICOS E FISIOLÓGICOS DE
Capsicum spp. ASSOCIADOS À RESISTÊNCIA À ANTRACNOSE

FRANCISCO SIDICLEITON AGUIAR DA SILVA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
FEVEREIRO – 2025

ATRIBUTOS MORFOAGRONÔMICOS E FISIOLÓGICOS DE
Capsicum spp. ASSOCIADOS À RESISTÊNCIA À ANTRACNOSE

FRANCISCO SIDICLEITON AGUIAR DA SILVA

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas”

Orientadora: Profa. Rosana Rodrigues

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
FEVEREIRO – 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

S586

Silva, Francisco Sidicleiton Aguiar da.

Atributos Morfoagronômicos e Fisiológicos de *Capsicum* spp. Associados à Resistência à Antracnose / Francisco Sidicleiton Aguiar da Silva. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2025.

103 f.

Bibliografia: 69 - 84.

Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2025.
Orientadora: Rosana Rodrigues.

1. Variabilidade genética. 2. Pimentas. 3. Índices de refletância. 4. *Colletotrichum scovillei*. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 631.5233

ATRIBUTOS MORFOAGRONÔMICOS E FISIOLÓGICOS DE
Capsicum spp. ASSOCIADOS À RESISTÊNCIA À ANTRACNOSE

FRANCISCO SIDICLEITON AGUIAR DA SILVA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas.

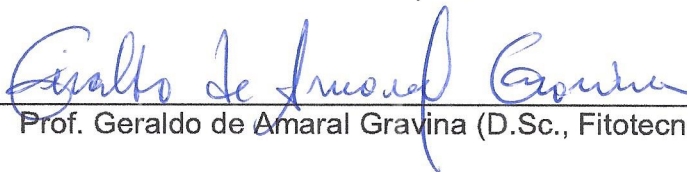
Aprovada em 27 de fevereiro de 2025.

Comissão Examinadora:

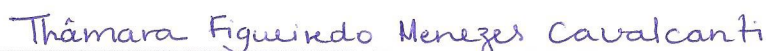


Documento assinado digitalmente
MARIA DO SOCORRO BEZERRA DE ARAUJO
Data: 04/04/2025 13:53:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

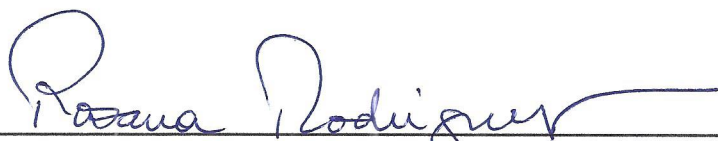
Prof.^a Maria do Socorro Bezerra de Araújo (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas) - UNEMAT



Prof. Geraldo de Amaral Gravina (D.Sc., Fitotecnia) - UENF



Dr.^a Thâmara Figueiredo Menezes Cavalcanti (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas) - UENF



Prof.^a Rosana Rodrigues (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF
(Orientadora)

DEDICATÓRIA

Ao meu pai (*in memoriam*)
Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e ao Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas (PGGMP) pela oportunidade concedida;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido por meio de bolsa para a realização deste trabalho durante os dois anos de mestrado. Código do Financiamento 001;

À Professora Rosana Rodrigues pelo acolhimento, suporte e orientação para realização desta pesquisa;

Aos meus conselheiros da comissão examinadora, professores Geraldo de Amaral Gravina, Maria do Socorro Bezerra de Araújo e Thâmara Figueiredo Menezes Cavalcanti pelas sugestões dadas para o aperfeiçoamento deste trabalho;

A todos os professores do Programa de Genética e Melhoramento de Plantas pela contribuição dada para minha formação;

Ao secretário José Daniel pelo seu valioso apoio e pelas instruções fornecidas, que foram fundamentais para o cumprimento dos assuntos burocráticos;

Às “Sidicletes”, Cláudia e Thâmara, gostaria de expressar meu profundo e sincero agradecimento. Vocês foram fundamentais em muitas fases da minha profissão e, também, no meu desenvolvimento pessoal. Acolheram-me com generosidade e me proporcionaram experiências e oportunidades que eu jamais teria encontrado sozinho;

Aos resistentes: Claúdia Pombo, Thâmara Figueiredo, Anderson, Karina, Kaio, Maria Lúcia, Diego, Joel, Cleiton, Rosimara e André agradeço por estarem ao meu lado nesta jornada, pela troca de experiências e pelos momentos inestimáveis de aprendizado;

Aos meus amigos Daniel, Paulo, Carla, Giovanna e Davi agradeço profundamente pelo apoio e amizade fora dos muros da universidade. Vocês foram os pilares da minha sanidade em meio ao caos que, por muitas vezes, se formou;

A toda a minha família, especialmente ao meu pai Sebastião, que, à sua maneira, me deu apoio e me proporcionou a base necessária para chegar aonde estou;

A todos meus amigos que direta ou indiretamente participaram da minha vida durante esse tempo;

A todas as pessoas que contribuíram de alguma forma neste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE QUADRO	x
LISTA DE TABELA	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Origem e diversificação do gênero <i>Capsicum</i>	4
3.2. Taxonomia do gênero <i>Capsicum</i>	6
3.3. Importância socioeconômica do gênero <i>Capsicum</i>	8
3.4. Antracnose (<i>Colletotrichum</i> spp.) em <i>Capsicum</i>	10
3.5. Melhoramento de <i>Capsicum</i> spp. no Brasil.....	12
3.6. Uso de sensores multiespectrais no melhoramento genético de plantas.....	14
3.7. Análises estatísticas e melhoramento.....	15
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1 Condições experimentais e material vegetal.....	17
4.2. Atributos morfoagronômicos.....	19
4.3. Atributos Fisiológicos.....	20

4.4. Reação ao <i>Colletotrichum scovillei</i>	24
4.5. Análise Estatística.....	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1. Condições climáticas	28
5.2. Variáveis morfoagronômicas.....	30
5.3. Reação de resistência ao <i>Colletotrichum scovillei</i>	39
5.4. Associações entre variáveis morfoagronômicas, de reação à antracnose e índices de refletância foliar	48
5.5. Índices de refletância	57
6. CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Valores diários de temperatura (°C) máxima, temperatura (°C) mínima, umidade relativa do ar UR (%) máxima e umidade relativa do ar UR (%) mínima observados durante os meses de maio a dezembro de 2024. UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.....29
- Figura 2.** Fenologia de *Capsicum* spp. com respectivas datas entre a semeadura, avaliações dos índices de refletância, até a inoculação dos frutos destacados da planta, em condições de laboratório (11 de abril a 20 de agosto de 2024). UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.....311
- Figura 3.** Variabilidade de formas, tamanhos e cores de 28 acessos de *Capsicum* spp. UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.333
- Figura 4.** Médias para a variável altura de planta obtidas de 29 acessos de *Capsicum* spp. agrupadas pelo teste *Scott-Knott*. UENF, Campos dos Goytacazes, RJ. Médias seguidas de mesma letra pertencem a um mesmo grupo teste de agrupamento *Scott-Knott* ($p \leq 0,05$).355
- Figura 5.** Médias de acessos para variável Diâmetro da Copa (DC) em *Capsicum* spp. agrupadas pelo teste *Scott-Knott*. UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil, 2025. Médias seguidas de mesma letra pertencem a um mesmo grupo teste de agrupamento *Scott-Knott* ($p \leq 0,05$).37

Figura 6. Médias de 29 acessos de <i>Capsicum</i> spp. para variável dias para florescimento agrupadas pelo teste <i>Scott-Knott</i> . UENF, Campos dos Goytacazes, RJ. Médias seguidas de mesma letra pertencem a um mesmo grupo teste de agrupamento <i>Scott-Knott</i> ($p \leq 0,05$).	38
Figura 7. Médias de 29 acessos de <i>Capsicum</i> spp. para a variável dias para frutificação agrupadas pelo teste <i>Scott-Knott</i> . UENF, Campos dos Goytacazes, RJ. Médias seguidas de mesma letra pertencem a um mesmo grupo teste de agrupamento <i>Scott-Knott</i> ($p \leq 0,05$).	39
Figura 8. Frutos maduros e imaturos de acessos de <i>C. annuum</i> (UENF1381), <i>C. baccatum</i> (UENF1732) e <i>C. chinense</i> (UENF1753) inoculados com o <i>C. scovillei</i> . Registro em três momentos distintos de avaliação (1, 3 e 8 dias), acessos com alta resistência. UENF, Campos dos Goytacazes, RJ	411
Figura 9. Médias de 27 e 18 acessos de frutos imaturos e maduros de <i>Capsicum</i> spp. para a variáveis, Período de Incubação (PL) e Período Latente (PI) em frutos maduros agrupadas pelo teste <i>Scott-Knott</i> . UENF, Campos dos Goytacazes, RJ. Médias seguidas de mesma letra pertencem a um mesmo grupo teste de agrupamento <i>Scott-Knott</i> ($p \leq 0,05$).	444
Figura 10. Médias de 27 e 18 acessos de frutos imaturos e maduros de <i>Capsicum</i> spp. para a variáveis, Nota Final (NF) e Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), agrupadas pelo teste <i>Scott-Knott</i> . UENF, Campos dos Goytacazes, RJ. Médias seguidas de mesma letra pertencem a um mesmo grupo teste de agrupamento <i>Scott-Knott</i> ($p \leq 0,05$).	46
Figura 11. Diferenças na reação ao <i>C. scovillei</i> em frutos imaturos e maduros de acessos de <i>Capsicum</i> spp. Intervalos de 1, 3 e 8 dias. Acessos, UENF1782; UENF1789 e UENF2692. Campos dos Goytacazes, RJ.	47
Figura 12. Correlações na primeira avaliação (Início do florescimento - 80 dias) para atributos morfoagronômicos (ALT, DC, DFL e DFR), reação à antracnose (PI, PL, NF e AACPD) em frutos: imaturos (i) e maduros (m); Fisiológicos (IRFs) entre acessos de <i>Capsicum</i> spp.	500

Figura 13. Correlações na segunda avaliação (Início da frutificação - 90 dias) para atributos morfoagronômicos (ALT, DC, DFL e DFR), reação à antracnose (PI, PL, NF e AACPD) em frutos: imaturos (i) e maduros (m); Fisiológicos (IRFs) entre acessos de <i>Capsicum</i> spp.	533
Figura 14. Correlações na terceira avaliação (Final da frutificação- 100 dias) para atributos morfoagronômicos (ALT, DC, DFL e DFR), reação à antracnose (PI, PL, NF e AACPD) em frutos: imaturos (i) e maduros (m) e fisiológicos (IRFs) entre acessos de <i>Capsicum</i> spp.	555
Figura 15. Análise de componentes principais (ACP) dos índices de refletância foliar na primeira avaliação (80 dias após a germinação) em acessos de <i>Capsicum</i> spp.	Erro! Indicador não definido. 2
Figura 16. Análise de componentes principais (ACP) dos índices de refletância foliar na segunda avaliação (90 dias após a germinação) em acessos de <i>Capsicum</i> spp.	644
Figura 17. Análise de componentes principais (ACP) dos índices de refletância foliar na terceira avaliação (100 dias após a germinação) em acessos de <i>Capsicum</i> spp.	66

LISTA DE QUADRO

Quadro 1. Descrição das variáveis morfoagronômicas avaliados em 28 acessos de <i>Capsicum</i> spp.	19
Quadro 2. Índices de refletância foliar avaliados em 29 acessos de <i>Capsicum</i> spp. com respectivas equações, faixa espectral e parâmetros fisiológicos e referências.	211
Quadro 3. Escala de notas para avaliação da severidade dos sintomas de antracnose em frutos de <i>Capsicum</i> spp. (Araújo et al., 2022).	255

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Resumo da análise de variância (ANOVA) com estimativas do quadrado médio para quatro variáveis morfoagronômicas de interesse de 29 acessos de <i>Capsicum</i> da coleção de germoplasma da UENF.....	344
Tabela 2. Resumo da análise de variância (ANOVA) com estimativas do quadrado médio para quatro variáveis de resistência em dois estádios de maturação em 27 e 18 acessos de <i>Capsicum</i> da coleção de germoplasma da UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.....	422
Tabela 3. Resumo da análise de variância (ANOVA), com estimativas do quadrado médio para médias, coeficiente de variação experimental e coeficiente de determinação genotípica relativos de 27 índices de refletância foliar (IRFs) avaliados em 29 acessos de <i>Capsicum</i> spp.	58

RESUMO

SILVA, Francisco Sidicleiton Aguiar da; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; fevereiro 2025; Atributos morfoagronômicos e fisiológicos de *Capsicum* spp. associados à resistência à antracnose; Orientadora: D.Sc Rosana Rodrigues; Conselheiros: D.Sc. Geraldo de Amaral Gravina e D.Sc. Marcelo Vivas

As pimentas do gênero *Capsicum* são amplamente cultivadas no Brasil, porém sua produtividade é significativamente impactada pela antracnose, doença causada por *Colletotrichum* spp., que pode levar a perdas de até 100%. O controle químico por fungicidas apresenta limitações, tornando o melhoramento genético uma estratégia essencial para o manejo da doença. Uma abordagem promissora na identificação de fontes de resistência é a análise dos índices de refletância foliar (IRFs), que podem fornecer informações sobre a resposta das plantas ao patógeno. Este estudo investigou a relação entre atributos fisiológicos, morfoagronômicos e de resistência à antracnose em 29 acessos de quatro espécies do gênero *Capsicum*. O estudo foi conduzido em casa de vegetação, onde foram semeados 47 acessos de *Capsicum* spp., dos quais 29 foram avaliados quanto a atributos morfoagronômicos, resistência a *Colletotrichum scovillei* e características fisiológicas. As variáveis morfoagronômicas analisadas incluíram altura da planta (ALT), diâmetro de copa (DC), dias para o florescimento (DFL) e dias para a frutificação (DFR). A resistência à antracnose foi determinada com base no período de incubação (PI), período latente (PL), nota final (NF) e área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD). Os atributos fisiológicos foram obtidos por meio de

27 índices de refletância foliar (IRFs) em três estádios fenológicos distintos: início da floração, início da frutificação e fim da frutificação. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, com três repetições e três plantas por parcela. Para as avaliações realizadas com o mini espectrômetro foliar, adotou-se o esquema de parcelas subdivididas. Dois acessos não frutificaram e nove não atingiram a maturação. Houve variação significativa para todos os atributos analisados. O PI variou de 2,2 a 5,9 dias para frutos imaturos e de 1,7 a 4,4 dias para frutos maduros, formando três e dois grupos, respectivamente. O PL variou de 4,6 a 8,1 dias, formando dois grupos em frutos imaturos e três em frutos maduros. A severidade no oitavo dia variou de 1,8 a 9,0, sendo os acessos UENF1381 e UENF1732 os mais resistentes. Por meio da AACPD formaram-se dois grupos para frutos imaturos e quatro para frutos maduros, sendo *C. baccatum* UENF1732 o que apresentou a menor AACPD. A análise de variância mostrou diferenças significativas entre os tratamentos para todos os atributos fisiológicos, com respostas para a interação genótipo x avaliação em 67% dos casos, indicando influência do estágio fenológico sobre as respostas espectrais em folhas. No estágio inicial de floração, o índice de refletância fotoquímica (PRI) apresentou alta correlação (0,74–0,81) com DC, DFL e DFR. Entre os atributos fisiológicos e de resistência, destacou-se o índice de feofitinação (NPQI). No início da frutificação, as maiores correlações entre variáveis morfoagronômicas e fisiológicas foram observadas para os índices de verde (G), Vogelmann (VREI2, VREI3), PSRI e NPQI. Já entre atributos fisiológicos e de resistência, sobressaíram-se os índices de pigmentos (SIPI), carotenoides (CRI1, CRI2) e vegetação (MRESRI, VREI2). Na fase final da frutificação, destacaram-se correlações fortes entre os atributos fisiológicos e morfoagronômicos, como G (0,74) e PRI (0,75). Os índices WBI (0,54–0,66) e PSRI (-0,61) apresentaram padrões opostos, enquanto os carotenoides (CRI1/CRI2) correlacionaram-se negativamente com DC (-0,42 a -0,58). Entre variáveis fisiológicas e resistência, observou-se uma correlação forte entre CRI1 x PLi (-0,70) e moderada para MRESRI x PLi (0,67), além da influência dos índices de clorofila (NPQI). A Análise de Componentes Principais (ACP) revelou que as respostas espectrais estavam diretamente associadas à variabilidade genética e à resistência à antracnose, possibilitando a distinção de grupos com características morfoagronômicas e fisiológicas específicas. O método K-means evidenciou que o agrupamento variou ao longo dos três períodos de

avaliação, sendo influenciado pelo momento da coleta dos dados. No primeiro dia, três grupos foram formados: o primeiro, influenciado pelos índices de vegetação VREI3 e MRESRI, abrangendo majoritariamente acessos de *C. baccatum*; o segundo, associado aos índices PRI, NPQI, WBI e aos índices de vegetação de Gitelson (GM1, GM2) e VREI1, predominando acessos de *C. chinense*; e o terceiro, composto por acessos precoces, também relacionados a GM1 e GM2. No segundo dia, foram observados quatro grupos. O grupo 1, composto majoritariamente por acessos de *C. chinense*, apresentou resistência à antracnose em frutos maduros e imaturos. O grupo 2 foi influenciado pelo índice MRESRI, enquanto os grupos 3 e 4 não se destacaram em relação a nenhum IRF. No terceiro dia, novamente surgiram quatro grupos, com o grupo 1 reunindo acessos resistentes e precoces, influenciados pelos índices PSRI e de antocianinas (ARI2). A influência dos fatores fenológicos e ambientais reforça a necessidade de ajustes no cronograma de avaliação. Foram identificados quatro acessos resistentes: *C. annuum* (UENF1381), *C. chinense* (UENF1752, UENF1753) e *C. baccatum* (UENF1732).

Palavras-chave: Variabilidade genética; Pimentas; Índices de refletância; *Colletotrichum scovillei*.

ABSTRACT

SILVA, Francisco Sidicleiton Aguiar da; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; february 2025; Morpho-agronomic and physiological parameters of *Capsicum* spp. associated with anthracnose resistance; Advisor: Rosana Rodrigues; Co-advisors: D.Sc. Geraldo de Amaral Gravina and D.Sc. Marcelo Vivas.

Peppers of the genus *Capsicum* are widely cultivated in Brazil, but their productivity is significantly impacted by anthracnose, a disease caused by *Colletotrichum* spp., which can lead to losses of up to 100%. Chemical control using fungicides has limitations, making genetic breeding an essential strategy for disease management. A promising approach for identifying resistance sources is the analysis of leaf reflectance indices (LRIs), which can provide insights into plant responses to the pathogen. This study investigated the relationship between physiological, morpho-agronomic, and anthracnose resistance traits in 29 *Capsicum* spp. accessions. The study was conducted in a greenhouse, where 47 *Capsicum* spp. accessions were sown, of which 29 were evaluated for morpho-agronomic traits, resistance to *Colletotrichum scovillei*, and physiological characteristics. The morpho-agronomic variables analyzed included plant height (PH), canopy diameter (CD), days to flowering (DFL), and days to fruiting (DFR). Anthracnose resistance was determined based on the incubation period (PI), latent period (PL), final severity score (SF), and area under the disease progress curve (AUDPC). Physiological traits were assessed using 27 leaf reflectance indices (LRIs) at three distinct phenological stages: start flowering, start fruiting, and end fruiting. The experiment was arranged

in a randomized block design with three replicates and three plants per plot. For evaluations using the mini leaf spectrometer, a split-plot in time scheme was adopted. Two accessions did not fruit, and nine did not reach maturity. Significant variation was observed for all analyzed traits. The IP ranged from 2,2 to 5,9 days for immature fruits and from 1,7 to 4,4 days for mature fruits, forming three and two groups, respectively. The LP ranged from 4,6 to 8,1 days, forming two groups for immature fruits and three for mature fruits. Severity on the eighth day ranged from 1,8 to 9,0, with accessions UENF1381 and UENF1732 being the most resistant. Based on AUDPC, two groups were formed for immature fruits and four for mature fruits, with *C. baccatum* UENF1732 showing the lowest AUDPC. Analysis of variance revealed significant differences among treatments for all physiological traits, with genotype $\times$ evaluation interactions observed in 67% of cases, indicating the influence of phenological stage on spectral leaf responses. At the start flowering stage, the photochemical reflectance index (PRI) showed high correlation (0,74–0,81) with CD, DFL, and DFR. Among physiological and resistance traits, the normalized phaeophytinization index (NPQI) stood out. At start fruiting, the strongest correlations between morpho-agronomic and physiological variables were observed for the green index (G), Vogelmann indices (VREI2, VREI3), plant senescence reflectance index (PSRI), and NPQI. Among physiological and resistance traits, the structure-insensitive pigment index (SIPI), carotenoid reflectance indices (CRI1, CRI2), and modified red-edge simple ratio index (MRESRI, VREI2) were prominent. In the stage end fruiting, strong correlations were observed between physiological and morpho-agronomic traits, such as G (0,74) and PRI (0,75). The water band index (WBI) (0,54–0,66) and PSRI (-0,61) showed opposing patterns, while carotenoid indices (CRI1/CRI2) correlated negatively with CD (-0,42 to -0,58). Between physiological variables and resistance, a strong correlation was observed for CRI1 $\times$ immature LP (-0,70) and a moderate correlation for MRESRI $\times$ immature LP (0,67), along with the influence of chlorophyll indices (NPQI). Principal Component Analysis (PCA) revealed that spectral responses were directly associated with genetic variability and anthracnose resistance, enabling the distinction of groups with specific morpho-agronomic and physiological traits. The K-means method showed that clustering varied across the three evaluation periods, influenced by the timing of data collection. On the first day, three clusters were formed: the first, influenced by vegetation indices VREI3 and MRESRI, mostly

comprising *C. baccatum* accessions; the second, associated with PRI, NPQI, WBI, and Gitelson vegetation indices (GM1, GM2) and VREI1, predominantly *C. chinense* accessions; and the third, consisting of early accessions also related to GM1 and GM2. On the second day, four clusters were observed. Cluster 1, mostly composed of *C. chinense* accessions, exhibited resistance to anthracnose in both mature and immature fruits. Cluster 2 was influenced by MRESRI, while Clusters 3 and 4 did not stand out in relation to any LRI. On the third day, four clusters emerged again, with Cluster 1 grouping resistant and early accessions influenced by PSRI and anthocyanin reflectance index (ARI2). The influence of phenological and environmental factors reinforced the need for adjustments in the evaluation schedule. Four resistant accessions were identified: *C. annuum* (UENF1381), *C. chinense* (UENF1752, UENF1753), and *C. baccatum* (UENF1732).

Keywords: Genetic variability; Chilli pepper; Reflectance index; *Colletotrichum scovillei*.

.

1. INTRODUÇÃO

Pimentas e pimentões (*Capsicum* spp.) são culturas de grande relevância econômica e social em diversas regiões do mundo, graças à sua ampla variedade de aplicações. Além de serem amplamente utilizados na alimentação, esses frutos também servem como matéria-prima para a indústria farmacêutica, cosmética e ornamental. No entanto, a produtividade desse gênero é frequentemente comprometida por doenças causadas por fitopatógenos, incluindo nematoides, bactérias e fungos (Oliveira et al., 2022). O gênero *Capsicum* é fortemente afetado por doenças que podem ser de origem viral, bacteriana ou fúngica (Luz et al., 2003). Dentre as principais doenças estão o vírus do mosaico amarelo do pimentão (PepYMV), a mancha bacteriana (*Xanthomonas* spp.), cancro bacteriano (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*), a murcha da pimenta, causada por espécies de fungos do gênero *Fusarium* (Sahi e Khalid, 2007), fungos do gênero *Phytophthora* spp., agentes causais da requeima ou mela do pimentão (Luz et al., 2003) e fungos do gênero *Colletotrichum* spp. causadores da antracnose (Tofoli et al., 2015).

Em regiões tropicais e subtropicais, a antracnose se destaca como uma das mais prejudiciais ao cultivo de *Capsicum*. As condições de temperatura e umidade elevadas típicas dessas regiões favorecem o desenvolvimento e a disseminação do agente etiológico da doença, fungos do gênero *Colletotrichum* (Peterle et al., 2023). A antracnose compromete os frutos tanto no campo quanto no período pós-colheita, podendo ocasionar perdas de até 100% da produção (Tofoli et al., 2015; Araújo et al., 2023).

O controle da antracnose é comumente baseado na aplicação de fungicidas. No entanto, essa estratégia apresenta desafios significativos, incluindo impactos ambientais, riscos à saúde humana e eficácia reduzida devido à resistência de isolados fúngicos a diversos princípios ativos disponíveis no mercado (Shafi et al., 2017; Srikhong et al., 2018; Resende, 2020). Pesquisas voltadas para a identificação de genótipos resistentes à antracnose, abrangendo diferentes espécies do gênero *Capsicum*, são essenciais para o melhoramento genético vegetal, oferecendo uma alternativa sustentável e eficaz para o controle da doença (Srikhong et al., 2018).

O Brasil é um importante centro de diversidade do gênero *Capsicum* (Brilhante et al., 2021). Entretanto, esse germoplasma não tem sido suficientemente explorado em programas de melhoramento. Caracterização e avaliação são uma das etapas mais importantes para a utilização dos recursos genéticos existentes (Silva e Silva, 2021; Cruz et al., 2025). Tais etapas são essenciais para se obter informações de características agronômicas, morfológicas, citológicas, bioquímicas e moleculares (Gonçalves et al., 2008) valiosas para diferentes fins em programas de melhoramento. As coleções de germoplasma desempenham importante contribuição como um reservatório de genes que podem ser úteis se transferidos para plantas elites, quando devidamente caracterizados e explorados (Soares et al., 2017; Gomes et al., 2019).

A fenotipagem fisiológica e bioquímica baseada em sensores multiespectrais como os Índices de Refletância Foliar (IRFs), têm se mostrado eficaz para avaliações de doenças em plantas, pois fornecem informações detalhadas sobre o estado da sanidade vegetal por meio de índices, além de permitir a distinção da suscetibilidade entre plantas (Jansen et al., 2014; Bispo et al., 2024).

As correlações genéticas avaliam a relação entre diferentes características, indicando se sua intensidade é positiva, negativa ou nula, e sua direção. No entanto, elas não revelam se essa associação é direta ou influenciada por outras variáveis, o que pode complicar a seleção. Por isso, em programas de melhoramento, como em *Capsicum*, combina-se essa análise com métodos multivariados como análise de componentes principais (ACP) para maior precisão. Além disso, o estudo da diversidade genética complementa esses dados, auxiliando na previsão de cruzamentos e na identificação de plantas com traços superiores (Moreira et al., 2009; Blind et al., 2018; Fadhli et al., 2023).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

- Analisar associações entre atributos morfoagronômicos, fisiológicos e de resistência à antracnose em acessos de quatro espécies de *Capsicum*.

2.2. Objetivos específicos

- i - Fenotipar os acessos quanto às características morfológicas e parâmetros fisiológicos;
- ii - Avaliar a variabilidade genética dos acessos de *Capsicum* estudados;
- iii - Avaliar a resistência à antracnose em frutos imaturos e maduros;
- iv - Recomendar acessos para programas de melhoramento para a resistência à antracnose.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Origem e diversificação do gênero *Capsicum*

Várias famílias botânicas possuem espécies que produzem frutos pungentes denominados pimentas. Dentre estas estão a pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) pertencente à família das Piperaceae, a pimenta-rosa (*Schinus* spp.) nativa da América do Sul, pertencente à família das Anacardiáceas, a pimenta da Jamaica (*Pimenta* spp.) (Carvalho et al., 2006; Silva et al., 2015) e as pimentas do gênero *Capsicum*, as quais compreendem pimentas doces e pungentes de várias espécies (Barboza et al., 2022).

O gênero *Capsicum* abrange plantas de regiões tropicais, subtropicais e de climas temperados (Barboza et al., 2022). As espécies de *Capsicum* apresentam grande variação em termos de morfologia, referentes ao tamanho, forma e coloração dos frutos, além da presença ou ausência de pungência ocasionada por capsaicinoides, como a capsaicina (Carvalho et al., 2006; Dias, 2012; Almeida et al., 2020).

As Américas Central e Sul são os centros de origem de *Capsicum*, onde um dos primeiros grupos de plantas domesticadas tiveram origem. Registros históricos de explorações arqueológicas no México e Peru, apontam que o consumo de *Capsicum* data de aproximadamente 9.000 anos antes do presente (AP), sendo cultivadas pelos povos originários com elevada importância alimentar e cultural (Neitzke et al., 2014). No Brasil, no estado de Roraima, também são encontrados registros arqueológicos do uso de *Capsicum* por comunidades indígenas entre

3000-4000 AP, com a possibilidade de seu uso ser ainda mais antigo e datar de 7000 anos (Nascimento et al., 2007).

A diversificação e expansão do gênero *Capsicum* se deu de forma gradual no sentido horário oeste até noroeste da América do Sul. Com início nas planícies amazônicas ao sudeste do Brasil, com retorno ao centro-oeste da América do Sul ao Norte do continente americano. Isso resultou na origem de um número elevado de espécies que atualmente podem ser reconhecidas e agrupadas em 11 clados por suas características particulares (García et al., 2016).

A domesticação de *Capsicum* ocorreu de forma independente em três regiões distintas do continente americano. Na região Mesoamericana foram domesticadas as espécies *Capsicum annuum* L. e *C. frutescens* L., na região dos Andes, foram domesticadas as espécies *C. baccatum* e *C. pubescens* Ruiz & Pav. e na região das planícies tropicais da América a espécie *C. chinense* Jacq. (Kraft et al., 2014; Almeida et al., 2020).

A distribuição geográfica dos táxons domesticados e semidomesticados revela que as espécies de *C. annuum* são as mais cultivadas globalmente. Seu centro primário de diversidade é o México e a América Central e como centros secundários o sudeste e centro da Europa, África, Ásia, e partes da América Latina (Carvalho; Bianchetti, 2008).

A espécie domesticada *C. annuum* é a mais produzida no Brasil, e compreende duas variedades botânicas, *C. annuum* var. *annuum* e *C. annuum* var. *glabriusculum*. Destas variedades, a *C. annuum* var. *annuum* compreende plantas que não apresentam pungência, tais como pimentões e pimentas doces, além de pimentas com diferentes níveis de pungência, tais como a pimenta jalapeño, big jim, pimenta-serrano, pimenta-cayenne, pimenta-vermelha e cereja. Já a variedade *C. annuum* var. *glabriusculum*, semidomesticada, é representada por plantas conhecidas popularmente como pimentas-de-mesa e são utilizadas principalmente na ornamentação (Almeida et al., 2020).

A ocorrência de *C. baccatum* abrange países do noroeste da América do Sul, tais como, Brasil, Argentina, Bolívia e Peru. A Bolívia é o centro primário de diversidade de espécies semidomesticadas e o sudeste do Brasil, é seu centro secundário de diversidade. Esta espécie possuía três variedades botânicas, a *C. baccatum* var. *pendulum* (domesticada), a *C. baccatum* var. *baccatum* (silvestre ou semidomesticada) possui ampla distribuição geográfica, e a variedade *C. baccatum*

var. *praetermissum*, onde por meio de estudos enzimáticos essa variedade foi reconhecida como espécie, *C. praetermissum*. Esta é considerada endêmica do Brasil (Carvalho; Bianchetti, 2008; Dias, 2012; Barboza et al., 2022).

C. chinense é considerada, dentre as espécies de pimentas domesticadas, a mais brasileira (Carvalho; Bianchetti, 2008). O Brasil é o centro de origem da espécie *C. chinense* relatada, originalmente, na bacia do rio Amazonas. Essa espécie se encontra distribuída em estados do Norte ao Sul do Brasil. Isso se deve a sua capacidade de adaptação a diferentes condições de clima e solo (Dias, 2012).

A espécie *C. frutescens* tem distribuição ampla nas terras baixas da América tropical, Central, Antilhas e Caribe. Podem ser encontradas no sudeste dos Estados Unidos, nas Índias Ocidentais e em algumas regiões do Brasil. Essas pimentas têm variação na sua denominação popular de acordo com a região. No Brasil, são conhecidas como “malaguetas”, enquanto em outros locais são conhecidas como “tabasco”.

A espécie *C. pubescens* é a única que não ocorre naturalmente no Brasil devido ao clima e a adaptabilidade específica desta espécie. O centro de diversidade é a Bolívia. É considerada nativa da Bolívia e do Peru e é cultivada de forma moderada em países das Américas do Norte e Central, com destaque para o México. O cultivo ocorre de forma intensa em países andinos da América do Sul, principalmente na Colômbia, Bolívia e de forma menos intensa no norte da Argentina (Carvalho; Bianchetti, 2008; Barboza et al., 2022).

3.2 Taxonomia do gênero *Capsicum*

As espécies de *Capsicum* conhecidas, podem ser divididas em quatro categorias que fazem referência direta a mudanças ocasionadas por ações humanas que venham a reduzir diversidade fenotípica e genotípica, no primeiro nível se encontram espécies silvestres (sem mudanças mediadas por intervenção humana); no segundo nível, domesticação do tipo incipiente (houve seleção e mudança em uma pequena amostra da população silvestre e a propagação dos descendentes dessa amostra, por meio do efeito gargalo), no terceiro nível as semidomesticadas (plantas que passaram por vários eventos de seleção) e no último nível as domesticadas, plantas amplamente selecionadas e cultivadas (Clement et al., 2010).

A classificação das espécies domesticadas de *Capsicum* leva em conta seu nível de domesticação pelo homem e sua importância econômica. Nesse contexto, cinco espécies se destacam, incluindo *C. chinense*, *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. baccatum* e *C. pubescens* (Cannon et al., 2012; Barboza et al., 2022).

O número de espécies no gênero *Capsicum* variou significativamente devido a mudanças nos critérios de classificação ao longo do tempo. Devido a essa variação nos critérios de classificação surgiram desacordos sobre a classificação infraespecífica dos táxons das espécies domesticadas. Isso levou à exclusão ou fusão de várias espécies. Isso foi devido à complexidade na variação da morfologia dos frutos, influenciada diretamente pela seleção humana. Além disso, muitos exemplares de *Capsicum* presentes em herbários estavam incompletos, com frutos presentes, mas sem flores, e muitos holótipos para os nomes das espécies eram difíceis de localizar ou até mesmo estavam ausentes nas coleções (Verdugo et al., 1999; Barboza et al., 2022).

Em trabalhos desenvolvidos no século XIX foram descritas apenas algumas espécies silvestres de *Capsicum* isoladamente. O trabalho intitulado “Flora Brasiliensis” de Sendtner (1846) foi o mais significativo, naquela época, por considerar sete espécies silvestres e cinco táxons infraespecíficos e várias espécies cultivadas. No início do século XX as descrições de novos táxons continuaram de forma esporádica. Nas últimas décadas na América do Sul, em destaque países andinos e Brasil, houve uma melhor compreensão do gênero como um todo, mediante a novas evidências fornecidas por estudos da estrutura cromossômica têm permitido examinar a relação entre as espécies cultivadas e silvestres de *Capsicum* por meio de análises sobre as diferenças cariotípicas, a distribuição geográfica, a facilidade de cruzamentos, além de considerar dados arqueológicos para elucidação que permitiram estabelecer as relações entre as espécies (Reifshneider; Ribeiro, 2008; Barboza et al., 2022).

As cinco espécies domesticadas de *Capsicum* pertencem a três complexos gênicos, formados pelos complexos *C. chinense*, *C. annuum* e *C. pubescens*. Cada um desses complexos é caracterizado pela capacidade que uma espécie tem de hibridação com outras integrantes do mesmo complexo, o complexo *annuum* têm ampla distribuição mundial, em especial nas américas, esse complexo é relacionado a três espécies domesticadas *C. annuum*, *C. chinense* e *C. frutescens* (Pickersgill, 1997; Dias, 2012) e duas espécies silvestres a *C. chacoense* e *C.*

galapagoensis (Signorini et al., 2013; Shiragaki et al., 2020). O complexo *baccatum* é composto por *C. baccatum*, *C. praetermissum* e *C. tovarii*, e o complexo *pubescens* é composto por *C. pubescens*, *C. cardenasii* e *C. eximium* (Pickersgill, 1997; Dias, 2012). No entanto, Parry et al. (2021) ao estudarem a compatibilidade reprodutiva entre 38 acessos pertencentes a 13 espécies, um híbrido de *C. frutescens* x *C. chinense* e uma variedade botânica, concluíram que a maioria dos acessos pertencentes a complexos gênicos diferentes produziram frutos e suas sementes germinaram. Vale ressaltar que os autores avaliaram apenas a germinação dos híbridos.

A diferenciação das espécies de *Capsicum* e suas variedades pode ser obtida ao se levar em consideração características morfológicas dos frutos e principalmente das flores (Moreira et al., 2006). A identificação entre espécies *C. annuum*, *C. chinense* e *C. frutescens*, é mais difícil, pois estas apresentam a corola variando de branco até amarelo esverdeado, e com suas anteras púrpuras ou violetas. Neste caso em particular recorre-se a um outro conjunto de características como o número de flores por nó e a constrição do cálice (Guerra, 2001).

3.3 Importância socioeconômica do gênero *Capsicum*

O cultivo de pimentas, anteriormente considerado secundário, tem se destacado no Brasil devido a agregação de valor aos diversos produtos produzidos, tais como molhos, conservas, corantes e temperos. Essa mudança visa atender às novas demandas internas e externas provenientes do mercado consumidor e resultaram no crescimento do setor (Caixeta et al., 2014).

As pimentas e pimentões têm grande relevância nos âmbitos da economia e em contextos sociais, e isso se deve em parte ao seu grande aproveitamento na culinária, medicina, odontologia, produção de armas não letais e em questões associadas a segurança alimentar (Pinto et al., 2013; Lee, 2019; Barboza et al., 2022).

No Brasil, as pimentas estão associadas a fatores culturais com a sua inclusão no preparo de pratos típicos tradicionais em diversas regiões do país (Sudré et al., 2010). No contexto social o cultivo de pimentas é realizado predominantemente em sistema de produção familiar (Costa; Henz, 2007). Isso permite a geração de novos empregos e a contratação de mão de obra durante os

períodos de colheita, mas também promove a fixação de agricultores familiares (Reifschneider; Ribeiro, 2008).

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAOSTAT, 2022) a produção mundial de *Capsicum* em 2022 foi de aproximadamente 41,9 milhões de toneladas em área correspondente a 3,7 milhões de hectares cultivados. Onde os países que se destacaram em termos de produção para essa cultura foram, China, México, Turquia, Indonésia, Índia, Espanha, Nigéria, Egito, EUA, Argélia e Tunísia.

Segundo o Censo Agropecuário 2017 (divulgados pelo IBGE em 2021) a produção de pimentas no Brasil foi de 28.270 toneladas e a de pimentões foi de 224.286 toneladas. Isso representa um grande aumento em sua cadeia de produção, pois no ano de 2006, a produção de pimentas e pimentões no Brasil foi apenas de 40.000 toneladas (Carvalho et al., 2006). Os maiores produtores de *Capsicum* são os estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Ceará e Rio Grande do Sul (Pinto et al., 2022).

As pimentas e pimentões do gênero *Capsicum* se encontram dispersas globalmente e são consumidas por mais de um quarto da população mundial. Descritas como alimentos funcionais, são consumidas de diversos modos. Na culinária, a utilização de pimentas se dá pelo seu consumo *in natura*, na forma de condimentos ou na forma de molhos, além de serem utilizadas para produção de corantes, aromatizantes e oleoresinas (Carvalho et al., 2006).

Embora a pungência dos frutos das pimentas seja considerada por muitos o atributo mais atrativo da espécie, os frutos de pimentas também se destacam em termos nutricionais, por seus altos valores de vitaminas e antioxidantes, tais como vitamina C, carotenoides, vitaminas dos complexos A, E e B, além de serem ricas em fibras e sais minerais como ferro e cálcio (Luts; Freitas, 2008; Pinto et al., 2013). Estudos dos metabólitos secundários presentes em *Capsicum*, também conhecidos como capsaicinoides mostram propriedades medicinais para o tratamento de doenças cardiovasculares, dores e desconfortos crônicos, controle de glicemia, propriedades antiobesidade, anti-inflamatórias, propriedades anticancerígenas e outras (Batiha et al., 2020).

O aumento da demanda de pimentas e pimentões pelo mercado interno tem resultado na necessidade de expansão das áreas cultivadas em vários estados brasileiros, e com isso esse mercado emergente passou a buscar por meios para a

aprimoração de técnicas que visem aumento da produtividade, obtenção de sementes de alta qualidade, e geração de maior produtividade final (Caixeta et al., 2014).

3.4 Antracnose (*Colletotrichum* spp.) em *Capsicum*

O gênero *Colletotrichum* é considerado um dos fitopatógenos mais importantes para o setor agrícola, pois é causador de doenças em diversas culturas, tanto em espécies arbóreas como também em espécies herbáceas, esse gênero possui ampla distribuição em regiões tropicais e subtropicais, com ocorrência de algumas espécies também em regiões de clima temperado (Cannon et al., 2012). No Brasil a ocorrência da antracnose é comum e generalizada e torna-se mais frequente e problemática quando o cultivo ocorre em períodos em que haja a elevação da temperatura e da umidade (Ribeiro et al., 2021).

A antracnose é uma doença provocada por um complexo de fungos do gênero *Colletotrichum* que são relatados como patógenos de alta significância por causarem perdas à produção em muitos países, incluindo Brasil, China, Taiwan, Vietnã e Tailândia. As espécies *Colletotrichum gloeosporioides*, *C. acutatum* e *C. capsici* se destacam como as três principais espécies desse gênero a causarem a antracnose nesses países (Mahasuk et al., 2009; Tofoli et al., 2015).

No Brasil a maior parte dos antigos relatos de antracnose são referentes à espécie *C. gloeosporioides* como o principal causador dessa doença em *Capsicum*, entretanto por meio de estudos moleculares foi evidenciado que *C. scovillei* é a espécie predominante em território brasileiro, seguida de outras espécies, tais como *C. siamense*, *C. brevisporum* e *C. truncatum*. Em muitos países asiáticos, *C. scovillei* também possui ocorrência elevada. Contudo, na Coreia e Taiwan os principais causadores da antracnose em *Capsicum* spp. são *C. acutatum* e *C. capsici* (Azevedo et al., 2006; Araújo et al., 2023).

Por possuir baixa especificidade de hospedeiros a antracnose e seus sintomas podem estar presentes em todos os estádios de desenvolvimento da planta, desde mudas até na fase de colheita dos frutos, além de infectar todos os órgãos da planta (Azevedo et al., 2006; Cannon et al., 2012; Araújo et al., 2023). As lesões nos frutos de *Capsicum* geradas pela antracnose são consideradas as formas mais importantes economicamente, pois tornam os frutos impróprios para o mercado. Essas lesões podem ser caracterizadas por formas ovaladas ou

circulares, deprimidas, de coloração bronze ou escuras, úmidas e concêntricas. Na maioria das vezes essas lesões são recobertas por formação massiva de conídios de coloração variando do rosa ao alaranjado, essas lesões podem levar a mumificação ou secagem dos frutos (Tofoli et al., 2015).

O ciclo dessa doença pode ser iniciado por meio de sementes contaminadas, pela presença de propágulos advindos de outras culturas como berinjela, tomate e jiló que servem como hospedeiras do patógeno ou podem estar presentes em restos culturais de ciclos de cultivo anteriores. As condições ideais de temperatura para o desenvolvimento da antracnose ficam em torno de 20 e 24°C, e com necessidade de alta umidade relativa no ar, e períodos chuvosos, pois a água serve como meio para a dispersão e desenvolvimento dos esporos que são disseminados entre as lavouras. Os esporos são dispersos por meio da irrigação, e em respingos de água, por essa razão a incidência e a severidade da doença tendem a ser maiores em períodos chuvosos ou quando o tempo de molhamento foliar é muito extenso (Azevedo et al., 2006).

O controle da antracnose consiste na aplicação de métodos individuais, ou na associação de um conjunto de métodos, tais como, uso de fungicidas, uso de cultivares com resistência genética, práticas culturais, entre outros (Sartorato e Rios, 2003). Em campo o controle da antracnose é feito convencionalmente por meio de fungicidas, no entanto tais substâncias podem acarretar riscos à saúde humana e ao meio ambiente (Shafi et al., 2017; Srikhong et al., 2018). Muitos fungicidas já não são eficientes para o controle dessa fitopatologia devido a aplicação contínua que resultou na seleção de genótipos resistentes a alguns princípios ativos presentes nos fungicidas, tais como carbamatos de metil benzimidazol (MBC), inibidores externos de quinona (QoI) e inibidores de desmetilação (DMI) (Reis et al., 2009; Cortaga et al., 2023).

Práticas de manejo cultural podem ser adotadas como medidas adicionais para o controle da antracnose, tais como o não estabelecimento da cultura em áreas em que tenha havido o plantio anterior de outras solanáceas suscetíveis, realizar rotação de culturas, fazer o plantio em épocas secas, eliminar o material vegetal doente para evitar que propágulos permaneçam no campo, entre outros (Lopes; Hens, 2008).

A melhor alternativa para o controle efetivo da antracnose é o desenvolvimento cultivares com resistência estável e abrangente a um amplo

espectro de espécies e isolados desse fitopatógeno (Resende, 2020). Entretanto, o uso de cultivares resistentes também traz o benefício de ser considerado mais prático e econômico entre os métodos (Sartorato; Rios, 2003; Reis et al., 2009).

3.5 Melhoramento de *Capsicum* spp. no Brasil.

O melhoramento genético de plantas no Brasil teve início na década de 1920, sendo impulsionado por instituições pioneiras como a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) e o Instituto Agronômico de Campinas (IAC). As primeiras pesquisas foram direcionadas para culturas de grande importância agrícola, como milho, mandioca, arroz e algodão, estabelecendo as bases para o avanço da genética vegetal no país (Colombo; Siqueira, 2017).

Na década de 1980 a Embrapa Hortaliças iniciou seu programa de melhoramento de *Capsicum*. A devastação causada pela requeima, uma doença de origem fúngica do gênero *Phytophthora*, e o agravamento adicional por doenças de origem viral que afetaram plantações de pimentas e pimentões em várias partes do país foram as principais motivações para o início do programa (Ribeiro et al., 2020).

Em 1998 a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) iniciou estudos com *Capsicum*, nesse mesmo ano foi estabelecida uma coleção própria de germoplasma, a partir de coletas realizadas em feiras e mercados do Rio de Janeiro. Desde então, os acessos desta coleção têm sido caracterizados e avaliados utilizando diferentes descritores e técnicas de análise de dados.

A Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT- Campus Cáceres) iniciou seu programa de melhoramento para a cultura de *Capsicum* em 2013, objetivando desenvolver cultivares de *C. frutescens* resistentes a antracnose e com características morfoagronômicas desejáveis (Amorim, 2019).

No ano de 2012, o programa de melhoramento de *Capsicum* da UENF, passou a realizar estudos com o objetivo de contornar a suscetibilidade da espécie à antracnose por meio da identificação de fontes de resistência na coleção de germoplasma (Silva, 2012), pois até aquele momento não havia registro no MAPA de nenhuma cultivar com resistência para essa doença.

Em 2019, a cultivar híbrida da espécie *Capsicum chinense* 'Maria Bonita' foi desenvolvida pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e posteriormente

registrada e comercializada pela Feltrin Sementes®. Inscrita no Registro Nacional de Cultivares (RNC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) sob o número 41675, essa cultivar foi descrita como resistente ao *Colletotrichum gloeosporioides*, agente causal da antracnose (Feltrin, 2025).

Em 2024, Amorim et al. lançaram a cultivar híbrida de *Capsicum frutescens* denominada UNEMAT Malagueta Pantaneira, registrada no RCN sob os números 49190 e 49188 no MAPA. Essa cultivar apresenta potencial resistência ao fungo *Colletotrichum gloeosporioides*.

A caracterização e avaliação de espécies de *Capsicum* são importantes para os bancos de germoplasma, pois as espécies apresentam grande variabilidade genética que ainda não é completamente conhecida e explorada (Sudré et al., 2010). Essa grande variabilidade genética de *Capsicum* spp. tem sido visada em programas de melhoramento com o objetivo de desenvolver populações, linhagens ou cultivares com características de resistência e agronomicamente superiores às que já existem disponíveis (Silva et al., 2021; Resende et al., 2023), pois o melhoramento genético de plantas ainda é a melhor forma de atender as demandas existentes (Lopes et al., 2011).

Ao considerar a diversidade, herdabilidade e correlações entre características os programas de melhoramento tendem a se tornar mais eficientes (Fadhli et al., 2023). A compreensão das variações genéticas por meio da caracterização morfológica dos acessos permite que os bancos de germoplasma sejam utilizados de forma adequada, por meio da identificação de plantas com maior potencial genético (Rêgo et al., 2011; Sunday et al., 2021).

Assim como outras ferramentas, tais como marcadores moleculares, o uso de descritores morfológicos e agronômicos são essenciais (Sudré et al., 2010). As medições fenotípicas são importantes, pois fornecem informações detalhadas sobre as características que são expressas pelas plantas. Por meio dessas informações é possível identificar não somente características visíveis como também variações relacionadas ao metabolismo e respostas a interações, além de permitir a compreensão das relações entre fenótipos e genótipos, o que por sua vez torna a seleção mais precisa para as características desejadas (Resende et al., 2023).

A seleção de um método eficaz para a identificação de genótipos superiores é a etapa mais importante para obtenção de novas cultivares (Entringer et al.,

2014). Avaliações sobre correlações e diversidade genética auxiliam os melhoristas na previsão dos resultados de cruzamentos entre diferentes genótipos e por sua vez, permitem a identificação e seleção de plantas e de características superiores dentro de programas de melhoramento de diversas culturas, tal como *Capsicum* (Entringer et al., 2014; Karim et al., 2022).

3.6 Uso de sensores multiespectrais no melhoramento genético de plantas

O melhoramento genético de plantas enfrenta desafios para seleção de características complexas, como a resistência a doenças, de forma rápida e precisa. Métodos de seleção tradicionais se baseiam em análises visuais e demandam tempo e esforço considerável. Os sensores espectrais surgem como uma nova abordagem, permitindo a fenotipagem não destrutiva e em larga escala, essencial para programas de melhoramento modernos (Sousa et al., 2015).

Os sensores espectrais podem ser categorizados conforme sua resolução espectral (faixa de comprimento de onda detectada), distância entre o sensor e o objeto (próximo ou remoto), modo de operação (passivo ou ativo) e tipo de saída (dados pontuais ou imagens multiespectrais com resolução espacial por pixel) (Sneider et al., 2008).

Os sensores multiespectrais foram os primeiros a serem inventados e avaliam as informações de objetos em até dez bandas espectrais, podendo fornecer dados nas bandas do vermelho (R), verde (G), azul (B) e na faixa do infravermelho próximo (NIR). Já os sensores hiperespectrais abrangem maior resolução espectral, com quantidade de bandas acima de 1000, o que significa que essa precisão permite a detecção de diferenças mínimas na cor (menores que 1nm) e permite a captura de mais de 1000 tons distintos. Com isso os sensores hiperespectrais permitem a detecção de quase todas as variações de cores, desde as visíveis a olho nu até as que não são visíveis como as na faixa do NIR (Sneider et al. 2008; Mahlein, 2016).

Os sensores multiespectrais já são amplamente empregados na agricultura, sendo promissores na caracterização das deficiências nutricionais em plantas o que permite o manejo da adubação para correção, evitando assim perdas na produtividade (Furlanetto et al., 2017).

O uso dos sensores multiespectrais para a seleção de genótipos, oferece vantagens, pois operam com base na interação entre a luz e os tecidos vegetais, e capturam dados na forma de refletância, absorbância e transmitância em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Os dados obtidos pelos sensores são baseados em parâmetros fisiológicos e bioquímicos das plantas, como presença de pigmentos antioxidantes, integridade celular, conteúdo de clorofila e eficiência fotossintética, estes são traduzidos em modelos matemáticos denominados de índices espectrais. E permitem a diferenciação entre genótipos por meio dos índices de vegetação, onde a distinção é feita com base nas assinaturas espectrais específicas, sendo influenciadas pelas características anatômicas, morfológicas e fisiológicas presentes em cada genótipo (Santana et al., 2024).

Métodos de fenotipagem baseados em sensores multiespectrais como os Índices de Refletância Foliar (IRFs), têm se mostrado valiosos para avaliações de doenças em plantas, pois fornecem informações detalhadas sobre o estado fisiológico vegetal, conforme demonstrado por Jansen et al. (2014). Essa abordagem vai além da simples detecção, permitindo uma análise quantitativa das condições da planta. Complementando esses achados, Bispo et al. (2024) comprovaram a eficácia dos IRFs na distinção precisa entre genótipos com diferentes níveis de suscetibilidade a doenças, destacando sua capacidade de discriminar plantas resistentes das suscetíveis com base em suas assinaturas espectrais fisiológicas.

3.7 Análises estatísticas e melhoramento.

Avaliações sobre correlações e diversidade genética auxiliam os melhoristas na previsão dos resultados de cruzamentos entre diferentes genótipos e por sua vez, permitem a identificação e seleção de plantas e de características superiores dentro de programas de melhoramento de diversas culturas, tal como *Capsicum* (Entringer et al., 2014; Karim et al., 2022).

As correlações fornecem uma visão geral sobre relações simples entre características e consideram a magnitude e o sentido dessas relações entre duas variáveis, e podem assumir valores positivos, negativos ou nulos. Contudo a correlação não fornece informações sobre os efeitos diretos e indiretos destes caracteres, pois uma alta correlação entre dois caracteres pode ser resultado de um terceiro, ou de grupos de outros caracteres, com isso a seleção se torna mais

complexa e para complementação é indicado o uso de métodos de seleção multivariados (Amorim et al., 2008; Entringer et al., 2014; Blind et al., 2018; Fadhli et al., 2023).

Por sua vez, a aplicação de análises multivariadas possibilita avaliar múltiplas características simultaneamente, além de auxiliar no melhoramento genético de culturas em estágios iniciais, ampliando assim o potencial de utilização dos acessos disponíveis. (Sudré et al., 2005; Barth et al., 2022).

Dentre as análises multivariadas a análise de componentes principais (APC) ou análise de raiz canônica, é uma técnica para a simplificação e análise das inter-relações entre um grande conjunto de variáveis em termos de um pequeno número de variáveis ou componentes sem que haja a perda de nenhuma informação essencial dos dados originais. Como há a extração de todos os componentes mais importantes e por destacar suas contribuições para a variabilidade total, a APC é uma ferramenta importante para acelerar os programas de melhoramento (Das et al., 2017).

A APC tem diversas aplicações conhecidas, incluindo estudos de divergência genética entre genótipos. Esta técnica permite identificar e selecionar genótipos promissores para programas de melhoramento genético. Além disso, também é usada para avaliar a importância relativa das características na variação total disponível entre genótipos (Moreira et al., 2009). Análises de agrupamento são uma via complementar a APC, pois permitem a classificação de indivíduos em grupos para maximizar sua homogeneidade dentro de um grupo e mostra a heterogeneidade entre os grupos (Vianna et al., 2013).

O *K-means* é uma técnica de agrupamento utilizada para analisar pontos de dados. Este algoritmo, amplamente reconhecido, é frequentemente usado para agrupar conjuntos de pontos medianos conhecidos e pode ser empregado para identificar grupos significativos dentro de conjuntos de dados de forma exploratória, servindo como ponto de partida para análises mais complexas. (Wanga et al., 2018).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Condições experimentais e material vegetal

O estudo foi desenvolvido entre abril e dezembro de 2024 em área experimental da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, localizada no município de Campos dos Goytacazes, região norte do Rio de Janeiro, Brasil, a 21° 19' 23" de latitude Sul, 41° 19' 40" de longitude Oeste, e altitude média de 14 m. As plantas foram conduzidas em casa de vegetação e os dados climáticos foram coletados diariamente por meio de um termohigrômetro Climalogger®, onde o aparelho foi posicionado a 1,5 metro de altura do solo, para coleta da temperatura interna da casa de vegetação e também foi aferido a temperatura e umidade próximas a superfície do substrato nos vasos. Também foram obtidos dados disponibilizados pela estação meteorológica A607 que está operante desde 2006 e segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), está localizada nas coordenadas, latitude 21° 42' 53" Sul, longitude 41° 20' 38" Oeste.

Foram semeados 47 acessos da Coleção de Germoplasma de *Capsicum* da UENF, provenientes de diversas regiões geográficas, pertencentes às espécies *C. chinense* (22 acessos), *C. baccatum* (13 acessos), *C. annuum* (9 acessos) e *C. pubescens* (1 acesso) e dois acessos de *Capsicum* spp.

A escolha dos acessos baseou-se em três critérios principais:

- 1- Diversidade genética - determinados previamente por meio de estudos de divergência genética por Sudré et al. (2005, 2010) e Bianchi et al. (2020);

2- Disponibilidade de sementes – considerou-se a disponibilidade de sementes nos estoques da coleção de germoplasma;

3- Inclusão de novos acessos – incorporação de materiais novos e ainda não catalogados na coleção.

A semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno de 128 células preenchidas com substrato organovegetal Vivatto®. Considerando o extenso período de conservação das sementes, que variou de 2002 a 2023 entre os diferentes acessos, e as condições inadequadas de armazenamento, como a elevada umidade na câmara fria, a viabilidade das sementes foi significativamente comprometida. Diante desses desafios, foi estabelecido um protocolo de tratamento pré-germinativo com o objetivo de superar a dormência e elevar a taxa de germinação.

Todas as sementes foram submetidas a dois tratamentos principais, o primeiro consistiu no tratamento das sementes com Nitrato de potássio, e o segundo consistiu na aplicação de ácido giberélico (GA₃), métodos amplamente utilizados para aumentar a viabilidade de sementes.

Para o tratamento com nitrato de potássio (KNO₃), as sementes foram imersas em uma solução de KNO₃ em concentração de 0,2% embebidas por 24 horas. Já o tratamento com giberelina consistiu no umedecimento do substrato com solução de GA₃ a 0,05%, (0,5g/litro) por 24 horas (Brasil, 2009).

Para *C. pubescens*, devido a dificuldades de germinação foram realizados pré-tratamentos adicionais com chá de camomila. Onde as sementes foram embebidas por 24 horas em infusão de camomila, na concentração de 3 gramas de inflorescências de camomila diluídos em 100 mL de água. (Borsato; Amaral, 2016), e aclimação das sementes a baixas temperaturas visto a necessidade da espécie por temperaturas médias entre 4.4 e 21.1°C, para auxiliar a quebra da dormência (Ciju, 2012). O transplante foi realizado quando as plantas estavam com dois pares de folhas definitivas para vasos com capacidade de 5 L contendo areia e terra nas proporções 2:1, com adubação mineral de 1 g de NPK (04-14-08) por litro.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições e três plantas por parcela. A parcela foi constituída por três vasos contendo uma planta cada. O espaçamento entre vasos foi em linhas duplas com 0,5 x 1,0 x 1,5 m.

4.2. Atributos morfoagronômicos

A caracterização morfoagronômica foi realizada com base em cinco descritores qualitativos e quatro quantitativos (IPGRI, 1995) (Quadro 1).

Quadro 1. Descrição das variáveis morfoagronômicas avaliados em 28 acessos de *Capsicum* spp.

Variável	Descrição
Altura da planta (ALT).	Registrada quando 50% das plantas o primeiro fruto começou a amadurecer.
Diâmetro da copa (DC).	Medido imediatamente após a primeira colheita, no ponto mais largo.
Dias para o florescimento (DFL).	Número de dias desde a germinação até que 50% das plantas tenham pelo menos uma flor aberta.
Dias para a frutificação (DFR).	Número de dias desde a germinação até 50% das plantas produzirem frutos maduros na primeira e segunda bifurcação.
Número de flores por axila (NFA).	Uma; duas; Três ou mais; muitas flores em cacho, mas cada uma em uma axila.
Cor da corola (CC).	Branco; amarelo-claro; amarelo; amarelo-verde; roxo com base branca; branco com base roxa; branco com margem roxa; roxo; outros.
Cor da mancha da corola (CMC).	Branco; amarelo; verde-amarelado; verde; roxo; outros.
Cor da antera (CA).	Observado imediatamente após a floração e no momento da antese, podendo ser das seguintes cores: branco; amarelo; azul claro; azul; roxo; outros.
Cor do fruto maduro (CFM).	Branco; Amarelo-limão; Amarelo-alaranjado claro; Amarelo-alaranjado; Laranja claro; Laranja; Vermelho claro; Vermelho; Vermelho escuro; Roxo; Marrom; Preto; Outro.
Constricção anelar do cálice (CAC).	Na junção do cálice e do pedicelo. Observado no estágio maduro.

A identificação das espécies para os acessos de *Capsicum* a serem inseridos na coleção (acessos indeterminados para espécie), foi realizada por meio da adoção dos seguintes descritores morfológicos: número de flores por axila (NFA), cor da corola (CC), cor da mancha da corola (CMC), cor das anteras (CA) e presença de constrição anelar do cálice (CAC).

Os dados foram utilizados em chave taxonômica do gênero para identificação botânica das espécies (Adaptado de DeWitt; Bosland, 1996). Os acessos também passaram por caracterização para cor do fruto maduro (CFM).

4.3. Atributos Fisiológicos

Os atributos fisiológicos foram estimados de 27 índices de refletância foliar (IRFs) obtidos com o uso de um mini espectrômetro foliar portátil CI-710 (CID-Bio-Science, Inc., Camas, Washington, USA) (Quadro 2). Foram realizadas três avaliações aos 80, 90 e 100 dias após a germinação em estádios fenológicos distintos. A primeira ocorreu quando mais de 50% das plantas estavam na fase inicial de florescimento, enquanto as demais foram conduzidas durante a fase inicial e final de frutificação.

Quadro 2. Índices de refletância foliar avaliados em 29 acessos de *Capsicum* spp. com respectivas equações, faixa espectral e parâmetros fisiológicos e referências.

Grupo	IRFs	Equação	Parâmetro fisiológico estimado	Referência
Índices de vegetação	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	$(R_{800}-R_{680})/(R_{800}+R_{680})$	Quant. e qualidade/verde	Rouse et al. (1974)
	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Cumulativa (CNDVI)	$(R_{750}-R_{705})/(R_{750}+R_{705})$	Teor de Clorofila	Sun et al. (2011)
	Índice de Verde (G)	(R_{554} / R_{677})	Clorofila	Smith et al. (1995)
	Índice de Vegetação de Gitelson e Merzlyak (GM1)	(R_{750} / R_{550})	Clorofila	Gitelson & Merzlyak (1997)
	Índice de Vegetação de Gitelson e Merzlyak (GM2)	(R_{750} / R_{700})	Clorofila	Gitelson & Merzlyak (1997)
	Índice de Diferença Normalizado da Borda Vermelha (RENDVI)	$(R_{750}-R_{705})/(R_{750}+R_{705})$	Teor de Clorofila	(Sims & Gamon, 2002)
	Índice de Razão Simples da Borda Vermelha Modificado (MRESRI)	$(R_{705}-R_{445})/(R_{705}+R_{455})$	Teor de clorofila	(Sims & Gamon, 2002)

Quadro 2 – Cont.

Grupo	IRFs	Equação	Parâmetro fisiológico estimado	Referência
Índices de vegetação	Índice de Borda Vermelha de Vogelmann (VREI1)	(R_{740}/R_{720})	Clorofila	Vogelmann et al. (1993)
	Índice de Borda Vermelha de Vogelmann (VREI2)	$(R_{734}-R_{747})/(R_{715}+R_{726})$	Clorofila	Vogelmann et al. (1993)
	Índice de Borda Vermelha de Vogelmann (VREI3)	$(R_{734}-R_{747})/(R_{715}+R_{720})$	Clorofila	Vogelmann et al. (1993)
	Zarco-Tejada & Miller Index (ZMI)	(R_{750}/R_{710})	Teor de Clorofila	Zarco-Tejada et al. (2001)
Eficiência fotossintética	Índice de refletância fotoquímica (PRI)	$(R_{531}-R_{570})/(R_{531}+R_{570})$	Pigmento – xantofila (estresse)	(Gamon et al., 1992)
Índice de clorofila	Índice de Refletância de Antocianina 1 (ARI1)	$(1/R_{550})-(1/R_{700})$	Antocianina	Gitelson et al. (2001)
	Índice de Refletância de Antocianina 2 (ARI2)	$[(1/R_{550})-(1/R_{700})].R_{800}$	Antocianina	Merzlyak et al. (1999)
	Índice de Refletância de Carotenoide 1 (CRI1)	$(1/R_{510})-(1/R_{550})$	Carotenoide	(Gitelson et al., 2002b)
	Índice de Refletância de Carotenoide 2 (CRI2)	$(1/R_{510})-(1/R_{700})$	Carotenoide	(Gitelson et al., 2002b)

Quadro 2 – Cont.

Grupo	IRFs	Equação	Parâmetro fisiológico estimado	Referência
Índice de clorofila	Índice de Lichtenthaler (Lic1)	$(R_{800}-R_{680})/(R_{800}+R_{680})$	Teor de Clorofila	Lichtenthaler, H. K. (1996).
	Índice de Lichtenthaler (Lic2)	$(R_{440}-R_{690})$	Teor de Clorofila	Lichtenthaler, H. K. (1996).
Índice de água	Índice de Banda de Água (WBI)	R_{900}/R_{970}	Teor de água na folha	Peñuelas et al. (1997)
Índices de Carotenoides	Índice de Pigmento de Proporção Simples (SIPI)	$(R_{800}-R_{445})/(R_{800}+R_{680})$	Carotenoide/clorofila a (estresse)	Peñuelas et al. (1995)
	Índice de Carter 1 (Ctr1)	(R_{695}/R_{420})	Carotenoide	Carter (1994)
	Índice de Carter 2 (Ctr2)	(R_{695}/R_{760})	Carotenoide	Carter et al. (1996)
	Índice de Refletância dos Flavonoides (FRI)	$(1/R_{410}-R_{460})R_{800}$	Flavonoide	Merzlyak et al. (2005)
	Índice de Clorofila Pigmentada Normalizada (NPCI)	$(R_{680}-R_{430})/(R_{680}+R_{430})$	Carotenoide/clorofila (estresse)	Peñuelas et al. (1994)
Índices de Carotenoides	Índice Normalizado de Feofitinação (NPQI)	$(R_{415}-R_{435})/(R_{415}+R_{435})$	Clorofila (estresse)	Barnes et al. (1992)
	Índice de Pigmento de Razão Simples (SRPI)	(R_{430}/R_{680})	Teor de Clorofila	Peñuelas et al. (1995)

R = Valor de refletância do respectivo comprimento de onda.

4.4. Reação ao *Colletotrichum scovillei*

Para avaliar a resistência à antracnose, foram utilizados destacados 18 frutos por parcela, sendo nove imaturos e nove maduros, coletados entre 35 e 50 dias após a antese, respectivamente. Estes foram levados ao laboratório de melhoramento genético vegetal (LMGV) e desinfestados superficialmente mergulhando-os em álcool 70% (v/v) por 1min., em seguida em solução de hipoclorito de sódio a 0,2%(v/v) por 5min. e posterior tríplice lavagem em água deionizada autoclavada por 2:1:1min. em cada lavagem, respectivamente (Silva et al., 2014). Seis frutos de cada parcela, em cada estágio de desenvolvimento, foram inoculados com o patógeno e adicionalmente mais três frutos foram utilizados como controle, sendo inoculados com água de torneira autoclavada.

A suspensão conidial foi preparada com o isolado de *C. scovillei* identificado sob o registro nominal de UEL81U (*GenBank accession numbers* MN121780, MN121791, MN121802, MN121811 e MN121822), obtido a partir do isolado de pimentão coletado em Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. O inóculo foi cultivado em meio batata-dextrose-ágar (BDA) em pH 7,0 e incubado a 28°C durante sete dias, até a formação de conídios. A inoculação foi preparada a suspensão conidial a 1×10^6 conídios.mL⁻¹ ajustada com auxílio contagem em câmara de Neubauer em microscópio óptico. A inoculação dos frutos foi realizada pela deposição de 10 µL da suspensão na região central do fruto, seguida de uma perfuração com agulha entomológica a aproximadamente 1,0 mm de profundidade sobre a gota (Bispo et al., 2024).

A severidade da antracnose nos frutos foi avaliada diariamente, do primeiro até o oitavo dia após a inoculação, por meio de escala de notas proposta por Araújo et al. (2023) (Quadro 3). Com os dados obtidos foram calculados o Período de Incubação (PI), o Período de Latência (PL), Nota Final (NF) e a Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença (AACPD).

Em que PI corresponde ao intervalo de tempo medido em dias que ocorre entre a inoculação do patógeno nos frutos e o surgimento dos primeiros sintomas da doença; PL, corresponde ao intervalo, em dias entre a inoculação e o aparecimento de sinais, tais como, massa conidial ou hifas visíveis a olho nu. A NF,

corresponde à nota atribuída ao final dos oito dias de avaliação, considerando a progressão dos sintomas e sinais visíveis nos frutos. A AACPD é um parâmetro que leva em consideração a taxa de progressão da doença e o acúmulo dos efeitos ao longo do tempo. Para o cálculo da AACPD foi utilizada a equação de Campbell e Madden (1990):

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Onde:

n é número de observações;

y_i é severidade da doença na i -ésima observação; e

t_i é tempo em dias na i -ésima observação.

Quadro 3. Escala de notas para avaliação da severidade dos sintomas de antracnose em frutos de *Capsicum* spp. (Araújo et al., 2022).

Nota	Nível de resistência	Avaliação Visual	
		Acérvolos/ Hifas	Sintomas
1	Imune	Ausência	Sem sintomas
2	Altamente resistente	Ausência	Lesão necrótica ≤ 1 mm
3	Resistente	Ausência	$1\text{mm} < \text{Lesão necrótica} \leq 3\text{mm}$
4	Moderadamente	Ausência	$3\text{mm} < \text{Lesão necrótica} \leq 5\text{ mm e/ou lesão encharcada} \leq 3\text{mm}$
5	Suscetível	Ausência	$5\text{mm} < \text{Lesão necrótica} \leq 7\text{ mm e/ou lesão encharcada} \leq 5\text{mm}$
6	Suscetível	Ausência	$\text{Lesão necrótica} > 7\text{ mm e/ou lesão encharcada} \leq 5\text{mm}$
7	Altamente suscetível	Presença	$\text{Lesão necrótica ou lesão encharcada} \leq 5\text{ mm}$
8	Altamente suscetível	Presença	$5\text{ mm} < \text{lesão necrótica ou lesão encharcada} < 10\text{ mm}$
9	Altamente suscetível	Presença	$\text{Lesão necrótica ou lesão encharcada} \geq 10\text{ mm}$

4.5. Análise estatística

Os dados foram testados quanto aos pressupostos da análise de variância, tais como normalidade com uso do teste de Shapiro-Wilk, homoscedasticidade por meio do teste de *Bartlett* e independência das variáveis. Uma vez atendidos os pressupostos, realizou-se a análise de variância para todos os descritores quantitativos. E quando não atendidos, os pressupostos de normalidade, estes passaram por transformação elevando os valores originais ao quadrado (X^2). Assim as variáveis morfoagronômicas e de resistência para frutos imaturos e maduros foram avaliados, conforme o modelo estatístico para experimentos em blocos ao acaso:

$$Y_{ij} = m + G_i + B_j + E_{ij}$$

Onde: Y_{ij} : valor observado da variável dependente para o i-ésimo genótipo e j-ésimo bloco; m : média geral da população; G_i efeito do i-ésimo genótipo; B_j : efeito do j-ésimo bloco; E_{ij} : erro experimental.

A relação entre os Índices de Refletância e as épocas de avaliação foi analisada em um delineamento em parcelas subdivididas no tempo, com três repetições. O estudo avaliou a interação entre dois fatores: genótipo (fator principal, representado pela parcela) e dias de avaliação (fator secundário, representado pela subparcela). O modelo estatístico adotado seguiu o esquema de parcelas subdivididas no tempo:

$$Y_{ijk} = m + G_i + B_j + E_{ij} + S_k + PS_{ij} + D_{ijk}$$

Onde: Y_{ijk} : valor observado da variável dependente para o i-ésimo genótipo, j-ésimo bloco, e k-ésima avaliação; m : média geral da população; G_i : efeito do i-ésimo genótipo (parcela); B_j : efeito do j-ésimo bloco; E_{ij} : erro experimental na interação entre o i-ésimo genótipo e o j-ésimo bloco. S_k : efeito da k-ésima avaliação (subparcela); PS_{ik} : interação entre o i-ésimo genótipo e a k-ésima avaliação; D_{ijk} : erro residual.

Estimou-se o coeficiente de correlação de Pearson para os índices de refletância, variáveis morfoagronômicas e variáveis de resistência. De posse da matriz de correlação, procedeu-se o diagnóstico de multicolinearidade a fim de

descartar características que poderiam ser redundantes considerando o número de condições matriz de correlação (NC) de Montgomery e Peck, (1982), onde:

- $NC < 100$: multicolinearidade fraca;
- $100 \leq NC \leq 1000$: multicolinearidade moderada;
- $NC > 1000$: multicolinearidade forte (requer tratamento).

A nova matriz foi submetida à análise de dispersão via análise de componentes principais (ACP). De forma a manter um acúmulo mínimo de 70% da variância captada, as variáveis com maior média dos autovetores nos dois primeiros componentes principais, foram elencadas. O método de agrupamento *K-means* foi adotado como critério de validação da partição resultante da dispersão dos genótipos no plano bidimensional. As variáveis foram submetidas a análise de importância relativa das variáveis (Singh, 1981).

Todas as análises e geração de gráficos e figuras foram realizadas com auxílio do software R version 4.3.1 (2023-06-16 ucrt) e programa Genes (Cruz, 2016).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Condições climáticas

Durante o período de condução do experimento, as temperaturas registradas em Campos dos Goytacazes, RJ, variaram entre 11,9 e 37,8°C, e a temperatura média foi de 23,9°C, com umidade variando entre 20 e 96% e média de 76%. No interior da casa de vegetação, a temperatura variou de 11,8 a 42,2°C, com média de 23,9°C (Figura 1). Para umidade, a mínima foi de 20% e a máxima de 92%. Para a temperatura aferida na superfície do solo, foi observada a variação de 22,6°C a 50°C, e para umidade a variação correspondeu de 20 a 93%. Deste modo, a umidade no ambiente interno da casa de vegetação e na superfície do solo foram similares, com média de aproximadamente 60% (Figura 1).

Os resultados indicam que as condições microclimáticas da casa de vegetação, caracterizadas por amplas oscilações térmicas e UR% reduzida, podem ter limitado o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas, refletindo-se em menor altura e baixa frutificação. Uma vez que a temperatura exerce grande influência na formação e viabilidade do pólen em pimenteiras (*Capsicum* spp.) (Shaked et al., 2004). Rosmaina et al. (2022), ao investigarem o limite crítico de temperatura para o rendimento de *C. annuum*, observaram uma redução de 50% na produção quando a temperatura foi elevada em 2°C por 10 horas, em relação ao controle de 31°C, e uma redução ainda mais drástica, de 89%, sob 39°C/10h.

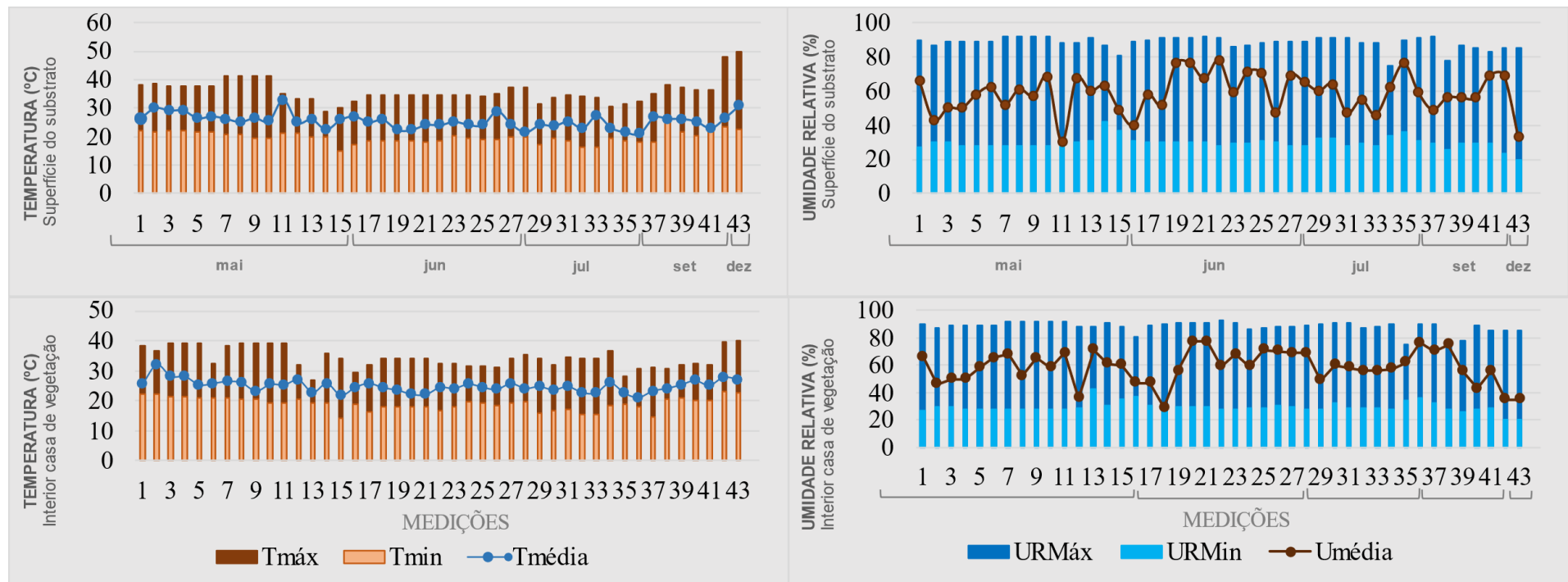


Figura 1. Valores diários de temperatura (°C) máxima, temperatura (°C) mínima, umidade relativa do ar UR (%) máxima e umidade relativa do ar UR (%) mínima observados durante os meses de maio a dezembro de 2024. UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.

Da mesma forma, Souza et al. (2009) concluíram que temperaturas superiores a 30°C podem comprometer o desenvolvimento e a fertilidade dos grãos de pólen, além de que a baixa umidade relativa do ar reduz significativamente a taxa de pegamento dos frutos em cruzamentos interespecíficos entre *C. annuum*, *C. chinense*, *C. frutescens* e *C. baccatum*. Esses fatores combinados podem explicar a baixa frutificação observada no presente estudo.

O plantio foi realizado no outono, com o auge do experimento e a coleta de frutos para análise da reação ao *C. scovillei* no inverno (Figura 2). As pimentas são cosmopolitas, sobrevivem e frutificam em todos os meses no Brasil. Contudo, a produção de espécies do gênero *Capsicum* é influenciada pela temperatura e umidade relativa (Rosmaina et al., 2022).

5.2. Variáveis morfoagronômicas

Dos 47 acessos semeados, 38% não germinaram. O tempo de armazenamento (a partir de 2002) e a alta umidade presente na câmara fria podem ter influenciado a viabilidade das sementes. A maior parte das sementes que estava armazenada em câmara fria e anteriormente a 2007 não germinou. Deste modo, 29 acessos foram caracterizados e avaliados.

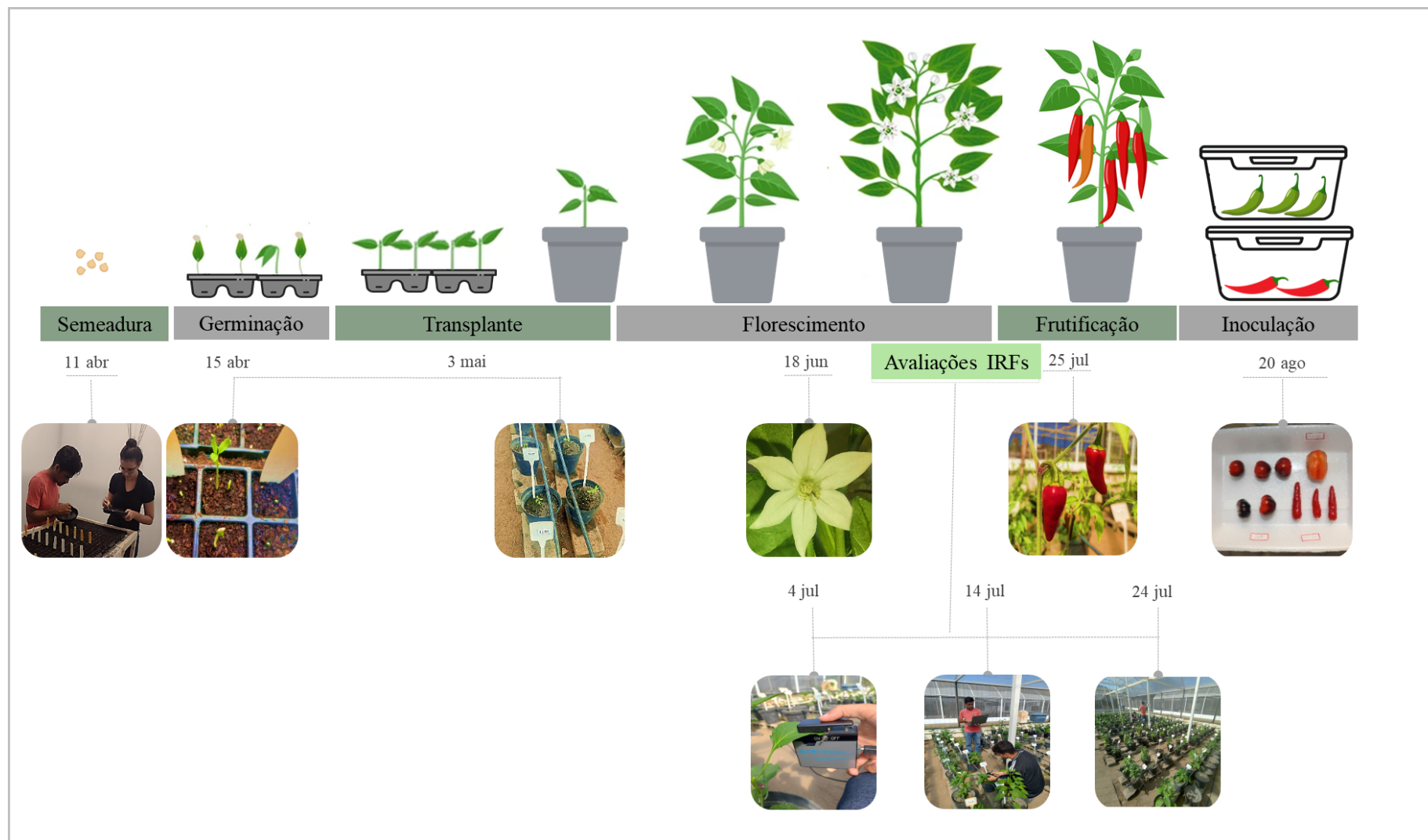


Figura 2. Fenologia de *Capsicum* spp. com respectivas datas entre a semeadura, avaliações dos índices de refletância, até a inoculação dos frutos destacados da planta, em condições de laboratório (11 de abril a 20 de agosto de 2024). UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.

Em relação aos acessos indeterminados, um não germinou. A identificação do acesso que germinou e estava sem registro foi realizada por meio dos descritores, morfológicos (Adaptado de DeWitt; Bosland, 1996), e resultou na identificação daquele acesso como pertencendo à espécie *C. chinense*. Posteriormente, após sua identificação e caracterização, ele foi inserido na coleção de germoplasma sob o código UENF2690 (Figura 3).

A caracterização para cor dos frutos maduros nos 28 acessos estudados, utilizando os descritores do IPGRI (1995), revelou nove padrões distintos de coloração. O acesso UENF2691 apresentou coloração laranja-amarelada. Oito acessos mostraram frutos laranjas: UENF1616, UENF1627, UENF1639, UENF1718, UENF1732, UENF1782, UENF1793 e UENF2690. Quatro acessos exibiram coloração vermelho-clara: UENF1752, UENF1753, UENF1770 e UENF1789. Setes acessos demonstraram frutos vermelhos: UENF1381, UENF1624, UENF1632, UENF1788, UENF1789, UENF2030 e UENF2690. Dois acessos apresentaram coloração vermelho-escura: UENF2692 e UENF2031. Ainda foram observados dois acessos com frutos marrons: UENF1730 e UENF1755, e dois com padrão bicolor de ápice vermelho e base roxa: UENF1765 e UENF1768. Destaques especiais foram o acesso UENF1791, que combinou coloração laranja com estrias roxas, e o UENF1787, com ápice salmão e base roxa. Esta diversidade cromática evidencia a significativa variabilidade fenotípica presente na coleção estudada.

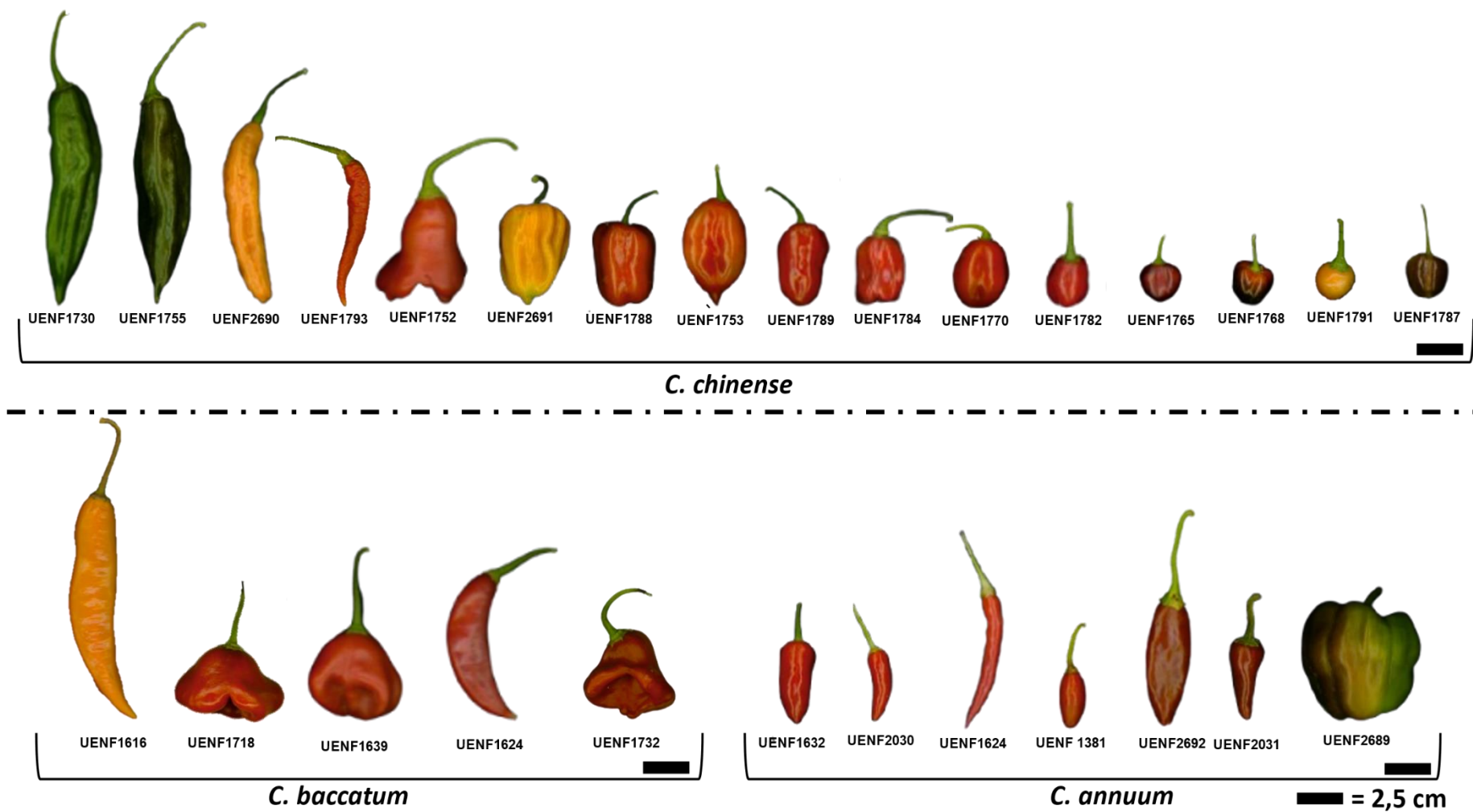


Figura 3. Variabilidade de formas, tamanhos e cores de 28 acessos de *Capsicum* spp. UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.

Houve diferença significativa para todas as variáveis morfoagronômicas avaliadas no presente estudo, conforme indicado pelo teste F ($p \leq 0,01$) (Tabela 1). O coeficiente de variação variou de 6,4 a 14,4. A precisão experimental foi de média a alta para tais características. Segundo Gomes (1984), o coeficiente de variação menor que 10% refletem alta precisão e entre 10 e 20% média precisão experimental.

Tabela 1. Resumo da análise de variância (ANOVA) com estimativas do quadrado médio para quatro variáveis morfoagronômicas de interesse de 29 acessos de *Capsicum* da coleção de germoplasma da UENF

Fontes de variação	Quadrado Médio				
	GL	ALT	DC	DFL	DFR
Tratamentos	28	113,59**	88,34**	2289,69**	2026,12**
Blocos	2	36,59	0,86	22,94	48,62
Resíduo	56	10,19	8,76	19,73	34,22
Total	86	-	-	-	-
CV(%)	-	14,36	11,7	6,36	6,63

^{ns} não significativo, * e ** significativo com $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$, respectivamente, baseado no teste F. GL = Grau de Liberdade; CV (%) = coeficiente de variação experimental. altura da planta (ALT), diâmetro da copa (DC), dias para florescimento (DFL) e dias para frutificação (DFR). UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.

Os acessos avaliados tiveram alta variabilidade para todas as variáveis morfoagronômicas, altura de planta, diâmetro de copa e precocidade. Para todas as variáveis as médias foram agrupadas em quatro grupos. Para altura de planta, *C. annuum* teve a menor média (17,32 cm) considerando o conjunto de acessos avaliado em cada espécie. Por outro lado, *C. baccatum* teve a maior média (27,23 cm). Essas duas espécies tiveram maior variabilidade entre os acessos avaliados com três grupos de média cada (Figura 5). Vale ressaltar que o acesso UENF 2031 teve o dobro da altura média para a espécie *C. annuum*. Este acesso corresponde ao Criollo de Morellos, variedade originária do México com fenótipo similar a variedades silvestres, como alta pubescência e flor arroxçada (Chunthawodtiporn, et al., 2018).

Os acessos UENF 1718, UENF 1624, *C. pubescens* e UENF 2031 formaram o grupo de plantas com as maiores médias de altura, variando de 30,8 a 36,4 cm. Sudré et al. (2005) ao estudarem a divergência genética entre 56 acessos de *Capsicum* spp., em condições de campo, obtiveram valores entre 24 e 115 cm de altura.

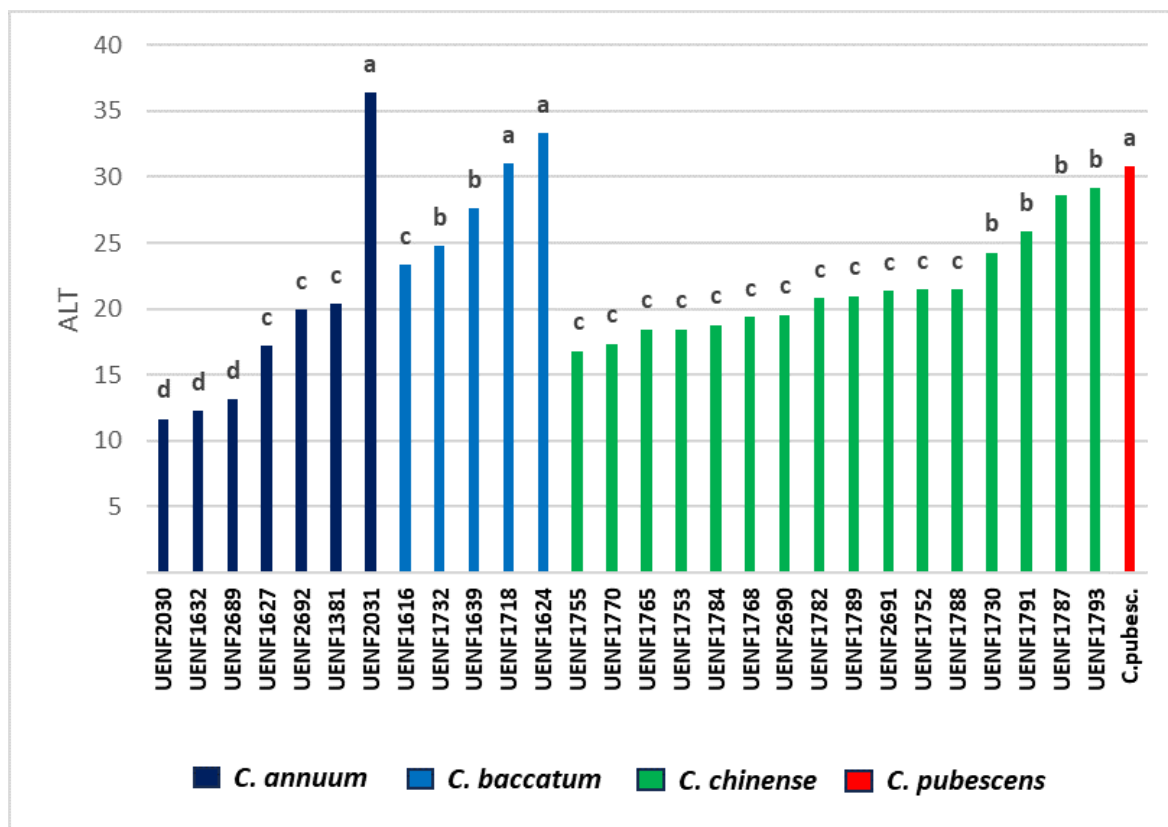


Figura 4. Médias para a variável altura de planta obtidas de 29 acessos de *Capsicum* spp. agrupadas pelo teste Scott-Knott. UENF, Campos dos Goytacazes, RJ. Médias seguidas de mesma letra pertencem a um mesmo grupo teste de agrupamento Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Os valores baixos para altura observados neste trabalho podem ser explicados pelas condições de cultivo, em casa de vegetação cuja amplitude térmica atingiu 22,6°C. Segundo Filgueira (2000), a amplitude térmica na fase reprodutiva não deve exceder 6°C para pimentões (*C. annuum*). Assim, o estresse por temperatura pode ter induzido o florescimento precoce, consequentemente menor altura de planta de acordo com o IPGRI (1995). Elevações térmicas noturnas e no solo aceleram o metabolismo vegetal, reduzindo a assimilação fotossintética

e, conseqüentemente, o desenvolvimento, a biomassa e a frutificação (Bergamaschi, 2007).

Três acessos de *C. annuum*, UENF 1632, UENF 2030 e UENF 2689, apresentaram as menores médias variando de 11,6 a 13,1 cm (Figura 4). Estudos prévios de Silva et al. (2015) e Silva et al. (2017) sobre seleção de genitores de pimenteiras para fins ornamentais identificaram nos acessos UENF1632 e UENF2030 características morfoagronômicas adequadas a essa finalidade, tais como, como menor porte e maiores diâmetros de copa. A altura da planta pode auxiliar na escolha de mercado de destino das plantas e/ou frutos. Plantas menores são preferidas no mercado ornamental. Embora plantas altas não possuam fins diretamente ligados à ornamentação de espaços, estas podem ser cultivadas em jardins funcionais, como jardins de especiarias, medicinais ou de aromáticas (Pessoa et al., 2018).

Para a variável diâmetro de copa, as médias foram agrupadas de forma semelhante ao observado para altura de planta nos acessos de *C. annuum* e *C. baccatum*. Já os acessos de *C. chinense* tiveram um diâmetro médio de copa (24,89 cm) mais próximo ao *C. baccatum* (30,53 cm) (Figura 6). Essas espécies caracterizam-se por arquitetura intermediária. As médias do grupo composto pelos acessos: UENF 1730, UENF 1753, UENF 1789, UENF 2691, UENF 1793, UENF 1718, UENF 1624, UENF 1639, UENF 1732, UENF 2690, variaram entre 28,3 e 33,3 cm. Dois acessos (UENF 2030 e UENF 1632) obtiveram as menores médias para o diâmetro de copa, iguais a 11,7 e 14,0 cm, respectivamente (Figura 5). As menores alturas e diâmetros da copa observados em *C. annuum* podem estar fundamentadas em fatores relacionados à domesticação, melhoramento genético e hábito de crescimento. Uma vez que, esta espécie é a mais amplamente cultivada e melhorada, sendo alvo de intensa seleção artificial ao longo dos séculos. O melhoramento genético frequentemente priorizou cultivares de porte mais compacto, especialmente para facilitar o cultivo em larga escala, o manejo agrícola e a colheita, assim atender as demandas humanas (Tomba, 2012). Além disso, *C. annuum* geralmente apresenta um hábito de crescimento determinado ou semi determinado, o que resulta em plantas mais baixas e compactas em comparação a *C. baccatum* e *C. chinense*, que tendem a ter crescimento mais vigoroso e indeterminado. Estas espécies mantiveram características mais próximas das variedades tradicionais e silvestres, resultando em maior porte vegetativo.

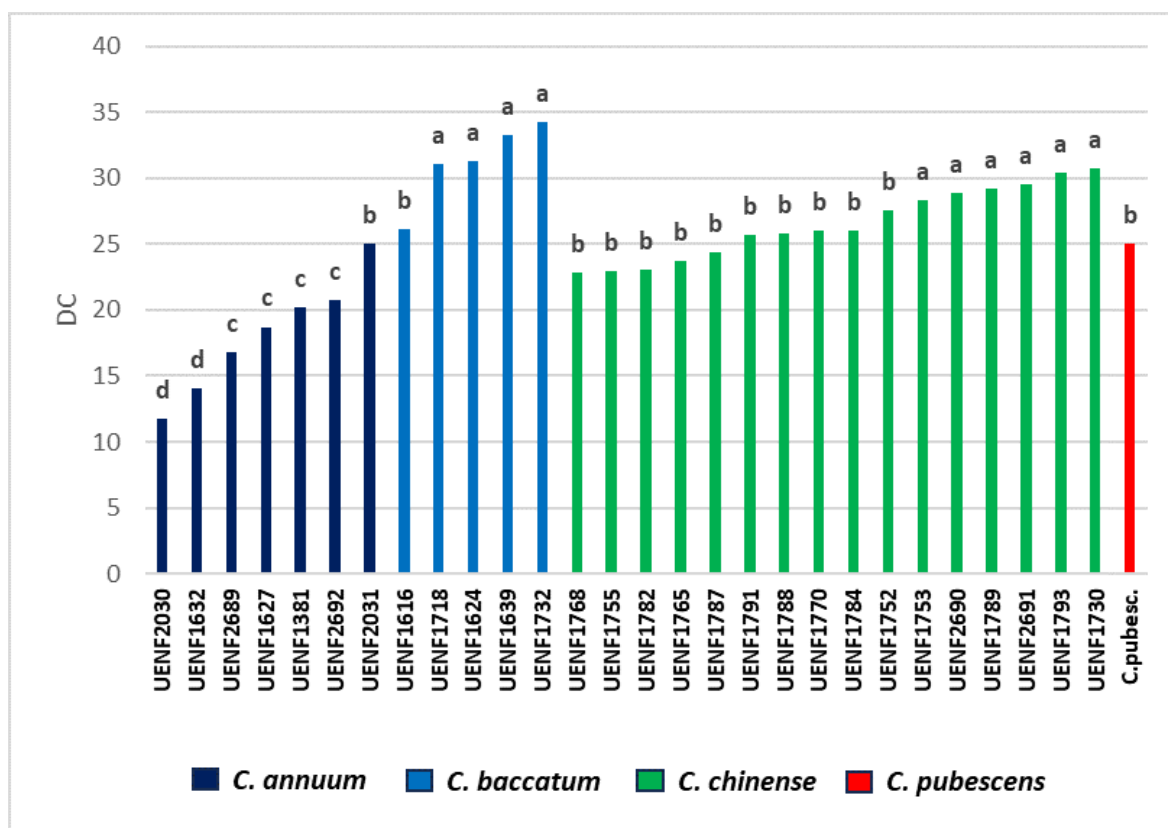


Figura 5. Médias de acessos para variável Diâmetro da Copa (DC) em *Capsicum* spp. agrupadas pelo teste *Scott-Knott*. UENF, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil, 2025. Médias seguidas de mesma letra pertencem a um mesmo grupo teste de agrupamento *Scott-Knott* ($p \leq 0,05$).

Plantas de menor porte e com maiores diâmetros de copa como os acessos UENF 1632, UENF 2030 e UENF2689, podem apresentar potencial considerável para fins ornamentais, uma vez que podem ser cultivados em vasos menores, permitindo maior facilidade em seu manejo e transporte (Stommel e Bosland, 2006).

A precocidade foi avaliada por meio de duas variáveis, dias para florescimento e dias para frutificação (Figura 6 e Figura 7). As médias para a variável dias para florescimento variaram entre 48 e 73 dias, exceto para o único exemplar da espécie *C. pubescens*, que iniciou o florescimento aos 209 dias. Setenta e dois por cento dos acessos floresceram entre 63 e 73 dias, não diferindo estatisticamente, abrangendo representantes de todas as demais espécies. Os acessos que se mostraram mais precoces para o início da floração foram os acessos UENF 2030 e UENF 1627 com 48 e 49 dias após a germinação, respectivamente (Figura 6). Segundo, Silva et al. (2015) a precocidade na floração e frutificação são características comercialmente atrativas para plantas com

potencial ornamental, pois a produção de flores e frutos são altamente valorizadas nesse contexto.

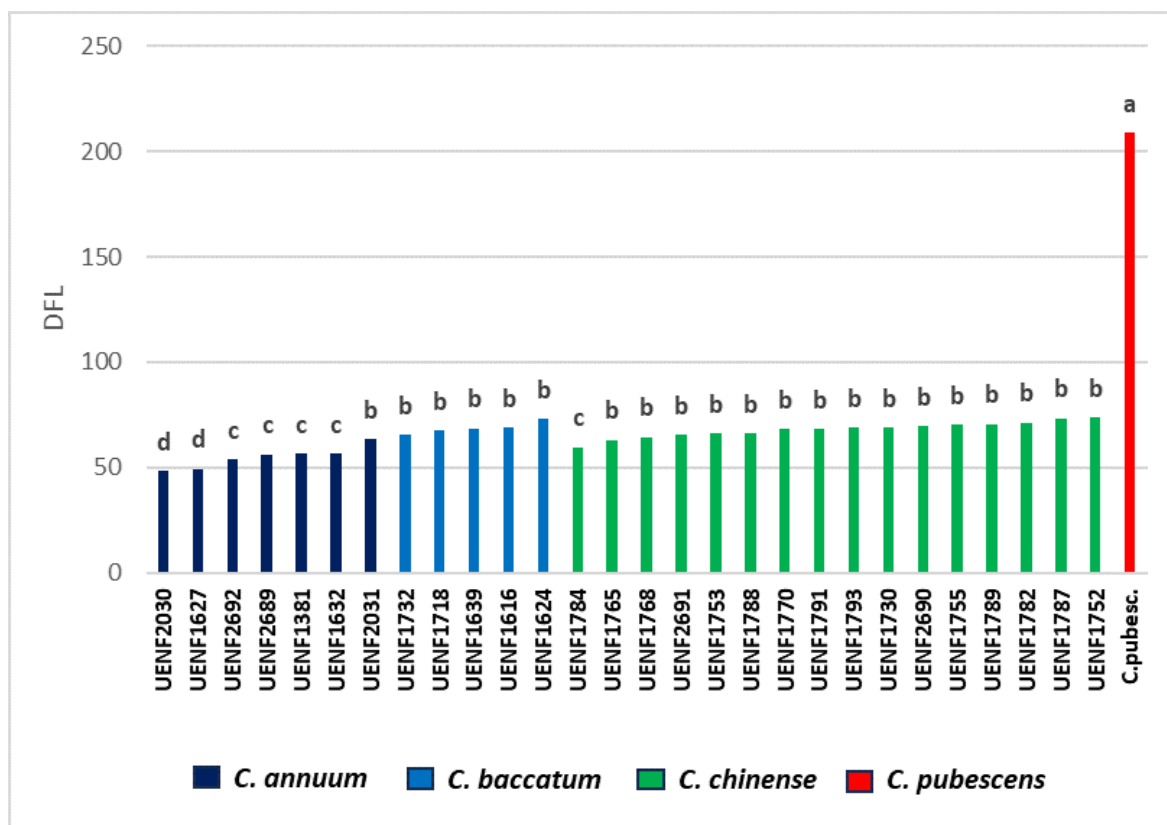


Figura 6. Médias de 29 acessos de *Capsicum* spp. para variável dias para florescimento agrupadas pelo teste *Scott-Knott*. UENF, Campos dos Goytacazes, RJ. Médias seguidas de mesma letra pertencem a um mesmo grupo teste de agrupamento *Scott-Knott* ($p \leq 0,05$).

O florescimento tardio do acesso de *C. pubescens* provavelmente está relacionado à origem andina desta espécie, nativa de regiões de alta altitude no Peru, Bolívia e Equador, onde as condições ambientais são mais frias e úmidas. Segundo Serna-Lagunes et al. (2020) e Barboza et al. (2022), as regiões onde essa espécie é encontrada possuem clima do tipo *Cf*, sendo classificado como temperado úmido, com temperaturas anuais entre 5 e 18°C, com baixa oscilação térmica entre 5 e 7°C e altitudes de 1200 a 3500 m. Esse ambiente selecionou sementes com dormência mais pronunciada e mecanismos de germinação adaptados a temperaturas mais baixas e ciclos de umidade específicos (Pérez e Castro, 2012; Merino-Valdés et al., 2018). Já *C. annuum*, *C. baccatum* e *C. chinense* são cultivados em regiões tropicais e subtropicais de menor altitude, onde a germinação rápida confere vantagem competitiva (Bosland e Votava, 2012).

A correlação entre as variáveis DFL e DFR foi de 93%. Ambos os eventos são fases interdependentes do ciclo reprodutivo das plantas. A variação entre

acessos para a variável DFR pode estar associada ao tamanho do fruto, uma vez que frutos menores amadurecem mais rápido que frutos maiores. Os acessos mais precoces para frutificação foram os acessos da espécie *C. annuum* (UENF1632 e UENF2692), *C. pubescens* até a finalização deste estudo, aos 213 dias não houve frutificação (Figura 7).

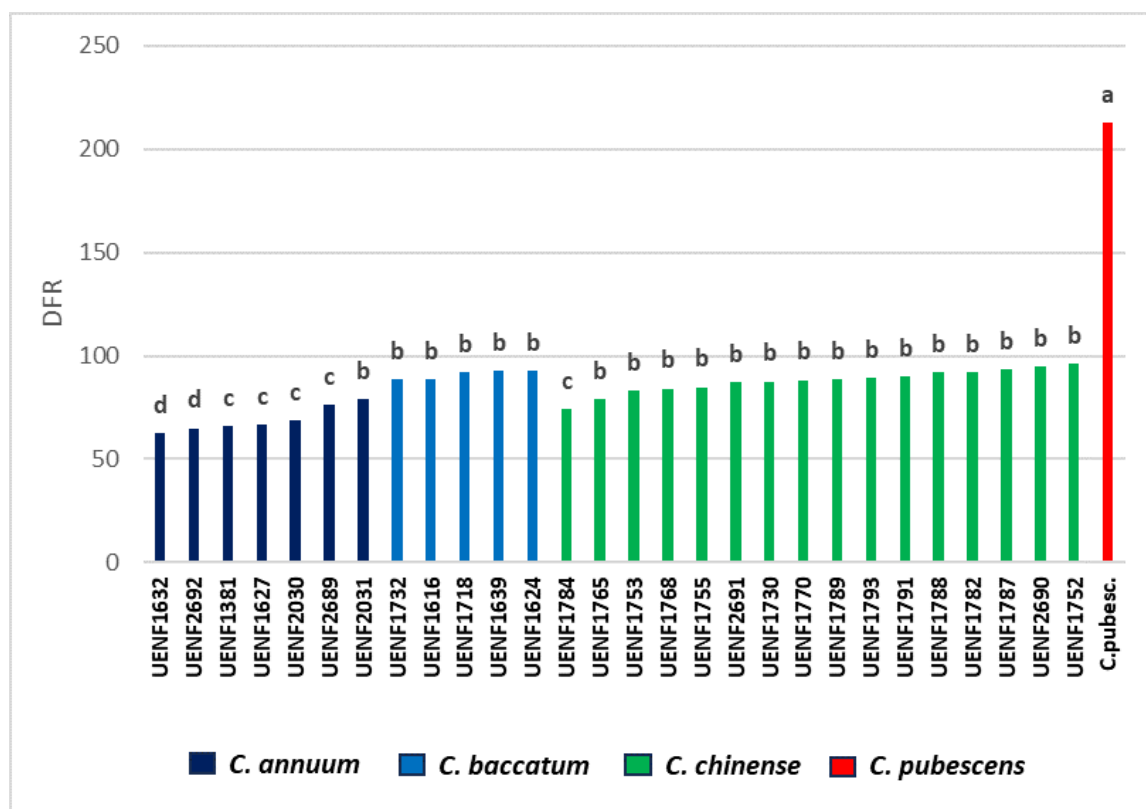


Figura 7. Médias de 29 acessos de *Capsicum* spp. para a variável dias para frutificação agrupadas pelo teste Scott-Knott. UENF, Campos dos Goytacazes, RJ. Médias seguidas de mesma letra pertencem a um mesmo grupo teste de agrupamento Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

5.3. Reação de resistência ao *Colletotrichum scovillei*

Dos 29 acessos avaliados, *C. pubescens* e UENF 1624 não foram submetidos à análise da reação ao *Colletotrichum scovillei* em frutos imaturos, devido à ausência de frutificação, atribuída ao ciclo fenológico mais tardio e ao aborto floral. No entanto, o acesso UENF1624, em estudos prévios, foi moderadamente e altamente resistente aos isolados 8.1 e 13 de *C. scovillei*,

respectivamente (Almeida et al., 2020), além de se ser altamente resistente a *Xanthomonas euvesicatoria* e ao *Pepper yellow mosaic virus* (Bento et al., 2017).

Quanto à avaliação em frutos maduros, nove acessos não produziram frutos em condições adequadas durante o período estabelecido para análise. A diversidade de espécies estudadas influenciou a heterogeneidade no ciclo de desenvolvimento (Sudré et al., 2005). Devido à ausência de distribuição normal, a maioria das variáveis associadas à resistência foram transformadas, com exceção do PI para frutos imaturos (PLi) e do PL para frutos maduros (PLm). Observou-se diferença altamente significativa para todas as variáveis de resistência em ambos os estádios de desenvolvimento, exceto para o PLm, que apresentou significância em nível de 5% de probabilidade. O coeficiente de variação variou entre 5,8% e 42,2%. As variáveis PLm e NF para frutos maduros (NFm) demonstraram alta precisão, enquanto a AACPD em ambos os estádios e o PLi apresentaram precisão média. Já o PLi e o NF para frutos imaturos (NF_i), bem como o PLm, exibiram baixa precisão, conforme os critérios estabelecidos por Gomes (1984) (Tabela 2).

Em frutos imaturos, o PI variou de 2,2 a 5,9 dias. Três grupos foram identificados para essa variável. Os acessos UENF1755 (*C. chinense*) e UENF2031 (*C. annuum*) destacaram-se com as maiores médias, diferindo estatisticamente do controle resistente. O PLm variou de 1,7 a 4,4 dias, formando dois grupos pelo teste *Scott-Knott*. Acessos que apresentaram maior intervalo para surgimento dos sintomas abrangeram as espécies *C. annuum* (UENF2031, UENF1632, UENF2692), *C. baccatum* (UENF1732) e *C. chinense* (UENF1752, UENF1753, UENF1768 e UENF1770) (Figura 8).



Figura 8. Frutos maduros e imaturos de acessos de *C. annuum* (UENF1381), *C. baccatum* (UENF1732) e *C. chinense* (UENF1753) inoculados com o *C. scovillei*. Registro em três momentos distintos de avaliação (1, 3 e 8 dias), acessos com alta resistência. UENF, Campos dos Goytacazes, RJ

Os acessos apresentaram variação no PLm, oscilando entre 4,6 e 8,1 dias, resultando em um diferencial de 3,5 dias, em ambos os estádios de maturação (Figura 9). Períodos de latência mais longos implicam em um menor número de ciclos do patógeno tanto no campo quanto no período pós-colheita, o que reduz a quantidade de inóculo disponível para o início de novas infecções (Amorim, 1995). Observou-se a formação de dois e três grupos, nas avaliações de frutos imaturos e maduros, respectivamente. Em ambos os casos, o UENF 1381 ficou alocado no grupo de maior média, juntamente com outros 11 acessos na avaliação de imaturos e 10 acessos na avaliação de maduros. Estes materiais englobam três espécies (*C. chinense*, *C. baccatum*, *C. annuum*).

Tabela 2. Resumo da análise de variância (ANOVA) com estimativas do quadrado médio para quatro variáveis de resistência em dois estádios de maturação em 27 e 18 acessos de *Capsicum* da coleção de germoplasma da UENF, Campos dos Goytacazes, RJ

Fontes de variação	Frutos imaturos					Frutos maduros				
	GL	AACPD	PI	PL	NF	GL	AACPD	PI	PL	NF
Tratamento	26	1,59**	2,76**	274,68**	1,33**	17	1,76**	0,015**	3,14**	0,33**
Bloco	2	0,25	2,15	54,08	1,76	2	0,18	0,01	0,19	0,04
Resíduo	52	0,68	0,51	116,58	2,86	34	0,09	0,03	0,26	0,03
Total	80	-	-	-	-	53	-	-	-	-
CV (%)		17,62	19,61	21,51	26,12		5,79	42,17	7,86	8,58

^{ns} não significativo, * e ** significativo com $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$, respectivamente, baseado no teste F. GL = Grau de Liberdade; CV (%) = coeficiente de variação experimental. Período de incubação (PI), período latente (PL), nota final (NF) e área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD) em frutos imaturos e maduros. UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.

O Período de Incubação (PI) refere-se ao intervalo de dias entre a infecção pelo patógeno e o surgimento dos primeiros sintomas da doença, enquanto o período latente faz referência ao intervalo de dias entre a infecção e o surgimento dos primeiros sinais do patógeno, tais como a presença de hifas ou de acérvulos (Araújo et al., 2022). Plantas que apresentam maiores os valores de PI e de PL, tendem a ter resistência à colonização por patógenos (Vallavieille et al., 2000). Logo, o conhecimento do Período de Incubação (PI) e do Período Latente (PL) é fundamental para a tomada de decisões no manejo da antracnose, pois permite definir o momento ideal para aplicações preventivas de fungicidas e outras estratégias (Bergamin et al., 2001). Um dos princípios do melhoramento genético para resistência a doenças é o desenvolvimento de estratégias que prolonguem a durabilidade da resistência a um determinado patógeno. Entre essas estratégias, destaca-se a redução da pressão de seleção, que pode levar à quebra da resistência. Nesse contexto, um PL mais longo está associado a uma menor pressão de seleção, contribuindo para a sustentabilidade da resistência no campo.

A extensão do período latente impacta diretamente a epidemiologia da antracnose no campo, reduzindo o número de ciclos da doença ao longo do ciclo da cultura. Isso ocorre porque o *Colletotrichum* tem menos oportunidades de esporulação e infecção de novos tecidos, resultando em uma menor taxa de progresso da doença (Bergamin Filho et al., 1997). Genótipos com maior período latente tendem a apresentar menor severidade da antracnose, caracterizando um mecanismo de resistência parcial. A seleção de materiais com essa característica pode ser uma estratégia eficiente no manejo integrado da antracnose, minimizando a dependência de fungicidas e promovendo a sustentabilidade da produção agrícola. Além disso, o aumento do período latente pode contribuir para a pós-colheita, retardando a manifestação da doença em frutos aparentemente sadios, o que reduz perdas durante o armazenamento e a comercialização

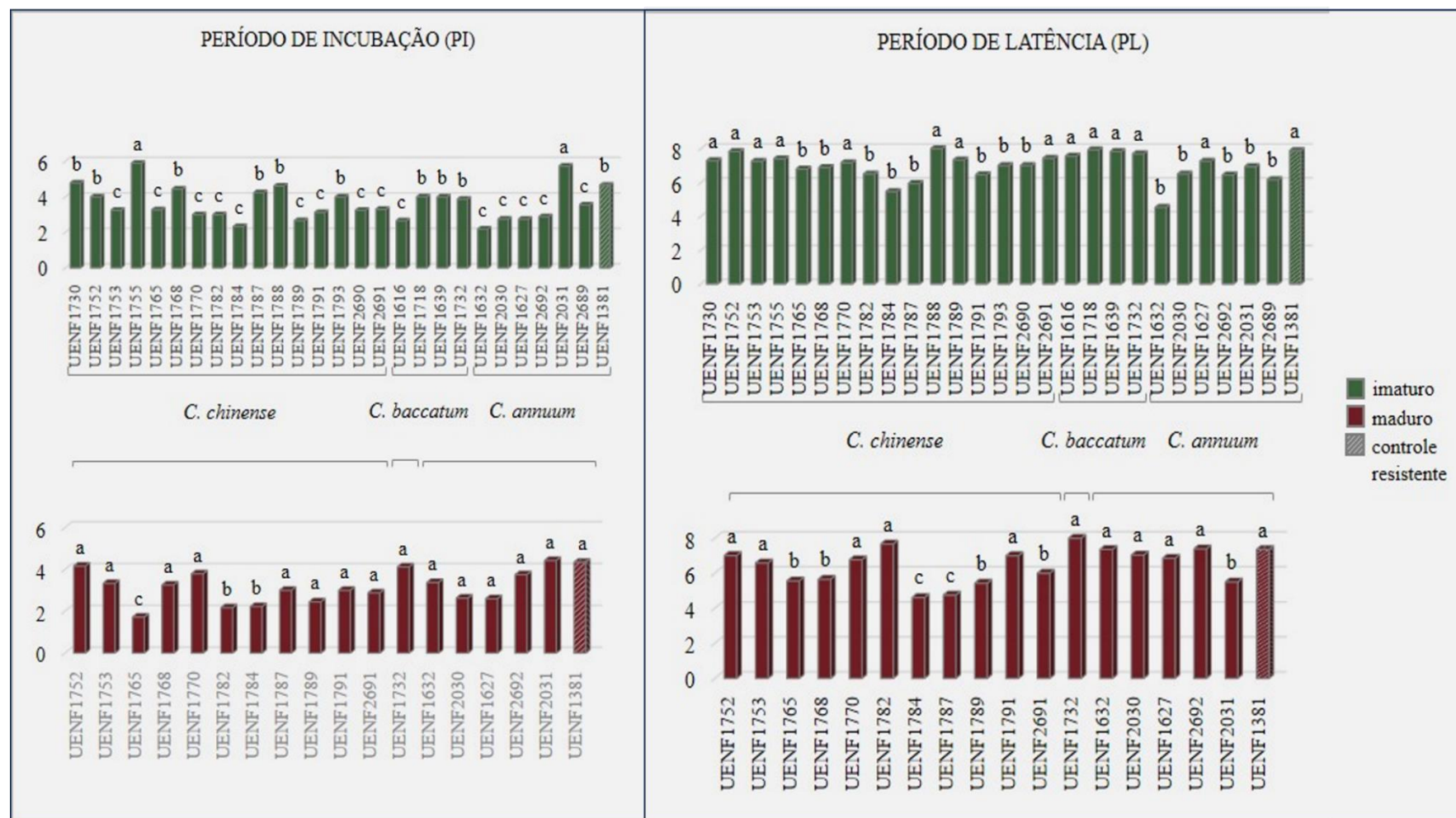


Figura 9. Médias de 27 e 18 acessos de frutos imaturos e maduros de *Capsicum* spp. para a variáveis, Período de Incubação (PL) e Período Latente (PI) em frutos maduros agrupadas pelo teste *Scott-Knott*. UENF, Campos dos Goytacazes, RJ. Médias seguidas de mesma letra pertencem a um mesmo grupo teste de agrupamento *Scott-Knott* ($p \leq 0,05$).

De acordo com o teste de agrupamento hierárquico *Scott-Knott*, houve variabilidade para resistência ao *Colletotrichum scovillei*. Identificou-se dois e quatro grupos para AACPD_i e AACPD_m, respectivamente (Figura 10). O grupo com as menores médias em frutos imaturos reuniu além do controle resistente (UENF1381) outros 12 acessos. Na análise em frutos maduros, o acesso UENF1732, único representante da espécie *C. baccatum*, ficou isolado em grupo com a menor AACPD_m. Os acessos UENF1632, UENF2692 (*C. annuum*), UENF1752 e UENF1782 (*C. chinense*) foram agrupados junto com o controle resistente, *C. annuum* (UENF1381). As maiores médias de AACPD_m foram observadas em UENF1765, UENF1784, UENF1787 e UENF1789, todos pertencentes à espécie *C. chinense* (Figura 10). Dentre os acessos com maior resistência, destacou-se o UENF1732. Esse acesso já foi previamente estudado para dois isolados de *C. scovillei*, e pelo índice de distância genótipo-ideótipo foi considerado resistente, conforme observado no estudo de Almeida et al. (2019).

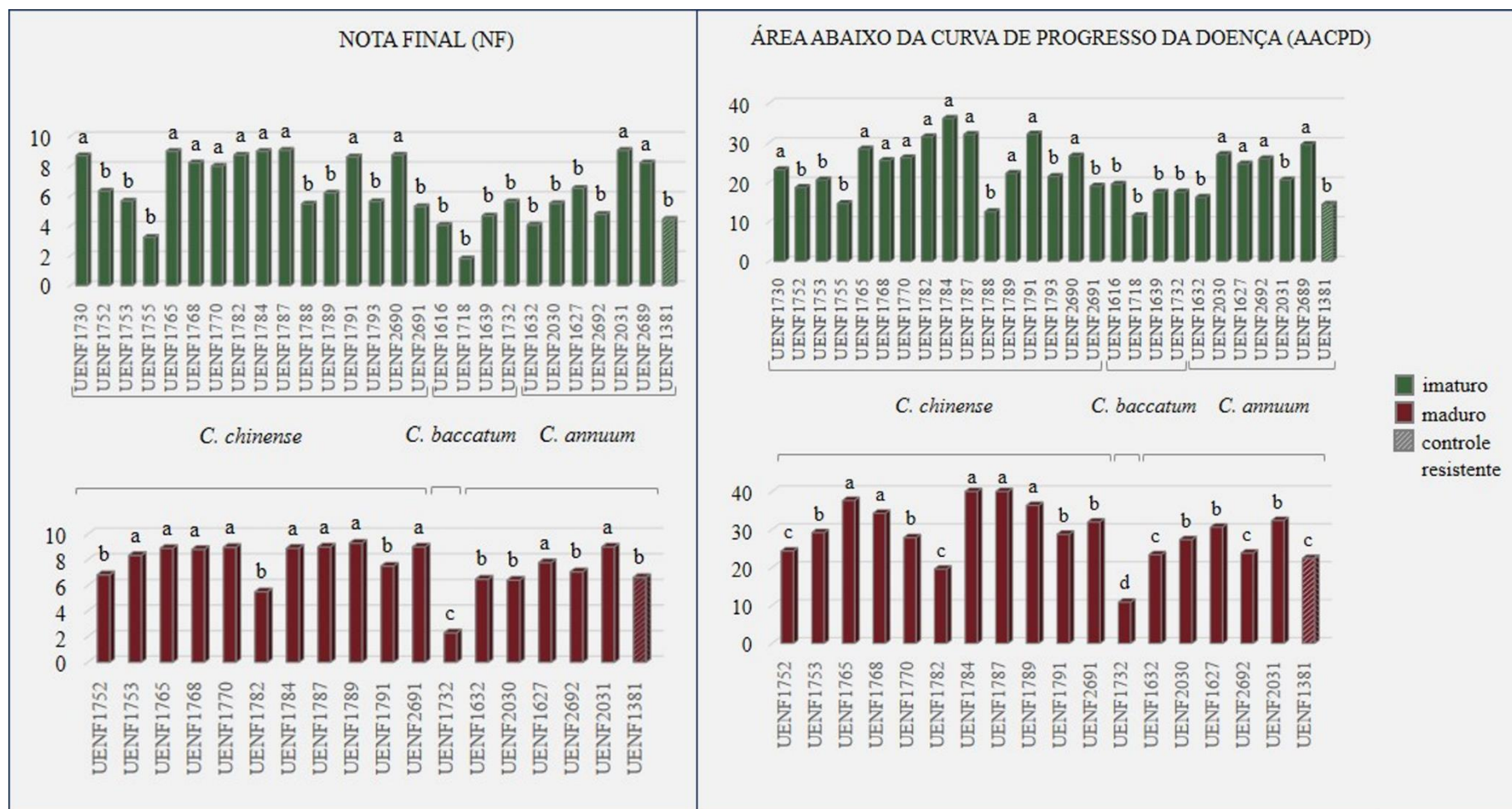


Figura 10. Médias de 27 e 18 acessos de frutos imaturos e maduros de *Capsicum* spp. para a variáveis, Nota Final (NF) e Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), agrupadas pelo teste *Scott-Knott*. UENF, Campos dos Goytacazes, RJ. Médias seguidas de mesma letra pertencem a um mesmo grupo teste de agrupamento *Scott-Knott* ($p \leq 0,05$).

Os acessos UENF1782, UENF1789 e UENF2692 tiveram reações distintas conforme o estágio de maturação. Os dois primeiros foram considerados resistentes quando imaturos e suscetíveis quando maduros, já o acesso UENF2692 foi suscetível quando imaturo e resistente quando maduro (Figura 11). Segundo Kethom e Mongkolporn (2021), o diferencial de resistência à antracnose em distintos estádios de maturação dos frutos é comumente encontrado em pimentas do gênero *Capsicum*. Giacomini et al. (2020), afirmam que a resistência ao *C. scovillei* em *C. annuum* ocorre de maneira independente nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos, devido à associação de dois genes principais que incluem a expressão gênica de aspectos quantitativos. Esses genes mostram dominância parcial em frutos imaturos e dominância completa em frutos maduros.

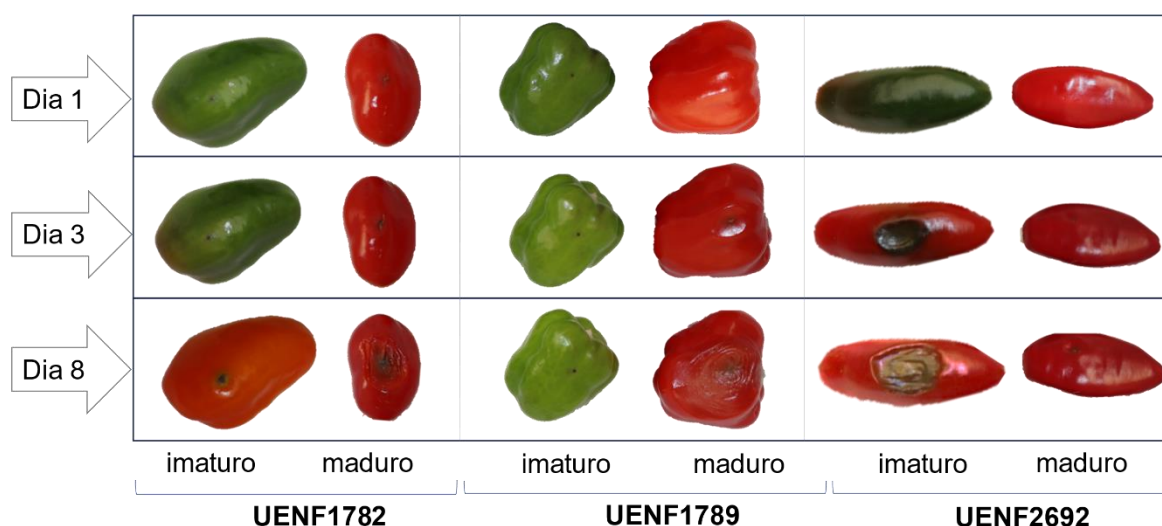


Figura 11. Diferenças na reação ao *C. scovillei* em frutos imaturos e maduros de acessos de *Capsicum* spp. Intervalos de 1, 3 e 8 dias. Acessos, UENF1782; UENF1789 e UENF2692. Campos dos Goytacazes, RJ.

Segundo Cui et al. (2023), a resistência à antracnose em acessos como PBC80 da espécie *C. baccatum* é atribuída ao gene *PR10*, cuja expressão depende do estágio de maturação dos frutos e está relacionada ao acúmulo de metabólitos energéticos (açúcares) e de defesa (antioxidantes). Os autores também sugerem uma associação de genes responsivos ao ácido salicílico (SRGs). Genes

específicos, como BJ03029B07 e BJ03028G01, encontrados em *C. annuum* (UENF1381), podem estar associados à resistência a várias espécies de *Colletotrichum* que causam antracnose em frutos maduros, incluindo *C. scovillei* e *C. siamense*, e à produção de peptídeos antimicrobianos, como defensinas e inibidores de protease. Além da produção de metabólitos secundários em altas concentrações de ácidos cafeico e clorogênico em resposta à *C. siamense*. Assim como em *C. baccatum*, a expressão desses genes também foi dependente do estágio de maturação dos frutos e o tempo pós-inoculação.

A resistência a *C. scovillei* em *C. annuum* é herdada de forma independente nos diferentes estágios de desenvolvimento dos frutos. Dois genes principais, possivelmente distintos e com efeitos poligênicos associados, foram identificados. O controle genético caracteriza-se por dominância parcial em frutos imaturos e dominância total em frutos maduros (Mahasuk et al., 2009; Bispo, 2024).

A nota no oitavo dia de avaliação variou entre 1,8 e 9,0 e entre 2,3 e 9,0 para frutos imaturos e maduros, respectivamente. Em frutos imaturos, identificou-se dois grupos, sendo o de menor média composto pelo UENF 1381 e 15 acessos (sete de *C. chinense*, quatro de *C. baccatum* e quatro de *C. annuum*) e o grupo mais suscetível ao *C. scovillei* foi composto por nove acessos de *C. chinense* e dois de *C. annuum*. Em frutos maduros, o genótipo UENF1732 recebeu a menor nota, formando um grupo único, sendo coerente com o observado para a AACPDm. O segundo grupo, com menor média para nota, incluiu o UENF1381, três acessos de *C. annuum* (UENF1632, UENF2030 e UENF2692) e três acessos de *C. chinense* (UENF1784 e UENF1787).

5.4. Associações entre variáveis morfoagronômicas, de reação à antracnose e índices de refletância foliar

A correlação de Pearson foi utilizada para avaliar as associações entre os índices de refletância foliar (IRFs) ao início da floração (80 dias), início da frutificação (90 dias) e final da frutificação (100 dias), a resistência à antracnose e as variáveis morfoagronômicas. As correlações acima de 90%, consideradas muito fortes foram identificadas entre variáveis pertencentes à mesma categoria, indicando uma forte relação interna entre os parâmetros avaliados.

Na primeira avaliação, correspondente ao estágio de início da floração, para os IRFs e variáveis morfoagronômicas, foram identificadas 43 correlações fracas e

31 correlações moderadas, com valores variando entre positivos e negativos no intervalo de 0,40 a 0,66, além de quatro correlações fortes, que variaram de 0,70 a 0,81. Entre as correlações moderadas, destacam-se: VREI3 x DC (0,46), VREI3 x DFR (0,43), VREI2 x DFL (0,43), VREI2 x DFR (0,42), VREI1 x DC (-0,52), VREI1 x DFL (-0,40), VREI1 x DFR (-0,47), SRPI x DFL (0,60), SRPI x DFR (0,63), NPCI x DFL (-0,56), NPCI x DFR (-0,63), NDVI x ALT (0,53), NDVI x DC (0,58), NDVI x DFL (0,55), NDVI x DFR (0,44), PSRI x DC (-0,56), PSRI x DFL (-0,70), PSRI x DFR (-0,58), PRI x DC (0,74), PRI x DFL (0,77), PRI x DFR (0,81), Lic1 x ALT (0,43), Lic1 x DC (0,43), Lic1 x DFL (0,46), G x DC (0,42), G x DFL (0,58), G x DFR (0,54), Ctr2 x ALT (-0,43), SIPI x ALT (0,46), SIPI x DC (0,49), SIPI x DFL (0,42), CRI2 x DC (0,52), CRI1 x DC (0,51) e ARI1 x DC (0,41) (Figura 12).

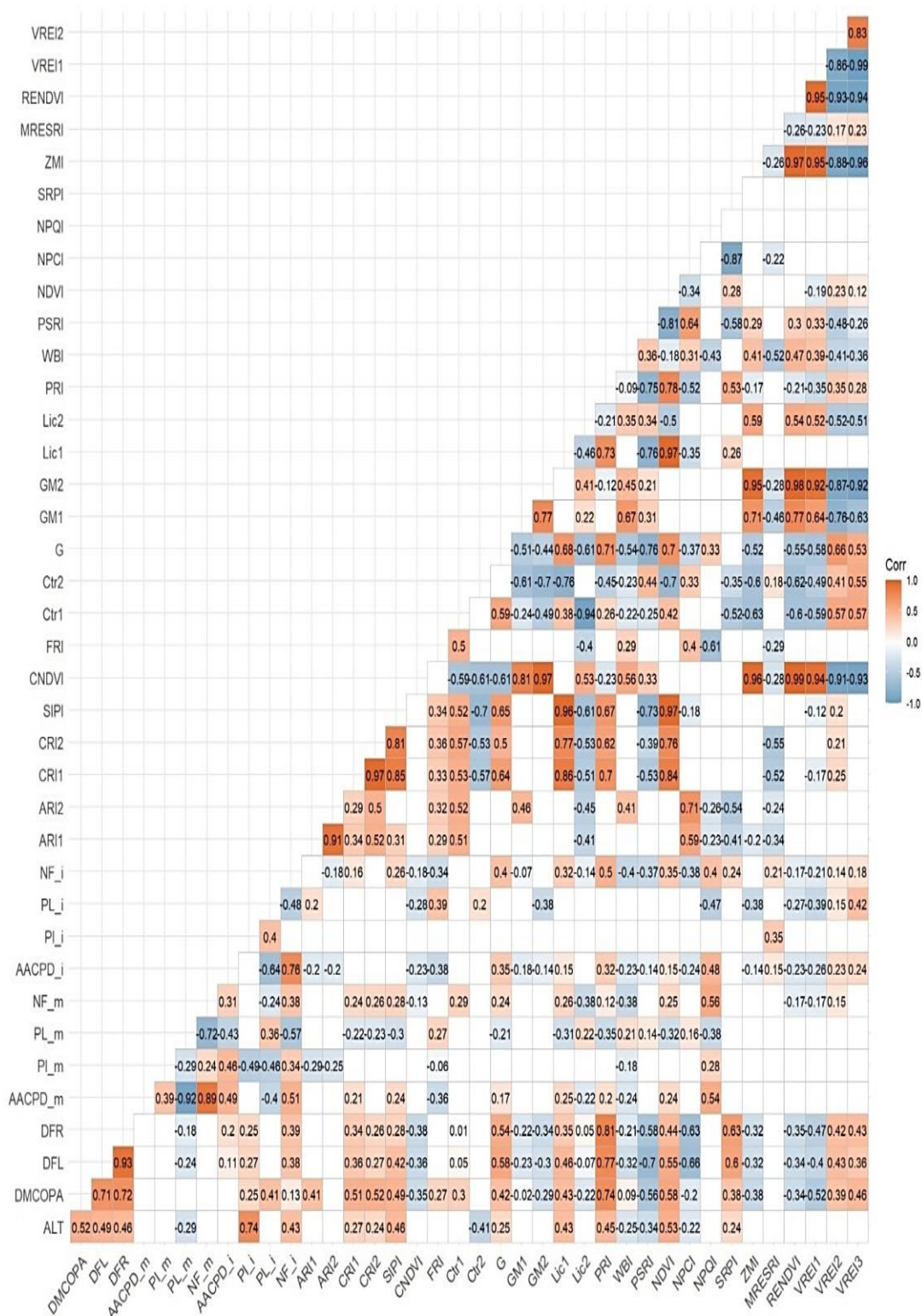


Figura 12. Correlações na primeira avaliação (Início do florescimento - 80 dias) para atributos morfoagronômicos (ALT, DC, DFL e DFR), reação à antracnose (PI, PL, NF e AACPD) em frutos: imaturos (i) e maduros (m); Fisiológicos (IRFs) entre acessos de *Capsicum* spp.

Para o início da floração, os índices associados ao conteúdo de clorofila (G, NDVI), carotenoides (SIPI, CRI1, CRI2) e eficiência fotossintética (PRI) desempenham um papel importante no crescimento vegetativo e no ciclo reprodutivo das plantas. As correlações positivas com DC, DFL e DFR indicam que plantas com maior vigor vegetativo e eficiência fotossintética tendem a ter copas maiores e um ciclo reprodutivo mais equilibrado. As correlações negativas com o PSRI sugerem que a senescência foliar está associada a um menor crescimento vegetativo e a um ciclo reprodutivo mais curto, possivelmente como uma resposta ao estresse.

Para as correlações entre os IRFs e as variáveis de resistência, foram observadas 86 correlações fracas e nove correlações moderadas. O Índice de Feofitinação (NPQI) destacou-se com cinco correlações moderadas: NPQI x NFi (0,40), NPQI x PLi (-0,47), NPQI x AACPDi (0,48), NPQI x NFm (0,56) e NPQI x AACPDm (0,54). Esses resultados sugerem que a degradação da clorofila nas folhas, refletida pelo NPQI, está associada a uma maior suscetibilidade à doença em frutos imaturos e maduros, além de uma resposta mais rápida à infecção em frutos imaturos. Além disso, outros índices também apresentaram correlações moderadas: G x NFi (0,40), PRI x NFi (0,50) e WBI x NFi (-0,40). Essas correlações indicam que o conteúdo de clorofila (G), a eficiência fotossintética (PRI) e o conteúdo de água nas folhas (WBI) podem influenciar a resistência dos frutos imaturos de maneiras distintas. No entanto, a maioria das correlações foi moderada, reforçando a ideia de que, embora exista uma conexão fisiológica entre folhas e frutos, a resistência dos frutos também é influenciada por fatores específicos que não são capturados pelos IRFs foliares (Figura 16).

Na segunda avaliação, correspondente ao estágio de início da frutificação (90 dias), foi observada uma redução no número de correlações moderadas entre as variáveis morfoagronômicas e os índices de refletância foliar (IRFs), com apenas 13 correlações moderadas e 33 correlações do tipo fraca. Entre as correlações moderadas, destacam-se: ARI1 e ARI2 x DFR (-0,40 e -0,42), G x DFL (0,46), G x DFR (0,49), NPQI x DC (-0,59), SRPI x DFR (0,41), VREI2 x ALT (0,46), VREI2 x DC (0,54), VREI3 x ALT (0,48), VREI3 x DC (0,53), PSRI x DFL (-0,46) e PSRI x DFR (-0,52). Esses resultados sugerem que, no início da frutificação, a relação entre a fisiologia das folhas e o desenvolvimento dos frutos se torna mais complexa, com outros fatores (como a alocação de recursos para os frutos) ganhando maior

relevância. O PSRI, que reflete a senescência foliar, apresentou correlações negativas moderadas com os DFL e os DFR, indicando que plantas com maior senescência foliar tendem a ter um ciclo reprodutivo mais curto, possivelmente como uma resposta ao estresse. Para as correlações entre os índices de refletância foliar (IRFs) e as variáveis de resistência, observou-se um aumento substancial no número de correlações moderadas, totalizando 31, com valores variando de 0,40 a 0,62, em comparação ao estágio de início da floração, onde predominaram correlações fracas. Entre as correlações moderadas, destacam-se: VREI2 x NFi (0,52), MRESRI x AACPDm (-0,62), MRESRI x Plm (-0,50), MRESRI x PLm (0,59), MRESRI x NFm (-0,46), MRESRI x Pli (0,50), NPQI x NFi (-0,40), NDVI x AACPDm (0,42), NDVI x PLm (-0,43), WBI x AACPDm (-0,49), WBI x Plm (-0,50), WBI x PLm (0,46), WBI x NFm (-0,46), WBI x NFi (-0,41), Lic2 x NFm (-0,40), Lic1 x AACPDm (0,46), Lic1 x PLm (-0,47), CNDVI x Pli (-0,41), SIPI x AACPDm (0,58), SIPI x Plm (0,42), SIPI x PLm (-0,53), SIPI x NFm (0,40), SIPI x AACPDi (0,49), CRI2 x AACPDm (0,55), CRI2 x Plm (0,40), CRI2 x PLm (-0,49), CRI2 x AACPDi (0,61), CRI2 x Pli (-0,55), CRI2 x PLi (-0,50) e CRI1 x Pli (-0,46) (Figura 13).

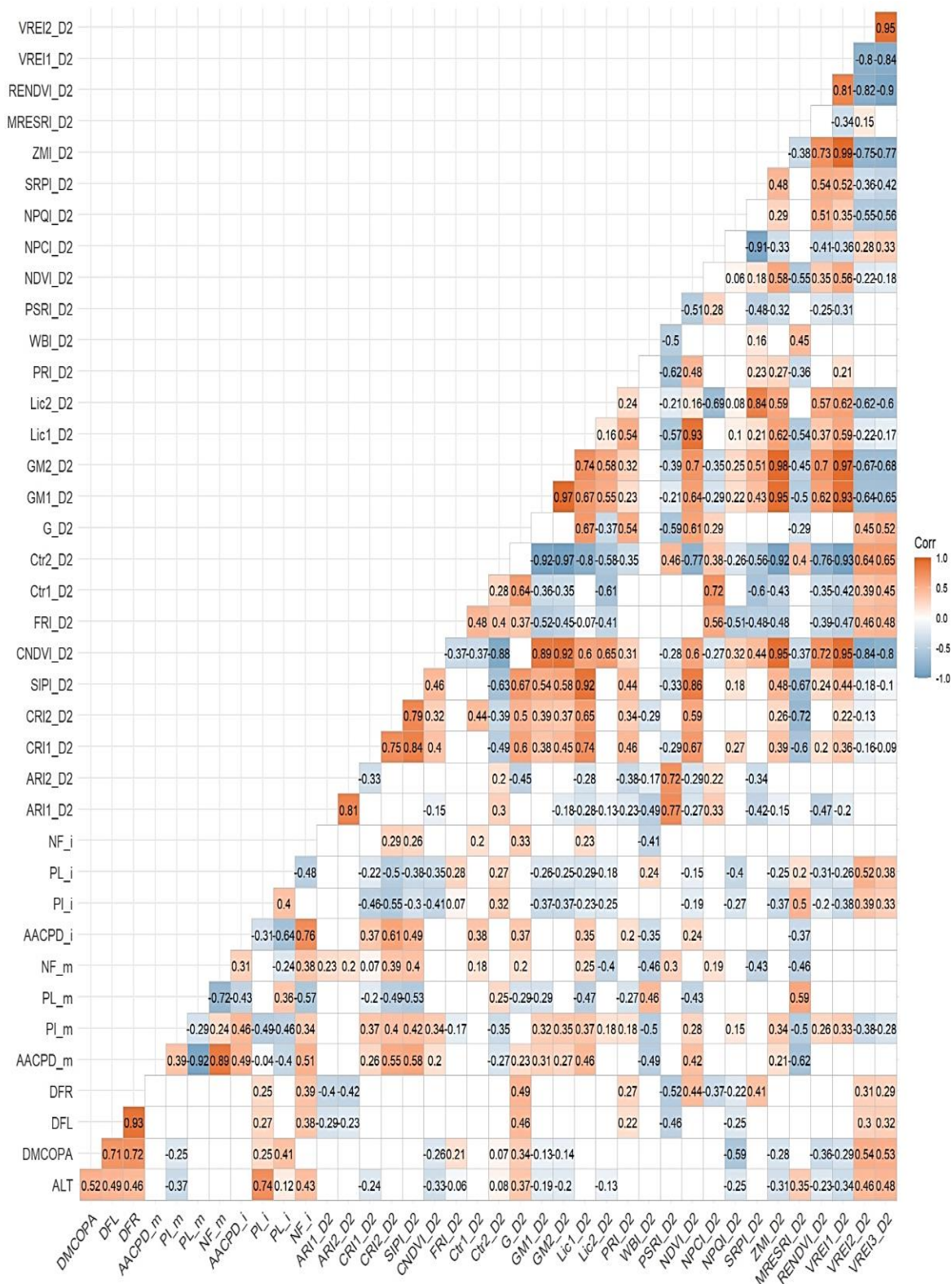


Figura 13. Correlações na segunda avaliação (Início da frutificação - 90 dias) para atributos morfoagronômicos (ALT, DC, DFL e DFR), reação à antracnose (PI, PL, NF e AACPD) em frutos: imaturos (i) e maduros (m); Fisiológicos (IRFs) entre acessos de *Capsicum* spp.

Essas correlações demonstram que houve uma maior conexão fisiológica entre as folhas e os frutos nesse estágio, com os índices relacionados ao conteúdo de carotenoides (SIPI, CRI1, CRI2) e à índices relacionados ao teor de clorofila, tais como o índice de Vogelmann (VREI2), índice de razão simples da borda vermelha modificado (MRESRI) desempenhando um papel importante na resistência dos frutos. As correlações negativas com o Período de Latência (PL) e o Período de Incubação (PI) indicam que plantas com maior conteúdo de carotenoides e maiores teores de clorofila em folhas tendem a ter uma resposta mais rápida à infecção em frutos (Figura 17).

Na terceira avaliação, com 100 dias após a germinação, correspondente ao estágio fenológico finalização da frutificação, foram observadas 42 correlações fracas, 21 correlações moderadas (variando de 0,40 a 0,66) e três correlações fortes (0,70 a 0,75) entre os índices de refletância foliar (IRFs) e as variáveis morfoagronômicas. Entre as correlações moderadas, destacam-se: VREI3 x DC (0,48), VREI2 x DC (0,50), MRESRI x ALT (0,50), MRESRI x DC (0,66), NPQI x DFR (-0,40), NDVI x DFL (0,47), NDVI x DFR (0,60), PSRI x DFR (-0,61), PSRI x DFL (-0,48), WBI x DC (0,66), WBI x DFL (0,54), WBI x DFR (0,60), PRI x DFL (0,55), Lic1 x DFL (0,42), Lic1 x DFR (0,54), G x DFL (0,65), SIPI x DFL (0,45), SIPI x DFR (0,50), CRI2 x DC (-0,42), CRI1 x DC (-0,58) e CRI1 x DFR (-0,40). As correlações fortes foram: CRI1 x PLi (0,70), G x DC (0,74) e PRI x DFR (0,75) (Figura 14).

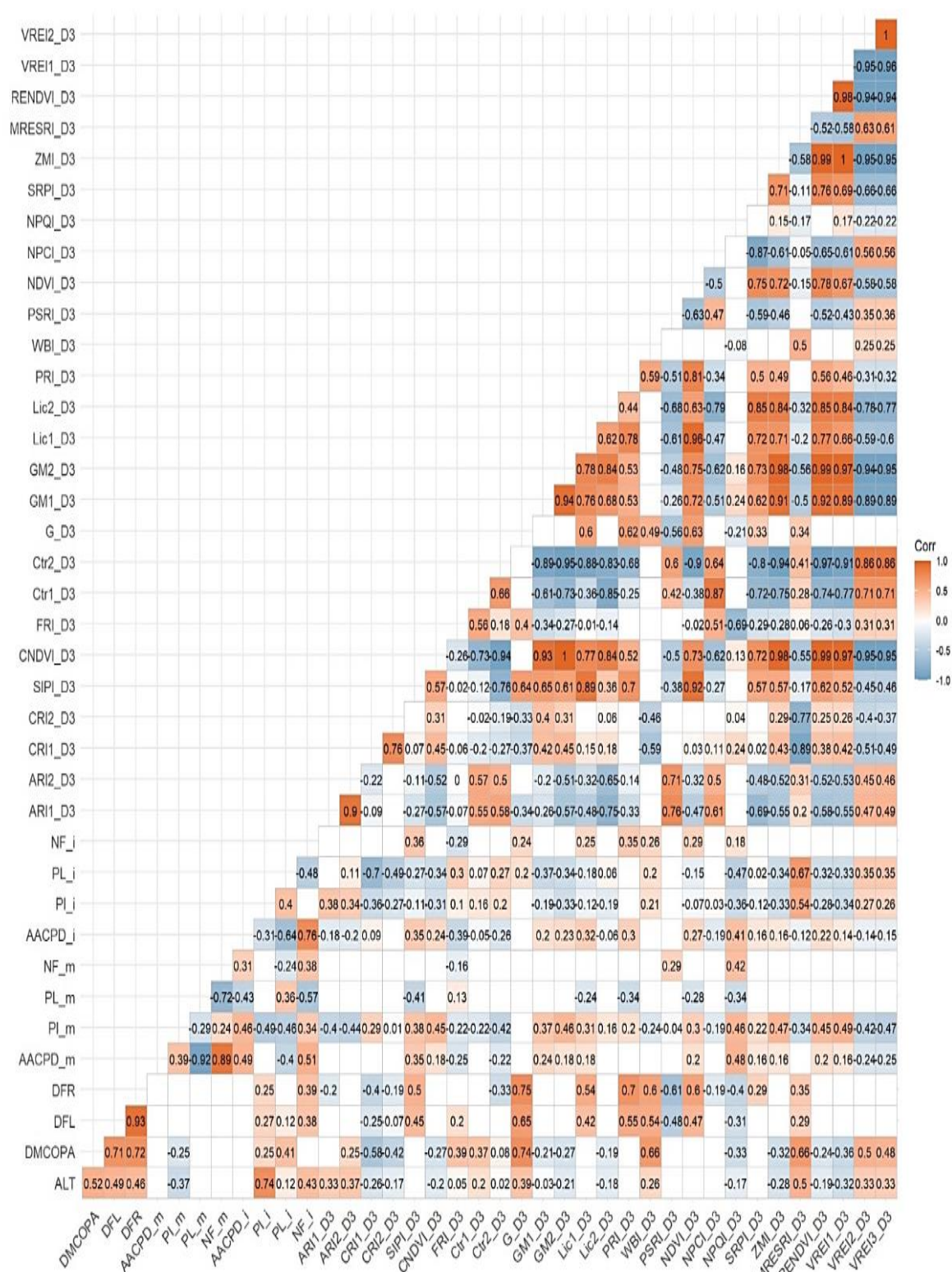


Figura 14. Correlações na terceira avaliação (Final da frutificação- 100 dias) para atributos morfoagronômicos (ALT, DC, DFL e DFR), reação à antracnose (PI, PL, NF e AACPD) em frutos: imaturos (i) e maduros (m) e fisiológicos (IRFs) entre acessos de *Capsicum* spp.

Esses resultados sugerem que, no estágio de finalização da frutificação, os índices relacionados ao conteúdo de clorofila (G), carotenoides (CRI1, CRI2, SIPI) e eficiência fotossintética (PRI) desempenham um papel importante no crescimento vegetativo e no ciclo reprodutivo das plantas. As correlações negativas com o Diâmetro de Copa (DC) para os índices de carotenoides (CRI1 e CRI2) indicam que plantas com maior conteúdo de carotenoides tendem a ter copas menores, possivelmente devido a uma maior alocação de recursos para a maturação dos frutos.

No estágio final de frutificação, foram observadas 106 correlações fracas, 19 correlações moderadas e uma correlação forte, sendo CRI1 x PLi (-0,70) entre os índices de refletância foliar (IRFs) e as variáveis de resistência. Entre as correlações moderadas, destacam-se: VREI3 x PIm (-0,47), VREI2 x PIm (-0,42), VREI1 x PIm (0,49), RENDVI x PIm (0,45), MRESRI x Pli (0,54), MRESRI x PLi (0,67), ZMI x PIm (0,47), NPQI x AACPDm (0,48), NPQI x PIm (0,46), NPQI x NFm (0,42), NPQI x AACPDi (0,41), NPQI x PLi (-0,47), GM2 x PIm (0,46), Ctr2 x PIm (-0,42), CNDVI x PIm (0,45), SIPI x PLm (-0,41), ARI1 x PIm (-0,40), ARI2 x PIm (-0,44) e CRI2 x PLi (-0,49). Esses resultados sugerem que, no estágio final de frutificação, os índices relacionados ao conteúdo de carotenoides (CRI1, CRI2, SIPI) e a índices de vegetação associados a clorofila, tais como VREI1, VREI2, VREI3, MRESRI, desempenham um papel importante na resistência dos frutos. As correlações negativas com o Período de Latência (PL) e o Período de Incubação (PI) indicam que plantas com maior conteúdo de carotenoides e maior reflectância na banda do red edge tendem a ter uma resposta mais rápida à infecção. A correlação forte entre o CRI1 e o PLi reforça a importância dos carotenoides na resposta das plantas ao estresse e na resistência dos frutos.

A correlação moderada era esperada uma vez que a reação à antracnose foi avaliada em frutos e a avaliação dos IRFs foi realizada em folhas, assim foi acessada apenas as características constitutivas e não as induzidas, tais como observado por Chakraborty et al. (2019) para o conteúdo de fenois e flavonoides das folhas inoculadas com *C. gloeosporioides* em *Phaseolus vulgaris*, que após quatro dias de inoculação aumentou em mais que 60 e 110% em relação ao controle.

5.5. Índices de refletância

A análise de variância indicou efeito significativo ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos, para todos os IRFs. Houve efeito de interação para 67% dos IRFs avaliados e avaliações, ou seja, as respostas espectrais dos acessos tiveram influência do período de avaliação (Tabela 3). O coeficiente de variação (CV) observado para o fator A (genótipo) foi de 3,14 a 38,08 para a maioria dos IRFs, e para o fator B (período) foi de 1,73 a 34,81%. Exceto para o PSRI (Índice de Refletância de Senescência das Plantas), que teve valores com alta magnitude iguais a 763,98 e 684,79% para os fatores A e B, respectivamente. Segundo os critérios estabelecidos por Gomes (1984), 41, 26, 22 e 11% dos IRFs tiveram alta, moderada, baixa e muito baixa precisão experimental em relação ao genótipo e 56, 22, 15 e 7% em relação às avaliações, respectivamente. Resultados semelhantes foram relatados por Bispo et al. (2024), ao analisarem 15 índices de refletância, cujos CVs variaram de 6,67% (WBI) a 845,45% (NPCI). Valores altos de CV para parâmetros fisiológicos são justificáveis devido à alta influência ambiental (Bispo, 2024).

De acordo com Bispo et al. (2024), a análise de componentes principais (ACP) foi a abordagem mais eficaz para detectar associações entre a reação à antracnose em frutos de *Capsicum annuum* e os índices de refletância foliar (IRFs). No presente estudo, a ACP revelou concordância parcial na formação dos grupos relativos às avaliações, o que pode ser justificado pela interação significativa entre genótipo e os períodos de avaliação dos IRFs.

Tabela 3. Resumo da análise de variância (ANOVA), com estimativas do quadrado médio para médias, coeficiente de variação experimental e coeficiente de determinação genotípica relativos de 27 índices de refletância foliar (IRFs) avaliados em 29 acessos de *Capsicum* spp.

IRF	Quadrado Médio									
	Bloco (GL= 2)	Genótipo (A) (GL= 28)	Resíduo a (GL= 56)	Avaliações (B) (GL= 2)	AB (GL= 56)	Resíduo b (GL= 116)	H ²	Média	CV (%) A	CV (%) B
ARI1	0,0000	0,0000**	0,0000	0,0000**	0,0000 ^{ns}	0,0	18,14	0,0027	35,54	25,11
ARI2	0,0029	0,0149**	0,0019	0,1568**	0,0019 ^{ns}	0,0013	21,09	0,1797	24,81	20,73
CRI1	0,0000	0,0000**	0,0000	0,0005**	0,0000**	0,0000	7,66	0,0231	19,76	18,24
CRI2	0,0000	0,0000**	0,0000	0,0009**	0,0000 ^{ns}	0,0000	8,44	0,0258	20,85	19,23
SIPI	0,0028	0,0026**	0,0011	0,0252**	0,0010**	0,0004	1,84	0,6774	5,11	3,27
CNDVI	0,0001	0,0058**	0,0007	0,0629**	0,0009**	0,0003	9,59	0,2496	10,61	7,00
FRI	0,2510	1,6246**	0,0953	7,9664**	0,5446**	0,0632	37,60	1,0960	28,17	22,94
Ctrl1	1,1402	0,3327**	0,0810	0,1640 ^{ns}	0,0951**	0,0547	6,71	2,4888	11,44	9,40
Ctrl2	0,0009	0,0075**	0,0023	0,0967**	0,0016**	0,0006	5,79	0,4176	11,53	5,88
G	0,2971	0,1357**	0,0162	0,2834**	0,0228**	0,0172	5,40	2,1333	5,97	6,16
GM1	0,0117	0,1393**	0,0431	1,2233**	0,0242**	0,0112	4,65	2,1426	9,13	4,95
GM2	0,0084	0,1421**	0,0243	1,3160**	0,0199**	0,0199	5,80	1,9722	7,91	4,80
Lic1	0,0033	0,0040**	0,0012	0,0436**	0,0008*	0,0005	2,76	0,6328	5,70	3,80
Lic2	0,0550	0,0108**	0,0021	0,0027 ^{ns}	0,0023 ^{ns}	0,0021	5,51	0,5616	8,27	8,20
PRI	0,0002	0,0001**	0,0000	0,0001**	0,0001 ^{ns}	0,0001	17,70	0,0200	38,08	34,81
WBI	0,0595	0,0016 ^{ns}	0,0014	0,1612**	0,0012 ^{ns}	0,0049	0,49	0,9608	4,02	7,30
PSRI	0,0002	0,0005**	0,0001	0,0042**	0,0001*	0,0001	535,90	0,00	763,98	684,79
NDVI	0,0019	0,0040**	0,0013	0,0546**	0,0012**	0,0005	2,73	0,6331	5,83	3,80
NPCI	0,0024	0,0072**	0,0006	0,0086**	0,0028**	0,0003	21,62	0,13	19,64	15,81
NPQI	0,0008	0,0021**	0,0001	0,01321**	0,0002**	0,0001	31,24	-0,0475	27,34	23,93

Tabela 3, Cont.

Quadrado Médio										
IRF	Bloco (GL= 2)	Genótipo (A) (GL= 28)	Resíduo a (GL= 56)	Avaliações (B) (GL= 2)	AB (GL= 56)	Resíduo b (GL= 116)	H ²	Média	CV (%) A	CV (%) B
ZMI	0,0019	0,0414**	0,0098	0,3918**	0,0050**	0,0022	4,01	1,4779	6,70	3,18
SRPI	0.1083	0.0110**	0.0036	0.0554**	0.0034 ^{ns}	0.0032	3,60	0.7983	7.53	7.19
MRESRI	3,4914	3,7290**	0,6649	87,9427**	1,8157**	0,8294	7,19	8,1105	10,05	11,23
RENDVI	0,0003	0,0053**	0,0011	0,0556**	0,0008**	0,0008	8,70	0,2465	14,03	7,55
VREI1	0,0019	0,0076**	0,0014	0,0734**	0,0011**	0,0004	2,20	1,1957	3,14	1,73
VREI2	0,0001	0,0002**	0,0001	0,0006**	0,0006**	0,0000	15,68	-0,0335	20,86	15,41
VREI3	0,0001	0,0039**	0,0001	0,0011**	0,0001**	0,0000	-17,34	-0,0347	23,76	14,14

^{ns} não significativo, * e ** significativo com $p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$, respectivamente, baseado no teste F. GL = Grau de Liberdade; CV (%) A = coeficiente de variação experimental da parcela; CV (%) B = coeficiente de variação experimental da subparcela; H² = coeficiente de determinação genotípico.

Aos oitenta dias, período de realização da primeira avaliação, a Análise de Componentes Principais (ACP) permitiu a identificação de três grupos distintos entre os acessos, conforme definido pelo método de agrupamento *K-Means* (Figura 15). O grupo 1 foi formado sob influência dos IRFs, VREI3 e MRESRI, abrangendo a maioria dos acessos da espécie *C. baccatum*. Esses índices podem indicar que nesse grupo estão plantas com alto potencial fotossintético e possivelmente mais tolerantes a estresses abióticos (VREI3). Em relação ao potencial fotossintético, este grupo abrange em sua maioria plantas baixas e medianas, são exceções os acessos UENF1718 e UENF1624 que nesse grupo com maiores valores para diâmetro de copa e altura. Vale ressaltar, que estes acessos ficaram mais próximos do índice MRESRI que os demais acessos. Dentro deste grupo, também estão presentes dois acessos resistentes ao *C. scovillei*: UENF1381 (*C. annuum*) e UENF1752 (*C. chinense*), ambos demonstraram resistência em todos os estádios de maturação, neste estudo. Além do acesso UENF1381 o grupo incluiu o acesso (UENF2692), ambos *C. annuum*, e mais seis acessos de *C. chinense*. Em relação à precocidade, 69% dos acessos deste grupo foram classificados como tardios. A cor predominante nos frutos dos acessos desse grupo foi vermelha (55%), seguida pela laranja (45%). A coloração dos frutos pode servir como indicador de resistência, uma vez que é determinada por diferentes compostos químicos, como antocianinas, carotenoides e flavonoides que podem contribuir para a resistência a patógenos (Nascimento et al., 2014).

O grupo 2 foi influenciado pelos índices PRI, NPQI, GM1, GM2 e VREI1. Ao analisar esses índices em conjunto, infere-se que os acessos deste grupo apresentam alta eficiência fotossintética (PRI), elevado conteúdo de clorofila (GM1 e GM2) e robusta atividade fotossintética (VREI1). Esse agrupamento é predominantemente composto por acessos de *C. chinense* (78%), além de incluir um acesso de cada uma das espécies *C. baccatum*, *C. annuum* e *C. pubescens*. Esse resultado era esperado, pois os acessos deste grupo são, em média, mais altos e apresentam valores elevados para diâmetro de copa, indicando uma maior capacidade de captação de luz e eficiência na fotossíntese. Para Dias et al. (2020), a eficiência fotossintética afeta diretamente o crescimento das plantas.

O índice NPQI sugere a presença de estresse durante a avaliação, e a inclusão de *C. pubescens* nesse grupo pode ser crucial para essa interpretação, visto que essa espécie não é tipicamente adaptada às condições climáticas locais.

Em relação à resistência, 60% dos acessos apresentaram resistência na inoculação em frutos imaturos, e 50% em frutos maduros. Neste grupo, destacam-se os acessos UENF1732 e UENF1753, resistentes em ambos os estádios de maturação. A cor predominante dos frutos foi a vermelha (70%), a qual está diretamente associada à capsantina, identificada como o carotenoide primário (Ro et al., 2024)

O grupo 3, assim como o grupo 2, foi influenciado pelos índices GM1 e GM2 (Figura 13). Este grupo incluiu acessos mais precoces e com maior variação na altura da planta e no diâmetro de copa, abrangendo plantas baixas, intermediárias e altas. Foram agrupados quatro acessos de *C. annuum* (UENF1627, UENF1632, UENF2030 e UENF2031) e dois acessos de *C. chinense* (UENF1730 e UENF1787). O acesso UENF1787 foi o mais suscetível em ambos os estádios de maturação. Nos frutos imaturos, os acessos UENF1627, UENF1632 e UENF2031 apresentaram resistência moderada, com destaque para o UENF1632, que manteve a resistência em frutos maduros. O acesso UENF2030, por sua vez, exibiu resistência moderada apenas em frutos maduros. Já o UENF1730 foi resistente em frutos imaturos, porém não houve avaliação para frutos maduros desse acesso. A cor predominante dos frutos nesse grupo foi laranja (50%) e as plantas foram majoritariamente precoces.

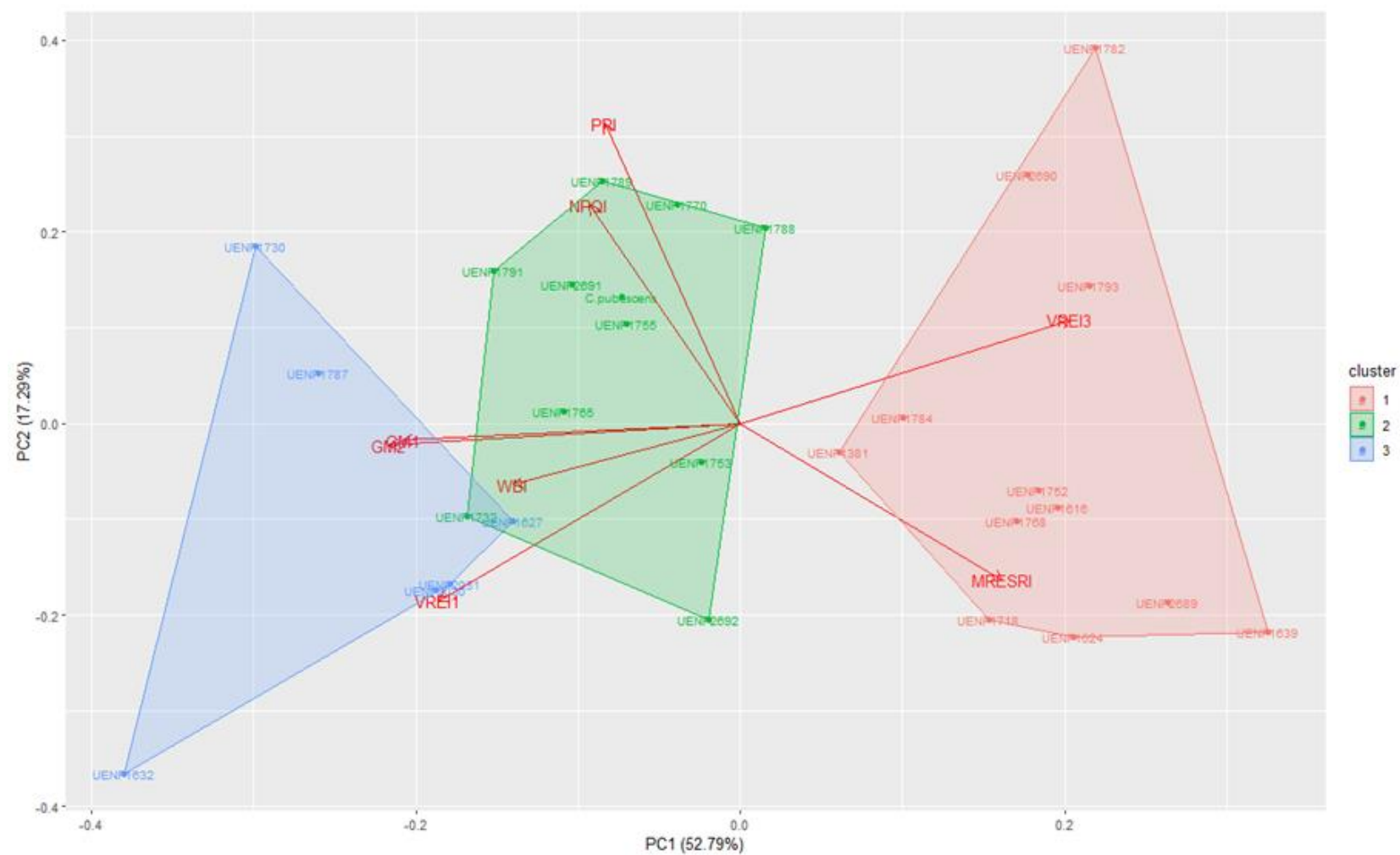


Figura 15. Análise de componentes principais (ACP) dos índices de refletância foliar na primeira avaliação (80 dias após a germinação) em acessos de *Capsicum* spp.

No segundo dia de avaliação pela ACP e o método de agrupamento K-Means houve a formação de quatro grupos (Figura 16). O primeiro composto por 15 acessos, dos quais nove de *C. chinense*, quatro *C. annuum* e dois de *C. baccatum*. Em ambos os estádios de desenvolvimento dos frutos, prevaleceu a resistência à antracnose. A maioria dos acessos deste grupo apresentou porte baixo, ciclo tardio e frutos predominantemente vermelhos quando maduros. Os IRFs que mais contribuíram para a formação desse grupo foram GM1, NPQI, SRPI.

O grupo 3 foi formado por seis acessos de *C. chinense* e um acesso de *C. annuum*. Nesse grupo não houve destaque para nenhum IRF, isso indica que esses índices apresentam variações relativamente homogêneas dentro do grupo, não sendo determinantes para a segmentação dos acessos. Os frutos desses acessos foram predominantemente da cor laranja, nesse grupo estão presentes os dois acessos de *C. chinense* com frutos de cor marrom. Com plantas medianas e com maiores valores para diâmetro de copa. Quanto à resistência, a maioria foi resistente para o imaturo e suscetível para o maduro.

Os acessos UENF1639 e UENF1718 compuseram o quarto grupo. Ambos pertencem à espécie *C. baccatum* e são resistentes para frutos imaturos, não foram avaliados para frutos maduros, com floração tardia, frutos de cor laranja e porte mediano e alto, considerando os demais acessos. Como no grupo anterior, nenhum índice teve papel decisivo na diferenciação desse grupo específico dos demais.

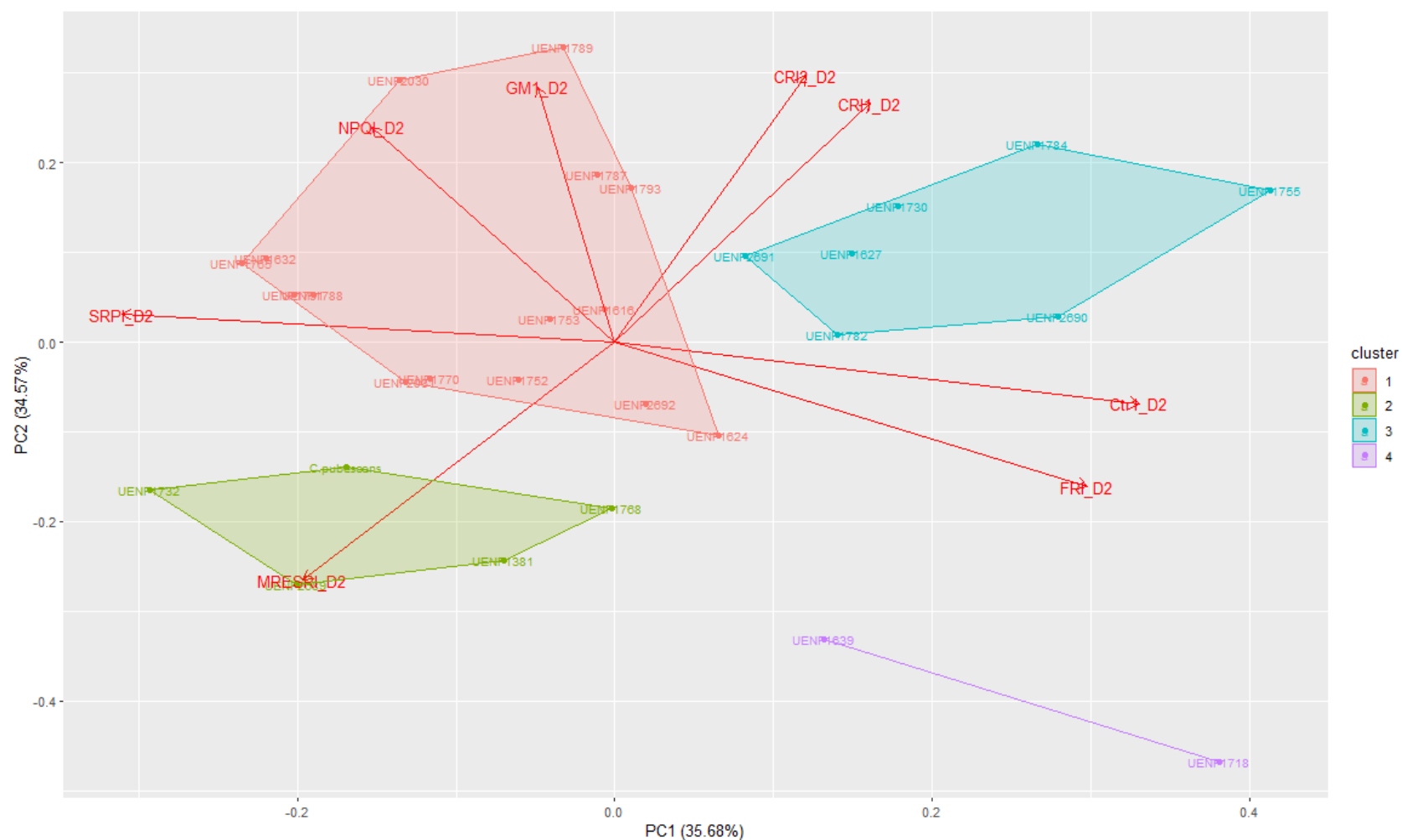


Figura 16. Análise de componentes principais (ACP) dos índices de refletância foliar na segunda avaliação (90 dias após a germinação) em acessos de *Capsicum* spp.

Na terceira avaliação, foram formados quatro grupos distintos pelo K-Means por meio da ACP. O grupo 1, foi composto por seis acessos, dos quais 50% pertencem à espécie *C. annuum* (UENF1381, UENF2031 e UENF2692) e 50% a *C. chinense* (UENF1753, UENF1770 e UENF1784). Neste agrupamento, destacam-se os acessos UENF1381 e UENF1753 com alta resistência em ambos os estádios de maturação e três acessos com controle distinto conforme o estágio, como o 'Criollo de Morellos' com resistência moderada para frutos imaturos e suscetível quando maduro. Em contrapartida, o acesso UENF1784 foi o único neste grupo classificado como altamente suscetível em ambos os estádios de maturação. Vale ressaltar que todos os acessos tiveram frutos vermelhos quando maduros e em relação ao ciclo, a maioria foi precoce. A formação desse grupo foi influenciada principalmente pelos índices PSRI e ARI2. (Figura 17).

Bispo et al. (2024), trabalhando com o mesmo patossistema, observaram resultados contrastantes, constatando que o ARI2 foi o índice que menos contribuiu para a resistência à antracnose, e o PSRI não foi avaliado. A antocianina é associada à resistência a patógenos. Guilengue et al. (2020) ao avaliarem a resposta à antracnose (*C. lupini*) em acessos de tremoço andino contrastantes em pigmentação de antocianina, observaram que plantas com maior teor de antocianina forma mais resistentes à antracnose. Kupčinskienė et al. (2023), ao utilizarem índices de refletância foliar para a detecção precoce do mofo cinzento (*Botrytis cinerea*) em folhas de alface, identificaram o PSRI como um dos dois índices mais eficientes, capaz de detectar a presença de *B. cinerea* um dia após a inoculação, sob duas condições de iluminação distintas. No caso de doenças foliares, a associação com os IRFs pode ser avaliada de forma direta, permitindo análises mais precisas sobre a resposta fisiológica da planta à infecção. Dessa forma, a discrepância observada entre os estudos pode estar relacionada às diferenças na interação patógeno-hospedeiro, à variabilidade nas condições experimentais ou às particularidades dos índices analisados.

O grupo 2 abrangeu o maior número de acessos (35%) cuja maioria foi *C. chinense* (70%). Quanto a reação à antracnose, a maioria dos acessos foi resistente para imaturo e 100% dos avaliados para frutos maduros foram suscetíveis à esta doença. A cores dos frutos maduros foram predominantemente laranja (70%), agrupando ainda 20% de vermelhos e 10% de marrons. A maioria dos acessos foi tardio para dias para florescimento. O SRPI influenciou diretamente a formação deste grupo.

A maioria dos acessos do grupo 3 pertencem à espécie *C. chinense*, abrangendo ainda dois de *C. annuum* e o único de *C. pubescens*. A maioria dos acessos apresentou resistência em apenas um estágio, exceto o UENF1632 (*C. annuum*) com resistência moderada no imaturo e alta no maduro. Cinquenta por cento dos acessos são de frutos na cor vermelha, 40% laranja e 10 % marrom. E a maioria dos acessos foi tardio.

Quatro dos cinco acessos de *C. baccatum* avaliados e um *C. chinense* (UENF1752), todos com resistência em ambos estádios e florescimento tardio, compuseram o quarto grupo. Quanto à cor do fruto maduro, 60% foi vermelho e 40% laranja. Os acessos UENF1624, nos dois estádios e UENF1639 e UENF1718, no estágio maduro, foram avaliados em trabalhos prévios (Almeida et al., 2020). Todos os sete acessos do grupo 3 pertencem à espécie *C. chinense*. Oito índices influenciaram a formação desse grupo, com destaque para Lic1, Lic2 e NDVI (Figura x). Segundo Mustafa et al. (2020), o Lic1 e Lic2 foram inversamente relacionados à resistência no patossistema *Triticum* - *Fusarium*. No presente trabalho, três dos cinco acessos de *C. chinense* altamente suscetíveis nos diferentes estádios ficaram reunidos neste grupo.

Dois acessos de *C. annuum*, um de *C. chinense* e um de *C. pubescens* formaram o grupo 2. Com exceção de *C. pubescens* que não foi avaliado para a reação ao *Colletotrichum*, os demais acessos desse grupo foram resistentes ou moderadamente resistentes em pelo menos um estágio de maturação.

Observou-se uma associação parcial entre os grupos formados e o ciclo fenológico, resultado semelhante ao encontrado por Mohi-Ud-Din et al. (2022). Esses autores estabeleceram um cronograma de avaliação dos índices de refletância foliar (IRFs) no momento da antese para cada genótipo, com o objetivo de minimizar as diferenças fenológicas entre os acessos avaliados.

6. CONCLUSÕES

As respostas espectrais foram influenciadas pelas condições fenológicas.

O coeficiente de variação dos IRFs ressalta a influência ambiental sobre os parâmetros fisiológicos.

A aplicação da Análise de Componentes Principais (ACP) associada ao método *K-Means* permitiu a identificação de grupos distintos entre os acessos, sugerindo que as diferenças na resposta espectral podem estar associadas tanto à variabilidade genética quanto à reação à antracnose.

Essa abordagem reforçou que a análise combinada da ACP e índices de refletância foliar, agrupados, não só classifica os acessos, como também permitem a seleção de genótipos com resistência à antracnose, pois identificam variáveis que têm maior impacto na formação dos grupos, e suas respectivas contribuições, além de fornecer subsídios para o manejo integrado e a sustentabilidade na produção de *Capsicum* spp.

Os grupos formados evidenciaram características morfoagronômicas e fisiológicas específicas.

Houve associação parcial entre os grupos formados e o ciclo fenológico dos acessos, corroborando estudos prévios que ressaltam a importância de ajustar os cronogramas de avaliação dos IRFs para minimizar as diferenças fenológicas entre os genótipos.

Quatro acessos foram resistentes, incluindo o *C. annuum* UENF1381, dois de *C. chinense* UENF1752 e UENF1753 e um acesso de *C. baccatum* UENF1732.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, B. M.; Lopes, A. C. A.; Gomes, R. L. F.; Martins, L. V.; Valente, S. E. S.; Peron, A. P. (2020). Pimentas *Capsicum* L.: Conservação dos recursos genéticos, caracterização morfológica e citogenética e sequenciamento genômico (Parte II). *As vicissitudes da pesquisa e da teoria nas ciências agrárias*, p. 48-61.
- Almeida, C. L. P., dos Santos Bento, C., Sudré, C. P., Pimenta, S., Gonçalves, L. S. A., & Rodrigues, R. (2020). Genotype-Ideotype distance index and multivariate analysis to select sources of anthracnose resistance in *Capsicum* spp. *European Journal of Plant Pathology*, 156(1), 223-236.
- Amorim, A. F. S., Cassaro, S., Araújo, L. M., Anjos, I. V. D., Chimello, A. M., Araújo, M. D. S. B. D., ... & Neves, L. G. (2024). UNEMAT Pedro and UNEMAT Malagueta Pantaneira: New pepper cultivars with increased resistance to anthracnose. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 24(1), e45922412.
- Amorim, E. P.; Ramos, N. P.; Ungaro, M. R. G.; Kiihl, T. A. M. (2008). Correlações e análise de trilha em girassol. *Bragantia*, v. 67, p. 307-316.
- Amorim, L. (1995). Colonização e reprodução. In: Bergamin Filho A; Kimati H; Amorim L (eds). *Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos 3ed* São Paulo: *Editora Agronômica Ceres*, 2, p. 308-309.

- Araújo, M. D. S. B.; Sudré, C. P.; Graça, G. A.; Alencar, A. A. S.; Geronimo, I. G. C.; Rodrigues, R. (2023). The state-of-the-art in the genetics of resistance to the *Colletotrichum* species complex in *Capsicum*. *RAPP*, v. 29, p. 7-34. doi: 10.31976/0104-038321v290001.
- Araújo, M. D. S. B.; Sudré, C. P.; Graça, G. A.; Alencar, A. A. S.; Geronimo, I. G. C.; Rodrigues, R. (2022). A new approach to quantify anthracnose symptoms in inoculated *Capsicum* spp. fruits. *Tropical Plant Pathology*, v. 47, p. 386-401. <https://doi.org/10.1007/s40858-022-00499-9>.
- Azevedo, C. P.; Café Filho, A. C.; Henz, G. P.; Reis, A. (2006). *Recomendações de manejo da antracnose do pimentão e das pimentas*. Brasília: Embrapa Hortaliças (Comunicado Técnico, 35), 4 p.
- Barboza, G. E.; García, C. C.; Bianchetti, L. B.; Romero, M. V.; Scaldaferrro, M. (2022). Monograph of wild and cultivated chili peppers (*Capsicum* L., Solanaceae). *PhytoKeys*, v. 1, p. 1-423. doi: 10.3897/phytokeys.200.71667.
- Barnes J.D, Balaguer L, Manrique E, Elvira S, Davison A.W. (1992). A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophylls a and b in lichens and higher plants. *Environ Exp Bot.*; 32: 85–100. [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(92\)90034-y](https://doi.org/10.1016/0098-8472(92)90034-y).
- Barth, E.; Resende, J. T. V.; Mariguele, K. H.; Resende, M. D. V.; Silva, A. L. B. R. (2022). Multivariate analysis methods improve the selection of strawberry genotypes with low cold requirement. *Scientific Reports*, v. 12, p. 11458. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15688-4>.
- Batiha, G. E-S.; Alqahtani, A.; Ojo, O. A.; Shaheen, H. M.; Wasef, L.; Elzeiny, M.; Ismail, M.; Shalaby, M.; Murata, T.; Bastida, A. Z.; Perez, N. R.; Beshbishny, A. M.; Kasozi, K. I.; Jeandet, P.; Hetta, H. F. (2020). Biological properties, bioactive constituents, and pharmacokinetics of some *Capsicum* spp. and capsaicinoids. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 21, n. 15, p. 5179. <https://doi.org/10.3390/ijms21155179>.

- Bento, C.S., Souza, A.G., Sudré, C.P., Pimenta, S. Rodrigues, R. (2017) Multiple genetic resistances in *Capsicum* spp. *Genetics and Molecular Research* 16 (3) gmr16039789.
- Bergamaschi, H. (2007). O clima como fator determinante da fenologia das plantas. In C. M. Rego, R. R. B. Negrelle, & L. P. C. Morelato (Orgs.), *Fenologia: ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos* (pp. 291-310). Embrapa Florestas. ISBN 978-85-89281-12-6.
- Bergamin Filho, A., & Amorim, L. (2001). Epidemiologia comparativa entre os patossistemas temperado e tropical: consequências para a resistência a fungicidas. *Fitopatologia Brasileira*, 26, 119-127.
- Bergamin Filho, A.; Carneiro, S.M.T.P.G.; Godoy, C.V.; Amorim, L.; Berger, R.D.; Hau, B. (1997). Angular leaf spot of *Phaseolus* Beans: relationships between disease, healthy leaf area, and yield. *Phytopathology*, St. Paul, v.87, n.5, p.506-515.
- Bianchi, P. A.; Silva, L. R. A.; Alencar, A. A. S.; Santos, P. H. A.; Pimenta, S.; Sudré, C. P.; Corte, L. E. D.; Gonçalves, L. S. A.; Rodrigues, R. (2020). Biomorphological characterization of Brazilian *Capsicum chinense* Jacq. germplasm. *Agronomy*, v. 10, n. 3, p. 1-17. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030447>.
- Bispo, R. B. (2024). *Melhoramento de Capsicum annuum L. var. annuum para resistência à antracnose e aplicação dos índices de reflectância foliar na seleção de genótipos resistentes*. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 300p.
- Bispo, R. B., Araújo, M. D. S. B., Sudré, C. P., & Rodrigues, R. (2024). Sensors Applied to Plant Breeding: Leaf Reflectance Indices (LRIs) and Resistance to Anthracnose in *Capsicum annuum* L. var. *annuum*. *Advances in Remote Sensing*, 13(1), 1-17.

- Blind, A. D.; Valente, M. S. F.; Lopes, M. T. G.; Resende, M. D. V. (2018). Estimativa de parâmetros genéticos, análise de trilha e seleção em bucha vegetal para caracteres agronômicos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 13, n. 2, p. e5522. <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i2a5522>.
- Bosland, P. W., Votava, (2012). E. J. (Eds.). *Peppers: vegetable and spice Capsicums*. Cabi.
- Brasil. (2009) Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 399p.
- Brilhante, B. D. G.; Santos, T. D. O.; Santos, P. H. A. D.; Kamphorst, S. H.; Neto, J. D. S.; Rangel, L. H.; Valadares, F. V.; Almeida, R. N.; Rodrigues, R.; Júnior, A. C. S.; Moulin, M. M. (2021). Phenotypic and molecular characterization of Brazilian *Capsicum* germplasm. *Agronomy*, v. 11, p. 854. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050854>.
- Caixeta, F.; Von Pinho, É. V. R.; Guimarães, R. M.; Pereira, P. H. A. R.; Catão, H. C. R. M.; Clemente, A. C. S. (2014). Determinação do ponto de colheita na produção de sementes de pimenta malagueta e alterações bioquímicas durante o armazenamento e a germinação. *Científica*, v. 42, n. 2, p. 187-197. DOI: <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2014v42n2p187-197>.
- Campbell, C. L., Madden, L. M. (1990) Introduction to plant disease epidemiology. New York. John Wiley Sons.
- Cannon, P. F.; Damm, U.; Johnston, P. R.; Weir, B. S. (2012). *Colletotrichum*: Current status and future directions. *Studies in Mycology*, v. 73, n. 1, p. 181-213.
- Carvalho, S. C. I.; Bianchetti, L. B. (2008). *Botânica e recursos genéticos*. In: Ribeiro, S. C. R.; Lopes, C. A.; Carvalho, S. I. C.; Henz, G. P.; Reifschneider, F. J. B. *Pimenta Capsicum*. Brasília: Embrapa Hortaliças, p. 39-54.
- Carvalho, S. I. C.; Bianchetti, L. B.; Ribeiro, C. S. C.; Lopes, C. A. (2006). *Pimentas do gênero Capsicum no Brasil*. Brasília: Embrapa Hortaliças, 27 p.

- Chakraborty, N., Mukherjee, K., Sarkar, A., & Acharya, K. (2019). Interaction between Bean and *Colletotrichum gloeosporioides*: Understanding Through a Biochemical Approach. *Plants*, 8(9), 345. <https://doi.org/10.3390/plants8090345>.
- Chunthawodtiporn, J., Hill, T., Stoffel, K., & Van Deynze, A. (2018). Quantitative trait loci controlling fruit size and other horticultural traits in bell pepper (*Capsicum annuum*). *The plant genome*, 11(1), 160125.
- Ciju, R.J. (2021) Chile peppers. Delhi: *Agrihortico*.
- Clement, C. R., De Cristo-Araújo, M., Coppens D'Eeckenbrugge, G., Alves Pereira, A., & Picanço-Rodrigues, D. (2010). Origin and Domestication of Native Amazonian Crops. *Diversity*, 2(1), 72-106. <https://doi.org/10.3390/d2010072>.
- Colombo, C. A.; Siqueira, W. J. (2017). IAC, berço do melhoramento genético contemporâneo no Brasil. *O Agrônomo*, 69, 71-77.
- Cortaga, C. Q.; Cordeza, B. W. P.; Dacones, L. S.; Balendres, M. A. O.; Cueva, F. M. D. (2023). Mutations associated with fungicide resistance in *Colletotrichum* species: A review. *Phytoparasitica*, v. 51, p. 569-592. <https://doi.org/10.1007/s12600-023-01063-0>.
- Costa, C. S. R.; Henz, G. P. (2007). Pimenta (*Capsicum* spp.) – Embrapa Hortaliças: Sistemas de plantio. Disponível em: https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pimenta/Pimenta_Capsicum_spp/importanciaeconomica.html. Acesso em: 6 fev. 2024.
- Cruz, C. D. (2016). Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. *Acta Scientiarum*, v. 38, n. 4, p. 547-552.
- Cruz, J. G., Silveira, T., Barbieri, R. L., & Neitzke, R. S. (2025). Pré-melhoramento de um acesso de *Capsicum annuum* para uso ornamental. *Revista Caatinga*, 38, e12278-e12278.
- DeWitt, D., Bosland, P.W. (1996) Peppers of the world: an identification guide, Berkeley: *Ten Speed*, 219 p.

- Dias, G. B. (2012). *Caracterização estrutural e química das sementes, folhas e frutos de diferentes espécies do gênero Capsicum L. e sua relação com mecanismo de defesa*. Tese (Doutorado em Biociências e Biotecnologia) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, e pimentões utilizando técnicas multivariadas. *Horticultura Brasileira*, v. 23, n. 1, p. 22-27, 115 p.
- Entringer, G. C., Santos, P. H. A. D., Vettorazzi, J. C. F., Cunha, K. S. D., & Pereira, M. G. (2014). Correlação e análise de trilha para componentes de produção de milho superdoce. *Revista Ceres*, 61, 356-361.
- Fadhli, N.; Farid, M.; Azrai, M.; Nur, A.; Efendi, R.; Priyanto, S. B.; Nasruddin, A. D.; Novianti, F. (2023). Morphological parameters, heritability, yield component correlation, and multivariate analysis to determine secondary characters in selecting hybrid maize. *Biodiversitas*, v. 24, n. 7, p. 3750-3757.
- FAOSTAT. (2022). Culturas e produtos pecuários: Pimentões e pimentões, secos (*Capsicum* spp., pimentas spp.), crus. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 9 fev. 2024.
- FAOSTAT. (2022). Culturas e produtos pecuários: Pimentões e pimentões, verdes (*Capsicum* spp., pimentas spp.). Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 9 fev. 2024.
- Feltrin, (2025). Sementes Disponível em: <https://loja.sementesfeltrin.com.br/pimenta/pimenta-maria-bonita-contem-15-sementes>, Acessado em março de 2025.
- Furlanetto, R. H., Nanni, M. R., Crusiol, L. G. T., Silva, G. F. C., & Oliveira Junior, A. (2017). Potencial de utilização de sensores multiespectral e hiperespectral no estudo de diferentes alvos agrícolas. Anais da XII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja (p. 146-154). Embrapa Soja.
- García, C. C.; Barfuss, M. H. J.; Sehr, E. M.; Barboza, G. E.; Samuel, R.; Moscone, E. A.; Ehrendorfer, F. (2016). Phylogenetic relationships, diversification and expansion of chili peppers (*Capsicum*, Solanaceae).

Annals of Botany, v. 118, n. 1, p. 35-51. doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcw079>.

Giacomin, R. M., Ruas, C. F., Moreira, A. F. P., Guidone, G. H. M., Baba, V. Y., Rodrigues, R., Gonçalves, L. S. A. (2020). Inheritance of anthracnose resistance (*Colletotrichum scovillei*) in ripe and unripe *Capsicum annuum* fruits. Journal of Phytopathology, 168(3), 184-192. <https://doi.org/10.1111/jph.12880>.

Gitelson, A.A., Zur, Y., Chivkunova, O.B., Merzlyak, M.N. (2002) Assessing Carotenoid Content in Plant Leaves with Reflectance Spectroscopy. Photochemistry and photobiology, 75(3), 272-281.

Gomes, G. P.; Baba, V. Y.; Santos, O. P. dos. et al. (2019). Combinations of distance measures and clustering algorithms in pepper germplasm characterization. Horticultura Brasileira, v. 37, n. 2, p. 172-179. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620190207>.

Gonçalves, L. S. A.; Rodrigues, R.; Sudré, C. P. et al. (2008). Divergência genética em tomate estimada por marcadores RAPD em comparação com descritores multicategóricos. Horticultura Brasileira, v. 26, n. 3, p. 364-370. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362008000300014>.

Guerra, N. A. (2001). Estudios cromossômicos de cuatro selecciones de *Capsicum chinense* Jacq. Revista Científica UDO Agrícola, v. 1, p. 34-41.

Guilengue, N., Neves-Martins, J., Talhinhos, P. (2020). A resposta à antracnose em uma coleção de Tarwi (*Lupinus mutabilis*) é influenciada pela pigmentação da antocianina. Plantas, 9 (5), 583. <https://doi.org/10.3390/plants9050583>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2021). Censo Agropecuário 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pimenta/br>. Acesso em: 9 fev. 2024.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2021). Censo Agropecuário 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pimentao/br>. Acesso em: 9 fev. 2024.

- IPGRI, AVRDC y CATIE. (1995). *Descriptores para Capsicum (Capsicum spp.)*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Itália; Centro Asiático para el Desarrollo y la Investigación relativos a los Vegetales, Taipei, Taiwán y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.
- Jansen, M., Bergsträsser, S., Schmittgen, S., Müller-Linow, M., & Rascher, U. (2014). Non-Invasive Spectral Phenotyping Methods can Improve and Accelerate *Cercospora* Disease Scoring in Sugar Beet Breeding. *Agriculture*, 4(2), 147-158. <https://doi.org/10.3390/agriculture4020147>.
- Karim, K. M. R.; Rafii, M. Y.; Misran, A.; Ismail, M. F.; Harun, A. R.; Ridzuan, R.; Chowdhury, M. F. N.; Hosen, M.; Yusuff, O.; Haque, M. A. (2022). Genetic diversity analysis among *Capsicum annuum* mutants based on morpho-physiological and yield traits. *Agronomy*, v. 12, n. 10, p. 2436. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102436>.
- Kethom, W., Mongkolporn, O. (2021) New QTLs for anthracnose resistance identified in *Capsicum baccatum* 'PBC80'-derived recombinant inbred lines. *Euphytica* 217, 128. <https://doi.org/10.1007/s10681-021-02866-0>.
- Kraft, K. H.; Brown, C. H.; Nabhan, G. P.; Luedeling, E.; Ruiz, J. D. J. L.; Coppens d'Eeckenbrugge, G.; Hijmans, R. J.; Gepts, P. (2014). Multiple lines of evidence for the origin of domesticated chili pepper, *Capsicum annuum*, in Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 111, n. 17, p. 6165-6170. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308933111>.
- Kupčinskienė, A., Brazaitytė, A., Rasiukevičiūtė, N., Valiuškaitė, A., Morkeliūnė, A., & Vaštakaitė-Kairienė, V. (2023). Vegetation Indices for Early Grey Mould Detection in Lettuce Grown under Different Lighting Conditions. *Plants*, 12(23), 4042. <https://doi.org/10.3390/plants12234042>.
- Lee, J. (2019). Development and evolution of molecular markers and genetic maps in *Capsicum* species. In: Ramchiary, N.; Kole, C. (eds). The *Capsicum* genome. *Compendium of Plant Genomes*, p. 1-20. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97217-6_5.

- Lichtenthaler, H. K. (1996). Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. *J. Plant Physiol.*, 148: 4- 14. [https://doi.org/10.1016/s0176-1617\(96\)80287-2](https://doi.org/10.1016/s0176-1617(96)80287-2).
- Lopes, C. A.; Henz, G. P. (2008). Doenças e métodos de controle. In: Ribeiro, S. C. R.; Lopes, C. A.; Carvalho, S. I. C.; Henz, G. P.; Reifschneider, F. J. B. *Pimenta Capsicum*. Brasília: Embrapa Hortaliças, p. 31-38.
- Luts, D. L.; Freitas, S. C. B. (2008). Valor nutricional. In: Ribeiro, S. C. R.; Lopes, C. A.; Carvalho, S. I. C.; Henz, G. P.; Reifschneider, F. J. B. *Pimenta Capsicum*. Brasília: Embrapa Hortaliças, p. 31-38.
- Luz, E. D. M. N.; Cerqueira, A. O.; Faleiro, F. G.; Dantas Neto, A.; Matusuoka, K.; Marques, J. R. B. (2003). Diversidade genética de isolados de *Phytophthora capsici* de diferentes hospedeiros com base em marcadores RAPD, patogenicidade e morfologia. *Fitopatologia Brasileira*, v. 28, n. 5, p. 559-564.
- Mahasuk, P.; Khumpeng, N.; Wasee, S.; Taylor, P. W. J.; Mongkolporn, O. (2009). Inheritance of resistance to anthracnose (*Colletotrichum capsici*) at seedling and fruiting stages in chili pepper (*Capsicum* spp.). *Plant Breeding*, v. 128, p. 701-706. doi:10.1111/j.1439-0523.2008.01615.x.
- Mahlein, A. K. (2016). Plant disease detection by imaging sensors—parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. *Plant disease*, 100(2), 241-251.
- Merino-Valdés, M., Andrés-Meza, P., Leyva-Ovalle, O. R., López-Sánchez, H., Murguía-González, J., Núñez-Pastrana, R., ... & Del Rosario-Arellano, J. L. (2018). Influence of pregerminative treatments in seeds of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.). *Acta Agronomica*, 67(4), 531.
- Merzlyak MN, Gitelson AA, Chivkunova OB, Rakitin VY (1999) Nondestructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. *J Physiol Plantarum* 106(1):135–141.
- Montgomery, D. C.; Peck, E. A. (1981). Introduction to linear regression analysis. New York: John Wiley, 504 p.

- Moreira, G. R.; Caliman, F. R. B.; Silva, D. J. H.; Ribeiro, C. S. C. (2006). Espécies e variedades de pimenta. Belo Horizonte: EPAMIG (Informe Agropecuário, 27), p. 16-29.
- Moreira, R. M. P., Ferreira, J. M., Takahashi, L. S. A., Vasconcelos, M. E. C., Geus, L. C., & Botti, L. (2009). Potencial agrônomo e divergência genética entre genótipos de feijão-vagem de crescimento determinado. *Semina: Ciências Agrárias*, 30(4Sup1), 1051–1060. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2009v30n4Sup1p1051>.
- Nascimento, Jacqueline Barbosa; Barrigossi, José Alexandre Freitas (2014). O papel das enzimas antioxidantes na defesa das plantas contra insetos herbívoros e fitopatógenos. *Agrarian Academy*, Goiânia, v. 1, n. 1, p. 234-250.
- Nascimento-Filho, H. R.; Barbosa, R. I.; Luz, F. J. F. (2007). Pimentas do gênero *Capsicum* cultivadas em Roraima, Amazônia brasileira. II. Hábitos e formas de uso. *Acta Amazonica*, v. 37, p. 561-568. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000400011>.
- Neitzke, R. S.; Barbieri, R. L.; Vasconcelos, C. S.; Fischer, S. Z.; Vilela, J. C. B.; Castro, C. M. (2014). Caracterização morfológica e estimativa da distância genética de acessos de pimenta do banco ativo de germoplasma de *Capsicum* da Embrapa Clima Temperado. Pelotas: Embrapa Clima Temperado.
- Oliveira, A. P. B. F.; Resende, L. M.; Rodrigues, R.; Mello, E. O.; Taveira, G. B.; Carvalho, A. O.; Gomes, V. M. (2022). Antimicrobial peptides of the genus *Capsicum*: a mini review. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, v. 63, p. 453-466. <https://doi.org/10.1007/s13580-022-00421-x>.
- Parry, C.; Wang, Y. W.; Lin, S. W.; Barchenger, D. W. (2021). Reproductive compatibility in *Capsicum* is not necessarily reflected in genetic or phenotypic similarity between species complexes. *PLoS ONE*, v. 16, n. 3, p. e0243689. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243689>.

- Peñuelas, J., Baret, F., & Filella, I. (1995). Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetica*, 31(2), 221-230.
- Peñuelas, J., Gamon, J. A., Fredeen, A. L., Merino, J., & Field, C. B. (1994). Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen-and water-limited sunflower leaves. *Remote sensing of Environment*, 48(2), 135-146.
- Peñuelas, J., Pinol, J., Ogaya, R., & Filella, I. (1997). Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970). *International journal of remote sensing*, 18(13), 2869-2875.
- Pérez, G. M. y Castro, B. R. (2012). El chile manzano. 2ª reimpressão. Universidad Autónoma Chapingo UACH. Reimpressão. 128 p.
- Pessoa, A. M. S., Rêgo, E. R., Carvalho, M. G., Santos, C. A. P., & Rêgo, M. M. (2018). Genetic diversity among accessions of *Capsicum annuum* L. through morphoagronomic characters. *Genetics and Molecular Research*, 17(1), 1-14.
- Peterle, M. A. dos S., da Silva, F. P., Bento, C. dos S., da Costa, A. F., Sudré, C. P., & Moulin, M. M. (2023). O cultivo de pimentas e pimentões e a necessidade da busca por cultivares resistentes a doenças. *Revista Científica Intelletto*, 8(1), 100-111.
- Pickersgill, B. (1997). Genetic resources and breeding of *Capsicum* spp. *Euphytica*, v. 96, p. 129-133. <https://doi.org/10.1023/A:1002913228101>.
- Pimentel-Gomes, F. (1984). O problema do tamanho das parcelas em experimentos com plantas arbóreas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 19(12), 1507-1512.
- Pinto, C. M. F.; Pinto, C. L. O.; Donzeles, S. M. L. (2013). Pimenta *Capsicum*: Propriedades químicas, nutricionais, farmacológicas e medicinais e seu potencial para o agronegócio. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 3, n. 2, p. 108-120.

- Pinto, C. M. F.; Ribeiro, W. S.; Donzeles, S. M. L.; Souza, M. R. M.; Souza, G. A. (2022). Cultivo de pimenta *Capsicum*. Viçosa: EPAMIG Sudeste, 24 p. Disponível em: <https://www.livrariaepamig.com.br/docs/cultivo-de-pimenta-Capsicum/>.
- R Core Team (2023). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- Rêgo, E. R.; Finger, L. F.; Rêgo, M. M. (2011). Produção, genética e melhoramento de pimentas (*Capsicum* spp.). Recife: Imprima, 223 p.
- Reifschneider, F. J. B.; Ribeiro, C. S. C. (2008). Cultivo. In: Ribeiro, S. C. R.; Lopes, C. A.; Carvalho, S. I. C.; Henz, G. P.; Reifschneider, F. J. B. *Pimenta Capsicum*. Brasília: Embrapa Hortaliças, p. 11-14.
- Reis, A.; Boiteux, L. S.; Henz, G. P. (2009). Antracnose em hortaliças da família Solanaceae. Brasília: Embrapa Hortaliças (Comunicado Técnico, 79), 9 p.
- Resende, L. M. (2020). *Caracterização bioquímica e atividade antimicrobiana de peptídeos de frutos de Capsicum chinense Jacq. sobre fungos dos gêneros Colletotrichum e Fusarium*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 62 p.
- Resende, R. T.; Brondani, C.; Chaves, L. J. (2023). Melhoramento de Precisão: aplicações e perspectivas na genética de plantas. Brasília: Embrapa Arroz e Feijão, p. 10-39.
- Ribeiro, C. D. C., Carvalho, S. I. C., Reifschneider, F. J. B., Bianchetti, L. D. B., Lopes, C. A., Lima, M. F., ... & Francisco Jose Becker Reifschneider, S. I. R. E. (2020). Cultivares de pimentas das espécies *Capsicum* spp. desenvolvidas pela Embrapa Hortaliças.
- Ribeiro, C. D. C.; Reifschneider, F.; Ragassi, C.; Carvalho, S. I. C. (2021). *Cultivo da pimenta jalapeño BRS Sarakura na Região Centro-Oeste*. Embrapa (Circular Técnica, 174).

- Ro, N., Oh, H., Ko, H.-C., Yi, J., Na, Y.-W., & Haile, M. (2024). Genome-Wide Analysis of Fruit Color and Carotenoid Content in *Capsicum* Core Collection. *Plants*, 13(18), 2562. <https://doi.org/10.3390/plants13182562>.
- Rosmaina et al. (2022) Temperature Critical Threshold for Yield in Chili Pepper (*Capsicum annuum* L.). *Sabao Journal of Breeding & Genetics*, [s. l.], v. 54, n. 3, p. 627–637. DOI <https://10.54910/sabao2022.54.3.15>. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=2380050a-b00c-33c7-8f72-92776eb7b4bc>. Acesso em: 19 fev. 2025.
- Sahi, I. Y.; Khalid, A. N. (2007). In vitro biological control of *Fusarium oxysporum* causing wilt in *Capsicum annuum*. *Mycopath*, v. 5, n. 2, p. 85-88.
- Santana, D. T. C., Theodoro, G. F., Gava, R., de Oliveira, J. L. G., Teodoro, L. P. R., de Oliveira, I. C., Baio, F. H. R., da Silva Junior, C. A., de Oliveira, J. T., & Teodoro, P. E. (2024). A new approach to identifying sorghum hybrids using UAV imagery using multispectral signature and machine learning. *Algorithms*, 17, 23. <https://doi.org/10.3390/a17010023>.
- Sartorato, A.; Rios, G. P. (2003). Eficiência de misturas de fungicidas no controle da antracnose do feijoeiro comum. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão (Comunicado Técnico, 55). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAP/21520/1/comt_55.pdf. Acesso em: 11 fev. 2024.
- Scott, A. J., & Knott, M. (1974). A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, 507-512.
- Sendtner, O. (1846). Solanaceae. In: Martius, C. von. (Ed.). *Flora brasiliensis*, v. 10, p. 5-338.
- Serna-Lagunes, R., Andrés-Meza, P., Leyva-Ovalle, O. R., Rosario-Arellano, J. L. D., Merino-Valdes, M., Murguía-González, J., ... & Rosario-Arellano, J. D. (2020). Ecological niche of semidomesticated populations of *Capsicum pubescens* Ruiz & Pav. based on accessions from Veracruz, Mexico. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 43(4), 389-397. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.4.389>.

- Shafi, J., Tian, H., & Ji, M. (2017). *Bacillus* species as versatile weapons for plant pathogens: a review. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 31(3), 446–459. <https://doi.org/10.1080/13102818.2017.1286950>.
- Shaked, R., Rosenfeld, K., & Pressman, E. (2004). The effect of low night temperatures on carbohydrates metabolism in developing pollen grains of pepper in relation to their number and functioning. *Scientia Horticulturae*, 102(1), 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.12.007>.
- Shirakaki, K.; Yokoi, S.; Tezuka, T. (2020). Phylogenetic analysis and molecular diversity of *Capsicum* based on rDNA-ITS region. *Horticulturae*, v. 6, p. 87.
- Signorini, T.; Renesto, E.; Machado, M. D. F. P.; Bessalho, D. D. N.; Monteiro, E. R. (2013). Diversidade genética de espécies de *Capsicum* com base em dados de isozimas. *Horticultura Brasileira*, v. 31, p. 534-539.
- Silva, C. Q., Jasmim, J. M., Santos, J. O., Bento, C. S., Sudré, C. P., & Rodrigues, R. (2015). Phenotyping and selecting parents for ornamental purposes in pepper accessions. *Horticultura Brasileira*, 33(1), 66-73. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620150000100011>.
- Silva, C.Q.; Rodrigues, R.; Bento, C.S.; Pimenta, S. (2017). Heterosis and combining ability for ornamental chili pepper. *Horticultura Brasileira* 35: 349-357. DOI - <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620170306>.
- Silva, H. W.; Costa, L. M.; Resende, O.; Oliveira, D. E. C. de; Soares, R. S.; Vale, L. S. R. (2015). Higroscopicidade das sementes de pimenta malagueta (*Capsicum chinense* L.). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, p. 780-784. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p780-784>.
- Silva, M. R. E.; Silva, R. N. O. (2021). Morpho-agronomic characterization and genetic diversity in peppers (*Capsicum* spp.). *Revista Caatinga*, v. 34, n. 3, p. 505-513. <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n302rc>.
- Silva, S. A. M. (2012). *Identificação de fontes de resistência à antracnose em acessos de Capsicum spp.* Dissertação (Mestrado em Genética e

Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual do Norte Fluminense
Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 69 p.

- Silva, S. A. M.; Rodrigues, R.; Gonçalves, L. S. A. et al. (2014). Resistance in *Capsicum* spp. to anthracnose affected by different stages of fruit development during pre- and postharvest. *Tropical Plant Pathology*, v. 39, n. 4, p. 335-341.
- Sims DA, Gamon J (2002) Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sens Environ* 81(2–3):337– 354. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00010-X).
- Soares, J. V. C.; Bentes, J. L. S.; Gasparotto, L. (2017). Reaction of *Capsicum* spp. genotypes to stem rot (*Sclerotium rolfsii*). *Summa Phytopathologica*, v. 43, n. 1, p. 58-59.
- Srikhong, P.; Lertmongkonthum, K.; Sowanpreecha, R.; Rerngsamran, P. (2018). *Bacillus* sp. strain M10 as a potential biocontrol agent protecting chili pepper and tomato fruits from anthracnose disease caused by *Colletotrichum capsici*. *BioControl*, v. 63, n. 6, p. 833-842.
- Stommel, J. R., Bosland, P. W. (2006). Pepper, ornamental, *Capsicum annuum*. Flower breeding and genetics: Issues, challenges and opportunities for the 21st century. *Springer*, Dordrecht, The Netherlands, 561-599.
- Sudré, C. P.; Gonçalves, L. S. A.; Rodrigues, R.; Do Amaral, A. T.; Riva-Souza, E. M.; Bento, C. D. S. (2010). Genetic variability in domesticated *Capsicum* spp. as assessed by morphological and agronomic data in mixed statistical analysis. *Genetics and Molecular Research*, v. 9, n. 1, p. 283-294. <https://doi.org/10.4238/vol9-1gmr698>.
- Sudré, C. P.; Rodrigues, R.; Riva, E. M.; Karasawa, M.; Amaral Júnior, A. T. (2005). Divergência genética entre acessos de pimentas
- Sunday, O. A.; Omobolaji, O. D.; Chiamaka, A. C.; Oluwatobiloba, O. A. (2021). Morphological characterization on accessions of pepper (*Capsicum annuum*

- L. and *Capsicum frutescens* L.) cultivated in Nigeria. *Feddes Repertorium*, v. 132, n. 4, p. 346-363.
- Tofoli, J. G., Domingues, R. J., & Ferrari, J. (2015). Antracnose em solanáceas: etiologia, características e controle. Instituto Biológico, Centro De Pesquisa E Desenvolvimento De Sanidade Vegetal. São Paulo, 77(1), 73-79.
- Tomba, A. (2012). Origem e Evolução das Plantas Cultivadas. *BOTÂNICA NO INVERNO*, 161 p.
- Vallavieille-Pope, C., Giosue, S., Munk, L., Newton, A., Niks, R., et al. (2000). Assessment of epidemiological parameters and their use in epidemiological and forecasting models of cereal airborne diseases. *Agronomie*, 20(7), 715–727. <https://doi.org/10.1051/agro:2000171>.
- Verdugo, S. H.; Aranda, P. D.; Oyama, K. (1999). Síntesis del conocimiento taxonómico, origen y domesticación del género *Capsicum*. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, v. 64, p. 65-84.
- Vogelmann, j. E.; Rock, B. N.; Moss, D. M. (1993). Red edge spectral measurements from sugar maple leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 14(8), 1563–1575. <https://doi.org/10.1080/01431169308953986>.