



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA

EDUARDO OLIVEIRA NASCIMENTO

**CARACTERIZAÇÃO DE ISOLADOS DE *Colletotrichum* spp. EM DIFERENTES
ÓRGÃOS DO CAJUEIRO-ANÃO E MANEJO BIOLÓGICO COM LIPOPEPTÍDEOS
DE *Bacillus* sp.**

FORTALEZA

2025

EDUARDO OLIVEIRA NASCIMENTO

CARACTERIZAÇÃO DE ISOLADOS DE *Colletotrichum* spp. EM DIFERENTES
ÓRGÃOS DO CAJUEIRO-ANÃO E MANEJO BIOLÓGICO COM LIPOPEPTÍDEOS DE
Bacillus sp.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Marlon Vagner Valentim Martins

FORTALEZA

2025

EDUARDO OLIVEIRA NASCIMENTO

CARACTERIZAÇÃO DE ISOLADOS DE *Colletotrichum* spp. EM DIFERENTES
ÓRGÃOS DO CAJUEIRO-ANÃO E MANEJO BIOLÓGICO COM LIPOPEPTÍDEOS DE
Bacillus sp.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.

Aprovado em 24/02/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marlon Vagner Valentim Martins (Orientador)
Embrapa Agroindústria Tropical (Embrapa)

Profa. Dra. Christiana de Fátima Bruce da Silva
Embrapa Agroindústria Tropical (Embrapa)

Prof. Dr. Cristiano Souza Lima
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Joilson Silva Lima
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

A Deus.

Aos meus pais, Cícera de Oliveira Silva Nascimento e Francisco Ivanilton do Nascimento.

Ao meu irmão Henrique Oliveira Nascimento.

As minhas tias Érica e Wandenúsia.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que mostrou-me que paciência e esforço são virtudes que precisam ser trabalhadas diariamente, mesmo quando não se vê resultados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro, com a manutenção da bolsa de auxílio.

À Embrapa Agroindústria Tropical, pela estrutura de seus laboratórios e disponibilidade de seus funcionários, em especial ao Laboratório de Fitopatologia.

Ao Prof. Dr. Marlon Vagner Valentim Martins, pela excelente orientação e ensinamentos que perdurarão uma vida inteira.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr Cristiano Souza Lima, Profa. Dra. Christiana de Fatima Bruce da Silva e ao Dr. Joilson Silva Lima pelo tempo e sugestões.

Agradeço a meus pais, Cícera de Oliveira Silva Nascimento e Francisco Ivanilton do Nascimento. Muito deste trabalho é reflexo dos esforços de vocês. Obrigado por acreditarem em mim até quando eu mesmo não acreditei.

Ao meu irmão, Henrique Oliveira Nascimento. Obrigado pelas palavras de encorajamento.

As minhas tias, Érica e Wandenússia. Obrigado por tudo e por tanto. Este trabalho também é de vocês.

A todos os meus amigos de pós-graduação, em especial à Milton, Amarildo, Rodrigo, Haydee, Allana, Damiana, Cosma, Marília, Pedro Victor, Isla, Dalila, Lucas, Rita e Bárbara.

À Regimara, que foi amiga, irmã e não soltou a minha mão até o último momento. Foram madrugadas discutindo como melhorar o trabalho. À Leticia, que é uma irmã desde a graduação. Amo vocês duas.

A todos que fazem o Laboratório de Micologia da UFC, em especial ao coordenador Dr. Cristiano Souza Lima, que sempre manteve as portas do laboratório abertas para me receber. E ao laboratório de Entomologia da Embrapa.

Por fim, obrigado à Samara, técnica responsável pelo laboratório de Fitopatologia da Embrapa Agroindústria Tropical, que me ajudou e orientou-me sempre que possível.

“Se estiver se sentindo desmotivado, ou sentindo que não é bom o suficiente. Incendeie seu coração. Enxugue as lágrimas e siga em frente. Quando se entristecer ou acovardar lembre-se que o fluxo do tempo nunca para, ele não vai te esperar enquanto se afoga em tristeza.” (Kyojuro Rengoku)

RESUMO

O cajueiro-anão (*Anacardium occidentale*) desempenha importante papel na agricultura do Nordeste brasileiro. Entretanto, os cajucultores enfrentam desafios como doenças, que reduzem a produtividade. A antracnose, causada por fungos do gênero *Colletotrichum*, afeta ramos, folhas, pseudofrutos e castanhas. Assim, este trabalho teve como objetivos identificar isolados de *Colletotrichum* spp. associados ao cajueiro por estudos filogenéticos e morfológicos, caracterizando a influência da temperatura no crescimento micelial, germinação de conídios e severidade em discos de folha; além de analisar in vitro a eficácia de lipopeptídeos (LPs) no crescimento micelial e na inibição da germinação de conídios de *C. siamense* e *C. theobromicola*. No primeiro capítulo, isolados de *Colletotrichum* spp. obtidos de folhas, ramos, castanhas e pseudofrutos coletados em pomares do Ceará foram identificados por caracterização morfológica e molecular (CAJ3 – pseudofruto, CAJ5 – castanha, CAJ6 – ramo e LF200 – folha) usando os *primers* ITS, *GAPDH*, *ACT* e *TUB2*. Investigou-se o efeito de diferentes temperaturas (16, 20, 24, 28 e 32 °C) no crescimento micelial, germinação de conídios e severidade do ataque em discos foliares de cajueiro. Pela abordagem Bayesiana, verificou-se que os isolados pertencem às espécies *Colletotrichum theobromicola* (LF200) e *Colletotrichum siamense* (CAJ3, CAJ5 e CAJ6). A modelagem por função Beta estimou as temperaturas ótimas para crescimento micelial: 28,65 °C para CAJ3, 26,93 °C para CAJ5, 28,37 °C para CAJ6 e 28,96 °C para LF200. Na avaliação de 12 horas, a faixa mais favorável para germinação foi de 27,17 °C a 31,71 °C; após 24 horas, a maior germinação ocorreu entre 25,91 °C e 29,57 °C. Os isolados de *C. siamense* (CAJ5 e CAJ6) apresentaram maior severidade nas temperaturas de 28 e 32 °C e 24 e 28 °C, respectivamente. O isolado LF200 (*C. theobromicola*) apresentou maior severidade a 28 °C. No segundo capítulo, os isolados de *C. siamense* (CAJ3) e *C. theobromicola* (LF200) foram testados em diferentes concentrações (250, 500, 750, 1.000 e 1.500 ppm) de LPs produzidos pela cepa *Bacillus* sp. LPPC259. Observou-se forte inibição nas maiores concentrações (1.000 e 1.250 ppm), com redução do crescimento micelial superior a 35%. No teste de germinação de conídios, concentrações acima de 1.250 ppm promoveram inibição de 50% na germinação do isolado LF200 (*C. theobromicola*) nas avaliações de 12 e 24 h. Já *C. siamense* apresentou menor sensibilidade, com maior inibição (40%) na concentração de 1.750 ppm após 24 h. Os resultados demonstraram que os isolados obtidos no Ceará pertencem às espécies *C. siamense* e *C. theobromicola*. A temperatura exerce papel fundamental no crescimento micelial, germinação de conídios e severidade da doença, com faixa ótima entre 27 e 29 °C, compatível com as condições climáticas do Nordeste brasileiro. Nesse contexto, os lipopeptídeos

produzidos por *Bacillus* sp. apresentam potencial como ferramenta alternativa no manejo da antracnose, tanto no campo quanto no pós-colheita.

Palavras-chave: *Anacardium occidentale*; *Colletotrichum siamense*; *Colletotrichum theobromicola*; Temperatura ótima; Controle biológico.

ABSTRACT

The dwarf cashew tree (*Anacardium occidentale*) plays an important role in the agriculture of northeastern Brazil. However, cashew growers face challenges such as diseases that reduce productivity. Anthracnose, caused by fungi of the genus *Colletotrichum*, affects branches, leaves, pseudofruits, and nuts. Thus, this study aimed to identify *Colletotrichum* spp. isolates associated with cashew through phylogenetic and morphological analyses, as well as to characterize the influence of temperature on mycelial growth, conidial germination, and disease severity in leaf discs. In addition, the in vitro efficacy of lipopeptides (LPs) on mycelial growth and inhibition of conidial germination of *C. siamense* and *C. theobromicola* was evaluated. In the first chapter, *Colletotrichum* spp. isolates obtained from leaves, branches, nuts, and pseudofruits collected in orchards in Ceará were identified through morphological and molecular characterization (CAJ3 – pseudofruit, CAJ5 – nut, CAJ6 – branch, and LF200 – leaf) using the primers ITS, *GAPDH*, *ACT*, and *TUB2*. The effect of different temperatures (16, 20, 24, 28, and 32 °C) on mycelial growth, conidial germination, and disease severity in cashew leaf discs was investigated. Using a Bayesian approach, it was verified that the isolates belong to the species *Colletotrichum theobromicola* (LF200) and *Colletotrichum siamense* (CAJ3, CAJ5, and CAJ6). Beta function modeling estimated the optimal temperatures for mycelial growth: 28.65 °C for CAJ3, 26.93 °C for CAJ5, 28.37 °C for CAJ6, and 28.96 °C for LF200. In the 12-hour evaluation, the most favorable temperature range for germination was between 27.17 °C and 31.71 °C, while after 24 hours the highest germination percentage occurred between 25.91 °C and 29.57 °C. The isolates of *C. siamense* (CAJ5 and CAJ6) showed higher severity at temperatures of 28 and 32 °C and 24 and 28 °C, respectively. The LF200 isolate (*C. theobromicola*) showed the highest severity at 28 °C. In the second chapter, the isolates of *C. siamense* (CAJ3) and *C. theobromicola* (LF200) were tested at different concentrations (250, 500, 750, 1,000, and 1,500 ppm) of LPs produced by the *Bacillus* sp. LPPC259 strain. Strong inhibition was observed at the highest concentrations (1,000 and 1,250 ppm), with a reduction in mycelial growth greater than 35%. In the conidial germination test, concentrations above 1,250 ppm promoted 50% inhibition in the germination of the LF200 isolate (*C. theobromicola*) at both 12 and 24 hours. In contrast, *C. siamense* showed lower sensitivity, reaching the highest inhibition (40%) at 1,750 ppm after 24 h. The results demonstrated that the isolates obtained in Ceará belong to the species *C. siamense* and *C. theobromicola*. Temperature plays a fundamental role in mycelial growth, conidial germination, and disease severity, with an optimal range between 27 and 29 °C,

compatible with the climatic conditions of Northeastern Brazil. In this context, lipopeptides produced by *Bacillus* sp. show potential as an alternative tool for anthracnose management, both in the field and in postharvest conditions.

Keywords: *Anacardium occidentale*; *Colletotrichum siamense*; *Colletotrichum theobromicola*; Optimum temperature; Biological control.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Municípios onde foram coletados os isolados das espécies de *Colletotrichum*, utilizados nos estudos..... 29
- Figura 2 – Árvore filogenética do complexo de espécies *Colletotrichum gloeosporioides*, inferida por inferência bayesiana com base em um alinhamento concatenado das regiões ITS, *GAPDH*, *TUB2* e *ACT*, incluindo exclusivamente espécies previamente relatadas em cajueiro (*Anacardium occidentale* L.). Os valores de suporte nos ramos correspondem às probabilidades posteriores ($PP \geq 0,90$). A árvore foi enraizada com *Colletotrichum boninense*. Os isolados deste estudo estão indicados em negrito..... 35
- Figura 3 – Colônias dos isolados de *C. siamense* e *C. theobromicola* cultivados em BCA. Isolados da espécie *C. siamense*: (A e B, F e G, K e L) colônias, (C, H, M) esporodóquio e massa mucilaginosa de conídios, (D, I, N) conídios e células conidiogênicas, (E, J, O) apressório. Isolados da espécie *C. theobromicola*: (P e Q) colônias, (R) esporodóquio e massa mucilaginosa de conídios, (S) conídios e células conidiogênicas, (T) apressório..... 36
- Figura 4 – Teste de patogenicidade dos isolados de *Colletotrichum* spp. causando diferentes sintomas no cajueiro. A - Isolado proveniente pseudofruto (CAJ3), B - Isolado proveniente da castanha (CAJ5), C - Isolado proveniente do ramo (CAJ6), D - Isolado proveniente da folha (LF200), E - Controle..... 37
- Figura 5 – Resposta do crescimento micelial de isolados de *Colletotrichum* spp. à temperatura, ajustada pela função beta..... 39
- Figura 6 – Crescimento micelial (mm) de isolados de *Colletotrichum* spp. em diferentes temperaturas após 7 dias incubados em meio BDA. Boxplot do conjunto de dados agrupados por temperaturas..... 40

Figura 7 –	Resposta da germinação de conídios de <i>Colletotrichum</i> spp. em meio BDA incubados à diferentes temperaturas de acordo com a regressão polinomial.....	41
Figura 8 –	germinação <i>in vitro</i> de conídios de isolados de <i>Colletotrichum</i> spp. em diferentes temperaturas após 12 hrs e 24 hrs incubados em meio ágar. Boxplot do conjunto de dados agrupados por temperaturas.....	43
Figura 9 –	Níveis de severidade da antracnose causada por isolados de <i>Colletotrichum</i> spp. em disco de folha à diferentes temperaturas de incubação.....	43
Figura 10 –	Severidade da doença em discos de folhas de cajueiro em função da temperatura para diferentes isolados aos 3 e 5 DAI.....	44
Figura 11 –	Severidade da doença em discos de folhas, teste de comparação de médias dos isolados dentro das temperaturas após 3 e 5 DAI.....	45
Figura 12 –	Resultado do teste preliminar de inibição micelial dos isolados de <i>Colletotrichum</i> spp. à concentração de 1.000 ppm.....	55
Figura 13 –	Curvas de regressão não-linear da inibição micelial do isolado de <i>C. siamense</i> (CAJ3) e do isolado de <i>C. theobromicola</i> (LF200) em função de concentrações de LPs (ppm).....	56
Figura 14 –	Germinação dos conídios de <i>C. theobromicola</i> (LF200) e <i>C. siamense</i> (CAJ3) em diferentes concentrações de LPs da cepa de <i>Bacillus</i> sp. (LPPC259) após avaliação em 12 e 24 horas.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Clones de cajueiro-anão, comum e híbrido disponibilizados pela Embrapa e suas aptidões.....	17
Tabela 2 –	Fotorreceptores e genes reguladores para detecção de luz em fungos.....	22
Tabela 3 –	Ingredientes ativos e classes químicas de fungicidas registrados para o manejo da antracnose do cajueiro no Brasil.....	24
Tabela 4 –	<i>Primers</i> utilizados na caracterização de isolados de <i>Colletotrichum</i> spp. com sequências e referências.....	30
Tabela 5 –	Morfologia dos conídios e dimensões dos isolados de <i>C. siamense</i> e <i>C. theobromicola</i>	37
Tabela 6 –	Resposta fisiológica dos isolados de <i>Colletotrichum</i> spp. sobre o crescimento micelial de acordo com a função Beta generalizada.....	38
Tabela 7 –	Porcentagem de conídios germinados e temperatura ideal de germinação de conídios dos isolados de <i>Colletotrichum</i> spp. 12 e 24 h.....	42
Tabela 8 –	Quantificação de conídios de <i>Colletotrichum</i> spp em disco de folha de cajueiro-anão ‘BRS 265’ aos 5 DAI.....	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 A cajucultura.....	16
2.2 O gênero <i>Colletotrichum</i> e sua importância econômica.....	18
2.3 Elementos climáticos e epidemias	19
2.3.1 <i>Umidade relativa</i>	21
2.3.2 <i>Temperatura</i>	21
2.3.3 <i>Luz</i>	22
2.4 Pacote tecnológico para controle de doenças na cajucultura.....	23
3. CAPÍTULO 1: <i>Colletotrichum</i> spp. MEMBROS DO COMPLEXO DE ESPÉCIES <i>C. gloeosporioides</i> , COMO AGENTES ETIOLÓGICOS DA ANTRACNOSE EM DIFERENTES ÓRGÃOS DO CAJUEIRO-ANÃO.....	25
3.1 Introdução.....	26
3.2 Metodologia.....	27
3.2.1 <i>Obtenção dos isolados de Colletotrichum spp. associados à antracnose em folhas, ramos, pedúnculo e castanhas de cajueiro</i>	27
3.2.2 <i>Extração de DNA dos isolados de Colletotrichum spp.</i>	29
3.2.3 <i>Amplificação por reação em cadeia da polimerase (PCR)</i>	29
3.2.4 <i>Sequenciamento e análise filogenética dos isolados</i>	30
3.2.5 <i>Caracterização morfológica</i>	31
3.2.6 <i>Influência da temperatura no crescimento micelial de isolados de Colletotrichum spp.</i>	32
3.2.7 <i>Influência da temperatura na germinação dos conídios de isolados de Colletotrichum spp.</i>	33
3.2.8 <i>Influência da temperatura sobre a infecção dos isolados de Colletotrichum spp. em discos de folha</i>	33
3.3 Resultados.....	34
3.3.1 <i>Análise filogenética</i>	34
3.3.2 <i>Caracterização morfológica e patogenicidade</i>	35
3.3.3 <i>Influência da temperatura no crescimento micelial de isolados de Colletotrichum spp.</i>	37
3.3.4 <i>Influência da temperatura na germinação dos conídios de isolados de Colletotrichum spp.</i>	40
3.3.5 <i>Influência de temperatura sobre a infecção dos isolados de Colletotrichum spp. em discos de folha</i>	43
3.4 Discussão.....	46
4 CAPÍTULO 2: MANEJO BIOLÓGICO DA ANTRACNOSE DO CAJUEIRO,	

OCASIONADO PELAS ESPÉCIES <i>C. theobromicola</i> e <i>C. siamense</i> COM O USO DE LIPOPEPTÍDEOS PRODUZIDOS POR <i>Bacillus</i> sp.	50
4.1 Introdução.....	51
4.2 Metodologia.....	52
4.2.1 <i>Obtenção da cepa bacteriana e dos isolados das espécies de C. theobromicola e C. siamense</i>	52
4.2.2 <i>Cultivo bacteriano e extração de lipopeptídeos</i>	52
4.2.3 <i>Sensibilidade in vitro de micélio das espécies de C. siamense e C. theobromicola ao extrato bruto de LPs</i>	52
4.2.4 <i>Germinação in vitro de conídios de C. siamense e C. theobromicola submetidos a diferentes concentrações de extrato bruto de LPs</i>	53
4.3 Resultados.....	54
4.3.1 <i>Sensibilidade in vitro de micélio das espécies de C. siamense e C. theobromicola ao extrato bruto de LPs</i>	54
4.3.2 <i>Germinação in vitro de conídios de C. siamense e C. theobromicola submetidas a diferentes concentrações de extrato bruto de LPs</i>	56
4.4 Discussão	57
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO GERAL

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) tem seu centro de origem descrito no Brasil, ao longo da costa Nordeste do país, porém a sua distribuição no mundo se deu através dos portugueses e espanhóis, que levaram a árvore aos trópicos do planeta, aonde é amplamente cultivada, principalmente na Ásia e África (Nair, 2010; Swamy, 2023).

A planta desempenha papel social fundamental, contribuindo na obtenção de renda devido à variedade de produtos obtidos através do beneficiamento, tanto da castanha quanto do pseudofruto. A castanha (amêndoa) gera produtos como castanha assada e caramelizada, farinha de castanha, leite, queijo e manteiga. Já o pseudofruto é matéria prima para várias bebidas como aguardente, cajuína, espumante, licor, mel, refrigerante, suco e vinho, além de alimentos como doces em calda, cristalizados e hambúrguer (Silva e Oliveira, 2024).

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), o Brasil ocupa a 10^o posição mundial como produtor de caju, ficando atrás de países como Costa do Marfim, Índia e Vietnã (FAO, 2025). Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), no Brasil, a produção total de castanha de caju atingiu a marca de 161.014 t, demonstrando um aumento na produtividade de 4,4%, no período de 2019 a 2024, sendo o Nordeste o principal responsável pela produção (99,8% de toda a produção nacional), demonstrando a importância da cultura para a região (CONAB, 2025).

Os estados brasileiros com as maiores produções de castanha de caju em 2024 foram o Ceará, o Piauí e o Rio Grande do Norte, produzindo 101.930, 26.172 e 20.881 t, respectivamente. O estado do Ceará possui 282.596 ha plantados, seguido pelo estado do Piauí com 75.987 hectares e pelo Rio Grande do Norte com 62.070 ha. Juntos, os três estados somam mais de 90% da produção do país (CONAB, 2025).

Em 2024 a produção de castanha de caju foi exportada para 51 países. Os principais compradores foram Argentina, Chile, Egito e Estados Unidos. Esses países concentraram mais de 50% da compra de toda a castanha exportada, movimentando mais de 2,5 milhões de dólares (CONAB, 2025).

Apesar dos números importantes de produção alcançados e da relevância da cultura, são diversos os problemas fitossanitários apontados para a frutífera no Brasil. Assim, as doenças no cajueiro tornaram-se um problema chave nas áreas produtoras do país, em virtude do impacto econômico gerado pelos patógenos. Dos patógenos encontrados

associados às doenças do cajueiro, os fungos são prevalentes, estando representados em um número substancialmente maior de estudos do que as bactérias. Destaca-se que os principais gêneros de fungos causadores de perdas na cultura são *Lasiodiplodia* spp., *Erysiphe* spp. e *Colletotrichum* spp. (Monteiro *et al.*, 2022).

Em viveiro, uma das doenças mais comuns é a antracnose, que possui como agente causal espécies fúngicas do gênero *Colletotrichum* (Araújo *et al.*, 2015). Para além do viveiro, a doença é relatada tanto em plantas de cultivos comerciais quanto em plantas selvagens, estando presente durante as fases vegetativas e reprodutivas da cultura (Velooso *et al.*, 2018). Atualmente o controle da doença dá-se através de fungicidas recomendados compostos à base de cobre, triazóis e estrobilurinas e na pós-colheita, o controle baseia-se no acondicionamento dos frutos em ambiente com umidade e temperatura baixas (Galvino, 2026). Assim, o controle biológico surge como uma alternativa inovadora e eficiente no manejo da antracnose. O uso de lipopeptídeos produzidos por cepas de bactérias do gênero *Bacillus* já foi comprovado como eficaz em vários estudos, despontando como um potencial no biocontrole da doença (Huang *et al.*, 2017; Yan *et al.*, 2020; Jin *et al.*, 2020).

Desta forma o presente trabalho teve como objetivos identificar os isolados de *Colletotrichum* spp. através de estudo filogenéticos e morfológicos, caracterizando ainda a influência da temperatura no crescimento micelial, na germinação dos conídios e na severidade da doença em discos de folha destes isolados; e investigar, *in vitro*, a eficácia do uso de lipopeptídeos nas inibições do crescimento micelial e na germinação de conídios de *Colletotrichum siamense* Prihast., L. Cai & K.D. Hyde e *Colletotrichum theobromicola* Delhado, P. Bonants & A.W.A.M. de Cock.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cajucultura

O cajueiro (*A. occidentale*) é uma planta arbórea perene de folhas sempre-verdes, com altura que pode variar de 5 a 14 m. O tamanho da copa pode chegar a uma largura de até 20 m. O sistema radicular geralmente é profundo e bem distribuído. No entanto, a distribuição das raízes depende do tipo de solo, do material e método de plantio, da idade da planta, do nível de nutrição da cultura e da irrigação (Dendena *et al.*, 2014; Swamy, 2023).

A região Nordeste do Brasil destaca-se na produção do cajueiro devido atender às condições para o desenvolvimento da planta como pluviosidades, que variam entre 800 e 1.500 mm anuais, distribuídas entre cinco e sete meses, temperaturas que variam de 18 a 35°C

e umidade relativa do ar de até 50%. Embora a cultura possa desenvolver-se em altitude superior a 1.000 m, o limite ideal e recomendado é de até 500 m acima do nível do mar (Araújo, 2015).

Pensando no potencial de produção do Nordeste, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) desenvolveu e disponibilizou para o mercado plantas de cajueiro tanto para o sistema de cultivo em sequeiro, quanto irrigado, visando a exploração da amêndoa da castanha e polpa do pseudofruto. Assim, a empresa conta hoje com doze clones diferentes de cajueiro anão, um cajueiro comum e um híbrido, totalizando quatorze genótipos com potencial para produção. Desta maneira, o produtor pode direcionar a produção do seu pomar de acordo com as características desejadas pelo consumidor ou mercado a ser alcançado (Tabela 1).

Tabela 1 – Clones de cajueiro-anão, comum e híbrido disponibilizados pela Embrapa e suas aptidões.

Clone de cajueiro	Tipo	Altura (m)	Sistema	Uso	Produtividade Castanha (kg.ha ⁻¹)	Produtividade Pedúnculo (kg.ha ⁻¹)
CCP 06	Anão	>5	Sequeiro	Amêndoas	1.050	10.000
CCP 09	Anão	2-3	Sequeiro/ Irrigado	Amêndoas, Polpa	1.200	11.600
CCP 76	Anão	2-3,5	Sequeiro/ Irrigado	Mesa, Polpa, Amêndoas	1.200	13.700
CCP 1001	Anão	2-3,5	Sequeiro	Melhoramento	1.180	14.000
Embrapa 50	Anão	3-5	Sequeiro	Amêndoas, Polpa	1.000	12.000
Embrapa 51	Anão	2,5-3,5	Sequeiro	Amêndoas, Polpa	1.650	15.000
BRS 189	Anão	1,8-3	Sequeiro /Irrigado	Mesa, Amêndoas	1.350	8.900
BRS 226	Anão	2-3,5	Sequeiro /Irrigado	Polpa, Amêndoas	1.200	12.000
BRS 253	Anão	3-5	Sequeiro	Amêndoas, Polpa	1.500	15.000
BRS 555	Anão	≈3	Sequeiro	Processamento industrial	3.427	30.844
BRS 265	Anão	3-4,5	Sequeiro	Amêndoas, Polpa	1.400	12.000
BRS 805	Anão	3-4	Sequeiro	Amêndoas, Polpa	1.800	23.800
BRS 274	Comum	>5	Sequeiro	Amêndoas	990	10.000
BRS 275	Híbrido	>5	Sequeiro	Amêndoas	1.050	10.000

Fonte: Adaptado de Embrapa Agroindústria Tropical (2024).

Mesmo com clones de boa produção, a cajucultura sofre com vários entraves. A cadeia produtiva do caju no Nordeste enfrenta desafios no campo e na indústria, com quebras de safra e baixa produtividade. A oferta insuficiente de matéria-prima afeta o setor industrial. A seca entre os anos de 2012 a 2016, somada a presença de pragas e doenças (oídio,

antracnose e resinose) causou alta mortalidade de cajueiros. Muitos pomares foram abandonados ou usados para obtenção de lenha (Brainer e Vidal, 2018).

2.2 O gênero *Colletotrichum* e sua importância econômica

O gênero *Colletotrichum*, foi introduzido em 1831 por Corda, é o único gênero da família Glomerellaceae e possui ampla distribuição. Suas espécies atuam como patógenos endófitos ou sapróbios, afetando plantas, humanos e insetos. É um dos principais grupos fitopatogênicos do mundo, com ampla diversidade e flexibilidade de hospedeiros (Jayawardena *et al.*, 2020).

O gênero inclui uma série de fitopatógenos de grande importância, causando doenças em uma ampla variedade de plantas lenhosas e herbáceas. Tem uma ampla distribuição principalmente tropical e subtropical, embora existam algumas espécies que afetam culturas temperadas (Cannon *et al.*, 2012).

A antracnose, doença causada pelo gênero, é considerada uma das mais prejudiciais às frutíferas tropicais em todo o mundo, incluindo o cajueiro (Santos *et al.*, 2019). Em relação à importância como fitopatógeno, o gênero ocupa o oitavo lugar quando comparado aos demais gêneros, e o número proposto de espécies varia de 29 a mais de 700 (Dean *et al.*, 2012). Espécies de *Colletotrichum* estão associadas a infecções que ocorrem na pré-colheita, infectando caules e folhas, como também na pós-colheita, incluindo sementes e frutos de importantes culturas de clima temperado e tropical (Vieira *et al.*, 2020).

Colletotrichum spp. têm servido há muito tempo como um sistema modelo para patógenos hemibiotróficos, com um curto estágio biotrófico, seguido por uma mudança para ramificação tecidual e desenvolvimento necrotrófico (Dean *et al.*, 2012). Os sintomas da antracnose incluem manchas foliares e lesões irregulares e necróticas escuras e marrons-avermelhadas, ovais ou angulares. Em outras partes da planta como os ramos, observa-se exsudação de goma e lesões necróticas de cor marrom-escura. Na castanha é comum o atrofiamento e manchas escuras, enquanto no pseudofruto ocorre lesões de cor escura (Freire *et al.*, 2002; Menezes, 2005; Talhinhos *et al.*, 2021).

O processo de colonização do patógeno se dá através da pré-infecção, onde ocorre a penetração e colonização dos tecidos do hospedeiro. Geralmente começa com a germinação de conídios e a formação de estruturas de infecção especializadas (apressórios e vesículas de infecção aumentadas), que facilitam a entrada através da cutícula do hospedeiro e paredes celulares epidérmicas. Na colonização do fungo são desenvolvidas hifas primárias intracelulares (biotrófica) e hifas secundárias intra e intercelulares (fase infectiva,

necrotrófica) que secretam enzimas degradantes da parede celular que matam as células hospedeiras (De Silva *et al.*, 2017; Talhinhos *et al.*, 2021).

O gênero *Colletotrichum* apresenta ampla gama de hospedeiros, 470 diferentes como árvores frutíferas, hortaliças, plantas ornamentais, feijão e mandioca (Sharma *et al.*, 2015). Na América do Sul espécies do patógeno podem causar danos que variam de 50% a 100% em culturas frutíferas (Guevara-Suarez *et al.*, 2022). Assim, complexos de espécies de *Colletotrichum*, como o complexo de *C. gloeosporioides*, são abundantes em regiões tropicais e subtropicais, infectando mais de 283 espécies de plantas de 212 gêneros diferentes (Talhinhos *et al.*, 2021). Em países produtores de frutíferas, essas espécies de *Colletotrichum* são responsáveis por perdas pós-colheita significativas, variando de 30% a 40% na banana, 30 a 60% no mamão, goiaba e manga, e 30 a 50% na pitáia e até 50% no abacate e 80% no morango (Gallardo-Camarena *et al.*, 2025).

O primeiro registro do gênero *Colletotrichum* causando doença em cajueiro foi realizado em Trinidad e Tobago (Baker *et al.*, 1940). Já no Brasil a doença foi descrita em 1948 por Rossetti (1948).

2.3 Elementos climáticos e epidemias

Doença pode ser definida como um processo dinâmico, no qual hospedeiro e patógeno, em íntima relação com o ambiente, influenciam-se mutuamente, do que resultam modificações morfológicas e fisiológicas no hospedeiro (Gaümann, 1946).

A planta doente resulta da combinação oportuna de três elementos: uma planta hospedeira suscetível, um patógeno virulento e condições ambientais favoráveis. Esses três elementos formam o triângulo da doença (Del Ponte; Mizubuti, 2024). Entretanto, a severidade das doenças infecciosas poderá ser maior ou menor, dependendo de outros fatores dentro de cada um dos três componentes dos vértices do triângulo (Michereff, 2001).

Epidemias são instaladas quando uma população de patógenos se estabelece e causa doença em uma população hospedeira. Desta maneira pode-se definir que epidemia é a mudança na intensidade da doença em uma população hospedeira ao longo do tempo e do espaço (Del Ponte; Mizubuti, 2024).

Os fatores do ambiente (luz, temperatura e umidade) podem determinar o grau de predisposição do hospedeiro, o que influencia diretamente o estabelecimento da doença e o desencadeamento da epidemia em uma cultura (Bedendo *et al.*, 2018).

A dispersão de *Colletotrichum* spp. dentro do pomar ocorre pela água da chuva (autoinfecção) e pelo vento (aloinfecção), sendo que a primeira responde pela maior

participação no processo. O fungo, tem como inóculo inicial restos de cultura no solo ou na própria planta (Cardoso *et al.*, 2011). Além de restos culturais da planta, bem como a própria planta, o inóculo pode ser fornecido por outros hospedeiros de diferentes cultivos a exemplo de morangos, citros, maceiras, cana-de-açúcar, cafeeiros, bananeiras, mandioca, entre outros (Cannon *et al.*, 2012; De Silva *et al.*, 2017; Gomes *et al.*, 2021). No cajueiro, foram relatadas sete espécies de *Colletotrichum* como agente etiológico da antracnose (Velo *et al.*, 2018), mas é possível que o inóculo remanescente nos próprios cultivos seja a principal fonte para iniciar uma epidemia.

A penetração do fungo no tecido vegetal ocorre mecanicamente e em associação com enzimas que atacam componentes da parede celular, independentemente da presença de lesão na cutícula ou abertura estomática. Assim, o fungo tem um estágio quiescente, quando os conídios germinam na superfície do fruto por exemplo, formam apressórios, penetram na epiderme do hospedeiro e infectam, mas não continuam a se desenvolver até que o tecido do hospedeiro amadureça. Essas mudanças no estilo de vida ao longo de estágios sucessivos no ciclo de vida de espécies de *Colletotrichum* podem tornar sua detecção e controle muito difícil (De Silva *et al.*, 2017; Velo *et al.*, 2022; Jurick II; Adaskaveg, 2024).

Após a penetração, o patógeno então forma uma massa de micélio que rompe a cutícula do hospedeiro e forma um acérvulo contendo conídios que representam o inóculo secundário da doença. Os conídios também podem ser produzidos em uma substância gelatinosa que serve para mantê-los unidos e protegidos, além de conferir uma auto-inibição da germinação, estratégia de grande importância ecológica (Cardoso *et al.*, 2011; Velo *et al.*, 2022).

O inóculo secundário é disperso dentro do pomar e se inicia um novo ciclo de infecção. Assim, a doença caracteriza-se como uma doença policíclica, onde o processo de infecção é estabelecido por diversos ciclos durante um único ciclo de cultivo do hospedeiro (Bergamin Filho *et al.*, 2018). A partir da senescência do tecido hospedeiro, o fungo pode produzir estruturas de reprodução tanto sexuadas quanto assexuadas, produzindo acérvulos e peritécios (Velo *et al.*, 2022).

Elementos climáticos como a umidade podem favorecer a antracnose, sendo observada maior severidade da doença nos cajueiros com o aumento do número de dias chuvosos (Cardoso *et al.*, 2000). A temperatura e luz também afetam o processo infectivo de *Colletotrichum* spp. influenciando diretamente a regulação de etapas críticas do ciclo do patógeno, como a germinação dos conídios até a colonização do hospedeiro (Velo *et al.*, 2021).

2.3.1 Umidade relativa

A umidade relativa pode afetar as epidemias de doenças em plantas de maneiras distintas. Esta variável assume a forma de chuva ou água de irrigação, umidade do ar ou orvalho na superfície das plantas (Jurick II; Adaskaveg, 2024).

No processo de infecção de *Colletotrichum* spp. no cajueiro, a umidade desempenha papel fundamental. A antracnose é altamente dependente do estágio fenológico das folhas e flores, atingindo níveis mais altos de danos nos estádios iniciais (Cardoso *et al.*, 1999). Ela é mais severa em tecidos jovens, resultantes do fluxo que ocorre durante ou imediatamente após o período chuvoso. Quando o período de elevada umidade se prolonga até o início da frutificação, as perdas na produção são mais acentuadas, podendo inclusive ser totais em algumas plantas (Cardoso *et al.*, 2011).

Epidemias de antracnose são relatadas em períodos de chuvas. Em anos de chuvas normais no Nordeste do Brasil, invariavelmente, ocorrem epidemias de antracnose na cultura do caju (Cardoso *et al.*, 2011). Durante o período chuvoso no Nordeste (de janeiro a junho) e durante a "chuva do caju", em agosto e setembro, a doença atinge sua maior severidade, disseminando-se rapidamente dentro e entre as plantas (Freire *et al.*, 2002). Epidemias de antracnose em pomares de cajueiro são relacionadas a altos valores de umidades relativas médias que variam de 46% a 96% (Cardoso *et al.*, 1999).

2.3.2 Temperatura

Patógenos de regiões tropicais e subtropicais são capazes de desenvolver-se em uma ampla faixa de temperatura. A temperatura pode, porém, influenciar nas características fisiológicas como germinação de conídios, formação de apressórios, penetração e colonização dos tecidos do hospedeiro, influenciando diretamente o processo infeccioso (Bedendo *et al.*, 2018).

No processo de colonização, as alterações de temperatura podem modificar a taxa de colonização no tecido do hospedeiro, e conseqüentemente a reprodução do patógeno, diminuindo ou aumentando a severidade da doença (Campbell; Madden, 1990; Holanda, 2024).

Temperaturas de 22 °C a 28 °C foram associadas ao crescimento micelial ótimo de *Colletotrichum* spp. (Freire *et al.*, 2002). Já para o crescimento micelial, verificou-se que o crescimento ideal para espécies do gênero associadas ao cajueiro pode variar de 25,4 °C a 29,7 °C, e que a maior taxa de germinação dos conídios ocorre entre 27,5 °C a 32,6 °C (Veloso *et al.*, 2021). No período chuvoso essas temperaturas são facilmente alcançadas em

regiões tropicais.

2.3.3 Luz

A luz é um fator ambiental importante para a maioria dos organismos vivos, incluindo fungos que a utilizam como um sinal em diversas vias metabólicas, regulando o ritmo circadiano, conidiogênese assexuada, pigmentação e metabolismo secundário (Yu *et al.*, 2013).

A maioria dos fungos pode responder a uma ampla gama de comprimentos de onda de luz, como azul (475 nm), ultra violeta (UV) próximo (300–380 nm) e luz vermelha (650 nm). A luz azul está associada principalmente à fotomorfogênese fúngica, que é a regulação do desenvolvimento fúngico pela luz (Thind *et al.*, 2018). Essa capacidade tem base genética, mediada por proteínas fotorresponsivas que são altamente conservadas em todo o reino fúngico. Essas proteínas mediam uma única reação bioquímica em resposta à luz, até outras que ativam uma cascata de sinalização mais complexa que leva a amplas mudanças na expressão gênica (Fuller *et al.*, 2015). Essas moléculas fotorreceptoras recebem a luz através de cromóforos e transduzem a energia luminosa para dentro da célula (Thind *et al.*, 2018).

Hoje, conhecem-se muitos genes reguladores de diferentes processos fisiológicos desencadeados pela percepção da luz em fungos (Tabela 2).

Tabela 2 - Fotorreceptores e genes reguladores para detecção de luz em fungos.

Fotorreceptores	Gene	Funções bioquímicas
White collar 1 (WC-1), White collar 2 (WC-2) (a maioria dos grupos de fungos)	<i>wc-1, wc-2</i>	Possuem capacidade de ligação ao DNA. Detecta comprimentos de onda azuis e ultravioletas próximos por meio de um cromóforo de flavina.
VIVID (azul/UV-A fotorreceptor em <i>Nurospora crassa</i>)	<i>Vivid</i>	Liga-se covalentemente a um cromóforo de flavina como uma segunda proteína fotossensorial
BLR-1, BLR-2 (Fotorreceptor de luz azul em <i>Trichoderma atroviride</i>)	<i>blr-1, blr-2</i>	Ativação da proteína quinase A e início da expressão gênica
DST-1, DST-2 (Fotorreceptor de luz azul em <i>Coprinopsis cinerea</i>)	<i>dst-1, dst-2</i>	Codifica uma proteína com um suposto domínio de ligação FAD-4
ENVOY (ENV1) (Fotorreceptor de luz azul em <i>Hypocrea jecorina</i>)	<i>env-1</i>	Modula a transcrição do gene da celulase
Car-O, Ops-A (<i>Fusarium fujikuroi</i>)	<i>car-O, ops-A</i>	Atua como uma bomba de prótons acionada por luz verde
NOP-1 (ortólogo da opsina em <i>F. fujikuroi</i>)	<i>ops-A</i>	Envolvimento da síntese de ATP mitocondrial
PHY-1, PHY-2 (<i>N. crassa</i>)	<i>phy-1, phy-2</i>	Regular a transição assexuada-sexual e a biossíntese de metabólitos secundários
FphA (<i>Aspergillus nidulans</i>)	<i>fph-A</i>	Liga-se a um cromóforo tetrapirrol. Suprime o desenvolvimento sexual em luz vermelha.
PHR-1 (<i>T. atroviride</i>)	<i>phr-1</i>	Regula o arrastamento do relógio circadiano pela luz
PHL-1 (<i>Cercospora zea-maydis</i>)	<i>phl-1</i>	Correção de danos ao DNA causados pela radiação UV

Cry-Dash-type (*Sclerotinia sclerotiorum*, *A. nidulans*)

cry-A

Regulação do gene *veA*, proteção UV, desenvolvimento sexual

Fonte: Adaptado de Thind *et al.* (2018).

Em *Zymoseptoria tritici*, fungo responsável por ocasionar a mancha foliar em trigo, verificou-se que o gene *ZtWco-1* está envolvido no comportamento da ramificação das hifas, melanização e virulência. Enquanto o gene *ZtFrq* atua no ciclo circadiano (Tiley *et al.*, 2022). Em *Colletotrichum acutatum*, a luz afeta diretamente o crescimento micelial, a morfologia da colônia *in vitro* e também a agressividade do patógeno. Sendo a luz azul influenciadora direta do processo de melanização e virulência (Yu *et al.*, 2013).

A intensidade dos fótons pode interferir no crescimento de *C. acutatum* provenientes de plantas de morango, em condições *in vitro* e, os diferentes espectros da luz afetam o crescimento micelial, a morfologia dos conídios e as cores da colônia (Rasiukevičiūtė *et al.*, 2022).

Tratamentos de luz (WSF – luz fluorescente de amplo espectro + UV-B e LED vermelho) foram eficientes em controlar a severidade de antracnose causada por *C. gloeosporioides* em plantas de morango (Smith *et al.*, 2022). Dessa forma fica evidente que, a luz interfere no desenvolvimento de espécies de *Colletotrichum*, afetando a severidade da doença, o crescimento das colônias e sua morfologia. Entretanto, ainda são escassos os estudos para este patógeno em plantas frutíferas tropicais, e em especial para isolados fúngicos oriundos do cajueiro.

2.4 Pacote tecnológico para controle de doenças na cajucultura

As principais doenças relatadas no cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) incluem a bacteriose causada por *Xanthomonas*, e as doenças fúngicas como o mofo-preto (*Pilgeriella anacardii*), a mancha angular das folhas (*Septoria anacardii*), o oídio (*Erysiphe quercicola* e *E. necator*), a gomose e morte descendente de ramos (*Lasiodiplodia theobromae*), a podridão do colo e tombamento de mudas (*Pythium splendens* e *Sclerotium rolfsii*), a queima foliar por *Phytophthora* (*Phytophthora heveae* e *P. nicotianae*), a podridão e deterioração de castanhas, associada a diferentes fungos, como *Aspergillus*, *Curvularia*, *Fusarium*, *Ophiostoma*, *Penicillium*, *Phoma*, *Phomopsis* e *Pestalotiopsis* e a antracnose (*Colletotrichum* spp.), esta considerada uma das doenças mais importante da cultura (Freire *et al.*, 2002; Monteiro *et al.*, 2022; Ramos, 2023; Martins *et al.*, 2025).

Considerando a importância da antracnose na cultura do caju, o manejo da doença tem sido foco de diversos estudos, envolvendo estratégias integradas que visam reduzir o

inóculo do patógeno e minimizar os danos à produção. Atualmente, segundo o Agrofit, 29 formulações são registradas para uso na a cultura, sendo 12 combinações distintas de ingredientes ativos (Tabela 3). Esses produtos pertencem majoritariamente aos grupos químicos das estrobilurinas, triazóis, ditiocarbamatos, isoftalonitrilas e compostos cúpricos, sendo amplamente utilizados ingredientes ativos como azoxistrobina, difenoconazol, clorotalonil, mancozebe e hidróxido ou oxicloreto de cobre (Freire *et al.* 2002; AGROFIT 2026).

Como alternativas ao controle químico convencional da antracnose, destacam-se os produtos de origem inorgânica, especialmente os fungicidas cúpricos, amplamente utilizados em programas de manejo preventivo, bem como formulações à base de extratos vegetais e óleos essenciais, reconhecidos por apresentarem menor impacto ambiental (Andrade-Hoyos *et al.*, 2025).

Dentre esses, o óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* tem sido apontado como promissor, uma vez que estudos recentes demonstram sua atividade antifúngica contra espécies do gênero *Colletotrichum* em diferentes culturas, tanto em condições *in vitro* quanto em avaliações pós-colheita, indicando potencial para uso como ferramenta complementar no manejo da antracnose. Apesar da diversidade de produtos químicos e alternativas disponíveis, até o momento não há produtos de controle biológico registrados no Sistema Agrofit para o manejo da antracnose do cajueiro (Leiva-Mora *et al.*, 2025).

Tabela 3. Ingredientes ativos e classes químicas de fungicidas registrados para o manejo da antracnose do cajueiro no Brasil

Ingrediente ativo	Classe química
Azoxistrobina	Estrobilurina
Azoxistrobina + difenoconazol	Estrobilurina + Triazol
Captana	Dicarboximida
Ciprodinil + fludioxonil	Anilino pirimidina + Fenilpirrol
Clorotalonil	Isoftalonitrila
Clorotalonil + difenoconazol	Isoftalonitrila + Triazol
Clorotalonil + oxatiapiprolim	Isoftalonitrila + Piperidinil tiazol izoxazolina
Difenoconazol	Triazol
Difenoconazol + pidiflumetofen	Triazol + Carboxamida
Hidróxido de cobre	Inorgânico (cúprico)

Hidróxido de cobre + oxiclureto de cobre

Inorgânico (cúprico)

Mancozebe

Alquilenobis (ditiocarbamato)

Fonte: Adaptado de Agrofít (2026).

3. CAPÍTULO 1: *Colletotrichum* spp. MEMBROS DO COMPLEXO DE ESPÉCIES *C. gloeosporioides*, COMO AGENTES ETIOLÓGICOS DA ANTRACNOSE EM DIFERENTES ÓRGÃOS DO CAJUEIRO-ANÃO

RESUMO: A caracterização morfológica, molecular e de agressividade dos isolados de *Colletotrichum* spp. associados à antracnose em diversos órgãos do cajueiro, proposto neste estudo, são inexistentes. Assim, objetivou-se identificar os isolados de *Colletotrichum* spp. de diferentes sintomas de doença através de estudo filogenéticos e morfológicos, caracterizando a influência da temperatura no crescimento micelial, germinação dos conídios e na severidade da doença em discos de folha do clone de cajueiro BRS 265. Os isolados foram obtidos a partir de folhas, ramos, pedúnculos e castanhas das plantas de cajueiro que apresentaram sintomas característicos da doença. Esses foram caracterizados por PCR com a amplificação das regiões *GAPDH* (Gliceraldeído-3- fosfato desidrogenase), *TUB2* (β -tubulina), *ACT* (Actina); ITS (rDNA-ITS). Empregou-se os métodos de máxima verossimilhança (ML) e inferência Bayesiana para identificação. Os isolados de *Colletotrichum* spp. foram avaliados nas diferentes temperaturas de 16 °C, 20 °C, 24 °C, 28 °C e 32 °C. Como resultado observou-se que os isolados formaram clado com espécies do complexo *Colletotrichum gloeosporioides*. A análise filogenética evidenciou a formação de três cladros, sendo que os isolados CAJ3 (pseudofruto), CAJ5 (castanha) e CAJ6 (ramo) agruparam-se com *C. siamense*, enquanto o isolado LF200 (folha) formou um clado distinto com *C. theobromicola*. Verificou-se também que a temperatura tem impacto direto na germinação dos conídios, no crescimento micelial e severidade dos sintomas em disco de folha.

Palavras-chave: Antracnose do cajueiro; Estudo filogenético; Temperatura e crescimento micelial.

3.1 Introdução

A antracnose, que tem por agente etiológico espécies do gênero fúngico *Colletotrichum*. Está presente em pomares de cajueiro em todos os biomas brasileiros (Veloso *et al.*, 2018). O patógeno acomete todas as partes da planta, tanto na fase vegetativa, quanto na fase reprodutiva, infectando folha, fruto, ramos, inflorescência e pedúnculo (Freire; Cardoso, 2002; Cardoso, 2011). Em folhas, são observadas lesões necróticas, marrons e irregulares, lesões vermelhas em folhas mais velhas, com ocorrência de perfurações, ficam retorcidas e enegrecidas. Nos ramos ocorre a presença de lesões necróticas, enquanto na inflorescência há o aparecimento de lesões escuras, que podem acarretar no aborto e na secagem destas. Nos frutos aparecem lesões escuras e deprimidas, pode haver a presença de rachaduras, apodrecimento e queda (Freire; Cardoso, 2002).

A antracnose passou a se configurar como um importante problema fitossanitário na cajucultura nordestina, principalmente nas regiões litorâneas e nos sertões de altitude (Cardoso *et al.*, 2013; Lima *et al.*, 2019). O ambiente pode influenciar o crescimento e a suscetibilidade da planta hospedeira, a multiplicação, a disseminação, a sobrevivência e as atividades do patógeno, assim como a interação entre a planta hospedeira e o patógeno (Ghini *et al.*, 2011). Assim, a influência das condições do ambiente é extremamente importante na ocorrência e na severidade de todas as doenças do cajueiro, entre elas a antracnose (Cardoso *et al.*, 2011).

É visto que diversas espécies podem infectar diversas partes da planta, demonstrando que essas espécies podem se adaptar ao tecido da planta que está infectando (Veloso *et al.*, 2018). Atualmente, sete espécies de *Colletotrichum* foram descritas causando doenças no cajueiro. Sendo eles *Colletotrichum chrysophilum* W.A.S. Vieira, W.G. Lima, M.P.S. Câmara & V.P. Doyle, *Colletotrichum theobromicola* (Sin. *Colletotrichum fragariae*), *Colletotrichum fructicola* Prihast., L. Cai & K.D. Hyde, *Colletotrichum gloeosporioides sensu stricto* Penz. & Sacc, *Colletotrichum queenslandicum* B.S. Weir & P.R. Johnst, *Colletotrichum siamense* e *Colletotrichum tropicale* E.I. Rojas, S.A. Rehner & Samuels (Veloso *et al.*, 2018). Isolados do fungo encontrados em cajueiro no estado de Pernambuco, Brasil, na sua maioria foram da espécie *C. tropicale* de comportamento endofítico (Ramos *et al.*, 2024). Em pomares comerciais e selvagens, em quatro biomas (Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Floresta Amazônica) predomina a espécie *C. siamense*, estando ligado a sintomas da doença em todos os órgãos da planta, demonstrando grande generalidade (Veloso *et al.*, 2018).

A caracterização morfológica, molecular e de agressividade dos isolados de

Colletotrichum spp. associados à antracnose em diversos órgãos do cajueiro, proposto neste estudo, são inexistentes. Entender o impacto da temperatura é fundamental para ampliar o conhecimento sobre a diversidade de espécies e as características dos patógenos presentes em regiões produtoras da cultura do Estado do Ceará. Assim, as investigações que fornecem conhecimento de como a temperatura pode influenciar no processo de agressividade dos isolados e da severidade da doença predominantes nas principais áreas produtoras do Estado fornecem embasamento na tomada de decisões do manejo da doença.

Todos os eventos dos ciclos dessa doença são críticos quanto à dependência das condições ambientais, sendo a dispersão, a germinação dos esporos e a penetração nos tecidos sequencialmente dependentes do clima (Cardoso *et al.*, 2011). A temperatura desempenha um papel indispensável na infecção de patógenos em muitas etapas da infecção por *Colletotrichum* spp. (agente causal da antracnose) em várias culturas, desde a esporulação, o crescimento do micélio e a severidade da doença nas plantas hospedeiras (Ji *et al.*, 2023).

Desta forma, o presente capítulo teve como objetivo principal identificar os isolados de *Colletotrichum* spp. de diferentes sintomas de doença através de estudo filogenéticos e morfológicos, caracterizando a influência da temperatura no crescimento micelial, germinação dos conídios e na severidade da doença em discos de folha do clone de cajueiro BRS 265.

3.2 Metodologia

3.2.1 Obtenção dos isolados de Colletotrichum spp. associados à antracnose em folhas, ramos, pedúnculo e castanhas de cajueiro

Os isolados foram obtidos a partir de folhas, ramos, pedúnculos e castanhas das plantas de cajueiro que apresentaram sintomas característicos da doença. Realizou-se a coleta em áreas produtoras de caju, em municípios do estado do Ceará e no banco de germoplasma da Embrapa Agroindústria Tropical, no município de Pacajus, Ceará.

Materiais sintomáticos de antracnose foram acondicionados em sacos plásticos e em recipiente de isopor com gelo, com o objetivo de manter a umidade e evitar a desidratação das amostras durante o percurso até o Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Agroindústria Tropical (CNPAT), em Fortaleza, Ceará.

Em laboratório, o material sintomático passou por processo de sanitização, onde inicialmente foi realizada a desinfestação com a lavagem em água corrente e detergente neutro das partes vegetais. Posteriormente, o material foi cortado para obtenção de fragmentos dos tecidos aparentemente infectados pelo patógeno. Em câmara de fluxo laminar, os

fragmentos obtidos foram imersos por 30 segundos em solução contendo álcool 70% para quebrar a tensão superficial. Após o tempo de imersão em álcool seguiu-se a imersão em hipoclorito de sódio a 2%, por 1 minuto, seguido pela lavagem com água destilada esterilizada e secos em papel filtro esterilizado. Cinco fragmentos de cada material foram dispostos em pontos equidistantes em placas de Petri contendo meio de cultura BDA (batata dextrose ágar), suplementado com os antibióticos estreptomicina e cloranfenicol (100 ppm). Os fragmentos em placas de Petri seguiram para incubação a 28°C, com fotoperíodo de 12h claro e 12h escuro, até o crescimento do fungo.

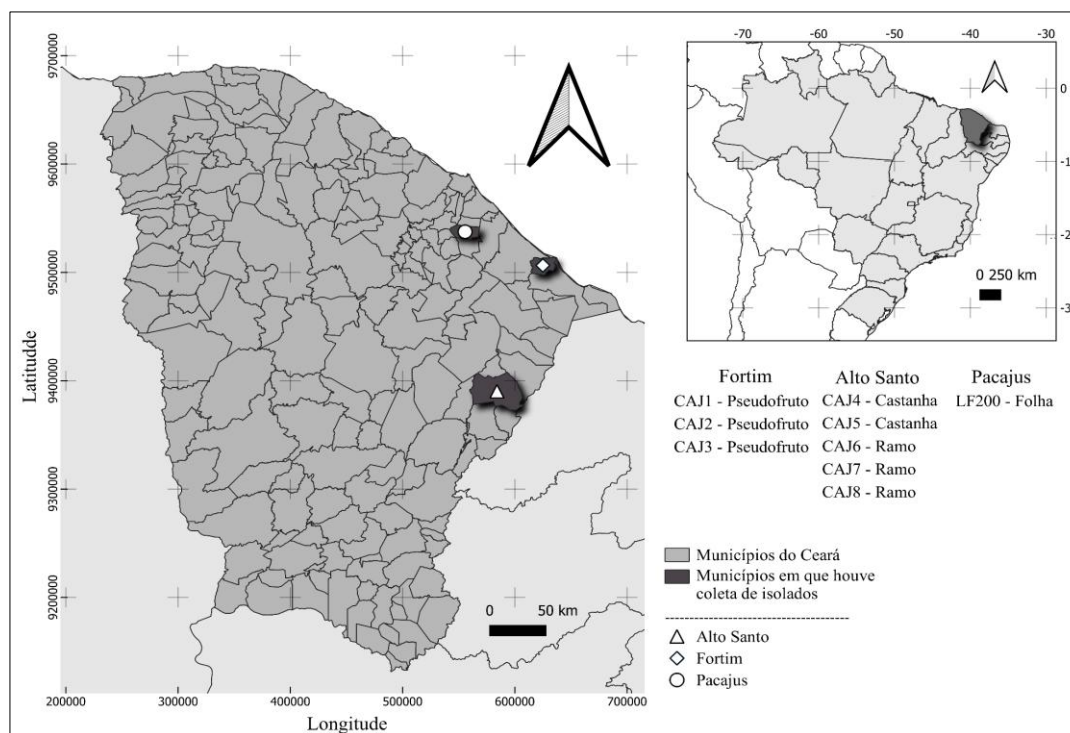
Através do preparo de lâminas contendo o corante azul de algodão foi observado em microscópio óptico de luz (10,20 e 40x) as estruturas do patógeno como conídios e a presença de mucilagem. Após confirmação das estruturas realizou-se a retirada de um fragmento do micélio que posteriormente seguiu para outra placa de Petri contendo BDA e antibióticos (cloranfenicol e estreptomicina a 100 ppm), com o objetivo de retirar apenas o isolado de *Colletotrichum* spp. Os isolados foram mantidos em ambiente com temperatura de 28°C ± 2°C e fotoperíodo de 12h claro e 12h escuro para incentivar a esporulação e crescimento micelial.

Para a obtenção de cultura pura, realizou-se um cultivo monospórico de cada isolado obtido dos diferentes órgãos do cajueiro. Para tal, retirou-se da cultura isolada da ponta do micélio uma porção do meio contendo o micélio e conídios que foram transferidos para microtubos contendo uma alíquota de 500 µL de tween 20 na concentração de 2,5%, seguido para vórtex por 30 segundos, 50 µL dessa suspensão foi plaqueada em placa de Petri contendo meio ágar-ágar e espalhada com auxílio de alça de Drigalski de acordo com Serra *et al.* (2008). Com o auxílio de um microscópio de luz, utilizando a objetiva de 10x foi realizada a transferência de apenas um conídio para placa de Petri contendo BDA suplementado com antibiótico. Esse processo ocorreu após 12 horas do plaqueamento em meio ágar.

Após a obtenção da cultura monospórica, foi realizada a criação de código para identificação dos isolados obtidos. O código foi acompanhado de informações como local onde o material foi coletado, número do isolado e de qual parte da planta foi isolado.

Foram obtidos oito isolados de *Colletotrichum* spp. de cada órgão vegetal da planta de cajueiro cultivadas em municípios do estado do Ceará (Figura 1), sendo três isolados do pseudofruto, dois da castanha e três dos ramos. O isolado de folha foi disponibilizado da micoteca interna do Laboratório de Fitopatologia do CNPAT.

Figura 1 - Municípios onde foram coletados os isolados das espécies de *Colletotrichum* utilizados nos estudos



Fonte: Elaborado pelo autor no programa QGIS (2026).

3.2.2 Extração de DNA dos isolados de *Colletotrichum* spp.

A extração de DNA dos isolados foi realizada no Laboratório de Biologia Molecular do CNPAT. Os isolados fúngicos foram cultivados durante cinco dias em meio BDA. Em seguida, cinco discos de micélio de 5 mm foram transferidos para meio líquido de batata e dextrose (BD) e cultivados por três dias, sob agitação constante de 100 rpm, à temperatura de 25 °C e com fotoperíodo de 12 horas. A biomassa fúngica obtida foi filtrada e lavada com água destilada e esterilizada (ADE), aproximadamente 150 mg de micélio do fungo foi triturado com auxílio de cadinho e almofariz, utilizou-se nitrogênio líquido. Foi adicionado 100 mg de polivinilpirrolidona (PVP).

A extração de DNA prosseguiu empregando o método CTAB (brometo de hexadeciltrimetilamônio), adaptado conforme o protocolo de Murray e Thompson (1980). Na quantificação do DNA extraído foi usado o espectrofotômetro NanoDrop 2000c (Thermo Fisher Scientific), e sua qualidade foi verificada por eletroforese em gel de agarose a 1%, visualizada em fotodocumentador.

3.2.3 Amplificação por reação em cadeia da polimerase (PCR)

Os isolados foram caracterizados por PCR com a amplificação das regiões

GAPDH (Gliceraldeído-3- fosfato desidrogenase), *TUB2* (β -tubulina), *ACT* (Actina); ITS (rDNA-ITS). A tabela 4 apresenta as sequências dos *primers* que foram empregados no presente trabalho.

Tabela 4 - *Primers* utilizados na caracterização de isolados de *Colletotrichum* spp. com sequências e referências

Genes	Primer	Sequências (5'-3')	Referência
<i>ACT</i>	ACT-512F	ATG TGC AAG GCC GGT TTC GC	Carbone and Kohn (1999)
	ACT-783R	TAC GAG TCC TTC TGG CCC AT	Carbone and Kohn (1999)
<i>GAPD</i>	GDF	GCC GTC AAC GAC CCC TTC ATT GA	Templeton <i>et al.</i> (1992)
<i>H</i>	GDR	GGG TGG AGT CGT ACT TGA GCA TGT	Templeton <i>et al.</i> (1992)
ITS	ITS1	CTT GGT CAT TTA GAG GAA GTA A	White <i>et al.</i> (1990)
	ITS4	TCC TCC GCT TAT TGA TAT GC	White <i>et al.</i> (1990)
<i>TUB2</i>	Bt2a	GGT AAC CAA ATC GGT GCT GCT TTC	Glass and Donaldson (1995)
	Bt2b	ACC CTC AGT GTA GTG ACC CTT GGC	Glass and Donaldson (1995)

Fonte: Adaptado pelo autor (2026).

A solução para a Reação em Cadeia da Polimerase (PCR) continha um volume final de 50 μ L, composto por 6,25 μ L de DNA genômico (10 ng. μ L⁻¹), 10 μ L de buffer 5x, 3,0 μ L de MgCl₂ (25 mM), 1 μ L de dNTP (10 mM), 5 μ L de cada iniciador (10 mM), 0,5 μ L de GoTaq polimerase (5 U. μ L⁻¹) e 19,25 μ L de água deionizada estéril.

O ciclo da PCR consistiu em uma desnaturação inicial a 96 °C por 1 minuto, seguida de 35 ciclos, cada um composto por uma desnaturação a 94 °C por 30 segundos, anelamento a 58 °C por 1 minuto (para ITS e *TUB2*) ou a 57 °C por 1 minuto (para *ACT*) ou a 60 °C por 1 minuto (para *GD*), e uma extensão final a 72°C por 10 minutos (Coutinho *et al.*, 2017).

O uso destes *primers* objetivou fornecer fragmentos de gene das regiões citadas em todos os isolados de *Colletotrichum* spp. associados aos sintomas da antracnose. Ao final os produtos de PCR foram visualizados por meio da eletroforese em gel de agarose a 1,2%, com tampão Tris-Borato-EDTA 1X, corados com brometo de etídio (0,5 mg/mL) e visualizados sob transluminador UV.

Após a verificação das bandas amplificadas, os fragmentos gênicos amplificados foram purificados com o Kit (Promega) Wizard® SV Gel e PCR Clean-Up System e sequenciados nas direções senso e antisenso.

3.2.4 Sequenciamento e análise filogenética dos isolados

Após o sequenciamento dos fragmentos gênicos das regiões amplificadas, realizou-se a montagem das sequências contigs, utilizando-se o programa BioEdit®. As contigs foram depositadas e comparadas com sequências existentes na base de dados GenBank do National

Center for Biotechnology Information (NCBI) (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>), utilizando a ferramenta Basic Local Alignment Search Tool (BLAST). Foram obtidos alinhamentos múltiplos das sequências nucleotídicas de espécies filogenéticas descritas de *Colletotrichum* spp. juntamente com os isolados obtidos, utilizando-se o programa MAFFT (Kuraku *et al.*, 2013; Katoh; Rozewicki; Yamada, 2019). Os alinhamentos foram corrigidos manualmente utilizando o programa BioEdit[®]. Sequências foram depositadas no GenBank.

Após alinhamento das múltiplas sequências, para continuar com as análises filogênicas, empregou-se os métodos de máxima verossimilhança (ML) e inferência Bayesiana (IB). Inicialmente, realizou-se uma análise monogênica por ML utilizando *GAPDH*, incluindo todos os isolados deste estudo. Posteriormente os isolados foram submetidos a análises filogenéticas concatenadas por IB, empregando os genes *GAPDH*, *TUB2*, *ACT*; ITS. Para a análise de verossimilhança foi utilizado o servidor Cyberinfrastructure for Phylogenetic Research (CIPRES) Science Gateway V. 3.3. (Miller *et al.*, 2010). As análises foram realizadas usando o RAxML-HPC v.8 com o modelo GTRCAT com o suporte de 1000 repetições de bootstrap. A análise por IB foi realizada no programa MrBayes v. 3.2.7a (Ronquist; Huelsenbeck, 2003) com probabilidades a posteriori para 10.000.000 gerações e a escolha dos modelos evolutivos para cada gene foi realizada no MrModeltest 2.3 (Nylander, 2004). Os modelos K80, K80+G; K80 e SYM+G foram selecionados como os melhores para a substituição de nucleotídeos para *GAPDH*, *TUB2*, *ACT* e ITS, respectivamente, segundo o Critério de Informação Akaike corrigido (AIC). As árvores filogenéticas geradas foram visualizadas no programa iTOL (Letunic; Bork, 2021).

3.2.5 Caracterização morfológica

Para a caracterização morfológica dos isolados representantes, foi utilizado o método empregado por Liu *et al.* (2022). Para determinação da pigmentação da colônia foi utilizado o meio BDA, com três repetições por isolado para ambas as análises (cada repetição constituída por uma placa de Petri). Um disco de micélio foi transferido para o centro de uma placa de Petri contendo o meio de cultura BDA, seguindo para incubação em BOD a 25 °C (± 2 °C) sob fotoperíodo de 12 h, por 7 dias.

Para as características micromorfológicas e culturais, utilizou-se o meio *spezieller nährstoffarmer agar* (SNA). Foi transferido um disco de micélio (5 mm de diâmetro) com sete dias de crescimento em meio de cultura BDA para o centro de uma placa de Petri com fragmentos de acícula de pinus (*Pinus* spp.) autoclavadas duas vezes, colocadas na superfície do ágar, por sete dias de incubação a 25 °C (± 2 °C), fotoperíodo de 12 horas. As dimensões

obtidas dos conídios foram avaliadas por meio do programa Motic Images Plus 2.0. Foram realizadas 30 medições de conídios. As imagens foram obtidas com auxílio de microscópio (Olympus CX40, Modelo CX40RF200), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Para se obter outras características morfológicas como apressórios e células conidiogênicas utilizou-se da técnica de cultura em lâmina (Liu *et al.* 2022).

3.2.6 Influência da temperatura no crescimento micelial de isolados de *Colletotrichum spp.*

Os isolados de *Colletotrichum spp.* foram avaliados nas diferentes temperaturas de 16 °C, 20 °C, 24 °C, 28 °C e 32 °C. Um disco de micélio de cada isolado cultivado em BDA por sete dias foi depositado com auxílio de haste no centro de uma placa de Petri contendo BDA. Cada isolado foi representado por cinco (cada repetição constituída por uma placa de Petri) repetições em cada temperatura. Os discos de micélios seguiram para incubação em BOD nas diferentes temperaturas supracitadas. As avaliações diárias do crescimento micelial dos isolados iniciaram-se após 24 h após plaqueamento do fungo com o emprego de paquímetro eletrônico para medir o diâmetro da colônia nos sentidos longitudinal e transversal da placa. As medições ocorreram até o fungo colonizar toda a placa.

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial quatro por cinco (isolados x temperaturas) com cinco repetições (cada repetição constituída por cinco placas de Petri). Os dados de crescimento micelial foram submetidos a ANOVA, teste de média Tukey e análise de regressão não-linear. Para avaliação da temperatura no crescimento micelial aplicou-se a função beta generalizada desenvolvida por Hau *et al.* (1985) – equação 1. Posteriormente complementada por Bassanezi *et al.* (1998) para se conseguir temperatura ótima de crescimento – equação 2:

Equação 1:

$$Y(T) = b_3 * (T - T_{min})^{b_1} * (T_{max} - T)^{b_2} \quad (1)$$

Equação 2:

$$T_{opt} = (b_1 T_{max} + b_2 T_{min}) / (b_1 + b_2) \quad (2)$$

Onde:

T é a variável independente temperatura;
Y é a variável dependente taxa de crescimento do micélio;
T_{min}, T_{max} e T_{opt} são estimativas das temperaturas mínima, máxima e ótima;
b₁, b₂ e b₃ são os parâmetros do modelo.

Os dados estatísticos foram processados no programa RStudio.

3.2.7 Influência da temperatura na germinação dos conídios de isolados de *Colletotrichum spp.*

Foram utilizados os cinco níveis de temperaturas do ensaio anterior (item 2.5) para investigar a influência na germinação dos conídios dos isolados do fungo. Este teste foi conduzido com lâminas contendo discos de meio ágar-ágar, que receberam gotas de 50 µL de suspensão com conídios de *Colletotrichum spp.* ajustadas para 1×10^4 conídios.mL⁻¹. Três lâminas foram colocadas em caixas gerbox com algodão umedecido com água destilada autoclavada, no fundo (câmara úmida), sendo cada lâmina considerada uma repetição.

A avaliação ocorreu após 12h e 24 horas, com a adição de 10 µL de lactoglicerol para interromper o processo de germinação e crescimento. Conídios com tubos germinativos maiores que a largura do mesmo foram considerados germinados. A porcentagem de germinação foi calculada com base no número de conídios germinados e não germinados observados em microscópio óptico no campo de visão da lente objetiva de 10x.

Foi empregado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial quatro por cinco (isolados x temperaturas), com três repetições (cada repetição foi constituída por uma lâmina), avaliando o número de conídios germinados. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (Anova), teste de média Tukey e regressão polinomial para verificar quais temperaturas e percentual de germinação máximos.

3.2.8 Influência da temperatura sobre a infecção dos isolados de *Colletotrichum spp.* em discos de folha

Para obtenção dos discos de folhas foi empregada a metodologia descrita por Holanda (2024) e confirmada por Galvino e Martins (2025), onde discos de folha de 18 mm de diâmetro foram produzidos a partir de folhas jovens providas de brotações novas e com pouca lignificação do terço médio externo à copa de plantas adultas de cajueiro-anão do clone BRS 265 caracterizado como suscetível ao *Colletotrichum spp.* As folhas foram coletadas no município de Pacajus, Ceará, no Campo Experimental da Embrapa Agroindústria Tropical

(4°10' S e 38°27' W).

Antes do processo de inoculação, os discos de folhas passaram por desinfestação superficial em álcool 70% por 30 segundos; hipoclorito de sódio 1,5% por 1 min e tríplice lavagem com água destilada. Antes da inoculação do fungo, os discos foram posicionados em placas de Petri contendo meio de cultura ágar-ágar (20 g.L⁻¹), para manter a turgidez dos discos durante todo o período de avaliação, com a face abaxial voltada para cima (Holanda, 2024).

A inoculação do fungo nos discos de folhas desinfetados foi realizada utilizando uma suspensão com concentração de 1×10^6 conídios.mL⁻¹. Cada disco recebeu um ferimento no centro com o emprego de agulha, onde 15 µL da suspensão foram depositados. Após a inoculação sobre os discos de folhas, as placas foram seladas com filme plástico, e levadas à BOD com fotoperíodo de 12h de exposição à luz e 12h de escuridão.

O experimento foi realizado com quatro isolados. Cada isolado foi inoculado em 12 discos de folhas para cada temperatura (16 °C, 20 °C, 24 °C, 28 °C e 32 °C). O que totalizou 300 discos de folhas (onde cada disco de folha contou como uma repetição). Desta forma, o experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 5, sendo quatro isolados testados e cinco temperaturas.

A severidade da doença e a agressividade dos isolados nos discos de folhas foi avaliada com auxílio do *software* R, utilizando o RStudio, juntamente com o pacote “Pliman”, com base nas imagens capturadas em microscópio estereoscópico aos 3 e 5 dias após a inoculação (R Core Team, 2021; Olivoto *et al.*, 2022).

Para além da severidade, foi avaliada também a produção de conídios nos discos de folhas. A partir de uma suspensão obtida de cada tratamento pela agitação dos discos de folha. Onde, quatro discos de folha foram agitados em 10 mL de uma solução de Tween-20 a 2,5% por 1 minuto em tubo Falcon no agitador vórtex. As suspensões obtidas foram levadas à câmara de Neubauer para contagem e determinação da concentração de conídios (Galvino; Martins, 2025).

Os dados obtidos foram submetidos à ANOVA, e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o uso do programa RStudio® (R Core Team, 2021).

3.3 Resultados

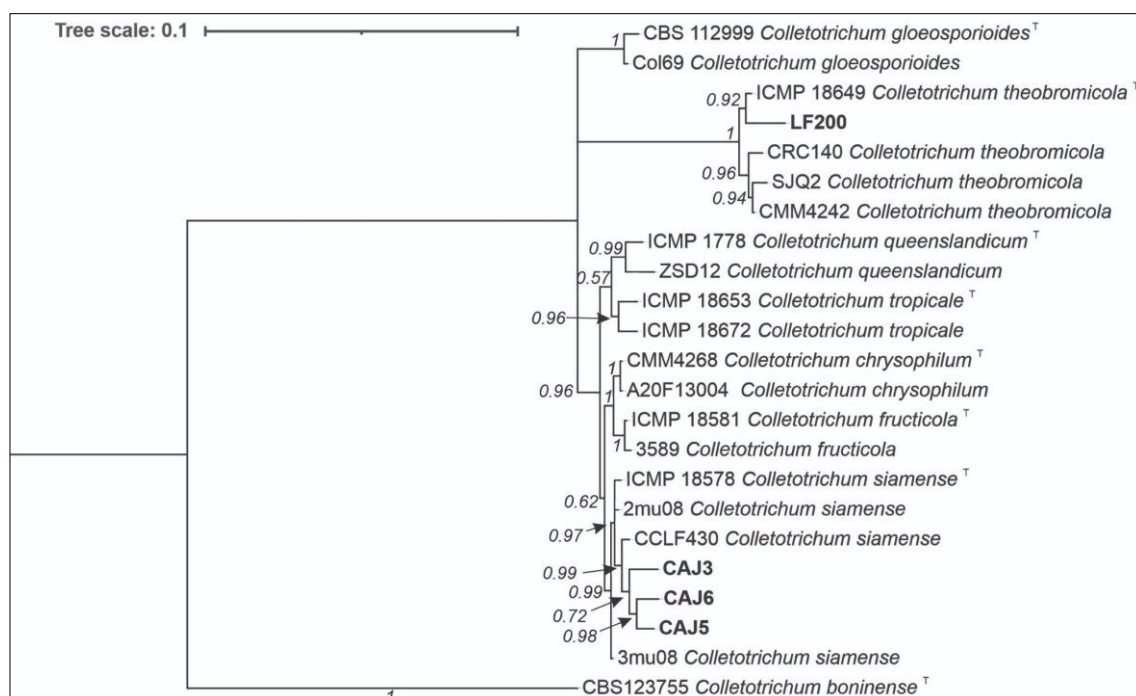
3.3.1 Análise filogenética

Foi escolhido um isolado de cada parte da planta para a análise filogenética,

totalizando assim quatros isolados para o presente estudo. Para a construção da árvore filogenética de IB foi usada a abordagem de análise multigênica das regiões *GAPDH*, *TUB2*, *ACT*; ITS, com aproximadamente 152 pb, 434 pb e 266 pb e 553 pb, respectivamente.

Os resultados indicaram que os isolados formaram clado com espécies do complexo *Colletotrichum gloeosporioides*. A análise filogenética evidenciou a formação de três cladogramas, sendo que os isolados CAJ3 (pseudofruto), CAJ5 (castanha) e CAJ6 (ramo) agruparam-se com *C. siamense*, enquanto o isolado LF200 (folha) formou um clado distinto com *C. theobromicola*, ambos com alta probabilidade posterior (Figura 2).

Figura 2 - Árvore filogenética do complexo de espécies *Colletotrichum gloeosporioides* inferida por inferência Bayesiana com base em um alinhamento concatenado das regiões ITS, *GAPDH*, *TUB2* e *ACT*, incluindo exclusivamente espécies previamente relatadas em cajueiro (*A. occidentale* L.). Os valores de suporte nos ramos correspondem às probabilidades posteriores ($PP \geq 0,90$). A árvore foi enraizada com *Colletotrichum boninense*. Os isolados deste estudo estão indicados em negrito.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

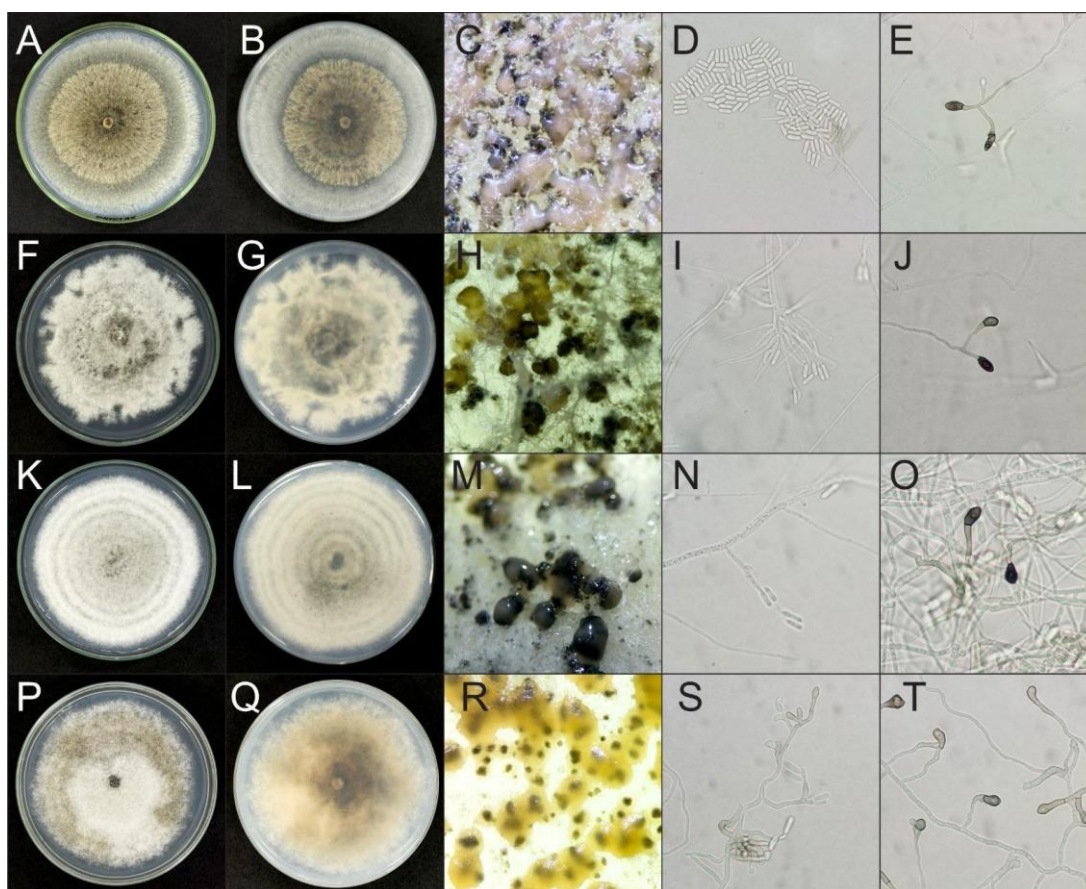
3.3.2 Caracterização morfológica e patogenicidade

A caracterização dos isolados obtidos nesse estudo foi realizada para as duas espécies *C. siamense* e *C. theobromicola*, as quais corroboraram com a descrição de espécies já relatadas na literatura.

C. siamense (CAJ3, CAJ5 e CAJ6) apresentaram um crescimento micelial médio

de 11,47; 11,55 e 12,14 mm.dia⁻¹, respectivamente. As variações de cor das colônias (frente e verso) oscilaram entre cinza-pálido, isolado CAJ3 (Figura 3.A-B); predominantemente brancas com áreas centrais em cinza-escuro, isolado CAJ5 (Figura 3. F-G); e K e L (CAJ6) brancas com discretos tons de cinza-pálido, isolado CAJ6 (K-L). A massa mucilaginosa de conídios foi produzida por todos os isolados com coloração amarela brilhante, geralmente concentradas na superfície, no centro da colônia (Figura 3). Para os conídios, verificou-se que as médias dos tamanhos dos isolados foram de 25,4; 23,3; e 23,3 μm, respectivamente (Tabela 5).

Figura 3- Colônias dos isolados de *C. siamense* e *C. theobromicola* cultivados em meio de cultura (BCA). Isolados da espécie *C. siamense*: colônias (A e B, F e G, K e L), esporodóquio e massa mucilaginosa de conídios (C, H, M), conídios e células conidiogênicas (D, I, N) apressório (E, J, O). Isolados da espécie *C. theobromicola*: colônias (P e Q), esporodóquio e massa mucilaginosa de conídios (R), conídios e células conidiogênicas (S), apressório (T).



Fonte: Autor (2026).

C. theobromicola (LF200) apresentou um crescimento micelial médio de 9,38 cm.dia⁻¹, a colônia (frente e verso) apresentou micélio aéreo branco a cinza-escuro com anéis

concêntricos. O isolado produziu massa mucilagínosa de conídios com coloração laranja brilhante (Figura 3) e os conídios apresentaram tamanho médio de 8,1 μm (Tabela 5).

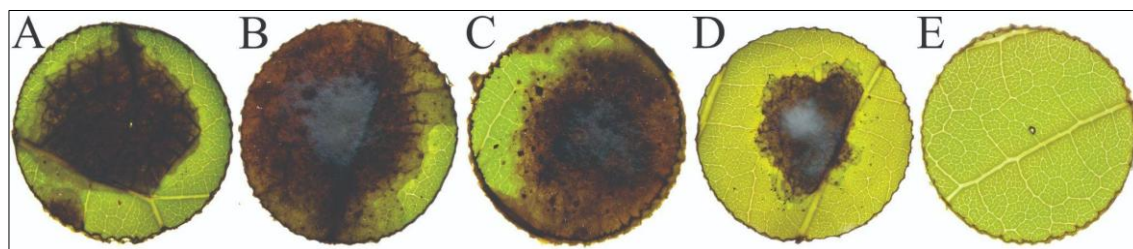
Tabela 5 - Morfologia dos conídios e dimensões dos isolados de *C. siamense* e *C. theobromicola* obtidos dos isolados provindo de órgãos diferentes

Órgão de isolamento	Isolado	Formato	Comprimento				Largura				Número de conídios
			Mín.	Méd.	Máx.	SE	Mín.	Méd.	Máx.	SE	
Pseudofruto	CAJ3	Cilíndrico	22,3	25,4 a	37,7	$\pm 3,0$	4,7	7,7 a	11,2	$\pm 1,7$	n = 30
Castanha	CAJ5	Cilíndrico	16,0	23,3 b	28,7	$\pm 2,3$	5,7	7,5 a	9,7	$\pm 0,9$	n = 30
Ramo	CAJ6	Cilíndrico	16,0	23,3 b	28,7	$\pm 2,3$	6,6	7,6 a	9,7	$\pm 0,7$	n = 30
Folha	LF200	Cilíndrico	20,4	23,8 ab	27,2	$\pm 1,7$	7,3	8,1 a	8,9	$\pm 0,5$	n = 30

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste Tukey a ($p < 0,05$). Os conídios foram obtidos de colônias cultivadas em meio BDA a 25 ± 2 °C com fotoperíodo de 12 h de luz fluorescente por 7 dias. Fonte: Autor (2026).

Todos os isolados foram patogênicos à folha do cajueiro-anão, mesmo provindo de outros órgãos como ramo, castanha e pseudofruto. Os discos de folha apresentaram sintomas característicos, como necrose do tecido foliar, bem como a formação de sinais como mucilagem e micélios aéreos (Figura 4). Após o teste de patogenicidade foi realizado o reisolamento dos isolados do patógeno inoculado e as características morfológicas e culturais foram semelhantes às descritas anteriormente.

Figura 4 - Teste de patogenicidade dos isolados de *Colletotrichum* spp. causando diferentes sintomas no cajueiro. A - Isolado proveniente pseudofruto (CAJ3), B - Isolado proveniente da castanha (CAJ5), C - Isolado proveniente do ramo (CAJ6), D - Isolado proveniente da folha (LF200), E – Controle sem inoculação.



Fonte: Autor, 2026.

3.3.3 Influência da temperatura no crescimento micelial de isolados de *Colletotrichum* spp.

Houve interação significativa entre os isolados de *Colletotrichum* spp. com as

temperaturas utilizadas para o crescimento micelial do fungo. Aplicando a função beta generalizada conforme as equações 1 e 2 descritas na metodologia, foram observadas respostas do crescimento micelial de cada isolado provindo de cada órgão da planta de cajueiro-anão. Observou-se que os valores do coeficiente de determinação (R^2) para os modelos de regressão não linear variaram de 0,90 a 0,98 para os diferentes isolados (Tabela 6). Os valores médios estimados das temperaturas a partir dos modelos gerados foram T_{min} variando de 1,00 °C a 5,20 °C, T_{opt} de 26,93 °C a 28,96 °C e T_{max} de 32,10 °C a 36,20 °C.

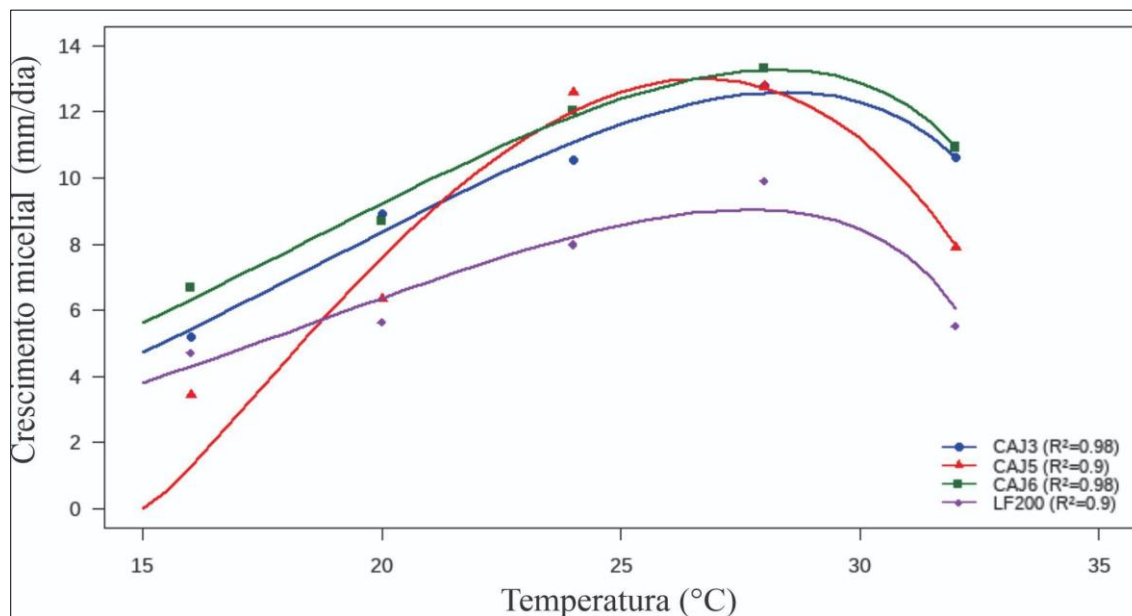
Tabela 6 - Resposta fisiológica dos isolados de *Colletotrichum* spp. sobre o crescimento micelial de acordo com a função beta generalizada

Órgão de isolamento	Isolado	Parâmetros da equação ^a			
		T_{min} (°C) ^b	T_{opt} (°C) ^c	T_{max} (°C) ^d	R^2
Pseudofruto	CAJ3	1,98	28,65	33,76	0,97
Castanha	CAJ5	5,20	26,93	36,20	0,90
Ramo	CAJ6	1,00	28,37	32,98	0,98
Folha	LF200	3,00	28,96	32,10	0,90

^aResposta para a taxa de crescimento micelial de diferentes isolados de *Colletotrichum* spp. em função da temperatura, descritas pela equação: $Y(T) = [(T-T_{min})/(T_{opt}-T_{min})]B1(T_{opt}-T_{min})/(T_{max}-T_{opt})[(T_{max}-T)/(T_{max}-T_{opt})]B1(Y=b3(T-T_{min})b1(T_{max}-T)b2)$, ^btemperatura mínima de crescimento do micélio, ^ctemperatura ótima de crescimento do micélio, ^dtemperatura máxima de crescimento do micélio. Fonte: Autor (2026).

É possível observar que todos os isolados demonstraram um padrão de crescimento. A taxa de crescimento micelial aumentou até um ponto ótimo de temperatura. A partir desse ponto, todos os isolados apresentaram decréscimo acentuado no crescimento micelial na temperatura mais elevada (Figura 5).

Figura 5 - Resposta do crescimento micelial (mm) em meio (BDA) dos isolados (CAJ3 – Pseudofruto, CAJ5 – Castanha, CAJ6 – Ramo, LF200 – Folha) de *Colletotrichum* spp. à temperatura, ajustada pela função beta generalizada.

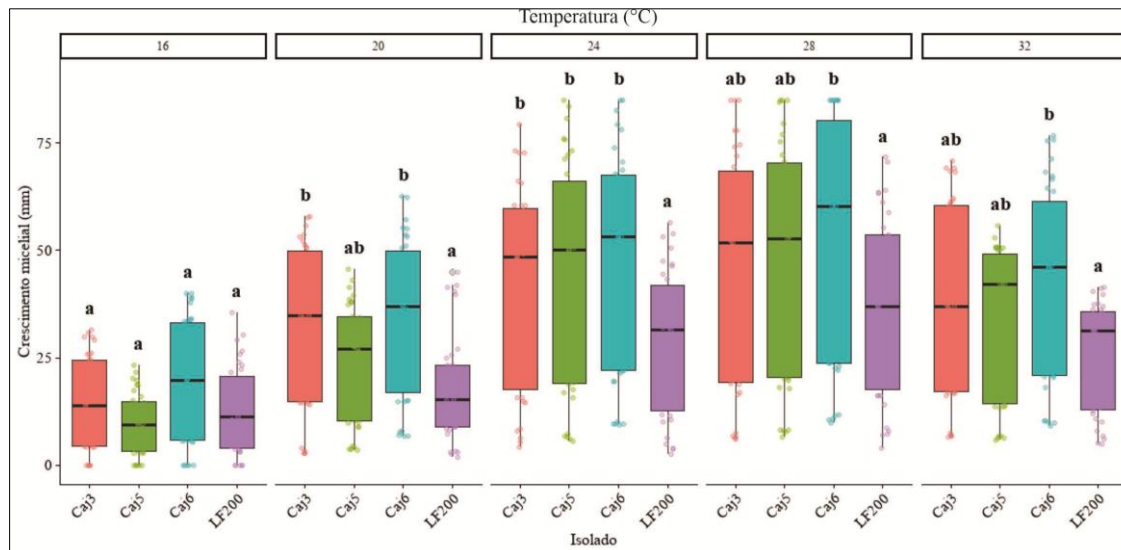


Fonte: Autor, 2026.

Adicionalmente, observa-se que os isolados CAJ3, CAJ5 e CAJ6 (*C. siamense*) obtiveram maior crescimento micelial em todas as temperaturas (exceto em 16 °C para o isolado CAJ5) quando comparado ao isolado da espécie de *C. theobromicola* (LF200). Os isolados apresentaram ótimo crescimento entre 26,93 °C a 28,96 °C indicando maior adaptação a temperaturas moderadamente elevadas. O isolado proveniente da castanha (CAJ5) demonstrou maior sensibilidade a temperaturas extremas e atingiu o crescimento ótimo em aproximadamente dois graus a menos do que o isolado de folha (LF200) (Tabela 6). Além disso, esse isolado apresentou um maior crescimento micelial quando comparado ao isolado de folha (Figura 5). Excetuando o isolado de castanha, todos os outros isolados apresentaram T_{opt} semelhantes (Tabela 6)

Apesar do fato dos isolados dentro das temperaturas não terem apresentado diferença significativa separadamente, quando observado dentro da interação, nota-se que os maiores valores de crescimento micelial foram os valores de 24 °C e 28 °C, com as médias da espécie *C. siamense* (CAJ3, CAJ5 e CAJ6) com maior em todas as temperaturas em relação a espécie *C. theobromicola* (LF200) (Figura 6).

Figura 6 - Crescimento micelial (mm) de isolados (CAJ3 – Pseudofruto, CAJ5 – Castanha, CAJ6 – Ramo, LF200 – Folha) de *Colletotrichum* spp. em diferentes temperaturas após sete dias incubados em meio BDA. Boxplot do conjunto de dados agrupados por temperaturas



Letras diferentes acima das caixas indicam diferenças significativas entre os quatros isolados de *Colletotrichum* spp. dentro de uma mesma temperatura de acordo com o teste Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autor (2026).

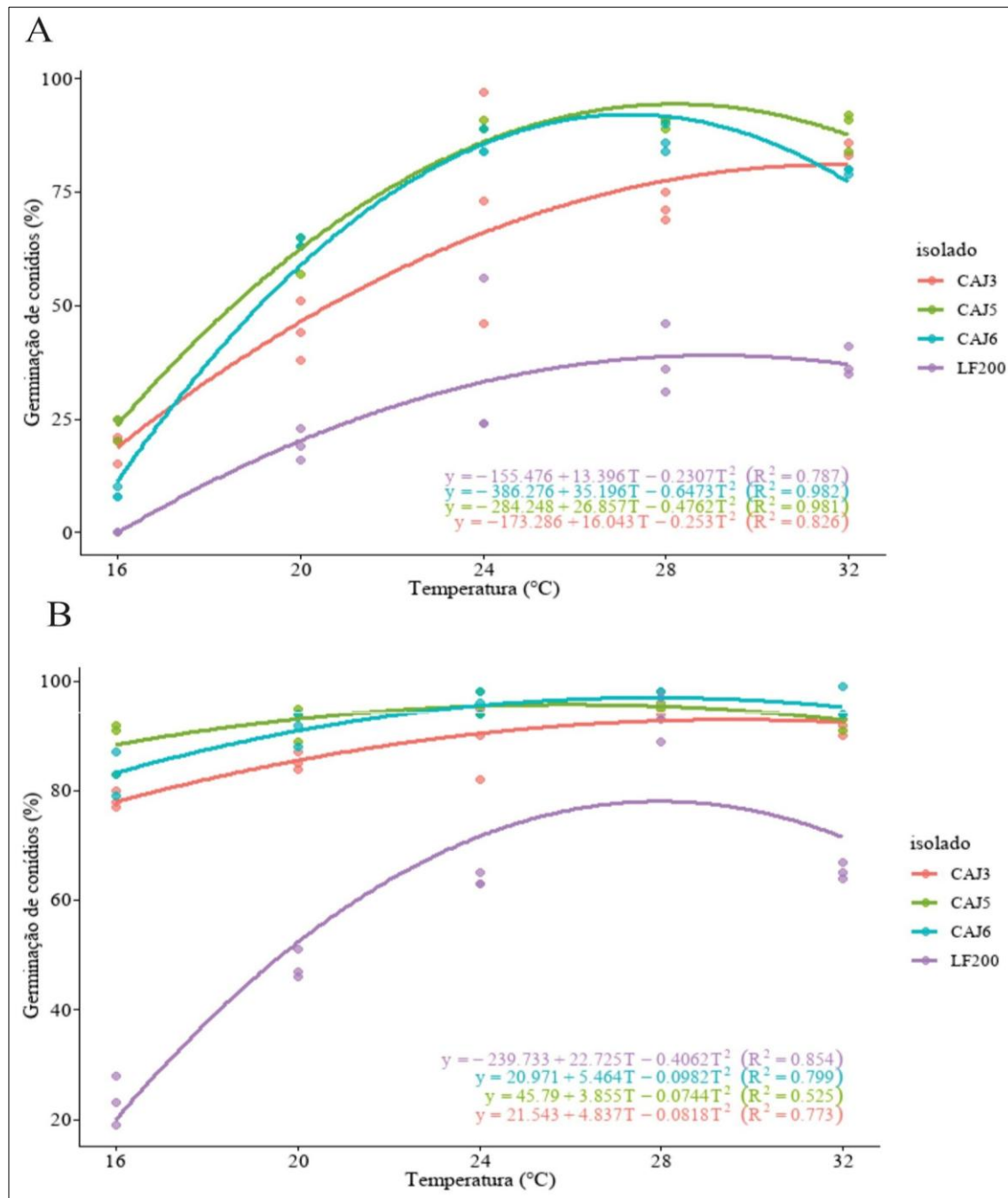
Somente na temperatura de 16°C não houve diferenças significativas entre todos os isolados. Os isolados da espécie *C. siamense* não apresentaram diferenças significativas entre si em nenhuma temperatura. CAJ6 apresentou maior crescimento micelial em relação a LF200 nas demais temperaturas.

3.3.4 Influência da temperatura na germinação dos conídios de isolados de *Colletotrichum* spp.

Houve interação significativa entre isolados e temperatura para a variável germinação dos conídios de *Colletotrichum* spp. Os dados foram avaliados em 12 e 24 horas e os modelos de regressão polinomial descreveram o efeito da temperatura sobre a viabilidade dos conídios (Figura 7)

Foi observado que após 12 horas de incubação todos os isolados apresentaram baixa germinação (< 25%) em 16 °C. Para todos os isolados, houve aumento progressivo da germinação à medida do aumento das temperaturas, atingindo um máximo aos 28 °C. Foi observado também que houve redução da germinação aos 32 °C, a exceção do CAJ3 (Figura 7.A).

Figura 7 - Resposta da germinação de conídios dos isolados (CAJ3 – Pseudofruto, CAJ5 – Castanha, CAJ6 – Ramo, LF200 – Folha) de *Colletotrichum* spp. em meio (BDA) incubados à diferentes temperaturas de acordo com a regressão polinomial



A. regressão polinomial dos isolados de *Colletotrichum* spp. com 12 horas de incubação; B. regressão polinomial dos isolados de *Colletotrichum* spp. com 24 horas de incubação. Fonte: Autor (2026).

Quando se comparou os indivíduos da espécie *C. siamense* é possível verificar que para os isolados CAJ5 (castanha) e CAJ6 (ramo) foram observadas maiores taxas de germinação do que CAJ3 (pseudofruto) nas temperaturas de 20, 24 e 28 °C avaliadas (Figura

7. A). Em contraste, o indivíduo da espécie *C. theobromicola*, LF200 (folha) demonstrou germinação significativamente inferior nas faixas de temperaturas testadas. Na avaliação de 24 horas (Figura 7. B), os isolados da espécie de *C. siamense* (CAJ3, CAJ5 e CAJ6) atingiram germinação máxima dos conídios variando de 80 a 90%, enquanto o isolado de *C. theobromicola* atingiu no máximo 77% na faixa de temperaturas testadas (Tabela 7). As curvas polinomiais ajustadas explicaram adequadamente o comportamento dos dados, com valores elevados de R^2 , indicando bom ajuste do modelo à resposta biológica observada.

Tabela 7 – Porcentagem de conídios germinados e temperatura ideal de germinação de conídios dos isolados de *Colletotrichum* spp. 12 e 24 h.

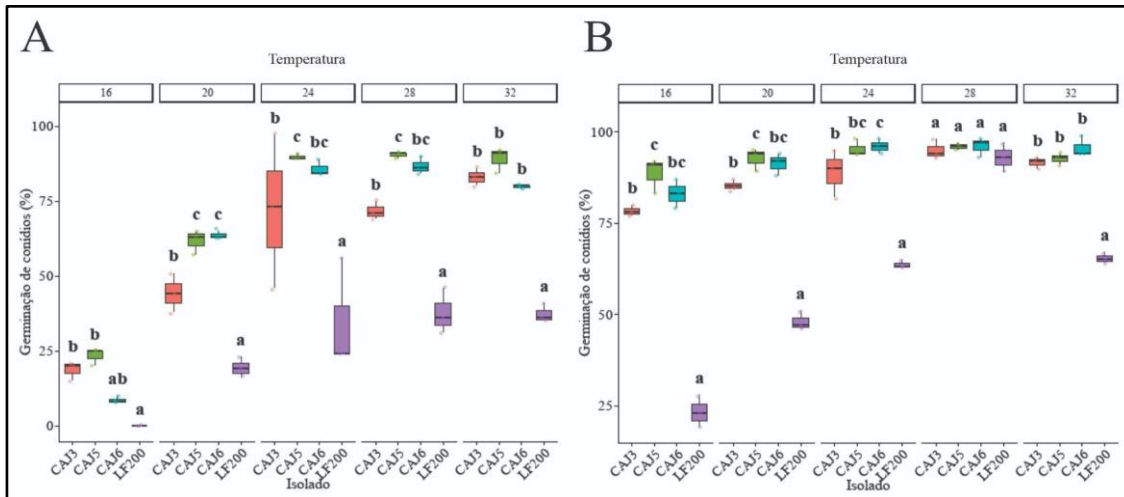
Órgão de isolamento	Isolados	12 horas		24 horas	
		Germinação (%)	Topt (°C)	Germinação (%)	Topt (°C)
Pseudofruto	CAJ3	39,01	29,03	77,89	27,98
Castanha	CAJ5	91,11	27,17	96,97	27,82
Ramo	CAJ6	94,30	28,19	95,74	25,91
Folha	FL200	81,00	31,71	93,04	29,57

Fonte: Autor (2026).

Quando foi verificado o efeito da temperatura sobre o comportamento dos isolados, foi observado que já primeira avaliação (12 h), houve diferenças significativas entre os isolados na temperatura de 16 °C e o isolado LF200 teve a menor germinação de todos os isolados, mesmo sendo estatisticamente igual ao isolado CAJ6. Nas demais temperaturas, o isolado LF200 foi diferente de todos os outros isolados. Quando comparando-se os isolados de mesma espécie, é visto que há diferença entre os indivíduos, onde o isolado CAJ3 diferencia-se do CAJ5 e CAJ6 na temperatura de 20 °C e do CAJ5 nas temperaturas de 24 e 28 °C (Figura 8.A). Além disso, o CAJ3 só alcançou germinação semelhante ao CAJ5 e CAJ6 aos 32 °C.

O perfil de diferença significativa seguiu para o LF200 na avaliação de 24 h, excetuando na temperatura de 28 °C onde todos os isolados apresentaram perfil semelhante. Novamente o isolado CAJ3 apresentou diferença significativa na temperatura de 16 e 20 °C do isolado CAJ5, e do isolado CAJ6 na temperatura de 24 °C (Figura 8. B).

Figura 8 - Germinação *in vitro* de conídios de isolados (CAJ3 – Pseudofruto, CAJ5 – Castanha, CAJ6 – Ramo, LF200 – Folha) de *Colletotrichum* spp. em diferentes temperaturas após 12 h e 24 h incubados em meio ágar. Boxplot do conjunto de dados agrupados por temperaturas

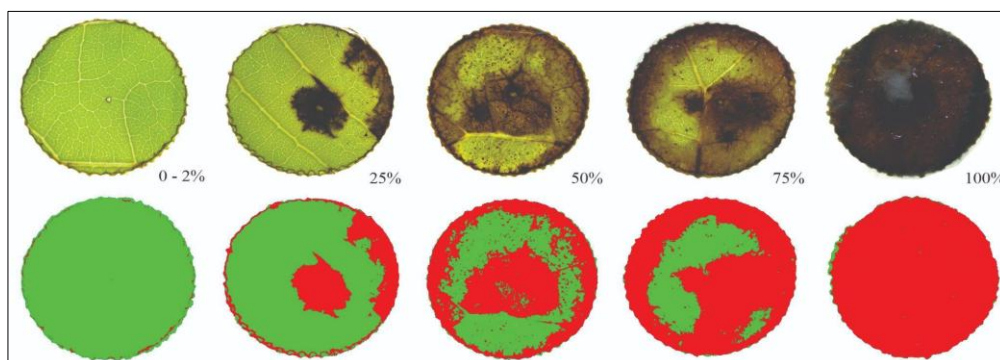


A e B. Germinação de conídios às 12 h e 24 h de incubação, respectivamente. Letras diferentes acima das caixas indicam diferenças significativas entre os quatros isolados de *Colletotrichum* spp. dentro de uma mesma temperatura ao teste Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autor (2026).

3.3.5 Influência de temperatura sobre a infecção dos isolados de *Colletotrichum* spp. em discos de folha

Constatou-se que todos os isolados de *Colletotrichum* spp. foram patogênicos e apresentaram níveis de severidade diferentes da doença quando cultivados em condições variáveis de temperaturas (Figura 9).

Figura 9 - Níveis de severidade da antracnose causada por isolados de *Colletotrichum* spp. em disco de folha.



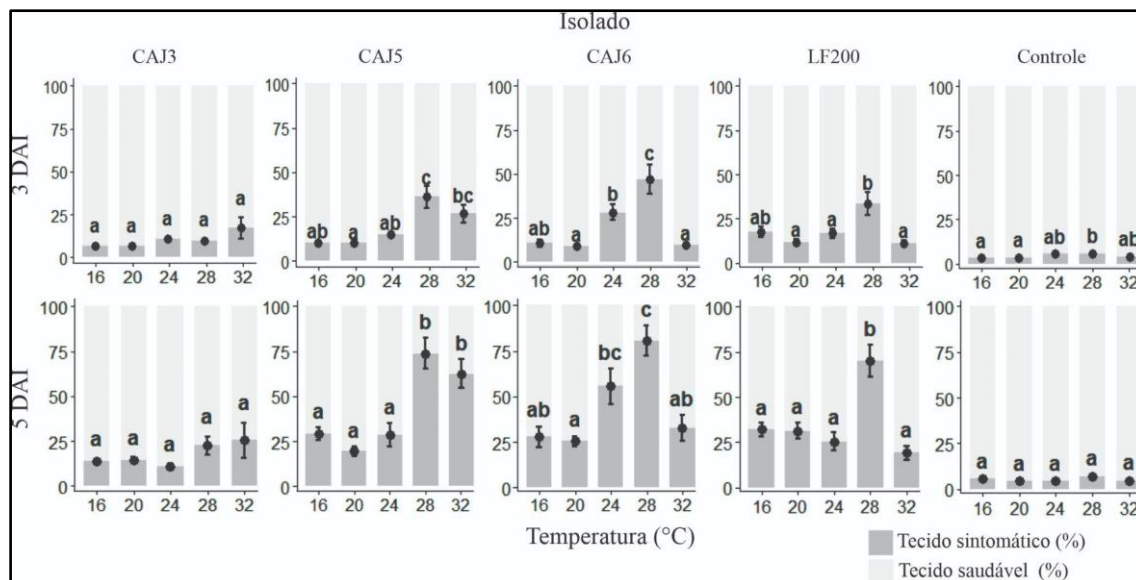
Fonte: Elaborado pelo autor no RStudio utilizando o pacote “Pliman” (2026).

Foram realizadas duas avaliações, uma com três e cinco dias após incubação

(DAI). Notou-se que a severidade da doença foi influenciada pela temperatura e pelo isolado, com padrões distintos observados aos 3 e 5 DAI (Figura 10). Houve interação significativa entre os isolados e temperaturas de incubação sobre a infecção em discos de folhas.

Quando foi verificado o efeito dos isolados em função das diferentes temperaturas sobre a severidade da doença, observou-se que aos 3 DAI, os isolados CAJ5, CAJ6 e LF200 apresentaram aumento significativo da percentagem de área do de tecido sintomático nas temperaturas de 24 e 28 °C, enquanto o isolado CAJ3 não apresentou severidade da doença acima de 25% em nenhuma das temperaturas testadas. Nota-se ainda, que os isolados da espécie *C. siamense* apresentam diferença na severidade da doença entre si.

Figura 10 - Severidade da doença em discos de folhas em função da temperatura para diferentes isolados de *Colletotrichum* spp. aos 3 e 5 DAI.



Percentual de tecido sintomático e saudável em diferentes temperaturas para os isolados CAJ3 (Pseudofruto), CAJ5 (Castanha), CAJ6 (Ramo), LF200 (Folha) e Controle, avaliados aos 3 e 5 dias após a inoculação (DAI). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2026).

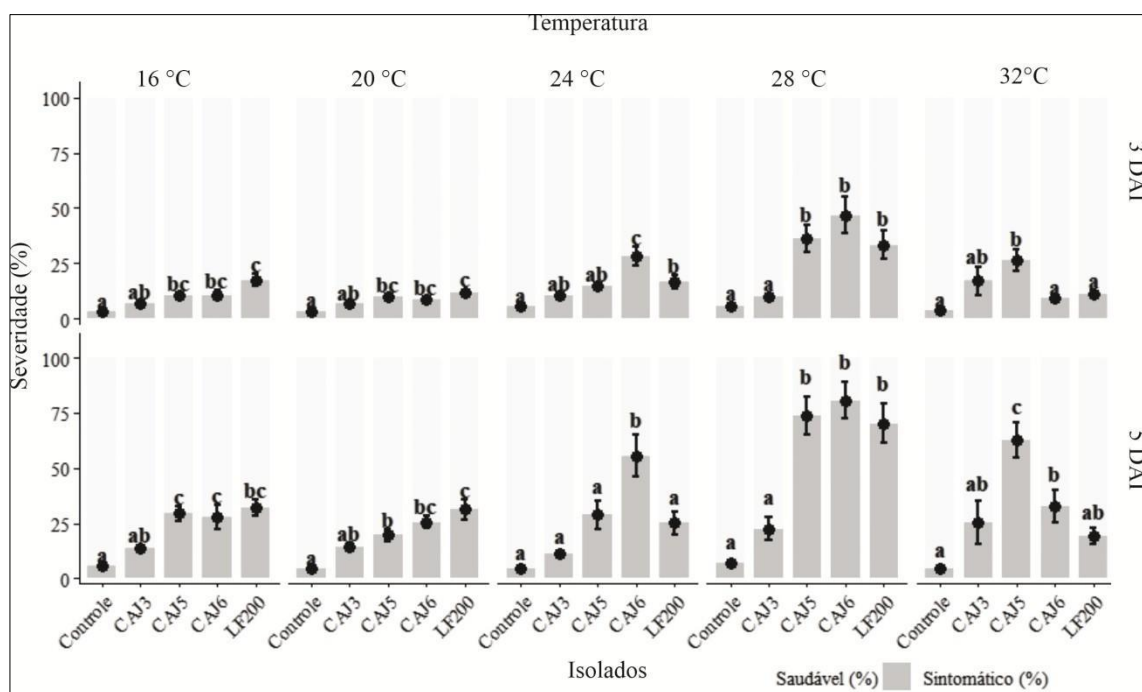
Este cenário se repete na segunda avaliação, onde é demonstrado que os isolados de mesma espécie distinguiram-se mais ainda no quesito severidade. O isolado CAJ3 não apresentou diferença significativa entre as temperaturas e é possível observar que os seus níveis de severidade da doença se mantiveram baixos (<30%), sendo a média mais alta na temperatura de 32°C, enquanto os outros dois isolados da mesma espécie, apresentaram maior severidade da doença na temperatura de 28 e 32°C para CAJ5 e 24 e 28°C para CAJ6.

O isolado da espécie *C. theobromicola*, em ambas as avaliações apresentou maior

severidade da doença na temperatura de 28 °C, onde foi observada a maior média de severidade, diferindo estatisticamente das demais temperaturas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Houve significância também dos isolados dentro das temperaturas. É observado, que todos os isolados exceto CAJ3 apresentaram crescente aumento na severidade da doença até os 28 °C, apresentando decréscimo na temperatura de 32 °C. Verificou-se ainda, que o isolado CAJ5 apresentou maior severidade nas temperaturas de 24 a 32 °C, frente aos demais isolados (Figura 11).

Figura 11 - Severidade da doença em discos de folhas, teste de comparação de médias dos isolados de *Colletotrichum* spp. dentro das temperaturas 3 e 5 DAI.



Percentual de tecido sintomático e saudável dos isolados em diferentes temperaturas, avaliados aos 3 e 5 dias após a inoculação (DAI). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Fonte: Autor (2026).

Quanto à esporulação dos isolados de *Colletotrichum* spp. sobre os discos de folhas, houve interação significativa entre isolados e temperatura, assim como houve diferença na produção de conídios no disco de folha entre os isolados do fungo expostos a diferentes temperaturas (Tabela 8).

Tabela 8 – Quantificação por câmara de Neubauer de conídios de *Colletotrichum* spp em disco de folha de cajueiro-anão ‘BRS 265’ aos 5 DAI.

Temperatura (°C)	Isolados				Médias
	CAJ3	CAJ5	CAJ6	LF200	
16	5.83×10 ⁴ aA	5.83×10 ⁴ aA	1.00×10 ⁵ bA	6.67×10 ⁴ bA	7.08×10 ⁴
20	6.67×10 ⁴ aA	6.67×10 ⁴ aA	1.00×10 ⁵ aA	3.08×10 ⁵ bA	1.35×10 ⁵
24	5.00×10 ⁴ aB	1.17×10 ⁵ aAB	5.83×10 ⁵ bA	3.50×10 ⁵ bAB	2.75×10 ⁵
28	2.33×10 ⁵ aB	2.75×10 ⁵ aB	1.25×10 ⁶ aA	1.51×10 ⁶ aA	8.17×10 ⁵
32	1.58×10 ⁵ aA	1.25×10 ⁵ aA	8.33×10 ⁴ bA	1.33×10 ⁵ bA	1.25×10 ⁵
Médias	1.13×10 ⁵	1.28×10 ⁵	4.23×10 ⁵	4.73×10 ⁵	2.85×10 ⁵

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, e letra maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Valores de controle foram iguais a 0. CAJ3 (Pseudofruto), CAJ5 (Castanha), CAJ6 (Ramo), LF200 (Folha). Fonte: Autor (2026).

Observou-se que os isolados CAJ5, CAJ6 e LF200 apresentaram maior produção de conídios na temperatura de 28 °C, demonstrando alta adaptabilidade a essa faixa de temperatura. De forma contrastante, o isolado CAJ3 não apresentou diferença significativa na produção de conídios na faixa de temperatura avaliada, mesmo tendo uma maior média nas temperaturas de 28 e 32 °C. Quando se comparando os isolados dentro das temperaturas, verificou-se que CAJ6 e FL200 apresentaram maior esporulação dentro da faixa de 28 °C (Tabela 8).

3.4 Discussão

Os resultados do presente estudo fornecem informações sobre a diversidade de espécies de *Colletotrichum* spp. associadas à antracnose em órgãos diferentes da planta de cajueiro-anão. O complexo atualmente é composto por 54 espécies (Liu *et al.*, 2022), entre elas as sete já relatadas na cultura do cajueiro (Veloso *et al.*, 2018). Com o estudo de caracterização filogenética, foi possível verificar que houve maior prevalência da espécie *C. siamense*, este sendo identificado como agente etiológico da antracnose em pseudofruto, castanha e ramo. Veloso *et al.* (2018) apontam que a espécie apresenta predominância nos quatro biomas brasileiros, não sendo diferente dos resultados aqui obtidos. Foi observado que estudos sobre quais espécies infectam a castanha e o pseudofruto, principais órgãos da planta se tratando de retorno financeiro não foram encontrados, o que demonstra que o trabalho desponta como ponto inicial para fornecer informações de quais patógenos seguem do pomar para o processamento pós-colheita.

A caracterização morfológica mostrou que houveram diferenças entre isolados de mesma espécie, em relação a coloração das colônias. Segundo Weir *et al.* (2012), a espécie *C. siamense*, apresenta uma ampla variação na aparência macroscópica das culturas. Devido a essa variação, as características morfológicas das colônias podem ser difíceis de interpretar, visto que os grupos podem apresentar coloração diferente de acordo com a região de origem, condições dos isolados condições e histórico de armazenamento. Porém as características se enquadram dentro da classificação da espécie tipo, o mesmo é relatado para a espécie de *C. theobromicola*.

Talhinhas *et al.* (2021), relatam que a espécie *C. siamense* possui por volta de 103 hospedeiros listados, o que coloca a espécie como a de maior amplitude de hospedeiros, deixando para trás espécies como *C. gloeosporioides*, *C. fructicola* e *C. acutatum*. Os autores também relatam que a espécie *C. theobromicola* ocasiona doença em 31 hospedeiros. Ambas as espécies podem infectar frutíferas (café, morango, uva), hortaliças (pimentas e pimentões, cebola), bem como plantas ornamentais (orquídeas, jasmims) (Talhinhas *et al.*, 2021).

Devido a importância do gênero *Colletotrichum* para produção de alimentos, vários são os estudos para caracterização do crescimento micelial das espécies. Foi observado que os isolados de *C. siamense* apresentaram taxa de crescimento micelial ótimo *in vitro* na faixa de temperatura de 26,93 °C a 28,65 °C, faixa essa facilmente atingida nos pomares de cajueiro em épocas de quadra chuvosas. Cardoso *et al.* (1999), verificaram em estudo que a doença atingiu em campo maior grau de severidade em maio de 1994 e em agosto de 1995, fato associado tanto às condições de temperatura e chuvas quanto à presença da fonte de inóculo inicial. Lima *et al.* (2019), verificaram que o período chuvoso afetou a epidemia de antracnose em quatro clones de cajueiro-anão por dois anos, e concluiu que as maiores severidades foram verificadas durante os períodos de maiores precipitações, sendo que as curvas de progresso de ambas as doenças acompanharam os regimes das chuvas

Em seu trabalho Ji *et al.* (2023) confirmaram que isolados da espécie *C. siamense* atingiram temperaturas ótima de crescimento de 27,49 °C a 28,13°C, tendo pequenas variações entre linhagens. Veloso *et al.* (2021) com isolados de cajueiro obtiveram como temperatura ótima de crescimento micelial a faixa de temperatura de 28,69 °C a 26,91°C, o que se assemelha aos resultados obtidos no presente estudo. Para *C. theobromicola*, verificou-se que a temperatura ótima de crescimento foi de 28,96 °C, a qual se aproxima do encontrado por Veloso *et al.* (2021) que foi de 28,40 °C.

O fator de germinação de conídios está ligado diretamente ao processo de infecção do *Colletotrichum* sp. Como os conídios germinados reagem a temperatura é fator

preponderante na escolha do momento ideal para o uso de produtos para o seu controle, principalmente após eventos de precipitação no campo. Como resultado, observou-se que o processo de germinação está intrinsecamente ligado ao fator temperatura. A germinação dos conídios teve faixa de temperatura ótima de 24 a 28 °C nas 12 hrs iniciais para a espécie de *C. siamense*. Esse fato é reforçado por Ji *et al.* (2023) e por Veloso *et al.* (2021) onde se obtiveram médias de temperatura ótima para germinação de 26 °C e 27,8 °C respectivamente.

Na avaliação de 24 h verificou-se que todos os isolados da espécie apresentaram no mínimo de 80% de germinação na faixa de temperatura ótima. Em contraste, percebe-se que a espécie de *C. theobromicola* apresentou baixa germinação quando comparada a outra espécie do estudo. Este atingiu sua maior média de germinação na faixa de 24 a 32 °C o que corrobora com os dados obtidos por Veloso *et al.* (2021) que obtiveram como temperatura ótima 27,10 °C. Porém, na primeira avaliação de 12 h observou-se que a germinação ficou abaixo de 50% e na avaliação de 24 h as médias de germinação ficaram abaixo de 75%, demonstrando menor velocidade na germinação que a outra espécie.

Estudo sobre como a temperatura afeta a severidade da doença *in vivo* na cultura do cajueiro são inexistentes. Assim, o teste de severidade em disco de folha demonstrou que a temperatura tem influência direta no processo infectivo das espécies aqui estudadas. Verificou-se que os isolados de mesma espécie, obtidos de locais diferentes da planta, podem demonstrar maior ou menor severidade na folha. Como resultado observou-se que os isolados de mesma espécie apresentaram diferenças na severidade. Notou-se que os isolados CAJ5 e CAJ6 proveniente de castanha e ramo respectivamente apresentaram maior severidade da doença, que o isolado CAJ3 obtido do pseudofruto. Ambos os indivíduos são da espécie *C. siamense*. Este fato fornecem indícios da existência de diversidade fisiológica intraespecífica na espécie isolada de cajueiro. Os maiores níveis de severidade foram observados na faixa de 24 e 28 °C para CAJ6 e, 28 e 32 °C para CAJ5, enquanto para CAJ3 a maior média observada de severidade foi para a temperatura de 32 °C. Para *C. theobromicola* a faixa de 28 °C apresentou maior severidade em folha, atingindo aproximadamente 75% do disco de folha, enquanto nas demais temperaturas a severidade não atingiu 50%. Este fato corrobora os resultados obtidos *in vitro*, onde o maior desempenho sempre foi na faixa dos 28 °C para esse isolado.

Em relação a quantificação de conídios, observou-se que as maiores concentrações foram obtidas na temperatura de 28 °C para todos os isolados. Porém o isolado LF200 (*C. theobromicola*) ganha destaque por ter apresentado maior taxa de concentração de conídios o que pode estar ligado diretamente a colonização do tecido, visto que o isolado é

originário de tecido foliar. Assim, este isolado demonstra maior adaptabilidade, produzindo maior fonte de inóculo, afetando diretamente a dinâmica em epidemias, visto que a principal forma de dispersão do patógeno é pela chuva.

4 CAPÍTULO 2: MANEJO BIOLÓGICO DA ANTRACNOSE DO CAJUEIRO, OCACIONADO PELAS ESPÉCIES *C. theobromicola* e *C. siamense* COM O USO DE LIPOPEPTÍDEOS PRODUZIDOS POR *Bacillus* sp.

RESUMO: Atualmente o controle da antracnose consiste no uso de produtos à base de estrobilurinas, triazóis e cobre, sendo registrado ainda um produto a base de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*. As bactérias do gênero *Bacillus* são conhecidas pela sua importância no controle de fitopatógenos, sendo relatadas como um importante microrganismo antagonista no controle de espécies de *Colletotrichum*. Desta forma o presente capítulo teve como objetivo avaliar o potencial de controle da cepa de *Bacillus* sp. LPPC259 sobre isolados de *C. siamense* e *C. theobromicola* (agentes causadores de antracnose no cajueiro), através da aplicação *in vitro* dos lipopeptídeos bioativos produzidos pela cepa. Foi realizada a extração dos lipopeptídeos da cepa de *Bacillus* sp. LPPC259. Para avaliar o efeito inibitório e sensibilidade dos isolados de *Colletotrichum* spp. no crescimento micelial foram testadas as concentrações de 250, 500, 750, 1.000 e 1.500 ppm. Já para germinação dos conídios foram avaliadas as concentrações de 1.250, 1.500, 1.750 e 2.000 ppm. Como resultado observou-se que o aumento da dose dos LPs proporcionou maior inibição do crescimento micelial e menor germinação dos conídios em ambas as espécies. O isolado da espécie *C. theobromicola* confirmou maior sensibilidade aos LPs, apresentando inibição acima de 40% nas duas maiores dosagens, bem como inibição na germinação maior que 50% mesmo nas menores concentrações.

Palavras-chave: Controle biológico; Lipopeptídeos; Antracnose do cajueiro.

4.1 Introdução

A região Nordeste do Brasil é responsável por mais de 90% da produção de caju (amêndoa e pseudofruto) do país (Conab, 2025). O cajueiro é uma planta muito rústica e adaptada ao clima seco e quente, ocorre espontaneamente ou sob o cultivo em pomares. A expansão do cultivo do cajueiro anão-precoce propiciou um incremento na produtividade dos pomares e na uniformidade do produto, fatores que favorecem a todos os segmentos do agronegócio (Cardoso *et al.*, 2011). Porém, a uniformidade genética decorrente do emprego de clones nos cultivos do cajueiro, possibilita melhores condições para a ocorrência de epidemias de doenças como a antracnose, que se tornaram mais frequentes em campo (Lima *et al.*, 2019).

Atualmente o controle da doença consiste no uso de produtos à base de estrobilurinas, triazóis e cobre, sendo registrado ainda um produto a base de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* (Agrofit, 2026). Desta forma para o controle da antracnose na cultura do caju, em grande maioria é utilizado produtos sintéticos. O uso generalizado de produtos químicos na agricultura e silvicultura tem sido motivo de preocupação pública e de segurança devido aos potenciais efeitos prejudiciais ao meio ambiente e a organismos não-alvo, bem como aos possíveis riscos à saúde pública (Huang *et al.*, 2017). Presentemente não se tem nenhum produto a base de microrganismos para controle da doença na cultura do caju, junto ao Agrofit.

Sabe-se que as bactérias do gênero *Bacillus* são conhecidas pela sua importância no controle de fitopatógenos, sendo relatadas como um importante microrganismo antagonista no controle de espécies de *Colletotrichum* (Etesami *et al.*, 2023). Essas bactérias destacam-se pela formação de endósporos, que por sua vez apresentam resistência ao calor, o que favorece o seu uso para a formulação de bioprodutos (Ongena *et al.*, 2008). Espécies de *Bacillus* spp. produzem diferentes lipopeptídeos (LPs), entre eles se destacam as três famílias: surfactinas, iturinas e fengicinas, que agem diretamente na parede celular dos fungos, desestruturando-a (Ongena *et al.*, 2008). Esses lipopeptídeos também podem influenciar a aptidão ecológica da cepa produtora em termos de colonização do meio que se insere e têm um papel fundamental na interação benéfica de espécies de *Bacillus* com plantas, estimulando mecanismos de defesa do hospedeiro (Ongena *et al.*, 2008).

Buscando assim, formas de controle alternativas e sustentáveis, o presente capítulo teve como objetivo avaliar o potencial de controle da cepa de *Bacillus* sp. LPPC259 sobre isolados de *C. siamense* e *C. theobromicola* (agentes causadores de antracnose no

cajueiro), através da aplicação *in vitro* dos lipopeptídeos bioativos produzidos pela cepa.

4.2 Metodologia

4.2.1 Obtenção da cepa bacteriana e dos isolados das espécies de *C. theobromicola* e *C. siamense*

A cepa bacteriana utilizada no presente estudo faz parte da coleção do Laboratório de Fitopatologia, do Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical (CNPAT) com código LPPC259 e trata-se de uma bactéria do gênero *Bacillus* (Estudos para identificação molecular da cepa estão em andamento).

Os isolados de *C. theobromicola* e *C. siamense* foram obtidos e identificados de acordo como descrito no Capítulo 1.

4.2.2 Cultivo bacteriano e extração de lipopeptídeos

Para a obtenção dos lipopeptídeos foi realizada a metodologia descrita por Valter *et al.* (2002) adaptada por Silva Júnior *et al.* (2023). As bactérias foram reativadas em meio sólido NYDA (extrato de malte, peptona, glicose, extrato de levedura e ágar) por 24 h a 28 ± 2 °C. Uma única colônia foi usada para preparar inóculo inicial em 150 mL de meio líquido NYD (extrato de malte, peptona, glicose, extrato de levedura), incubado por 24 h a 28 ± 2 °C sob agitação em um agitador orbital a 180 rpm. O cultivo foi composto por 20 frascos contendo 150 mL de meio líquido NYD. Cada frasco foi inoculado com 15 mL do inóculo semente seguido de incubação a 28 ± 2 °C por 72 h, sob agitação em um agitador orbital a 180 rpm.

Para obtenção do precipitado bruto enriquecido com LPs o cultivo bacteriano passou por centrifugação a 4000 rpm por 7 min para retirada das células bacterianas. O sobrenadante seguiu para redução do pH com ácido clorídrico (HCl) até chegar a pH 2. Após a precipitação realizou-se nova centrifugação a 4000 rpm por 7 min, e o produto obtido seguiu para liofilização. Os precipitados brutos liofilizados foram extraídos três vezes com 100 mL de uma mistura de metanol (MeOH) e clorofórmio (CHCl₃) (2:1) por filtração. O sobrenadante seguiu para um evaporador rotativo a 40 °C, e passou por nova liofilização.

4.2.3 Sensibilidade *in vitro* de micélio das espécies de *C. siamense* e *C. theobromicola* ao extrato bruto de LPs

Inicialmente foi realizado um teste com concentração única de 1000 ppm para avaliar o efeito inibitório e avaliar se as espécies possuem maior ou menor sensibilidade aos LPs produzidos pela cepa bacteriana.

O experimento seguiu o delineamento totalmente casualizado e foi composto por

dois tratamentos (isolados x concentração), sendo o primeiro tratamento empregada uma concentração de 1000 mg.L⁻¹ e o controle negativo sem nenhuma concentração de LPs. Cada tratamento contou com quatro repetições, onde cada placa de Petri era uma parcela. Um disco de micélio de 5 mm retirado da borda da colônia cultivada em placa com meio BDA por sete dias foi repassado para placa de Petri contendo os LPs adicionados ao meio BDA fundente, em uma concentração de 1000 mg/L e controle negativo contendo somente BDA. A eficiência dos LPs foi avaliada através do crescimento micelial dos isolados, onde foi realizada a medição no sentido longitudinal e transversal para determinar o diâmetro das colônias, com o intuito de verificar a ação de inibição. A medição foi realizada quando o controle negativo tocou a borda da placa.

Para medir a inibição micelial, foi realizado o cálculo do percentual de inibição do crescimento micelial (PIC) descrito por Menten, 1976.

$$\text{PIC} = (\text{Crescimento do controle negativo} - \text{Crescimento do tratamento}) / (\text{Crescimento do controle negativo}) \times 100.$$

Os dados foram submetidos à análise de variância e aplicado o teste de comparação de médias Tukey ($p < 0,05$) e os dois isolados com maiores taxas de inibição (CAJ3 e LF200) seguiram para o teste com diferentes dosagens de LPs para verificar como estes se comportavam.

Os dois isolados com maiores taxas de inibição foram submetidos a novo teste, onde foram usadas as concentrações de 250, 500, 750, 1000 e 1250 ppm e, testemunha sem LPs. A avaliação dos tratamentos ocorreu após a testemunha tocar a borda da placa. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e regressão linear com o uso do programa RStudio® (R Core Team, 2021).

4.2.4 Germinação in vitro de conídios de C. siamense e C. theobromicola submetidos a diferentes concentrações de extrato bruto de LPs

Foram utilizados os dois isolados mais promissores e as melhores concentrações dos LPs obtidos anteriormente que apresentaram inibição do crescimento micelial acima de 40% (item 4.2.3). Diante disso, foram empregados LPs nas concentrações de 1.250, 1500, 1.750 e 2.000 ppm e, testemunha só com meio BD (batata, dextrose). Para isso, microtubos contendo meio BD receberam alíquotas de 200 µL de suspensão com conídios de *Colletotrichum* spp. ajustadas para 1x10⁶ conídios mL⁻¹ e os LPs. Os microtubos contendo as suspensões com os tratamentos foram incubados em BOD na temperatura de 28 °C.

O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado, com dois

tratamentos (dois isolados x diferentes concentrações), cada tratamento foi composto por três repetições, onde cada microtubo contou como uma parcela. Não houve a utilização de foto período.

As avaliações ocorreram após 12h e 24 horas, após a adição de 10 μ L de lactoglicerol para interromper o processo de germinação e crescimento. Conídios com tubos germinativos maiores que a largura do mesmo foram considerados germinados. A porcentagem de germinação foi calculada com base no número de 100 conídios observados em microscópio óptico no campo de visão da lente objetiva de 10x.

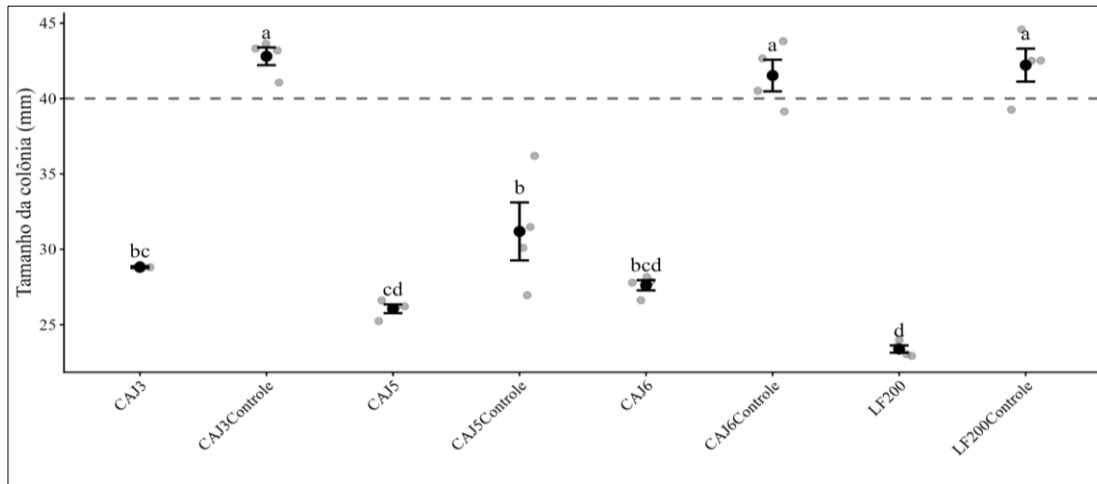
Os resultados foram analisados estatisticamente através da Anova e regressão polinomial, para encontrar a melhor concentração para inibir a germinação de conídios.

4.3 Resultados

4.3.1 Sensibilidade in vitro de micélio das espécies de C. siamense e C. theobromicola ao extrato bruto de LPs

Para saber quais isolados foram mais susceptíveis aos LPs produzidos pela cepa de *Bacillus* sp. foi realizado um teste de seleção com os quatros isolados da coleção na concentração de 1.000 ppm. Notou-se que entre os isolados um apresentou maior sensibilidade (*C. theobromicola* - LF200) e outros dois de mesma espécie apresentaram resultados similares (*C. siamense* - CAJ5 e CAJ6) (Figura 12).

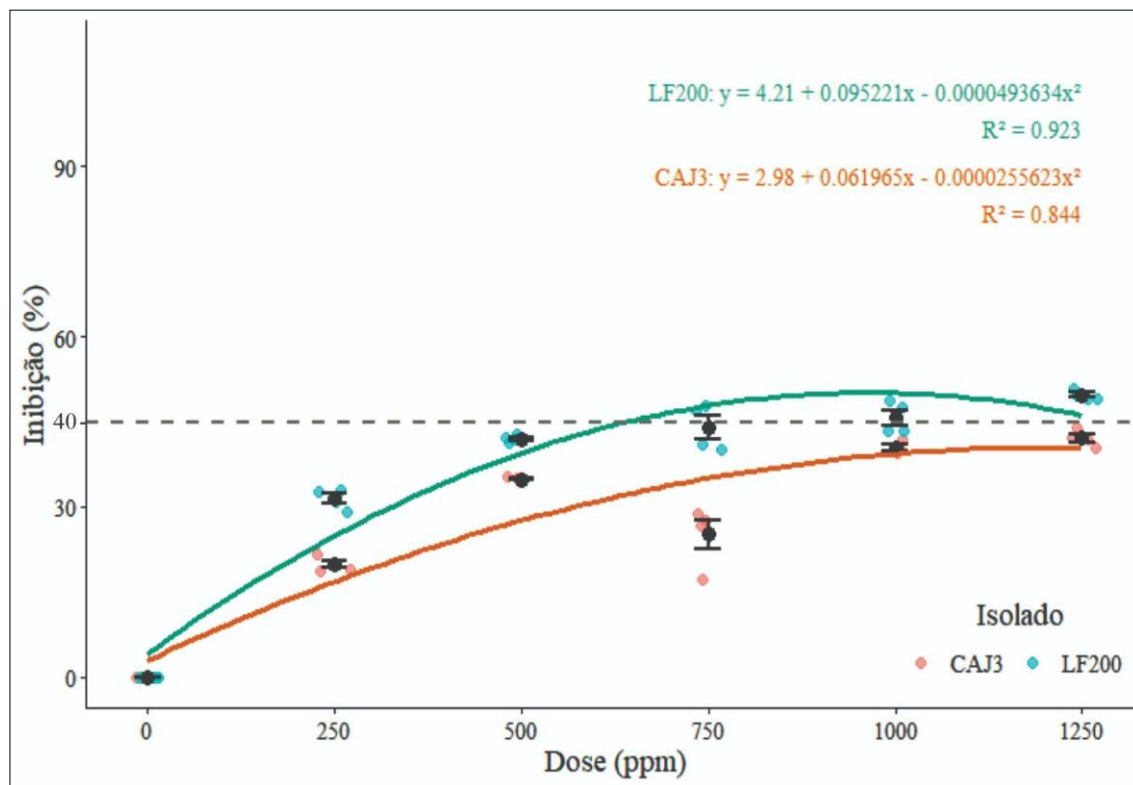
Figura 12 - Teste preliminar de inibição do crescimento micelial dos isolados de *Colletotrichum* spp. à concentração de 1.000 ppm, dos LPs da cepa de *Bacillus* sp. (LPPC259).



Médias seguidas das mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). CAJ3 (Pseudofruto), CAJ5 (Castanha), CAJ6 (Ramo), LF200 (Folha). Fonte: Autor (2026).

Dessa forma, escolheu-se o isolado mais sensível (LF200) obtido da folha e o isolado proveniente do pseudofruto (CAJ3) para o teste de concentrações dos LPs da cepa bacteriana. A análise dos dados obtidos demonstrou que o aumento da dose dos LPs proporcionou maior inibição do crescimento micelial em ambas as espécies. O isolado da espécie *C. theobromicola* confirmou maior sensibilidade aos LPs, apresentando inibição acima de 40% nas duas maiores dosagens. O isolado da espécie *C. siamense* confirmou ser sensível, mas a porcentagem de inibição do crescimento micelial foi menor quando comparado à outra espécie (Figura 13).

Figura 13 – Curvas de regressão não-linear da inibição do crescimento micelial de isolados de *C. siamense* - CAJ3 e *C. theobromicola* - LF200, em função de concentrações de LPs (ppm) da cepa de *Bacillus* sp. (LPPC259)

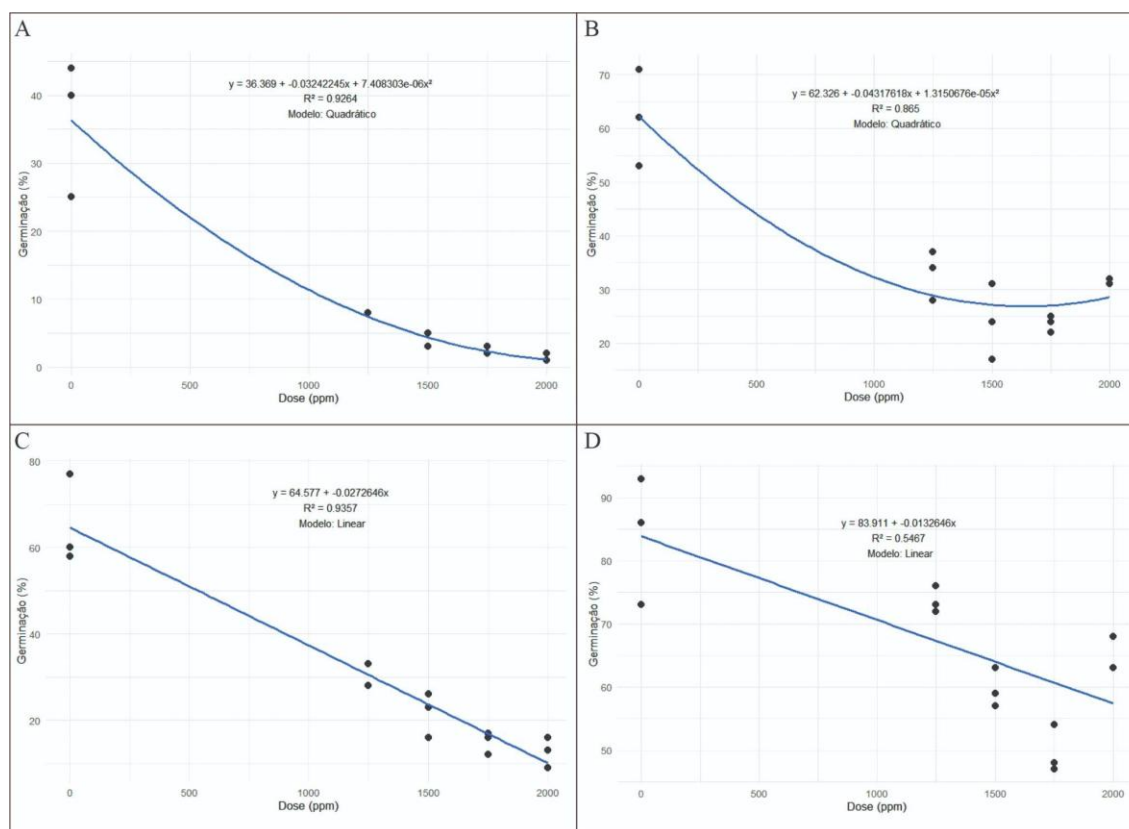


Fonte: Autor (2026).

4.3.2 Germinação *in vitro* de conídios de *C. siamense* e *C. theobromicola* submetidas a diferentes concentrações de extrato bruto de LPs

Observou-se na avaliação de 12 hrs que a espécie *C. theobromicola* apresentou inibição na germinação acima de 50% já na concentração de 1.250 ppm, e teve aumento crescente na inibição até a maior dose, atingindo quase 100%. O comportamento se repetiu para a avaliação realizada após 24 hrs, onde na menor dosagem observou-se que 50% dos conídios não germinaram, e a maior porcentagem de inibição foi na maior dosagem de 2.000 ppm com 80% (Figura 14).

Figura 14 - Germinação dos conídios de *C. theobromicola* (LF200) e *C. siamense* (CAJ3) em diferentes concentrações de LPs da cepa de *Bacillus* sp. (LPPC259) após avaliação em 12 e 24 horas.



A. Regressão polinomial da germinação de conídios do isolado de *C. theobromicola* com 12 horas após exposição às diferentes dosagens de LPs. B. Regressão polinomial da germinação de conídios do isolado de *C. siamense* com 12 horas após exposição às diferentes dosagens de LPs. C. Regressão polinomial da germinação de conídios do isolado de *C. theobromicola* com 24 horas após exposição às diferentes dosagens de LPs. D. Regressão polinomial da germinação de conídios do isolado de *C. siamense* com 24 horas após exposição às diferentes dosagens de LPs. Fonte: Autor (2026).

Para o isolado da espécie *C. siamense* (CAJ3) na avaliação de 12 hrs percebeu-se que houve inibição da germinação dos conídios acima de 50% nas concentrações de 1.500 e 1.750 ppm. Porém ocorreu um ligeiro decréscimo na maior dose. Na avaliação de 24 hrs é possível notar que nenhuma das dosagens testadas conseguiu inibir 50% da germinação, sendo a maior média alcançada (40%) em 1.750 ppm.

4.4 Discussão

Este é o primeiro trabalho que avalia a aplicação de LPs de cepa de *Bacillus*, no manejo biológico de espécies de *Colletotrichum* spp., causando a antracnose em cajueiro.

Para Brzezinska *et al.* (2012) a atividade antifúngica pode ser classificada como nenhuma inibição (0 – 20%), inibição moderada (21–30%), forte inibição (31–50%) e

inibição muito forte (> 50%). Assim, no teste preliminar para avaliar a sensibilidade dos isolados de *Colletotrichum* spp., pode se classificar que todos os isolados apresentaram inibição forte aos LPs produzidos pela cepa LPPC259 de *Bacillus*. Este fato foi confirmado no segundo teste com concentrações diversas, onde os dois isolados de espécies distintas (*C. theobromicola* e *C. siamense*) apresentaram a mesma resposta a diferentes dosagens, porém o isolado da espécie *C. theobromicola* apresentou maior sensibilidade aos LPs que o *C. siamense*. Para espécies de *C. gloeosporioides* com a aplicação de LPs, Huang *et al.* (2017) obtiveram médias de inibição do crescimento micelial de 41%, o que demonstra dados similares aos obtidos no presente estudo. Em seu trabalho Yan *et al.* (2020) verificaram a ação da iturina, um dos lipopeptídeos ativos produzidos por uma cepa de *B. amyloliquefaciens* e observou que em valores de 36,47 ug mL⁻¹ atingiu a inibição de 50% do crescimento micelial de isolados de *C. gloeosporioides*. Tal fato ocorre devido à família das iturinas apresentarem uma forte ação antifúngica *in vitro* contra uma ampla variedade de fungos. Esta fungitoxicidade associada às iturinas é devido as suas propriedades de permeabilização da membrana que influenciam no mecanismo da perturbação osmótica devido à formação de poros condutores de íons na membrana celular do fungo (Ongena *et al.*, 2008).

Quando se tratando da germinação dos conídios optou-se por testar dosagens maiores que a utilizada no teste de germinação. Tal ação teve como objetivo avaliar se concentrações maiores que as já testadas para crescimento micelial apresentariam um alto efeito inibitório de germinação, visto que no crescimento micelial não atingiu 50% de inibição em nenhuma das dosagens testadas.

Foi visto que assim como para o crescimento micelial o isolado da espécie *C. theobromicola* apresentou maior porcentagem na inibição dos conídios chegando a porcentagens de 50% nas menores concentrações em até 24 h, para as maiores concentrações atingiu-se inibição maiores que 80%. Enquanto a espécie *C. siamense* maior efeito de inibição foi aos 1.750 ppm, após 24 horas. Em isolados de *C. gloeosporioides* foi visto que a aplicação de LPs produzidos por *B. amyloliquefaciens* apresentou 50% de inibição da germinação em concentração de 74,95 ug mL⁻¹ (Yan *et al.*, 2020). LPs de uma cepa de *B. velezensis* demonstrou potencial inibição em conídios de *C. gloeosporioides*, com 50% de inibição da germinação com apenas 2,16 ug mL⁻¹, indicando alta potência de ação contra germinação (Jin *et al.*, 2020).

Desta forma o uso de microrganismos benéficos é considerado um dos métodos promissores para práticas de manejo de culturas racionais e seguras (Ongena *et al.*, 2008).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo geral, este é o primeiro estudo com espécies de *Colletotrichum* isolados de diferentes órgãos da planta de cajueiro. Os resultados aqui obtidos sobre a caracterização e o comportamento fisiológico de espécies de *Colletotrichum* associadas à antracnose do cajueiro-anão, integrando abordagens filogenéticas, morfológicas e experimentais demonstram a importância do estudo para entender como esses isolados são afetados pela temperatura.

De forma analítica, os resultados aqui obtidos indicam que as duas espécies identificadas (*C. siamense* e *C. theobromicola*) tem maior desempenho nas temperaturas entre 26 e 28 °C o que representa condições críticas para o desenvolvimento, a reprodução de *Colletotrichum* spp. e a severidade da antracnose no cajueiro. Ainda em conjunto o presente trabalho apresenta resultados preliminares sobre a ação de lipopeptídeos (LPs) produzidos pela cepa de *Bacillus* sp. LPPC259 como potencial bioinsumo no controle da antracnose em cajueiro causada por *C. theobromicola* e *C. siamense*. Assim, o estudo desponta como pioneiro na área do controle alternativo usando microrganismo para a antracnose, uma das doenças que impacta a cajucultura no Brasil.

Foi possível observar que a bactéria *Bacillus* spp. apresenta-se como uma alternativa promissora no controle da antracnose, contribuindo para a redução do crescimento micelial com o aumento da concentração de LPs. O estudo demonstra que há diferenças na sensibilidade entre as espécies (*C. theobromicola* e *C. siamense*) e dentro da espécie (*C. siamense*) em relação à variação da concentração de LPs produzidos pela cepa bacteriana de *Bacillus* spp., podendo indicar variabilidade fisiológica dos isolados de mesma espécie.

A inibição da germinação de conídios em relação ao uso dos LPs demonstrou ser promissora, em especial para a espécie *C. theobromicola* onde se atingiu níveis elevados de inibição em 24 hrs (> 80%).

Os resultados aqui obtidos apontam que os LPs produzidos pela cepa LPPC259 de *Bacillus* podem afetar diretamente o crescimento micelial e inibir a germinação de conídios de *Colletotrichum* spp.

Para estudos futuros indica-se realizar trabalhos *in vivo*, tanto em ambiente controlado, quanto em campo, buscando avaliar o efeito das concentrações no progresso e na sua severidade da antracnose em plantas de cajueiro, bem como a identificação dos LPs produzidos pela cepa *Colletotrichum* LPPC259 para avaliar qual desempenha maior ação no controle do fungo aqui estudado.

REFERÊNCIAS

AGROFIT. Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. **Banco de dados de agrotóxicos e produtos para controle de pragas, doenças e plantas daninhas registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)**. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 26 jan 2026.

ANDRADE-HOYOS, P.; HERNÁNDEZ-ARENAS, M.; MENDIETA-MOCTEZUMA, A.; BARRIOS-GÓMEZ, E. J.; ROMERO-ARENAS, O.; RÍOS-MELÉNDEZ, S.; PARRAGUIRRE-LEZAMA, C.; IBARRA-TORRES, P. Effect of essential oils on postharvest management of anthracnose associated with *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz & Sacc., in mango. **Plants**, v. 14, n. 21, p. 3249, 2025.

ARAÚJO, J. P. P. (ed. téc.). **Caju: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 250 p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). ISBN 978-85-7035-435-8.

BAKER, R. E. D.; CROWDY, S. H.; MCKEE, R. K. A review of latent infections caused by *Colletotrichum gloeosporioides* and allied fungi. **Tropical Agriculture**, v. 17, n. 7, p. 128–132, 1940.

BASSANEZI, R. B. *et al.* Effects of bean line pattern mosaic virus on the monocyclic components of rust and angular leaf spot of *Phaseolus* bean at different temperatures. **Plant Pathology**, v. 47, n. 3, p. 289-298, 1998.

BEDENDO, I. P. Podridões de Órgãos de Reserva. *In*: AMORIM, L; BERGAMIN FILHO, A; REZENDE, J. A. M. (Org.). **Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos**. 5. ed. São Paulo, SP: Editora Agronômica Ceres, 2018. v. 2, p. 317 – 321.

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; WILLOCQUET, L.; SAVARY, S. Epidemiologia de doenças de plantas. *In*: AMORIM, L; BERGAMIN FILHO, A; REZENDE, J. A. M. (Org.). **Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos**. 5. ed. São Paulo, SP: Editora Agronômica Ceres, 2018. v. 2, p. 71 – 83.

BRAINER, Maria Simone de Castro Pereira; VIDAL, Maria de Fátima. **Cajucultura nordestina em recuperação**. Fortaleza: Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (ETENE), 2018. (Caderno Setorial ETENE, ano 3, n. 54, nov. 2018).

BRZEZINSKA, M. S.; JANKIEWICZ, U. Production of antifungal chitinase by *Aspergillus niger* LOCK 62 and its potential role in the biological control. **Current microbiology**, v. 65, n. 6, p. 666-672, 2012.

CAMARGO, L. E. A. Genética da Interação Patógeno-Hospedeiro. *In*: AMORIM, L; BERGAMIN FILHO, A; REZENDE, J. A. M. (Org.). **Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos**. 5. ed. São Paulo, SP: Editora Agronômica Ceres, 2018.v. 2, p. 71 – 83.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to Plant Disease Epidemiology**. New York: Johnwiley; Sons, 1990. 532 p.

- CANNON, P. F. *et al.* *Colletotrichum*: current status and future directions. **Studies in Mycology**, v. 73, n. 1, p. 181-213, 2012.
- CARDOSO, J. E. *et al.* Genetic resistance of dwarf cashew (*Anacardium occidentale* L.) to anthracnose, black mold, and angular leaf spot. **Crop Protection**, v. 18, n. 1, p. 23-27, 1999.
- CARDOSO, J. E.; VIANA, F. M. P. **Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do cajueiro no Brasil**. In: GHINI, Raquel; HAMADA, E.; BETTIOL, W. **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 163 - 176.
- CARDOSO, J. E., *et al.* Rainfall index and disease progress of anthracnose and black mold on cashew nut plants (*Anacardium occidentale*). **Summa Phytopathologica**, n. 26, p. 413 - 416, 2000.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Castanha de caju: análise mensal – julho de 2024**. Brasília: CONAB, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 13 jun. 2025.
- COUTINHO, I. B. L. *et al.* Diversity of genus *Lasiodiplodia* associated with perennial tropical fruit plants in northeastern Brazil. **Plant Pathology**, v. 66, n. 1, p. 90-104, 2017.
- SILVA, C. F. B.; MICHEREFF, S. J. Biology of *Colletotrichum* spp. and epidemiology of the anthracnose in tropical fruit trees. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 4, p. 130-138, 2013.
- SILVA, S. H. G.; DE OLIVEIRA, C. D. M. A cultura alimentar do caju no nordeste brasileiro: por uma gramática humanista do paladar. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, Seção Três Lagoas**, v. 1, n. 40, p. 42-63, 2024.
- DE SILVA, D. D. *et al.* Life styles of *Colletotrichum* species and implications for plant biosecurity. **Fungal Biology Reviews**, v. 31, n. 3, p. 155-168, 2017.
- DEAN, R. *et al.* The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 13, n. 4, p. 414-430, 2012.
- DEL PONTE, E. M.; MIZUBUTI, E. S. G. **Epidemics: Disease in populations**. In: **Agrios' Plant Pathology**. Academic Press, 2024. p. 227-245.
- DENDENA, B.; CORSI, S. Cashew, from seed to market: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, p. 753-772, 2014.
- EMBRAPA AGROINDÚSTRIA TROPICAL. **Clones de cajueiro: informações técnicas para o cultivo**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2024. 60 p. (Folder Técnico, n. 1).
- ETESAMI, Hassan; JEONG, Byoung Ryong; GLICK, Bernard R. Biocontrol of plant diseases by *Bacillus* spp. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 126, p. 102048, 2023.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO.

The State of the World's Forests 2020. Roma: FAO, 2020. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/items/8871cfb8-396d-4e24-be8e-4f4a3debe7e2>. Acesso em: 20 jul. 2025.

FREIRE, F. C. O.; CARDOSO, J. E.; SANTOS, A. A. dos; VIANA, F. M. P. Diseases of cashew nut plants (*Anacardium occidentale* L.) in Brazil. **Crop Protection**, v. 21, p. 489–494, 2002.

FULLER, K. K.; LOROS, J. J.; DUNLAP, J. C. Fungal photobiology: visible light as a signal for stress, space and time. **Current Genetics**, v. 61, n. 3, p. 275-288, 2015.

GALLARDO-CAMARENA, M. V.; TORRES-ACOSTA, M. A.; LICONA-CASSANI, C. Economic evaluation of large-scale production for *Colletotrichum* antagonists as biocontrol agents against anthracnose. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 100, n. 5, p. 1117-1128, 2025.

GALVINO, M. E. C. M.; MARTINS, M. V. V. **Bioensaio no estabelecimento e desenvolvimento da antracnose do cajueiro-anão.** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2025. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 261).

GAÜMANN, E. **Pflanzliche infektionslehre.** Basel: Birkhauser, 1946.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. **Impacto das mudanças climáticas sobre as doenças de plantas.** In: GHINI, Raquel; HAMADA, E.; BETTIOL, W. **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 163 - 176.

GOMES, S.; AZEVEDO-NOGUEIRA, F.; MARTINS-LOPES, P. Editorial comments to the special issue: “*Colletotrichum* spp. on fruit crops—State of the art, perspectives and drawbacks”. **Pathogens**, v. 10, n. 4, p. 478, 2021.

GUEVARA-SUAREZ, M. *et al.* *Colletotrichum* species complexes associated with crops in Northern South America: a review. **Agronomy**, v. 12, n. 3, p. 548, 2022.

HAU, B. S. P. E.; EISENSMITH, S. P.; KRANZ, J. Construction of temporal models: II. Simulation of aerial epidemics. **Advances in Plant Pathology**, v. 3, p. 31-65, 1985.

HOLANDA, A. F. P. de. **Influência de elementos climáticos no desenvolvimento do oídio do cajueiro.** 2024. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.

HUANG, L. *et al.* *Bacillus velezensis* strain HYEB5-6 as a potential biocontrol agent against anthracnose on *Euonymus japonicus*. **Biocontrol Science and Technology**, v. 27, n. 5, p. 636-653, 2017.

HÜCKELHOVEN, R.; SCHOUTEN, A. **Plant immunity and plant defense.** In: **Agrios' Plant Pathology.** Academic Press, 2024. p. 161-210.

JAYAWARDENA, R. S. *et al.* One stop shop IV: taxonomic update with molecular phylogeny for important phytopathogenic genera. **Fungal Diversity**, v. 103, p. 87-218, 2020.

Ji, Y. *et al.* Different responses to elevated temperature in the representative strains of strawberry pathogenic *Colletotrichum* spp. from eastern China. **Mycological Progress**, v. 22, n. 1, p. 3, 2023.

JIN, P. *et al.* Antifungal mechanism of bacillomycin D from *Bacillus velezensis* HN-2 against *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 163, p. 102-107, 2020.

JURICK II, W. M.; ADASKAVEG, J. E. **Postharvest diseases. In: Agrios' Plant Pathology.** Academic Press, 2024. p. 317-330.

KATOH, K.; ROZEWICKI, J.; YAMADA, K. D. MAFFT. Online service: multiple sequence alignment, interactive sequence choice and visualization. **Briefings in bioinformatics**, v. 20, n. 4, p. 1160-1166, 2019.

KURAKU, S. *et al.* aLeaves facilitates on-demand exploration of metazoan gene family trees on MAFFT sequence alignment server with enhanced interactivity. **Nucleic acids research**, v. 41, n. W1, p. W22-W28, 2013.

LEIVA-MORA, M.; BUSTILLOS, D.; ARTEAGA, C.; HIDALGO, K.; GUEVARA-FREIRE, D.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, O.; SAA, L. R.; PADILLA, P. S.; BUSTILLOS, A. Antifungal mechanisms of plant essential oils: a comprehensive literature review for biofungicide development. **Agriculture**, v. 15, n. 21, p. 2303, 2025.

LETUNIC, I.; BORK, P. Interactive Tree Of Life (iTOL) v5: an online tool for phylogenetic tree display and annotation. **Nucleic Acids Research**, v. 49, n. W1, p. W293-W296, 2021.

LIU, F. *et al.* Updating species diversity of *Colletotrichum*, with a phylogenomic overview. **Studies in Mycology**, v. 101, n. 1, p. 1-56, 2022.

MARTINS, M. V. V.; LIMA, J. S. **Flutuação do inóculo nas epidemias de oídio do cajueiro-anão.** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2025. 8 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 256).

MEDENDO, I. P.; AMORIM, L.; MATTOS-JR D. **Ambiente e doença. In: AMORIM, L.; BERGAMIM FILHO, A; REZENDE, J. A. M. (Org) Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos.** 5. ed. São Paulo, SP: Editora Agronômica Ceres, 2018.v. 2, p. 93 – 102.

MENEZES, M. **Doenças do cajueiro. In: Kimat, I.H.; AMORIM, L.; BERGAMIM FILHO, A; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. (Org) Manual de Fitopatologia: Doenças de Plantas Cultivadas.** 4. ed. São Paulo, SP: Editora Agronômica Ceres, 2005.v. 2, p. 193–198.

MENTEN, J. O. M. *et al.* Efeito de alguns fungicidas no crescimento micelial de *Macrophomina phaseolina* (Tass.) Goid. “in vitro”. **Fitopatologia Brasileira**, v. 1, n. 2, p. 57–66, 1976.

MICHEREFF, S. J. **Fundamentos de fitopatologia.** Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia—Área de Fitossanidade, Recife—PE, 2001.

- MILLER, M. A.; PFEIFFER, Wayne; SCHWARTZ, Terri. Creating the CIPRES Science Gateway for inference of large phylogenetic trees. In: **2010 gateway computing environments workshop (GCE)**. Ieee, 2010. p. 1-8.
- MONTEIRO, F.; ROMEIRAS, M. M.; BARNABÉ, J.; CATARINO, S.; BATISTA, D.; SEBASTIANA, M. Disease-causing agents in cashew: a review in a tropical cash crop. **Agronomy**, v. 12, n. 10, p. 2553, 2022.
- MURRAY, MG; THOMPSON, W. F. Isolamento rápido de DNA vegetal de alto peso molecular. **Nucleic Acids Research**, v. 8, n. 19, p. 4321-4326, 1980.
- NAIR, K. P. P. **The agronomy and economy of important tree crops of the developing world**. Amsterdam: Elsevier, 2010.
- NYLANDER, J. A. A. MrAIC. pl. Program distributed by the author. **Evolutionary Biology Centre, Uppsala University**, 2004.
- OLIVOTO, T.; ANDRADE, S. M. P.; DEL PONTE, E. M. Measuring plant disease severity in R: introducing and evaluating the pliman package. **Tropical Plant Pathology**, [s. l.], v. 47, n. 1, p. 95–104, 2022.
- ONGENA, M.; JACQUES, P. Bacillus lipopeptides: versatile weapons for plant disease biocontrol. **Trends in Microbiology**, v. 16, n. 3, p. 115-125, 2008.
- RAMOS, D. G. B. *et al.* Endophytic species of *Colletotrichum* associated with cashew tree in northeastern Brazil. **Fungal Biology**, v. 128, n. 3, p. 1780-1789, 2024.
- RAMOS, D. G. B. **Diversidade de espécies de *Colletotrichum* endofíticos em cajueiros**. 2023. 54 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2023.
- RASIUKEVIČIŪTĖ, N. *et al.* Different led light wavelengths and photosynthetic photon flux density effect on *Colletotrichum acutatum* growth. **Plants**, v. 11, n. 1, p. 143, 2022.
- RONQUIST, F.; HUELSENBECK, J. P. MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. **Bioinformatics**, v. 19, n. 12, p. 1572-1574, 2003.
- ROSSETTI, V. **Antracnose dos cajueiros**, Vol. 14. São Paulo: O Biológico, p. 269, 1948.
- SANTOS, G. R. dos *et al.* Detection of *Colletotrichum gloeosporioides* in native cashew species in Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 50, n. 4, p. 899-903, 2019.
- SERRA, I. M. R. de S.; COELHO, R. S. B.; MENEZES, M. Caracterização fisiológica, patogênica e análise isoenzimática de isolados monospóricos e multispóricos de *Colletotrichum gloeosporioides*. **Summa Phytopathologica**, v. 34, p. 113-120, 2008.
- SHARMA, M.; KULSHRESTHA, S. *Colletotrichum gloeosporioides*: an anthracnose causing pathogen of fruits and vegetables. **Biosciences Biotechnology Research Asia**, v. 12, n. 2, p. 1233-1246, 2015.

- SMITH, B. J. *et al.* Effect of light-emitting diodes, ultraviolet-B, and fluorescent supplemental greenhouse lights on strawberry plant growth and response to infection by the anthracnose pathogen *Colletotrichum gloeosporioides*. **HortScience**, v. 57, n. 8, p. 856-863, 2022.
- SWAMY, K. R. M. Origin, domestication, taxonomy, botanical description, genetics and cytogenetics, genetic diversity and breeding of cashew (*Anacardium occidentale* L.). **International Journal of Development Research**, v. 13, n. 6, p. 26530–26537, 2023.
- TALHINHAS, P.; BARONCELLI, R. *Colletotrichum* species and complexes: geographic distribution, host range and conservation status. **Fungal Diversity**, v. 110, n. 1, p. 109-198, 2021.
- TEAM, R. Studio. RStudio: Integrated development environment for R. (No Title), 2021.
- THIND, T. S.; SCHILDER, A. C. Understanding photoreception in fungi and its role in fungal development with focus on phytopathogenic fungi. **Indian Phytopathology**, v. 71, n. 2, p. 169-182, 2018.
- TILEY, A. M. M *et al.* The *Zymoseptoria tritici* white collar-1 gene, ZtWco-1, is required for development and virulence on wheat. **Fungal Genetics and Biology**, v. 161, p. 103715, 2022.
- VELOSO, J. S. *et al.* Factors influencing biological traits and aggressiveness of *Colletotrichum* species associated with cashew anthracnose in Brazil. **Plant Pathology**, v. 70, n. 1, p. 167-180, 2021.
- VELOSO, J. S. *et al.* Why species delimitation matters for fungal ecology: *Colletotrichum* diversity on wild and cultivated cashew in Brazil. **Fungal Biology**, v. 122, n. 7, p. 677-691, 2018.
- VELOSO, J. S. *et al.* Antracnose do cajueiro: etiologia, sintomatologia e aspectos epidemiológicos. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 28, p. 200-215, 2022.
- VIEIRA, W. A. S *et al.* Optimal markers for the identification of *Colletotrichum* species. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 143, p. 106694, 2020.
- WEIR, B. S.; JOHNSTON, P. R.; DAMM, U. The *Colletotrichum gloeosporioides* species complex. **Studies in mycology**, v. 73, p. 115-180, 2012.
- YAN, Fen *et al.* Antifungal activity of lipopeptides from *Bacillus amyloliquefaciens* MG3 against *Colletotrichum gloeosporioides* in loquat fruits. **Biological Control**, v. 146, p. 104281, 2020.
- YU, S.-M.; RAMKUMAR, G.; LEE, Y. H. Light quality influences the virulence and physiological responses of *Colletotrichum acutatum* causing anthracnose in pepper plants. **Journal of Applied Microbiology**, v. 115, n. 2, p. 509-516, 2013.