



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

LETICIA REJANE LIMA ARAUJO

**CARACTERIZAÇÃO MOLECULAR, MORFOLÓGICA E PATOGÊNICA DE
ISOLADOS DE *Fusarium* spp. ASSOCIADOS A PODRIDÃO DA COROA EM
BANANAS**

FORTALEZA

2025

LETICIA REJANE LIMA ARAUJO

CARACTERIZAÇÃO MOLECULAR, MORFOLÓGICA E PATOGÊNICA DE ISOLADOS
DE *Fusarium* spp. ASSOCIADOS A PODRIDÃO DA COROA EM BANANAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Souza Lima.
Co-orientadora: Dra. Christiana de Fátima Bruce da Silva.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Araujo, Leticia Rejane Lima.

CARACTERIZAÇÃO MOLECULAR, MORFOLÓGICA E PATOGÊNICA DE ISOLADOS DE
Fusarium spp. ASSOCIADOS A PODRIDÃO DA COROA EM BANANAS / Leticia Rejane Lima
Araujo. – 2025.

37 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2025.

Orientação: Prof. Dr. Cristiano Souza Lima.

Coorientação: Prof. Dr. Christiana de Fátima Bruce da Silva.

1. Musa spp.. 2. Pós-Colheita. 3. Filogenia. 4. Infecção Quiescente. 5. Características Micromorfológicas. I.
Título.

CDD 630

LETICIA REJANE LIMA ARAUJO

CARACTERIZAÇÃO MOLECULAR, MORFOLÓGICA E PATOGÊNICA DE ISOLADOS
DE *Fusarium* spp. ASSOCIADOS A PODRIDÃO DA COROA EM BANANAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.

Aprovada em: 27/02/2025.

BANCA EXAMINADORA

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

Dr^a. Christiana de Fátima Bruce da Silva
Embrapa Agroindústria Tropical (EMBRAPA)

Dr^a Ana Carla da Silva Santos
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. Dr. André Angelo Medeiros Gomes
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Dr^a. Diene Elen Miranda da Silva
Itaueira Agropecuária S/A

À Deus.

Aos meus pais Isaltina e Paulo pelo amor
imensurável.

Aos meus pets Nininha e Carvãozinho.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus, toda honra e toda glória;

À Universidade Federal do Ceará (UFC) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia) por todo o aprendizado;

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pela concessão de bolsa;

À Embrapa Agroindústria Tropical e todos os seus colaboradores pela infraestrutura de qualidade;

Ao professor Cristiano Souza Lima, pela orientação, confiança no meu trabalho e pelo respeito na nossa jornada;

À Christiana Bruce pela imensurável colaboração, suporte e incentivo;

À Regimara Bernardo, por toda dedicação e paciência em me ensinar a ser uma cientista e pelo companheirismo e amizade, suporte, conselhos, ensinamentos, e por todos os momentos compartilhados de felicidades;

Aos meus amigos de jornada Eduardo Nascimento, Pedro Vitor, Maria Flaviana, Damiana Andressa, Cosma Amanda, Amarildo Júnior, Gabriela Marques e Gustavo Freire por sempre estarem presentes comigo;

E principalmente aos meus pais, Isaltina Ferreira e Paulo Rejane, minha irmã Sayonara Araújo e meus sobrinhos Marcos Paulo e Miguel Araújo, obrigado por tudo.

RESUMO

A banana (*Musa* spp.) pertence à ordem *Zingiberales*, família *Musaceae* e ao gênero *Musa*. Originária do Sudeste Asiático e do Oeste do Pacífico, foi introduzida e popularizada em diversas regiões do mundo. Atualmente, é a fruta mais produzida globalmente e a segunda mais consumida, sendo o Brasil o sexto maior produtor. No Brasil, a produção foi registrada em aproximadamente 6,9 milhões de toneladas em 2024, com destaque para o consumo interno. Apesar de sua importância econômica, a bananicultura enfrenta desafios devido a doenças pós-colheita, que impactam a qualidade dos frutos e causam perdas econômicas. A podridão da coroa foi identificada como uma das principais doenças, sendo causada por diversos fungos, com destaque para *Colletotrichum* spp., *Lasiodiplodia* spp., *Verticillium* spp. e, principalmente, *Fusarium* spp. A doença se manifesta após a maturação dos frutos, comprometendo sua comercialização. Dessa forma, o objetivo desse trabalho, foi realizar a caracterização molecular, morfológica e patogênica de isolados de *Fusarium* spp. obtidos de diferentes cultivares no Brasil. Foram coletados 40 isolados de *Fusarium* spp. de pencas de banana assintomáticas em 10 municípios do Brasil, nos estados do Ceará, Goiás e Rio Grande do Norte os quais foram georreferenciados e provenientes das cultivares, Prata, Nanica e Grand Naine. Os isolados foram submetidos a análises morfológicas, moleculares (utilizando os genes *TEF1* e *RPB2*) e testes de patogenicidade. A análise filogenética revelou uma diversidade significativa de espécies dentro dos complexos: *Fusarium fujikuroi* Species Complex (FFSC); *Fusarium incarnatum-equiseti* Species Complex (FIESC) e *Fusarium oxysporum* Species Complex (FOSC). No FFSC, *Fusarium musae* foi a espécie mais prevalente; enquanto no FIESC, destacaram-se *Fusarium sulawesiense* e *Fusarium pernambucanum*. No FOSC, *Fusarium triseptatum* e *Fusarium fabacearum* foram identificados. Os testes de patogenicidade demonstraram que todos os isolados foram capazes de causar sintomas da doença, com *F. triseptatum* (FOSC) sendo o mais agressivo. Os resultados destacam a complexidade da podridão da coroa da banana, com diferentes espécies de *Fusarium* sendo responsáveis pela doença.

Palavras-chave: *Musa* spp; pós-colheita; filogenia; infecção quiescente; características micromorfológicas.

ABSTRACT

Banana (*Musa* spp.) belongs to the order *Zingiberales*, family *Musaceae*, and genus *Musa*. Originating from Southeast Asia and the Western Pacific, it was introduced and popularized in various regions around the world. Currently, it is the most produced fruit globally and the second most consumed, with Brazil being the sixth-largest producer. In Brazil, production was recorded at approximately 6.9 million tons in 2024, with a focus on domestic consumption. Despite its economic importance, banana cultivation faces challenges due to post-harvest diseases, which impact fruit quality and cause economic losses. Crown rot has been identified as one of the main diseases, caused by various fungi, particularly *Colletotrichum* spp., *Lasiodiplodia* spp., *Verticillium* spp., and, most notably, *Fusarium* spp. The disease manifests after the fruits ripen, compromising their commercialization. Therefore, the objective of this study was to perform the molecular, morphological, and pathogenic characterization of *Fusarium* spp. isolates obtained from different cultivars in Brazil. Forty *Fusarium* spp. isolates were collected from asymptomatic banana hands in 10 municipalities across the Brazilian states of Ceará, Goiás, and Rio Grande do Norte. These isolates were geo-referenced and originated from the Prata, Nanica, and Grand Naine cultivars. The isolates were subjected to morphological analyses, molecular analyses (using the TEF1 and RPB2 genes), and pathogenicity tests. The phylogenetic analysis revealed significant species diversity within the complexes: *Fusarium fujikuroi* Species Complex (FFSC); *Fusarium incarnatum-equiseti* Species Complex (FIESC); and *Fusarium oxysporum* Species Complex (FOSC). Within the FFSC, *Fusarium musae* was the most prevalent species; while in the FIESC, *Fusarium sulawesiense* and *Fusarium pernambucanum* stood out. In the FOSC, *Fusarium triseptatum* and *Fusarium fabacearum* were identified. Pathogenicity tests demonstrated that all isolates were capable of causing disease symptoms, with *F. triseptatum* (FOSC) being the most aggressive. The results highlight the complexity of banana crown rot, with different *Fusarium* species being responsible for the disease.

Keywords: *Musa* spp; post-harvest; phylogeny; quiescent infection, micromorphological characteristics.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Isolados de *Fusarium* pertencentes ao complexo *incarnatum-equiseti* (FIESC) obtidos a partir de pencas de bananas. Os valores nos ramos são de 1000 repetições de bootstrap..... 24
- Figura 2 – Isolados de *Fusarium* pertencentes ao complexo *fujikuroi* (FFSC) obtidos a partir de pencas de bananas. Os valores nos ramos são de 1000 repetições de bootstrap..... 25
- Figura 3 – Isolados de *Fusarium* pertencentes ao complexo *oxysporum* (FOSC) obtidos a partir de pencas de bananas. Os valores nos ramos são de 1000 repetições de bootstrap..... 26
- Figura 4 – Colônias em PDA de *Fusarium triseptatum* - BAN23 (A e B) e características morfológicas (C) fiálides; (D) clamidósporos; (E) conídios do micélio aéreo; Colônias em PDA de *Fusarium sulawesiense* - BAN119 (F e G) e características morfológicas (H) conídios esporoquiais; (I) mesoconídios; (J) clamidósporos; Colônias em PDA de *Fusarium fredkruegeri* – BAN129 (K e L) características morfológicas (M) monofiálides; (N) microconídios; (O) macroconídio..... 27
- Figura 5 – Diâmetro das lesões (mm) em frutos de banana inoculados com isolados de grupos de complexos de espécies de *Fusarium*: FFSC, FIESC e FOSC..... 28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Isolados obtidos no Brasil do complexo de <i>Fusarium incarnatum-equiseti</i> (FIESC).....	21
Tabela 2 – Isolados obtidos no Brasil do complexo de <i>Fusarium fujikuroi</i> (FFSC).....	22
Tabela 3 – Isolados obtidos no Brasil do complexo de <i>Fusarium oxysporum</i> (FOSC).....	23
Tabela 4 – Isolados de referência utilizados nas análises filogenéticas para o complexo de espécies <i>Fusarium fujikuroi</i> (FFSC), complexo de espécies <i>Fusarium incarnatum-equiseti</i> (FIESC), complexo de espécies <i>Fusarium oxysporum</i> (FOSC) e complexo de espécies <i>Fusarium concolor</i> (FCSC).....	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	9
2 CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA	9
3 CAPÍTULO II - Isolados de <i>FUSARIUM</i> SPP. membros do complexo de espécies <i>FUSARIUM INCARNATUM-EQUISETI</i>, <i>FUSARIUM FUJIKUROI</i> E <i>FUSARIUM OXYSPORUM</i> como agentes etiológicos da podridão da coroa da banana	12
3.1 INTRODUÇÃO	15
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	17
<i>3.2.1 Isolados de Fusarium</i>	<i>17</i>
<i>3.2.2 Obtenção da cultura pura.....</i>	<i>18</i>
<i>3.2.3 Preservação dos isolados</i>	<i>18</i>
<i>3.2.4 Extração do DNA.....</i>	<i>18</i>
<i>3.2.5 Amplificação por reação em cadeia da polimerase (PCR)</i>	<i>19</i>
<i>3.2.6 Teste de patogenicidade e agressividade.....</i>	<i>19</i>
<i>3.2.7 Caracterização morfológica.....</i>	<i>20</i>
4 RESULTADOS	21
4.1 Isolados de Fusarium.....	21
4.2 Análise filogenética	23
4.3 Caracterização morfológica e patogenicidade.....	26
4 DISCUSSÃO	28
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
REFERÊNCIAS	32
ANEXO A - ISOLADOS DE REFERÊNCIA UTILIZADOS NAS ANÁLISES FILOGENÉTICAS PARA O COMPLEXO DE ESPÉCIES ESTUDADAS.....	37

1 INTRODUÇÃO GERAL

A banana (*Musa* spp.) é uma das frutas mais cultivadas e consumidas globalmente, desempenhando um papel crucial na economia agrícola de diversos países, incluindo o Brasil. O país figura entre os maiores produtores mundiais, com uma produção anual 6,9 milhões de toneladas, destinadas tanto ao mercado interno quanto à exportação (IBGE, 2025). Entretanto, a sustentabilidade da bananicultura enfrenta desafios significativos, principalmente devido às doenças pós-colheita, que impactam diretamente a qualidade dos frutos e causam expressivas perdas econômicas (Khan et al. 2001).

A podridão da coroa da banana é uma doença pós-colheita que se destaca por sua ampla distribuição e severidade. Essa doença é causada por diversos gêneros de fungos, com incluindo o gênero *Fusarium* (Zakaria, 2023). A podridão da coroa compromete a aparência e a integridade estrutural dos frutos, reduzindo sua aceitação comercial e sua vida útil (Palou et al. 2016).

O gênero *Fusarium* é amplamente estudado devido à sua diversidade genética e ao seu potencial patogênico. Sua caracterização envolve análises morfológicas, moleculares e patogênicas, que permitem a identificação das espécies predominantes e auxiliam na formulação de estratégias de manejo mais eficazes (Maryani et al., 2019). O entendimento da variabilidade dos isolados de *Fusarium* associados à podridão da coroa é essencial para mitigar os danos causados pela doença e aprimorar as práticas agrícolas (Ploetz et al., 2015).

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo caracterizar os isolados de *Fusarium* obtidos de bananas afetadas pela podridão da coroa, empregando abordagens morfológicas, moleculares e testes de patogenicidade. Os resultados obtidos fornecerão subsídios para o desenvolvimento de estratégias de controle mais eficientes, visando a redução das perdas econômicas e a sustentabilidade da produção da cultura da banana.

2 CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA

A banana (*Musa* spp.) pertence a ordem *Zingiberales*, família *Musaceae* e ao gênero *Musa*. Originária do sudeste asiático e oeste do Pacífico, foi introduzida e popularizada na África, nas Américas e no sul do Pacífico (Valmayor et al., 2001; De Langhe et al., 2009;).

Atualmente a banana é a fruta mais produzida no mundo e a segunda mais consumida. A América Latina e o Caribe são as regiões que mais se destacam nas exportações

globais, somando um total de 13,8 milhões de toneladas. Entre os países, o Equador se sobressai como o maior exportador, com 5,8 milhões de toneladas (FAO, 2025).

De acordo com Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura na Análise de Mercado e Resultados Preliminares de Banana do ano de 2024, o volume total de exportações de banana caiu aproximadamente 1% em relação a 2023, devido a condições climáticas adversas, disseminação de doenças como o *Fusarium wilt* TR4, conflitos geopolíticos e altos custos de produção. Entretanto, os mercados-chave como Estados Unidos e União Europeia, continuaram estáveis com importação constante, enquanto China e Rússia tiveram quedas significativas (FAO, 2025).

O Brasil é um dos principais produtores de banana do mundo, em 2024 produziu cerca de 6,9 milhões de toneladas dessa fruta, com uma produtividade média de 15 toneladas por hectare (IBGE, 2025).

Apesar da banana ser uma das frutas mais cultivadas e consumidas no mundo, ela enfrenta diversos desafios relacionados às doenças que afetam sua produção e comercialização. Os danos e perdas podem ocorrer em especial, na fase de pós colheita. Os frutos podem ter a qualidade e vida de prateleira comprometidas, devido aos danos em sua aparência levando à rejeição pelos consumidores pelo produto, ocasionando prejuízos para o produtor (Lichtemberg, 1999).

A banana sendo uma fruta climatérica e altamente perecível, apresenta perdas em todas as etapas de sua comercialização, incluindo transporte, manuseio da fruta pelos consumidores no comércio e no armazenamento na casa do consumidor (Souza, 2014; Yahia, Fonseca, Kitinoja, 2019). Esses fatores, em sinergia com o processo de maturação da fruta, favorecem o desenvolvimento de lesões na epiderme e na região da coroa da banana, as quais, por sua vez, proporcionam portas de entrada propícias para a colonização por patógenos primários e posteriormente sendo acometidos por patógenos secundários (Vilas Boas et al., 2001).

As doenças que afetam os frutos na fase de pós-colheita possuem uma relação dinâmica entre o patógeno e práticas de manuseio da cultura, além de fatores externos como temperatura, umidade relativa, níveis de dióxido de carbono, disponibilidade de nutrientes e possíveis danos físicos que possam acelerar a deterioração da cultura (Marcuzzo, 2009).

Algumas das doenças pós-colheita importantes da banana são a antracnose, podridão da ponta do charuto, podridão negra e a podridão da coroa causada por diversos géneros de fungos, bem como *Fusarium* spp. (Cordeiro e Matos, 2005; Silva, 2022). Segundo Lassois et al. (2010), a podridão da coroa caracteriza-se pela infecção dos tecidos da região da

coroa, que conecta os pedúnculos dos frutos. Por ser uma doença quiescente, enquanto a fruta está em transporte não é possível visualizar os sintomas da doença. Apenas após o processo de maturação a infecção começa a progredir, com o desenvolvimento de micélio na superfície da coroa da banana, que progressivamente se espalha pelo interior, acometendo todo o fruto. Em alguns casos, as bananas podem se desprender dos pedúnculos devido à severidade da infecção. Dentre os agentes causais, *Fusarium* spp. merecem destaque.

Prolongar a vida útil da banana e manter sua qualidade é um grande desafio (Ventura e Hinz, 2002; Moraes et al., 2008; Fernandes et al., 2019). Medidas de controle totalmente eficazes ainda não foram encontradas, por isso são usadas estratégias integradas que combinam métodos químicos e alternativas não químicas. No campo é feita a eliminação de folhas senescentes e uso de sacos plásticos nos cachos, que ajudam a reduzir a infecção pelos esporos (Nelson, 2008). O uso de fungicidas continua sendo um dos mais utilizados, por meio da imersão dos cachos ou por atomização dos frutos, mas sua eficácia pode ser comprometida por cepas resistentes e regulamentações restritivas, sendo ainda considerado um problema em nível mundial, e sua diminuição incentivada (Lassois et al., 2010).

Os agentes causais da podridão da coroa estão presentes em frutos já infectados e permanecem no campo em restos culturais, sendo dispersos com tratos culturais inadequados como a utilização de ferramentas já previamente contaminadas, bem como no momento de despencamento dos cachos. Além de fatores externos ao homem, como a dispersão dos esporos por vento e água de chuva, estes podem permanecer viáveis no campo perpetuando o ciclo de vida do patógeno (Meredith, 1971; Jones; Muirhead, 2019).

Este gênero de fungos, definido pela primeira vez por Johann Heinrich Friedrich Link (1809), pertence ao filo *Ascomycota*, classe *Sordariomycetes*, ordem *Hypocreales* e família *Nectriaceae*. Atualmente possuindo 1808 táxons entre espécies, subespécies, variedades e formaes speciales (Index Fungorum, 2024). As características morfológicas e genéticas de *Fusarium* são diversas entre as espécies desse gênero, com estruturas que desempenham papéis importantes tanto na reprodução quanto na sobrevivência. As principais características morfológicas incluem microconídios com ou sem septos, macroconídios fusiformes e multiseptados, clamidósporos e esporodóquios (Barnett e Hunter, 1972; Crous et al., 2021).

Entre as espécies de *Fusarium* que causam a podridão da coroa da banana destacam-se *F. verticillioides*, *F. equiseti*, *F. incarnatum*, *F. musae*, *F. oxysporum*, *F. proliferatum*, *F. graminearum*, *F. camptoceras*, *F. subglutinans*, *F. dimerum* e *F. acuminatum* (Jimenez et al., 1993; Moraes et al., 2006).

O As características morfológicas, aliadas a outras características como planta hospedeira e sintomas da doença, desempenham um papel importante na identificação e caracterização de espécies de *Fusarium*, no entanto não são suficientes para separar as espécies (Leslie & Sumerell, 2006), especialmente no caso de isolados pertencentes a um mesmo complexo (Azuddin, 2021). Essa limitação ocorre porque as estruturas microscópicas, como microconídios, macroconídios e clamidósporos, apresentam alta semelhança entre as espécies, o que dificulta a distinção precisa.

Uma abordagem molecular amplamente utilizada para identificar espécies de fungos é a Reação em Cadeia da Polimerase (PCR), com a amplificação de segmentos específicos do DNA de células fúngicas. A identificação de espécies de *Fusarium* pode ser realizada por meio do alinhamento de sequências de regiões gênicas como o gene fator de alongação 1-alfa (*TEF1*) e a segunda maior subunidade da RNA polimerase II (*RPB2*) conhecidos como os principais marcadores filogenéticos para o grupo (O'Donnell et al., 1998; Maryani et al., 2019).

Dentro desse contexto, este estudo teve como objetivo identificar e caracterizar isolados de *Fusarium* associados à podridão da coroa da banana, utilizando abordagens morfológicas, moleculares e testes de patogenicidade. A caracterização desses isolados pode contribuir significativamente para o aprimoramento das práticas de manejo da doença, fornecendo informações sobre a diversidade dos patógenos presentes nas bananas em pós colheita. Os resultados obtidos podem auxiliar na implementação de estratégias mais eficazes de controle, promovendo a sustentabilidade da cadeia produtiva da banana, diminuindo as perdas pós-colheita e melhorando a qualidade do produto. Dessa forma, as pesquisas sobre a caracterização de *Fusarium* têm um grande potencial em contribuir para a sanidade da fruta na fase de pós colheita e para o fortalecimento da produção de banana a nível global.

3 CAPÍTULO II - Isolados de *FUSARIUM* SPP. membros do complexo de espécies *FUSARIUM INCARNATUM-EQUISETI*, *FUSARIUM FUJIKUROI* E *FUSARIUM OXYSPORUM* como agentes etiológicos da podridão da coroa da banana

RESUMO

As bananas (*Musa* spp.), pertencentes à família *Musaceae*, são amplamente consumidas no Brasil devido à sua acessibilidade e alto valor nutricional, desempenhando um papel crucial na alimentação da população e no agronegócio, tanto no mercado interno quanto na

exportação. Em 2024, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025) registrou uma produção de aproximadamente 6,9 milhões de toneladas em uma área colhida de 461.153 hectares. Entretanto apesar do grande volume de produção e da ampla distribuição por todo o território nacional, um fator importante é a elevada perda na pós-colheita. Entre as doenças pós-colheita a podridão da coroa se destaca, por causar mancha marrom-escura a preta na coroa, que eventualmente recobre toda a extensão do fruto, presença de micélios cinza-esbranquiçados/rosados, e posteriormente podridão na polpa. O gênero *Fusarium* compreende os principais agentes envolvidos nessa patologia, engloba um complexo de espécies fúngicas conhecidas por sua capacidade de causar doenças em plantas, especialmente na fase de pós-colheita. Este estudo teve como objetivo identificar e caracterizar quanto a sua filogenia, morfologia e patogenicidade espécies de *Fusarium* associadas a podridão da coroa da banana. Foram coletados 40 isolados de *Fusarium* de pencas de banana assintomáticas em 10 municípios brasileiros, georreferenciados e provenientes de diferentes cultivares, como Prata, Nanica e Grand Naine. Os isolados foram submetidos a análises morfológicas, moleculares (*TEF1* e *RPB2*) e testes de patogenicidade. A análise filogenética, constatou espécies provenientes dos complexos: *Fusarium incarnatum-equiseti* (FIESC), *Fusarium fujikuroi* (FFSC) e *Fusarium oxysporum* (FOSC). O complexo FIESC, apresentou as espécies *F. sulawesiense* e *F. pernambucanum*, enquanto no FFSC, *F. musae* foi a espécie mais prevalente. No FOSC, *F. triseptatum* e *F. fabacearum* foram identificados. Os testes de patogenicidade demonstraram que todos os isolados foram capazes de causar sintomas da doença, com *F. triseptatum* (FOSC) sendo o mais agressivo. Os resultados evidenciam que diferentes complexos de espécies de *Fusarium* estão envolvidos na podridão da coroa da banana.

Palavras-chave: *Musa* spp; doenças pós-colheita; análise molecular; filogenia de fungos.

ABSTRACT

Bananas (*Musa* spp.), belonging to the *Musaceae* family, are widely consumed in Brazil due to their accessibility and high nutritional value, playing a crucial role in the population's diet and in agribusiness, both in the domestic market and in exports. In 2024, the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE, 2025) recorded a production of approximately 6.9 million tons over a harvested area of 461,153 hectares. However, despite the high production volume and wide distribution across the national territory, a major challenge is the high level of postharvest losses. Among postharvest diseases, crown rot stands out for causing dark-brown to black discoloration on the crown, which eventually spreads over the entire fruit, accompanied by grayish-white to pinkish mycelia, and later pulp rot. The genus *Fusarium* comprises the main agents involved in this pathology, encompassing a complex of fungal species known for their ability to cause plant diseases, particularly during the postharvest stage. This study aimed to identify and characterize *Fusarium* species associated with banana crown rot in terms of phylogeny, morphology, and pathogenicity. Forty *Fusarium* isolates were collected from asymptomatic banana hands in 10 Brazilian municipalities, georeferenced, and obtained from different cultivars, such as Prata, Nanica, and Grand Naine. The isolates were subjected to morphological analyses, molecular analyses (TEF1 and RPB2), and pathogenicity tests. Phylogenetic analysis revealed species from the following complexes: *Fusarium incarnatum-equiseti* (FIESC), *Fusarium fujikuroi* (FFSC), and *Fusarium oxysporum* (FOSC). Within FIESC, the species *F. sulawesiense* and *F. pernambucanum* were identified, whereas in FFSC, *F. musae* was the most prevalent. In FOSC, *F. triseptatum* and *F. fabacearum* were identified. Pathogenicity tests demonstrated that all isolates were capable of causing disease symptoms, with *F. triseptatum* (FOSC) being the most aggressive. The results highlight that different *Fusarium* species complexes are involved in banana crown rot.

Keywords: *Musa* spp.; postharvest diseases; molecular analysis; fungal phylogeny.

3.1 INTRODUÇÃO

As bananas (*Musa* spp.), pertencentes à família *Musaceae* são amplamente consumidas no Brasil, devido à sua acessibilidade e alto valor nutricional, constitui parte importante da alimentação da população, além da sua produção gerar empregos e contribuir significativamente para o agronegócio, tanto local quanto para o mercado de exportação. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025), em 2024 foram produzidas cerca de 6,9 milhões de toneladas em uma área colhida de 461.153 ha no território brasileiro. A produção brasileira é principalmente destinada ao mercado interno e tem aceitação em 95% dos domicílios (Amaro; Fagundes, 2016).

No mercado interno as variedades de banana mais comuns são a Prata, Nanica, Maçã, Ouro, Figo e Terra, destinadas ao consumo interno, e a Banana Nanica destinada para exportação (Servolo, 2022).

Entretanto apesar do grande volume de produção e da ampla distribuição por todo o território nacional, um fator importante é a elevada perda na pós-colheita (Cordeiro, 2000). Em que o sabor, a aparência e aceitabilidade são afetados, devido a alta perecibilidade da fruta, onde as condições físicas e fisiológicas favorecem as infecções bacterianas e fúngicas, que causam desperdício e perdas econômicas de aproximadamente 20% a 25% das frutas frescas durante o armazenamento e preservação na pós-colheita (de Souza-Pollo e de Goes, 2020; Kusstatscher et al., 2020).

Entre as doenças pós-colheita que afetam as bananas as mais importantes, são a podridão da coroa e antracnose. A podridão da coroa é causada por diversos gêneros de fungos, incluindo *Colletotrichum* spp., *Lasiodiplodia* spp., *Verticillium* spp. e *Fusarium* spp. (Silva, 2022).

Os sintomas da podridão da coroa são manchas marrom-escuras a pretas na coroa, que eventualmente recobrem toda a extensão do fruto, presença de micélios cinza-esbranquiçados/rosados, e posteriormente podridão na polpa (Lassois, et al. 2010; Ewané, 2012; Lepoiyere, et al. 2012).

O gênero *Fusarium* compreende os principais agentes envolvidos nessa patologia, engloba um complexo de espécies fúngicas conhecidas por sua capacidade de causar doenças em plantas, especialmente na fase de pós-colheita. Entre os mais relevantes para as doenças pós-colheita em bananas estão o *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex (FIESC), o *Fusarium fujikuroi* species complex (FFSC) e o *Fusarium oxysporum* species complex

(FOSC).

O FIESC inclui espécies como *Fusarium sulawesiense* e *Fusarium pernambucanum*, associadas à podridões e à deterioração de frutos, especialmente em condições de alta umidade e temperatura (Lassois et al., 2010; Jiménez-Fernández et al., 2016). Já o FFSC, que engloba espécies como *Fusarium musae* e *Fusarium verticillioides*, é conhecido por sua capacidade de produzir micotoxinas, como as fumonisinas, que além de causar danos aos frutos, representam riscos à saúde humana e animal (Marín et al., 2012; Sivakumar et al., 2021). O FOSSC, que inclui *Fusarium oxysporum*, é um dos principais agentes causadores de doenças vasculares e podridões em bananas, atuando de forma sinérgica com outros patógenos para acelerar a deterioração na pós-colheita (Ploetz, 2015; Thangavelu et al., 2019). Esses complexos de espécies destacam-se não apenas pela sua diversidade genética, mas também pela sua capacidade de se adaptar a diferentes condições ambientais, o que dificulta o controle e a prevenção das doenças que causam.

A caracterização prévia de isolados de *Fusarium* associados à podridão pós-colheita em bananas começa com a análise morfológica, que inclui a observação da colônia do isolado, taxa de crescimento e estruturas microscópicas como macroconídios, microconídios e a formação de fiálides, entretanto a morfologia semelhante entre as espécies, principalmente as do mesmo complexo, tornam esse método limitante (Leslie & Summerell, 2006).

Para superar as limitações da caracterização morfológica, técnicas moleculares têm sido amplamente utilizadas. Marcadores genéticos como os genes *TEF1* (fator de alongação 1-alfa) e *RPB2* (segunda subunidade da RNA polimerase II) são particularmente eficazes para a identificação de espécies de *Fusarium*. Esses genes fornecem alta resolução filogenética, permitindo a distinção entre espécies e complexos que são morfológicamente semelhantes. Estudos como os de O'Donnell et al. (2015) e Villani et al. (2016) demonstraram que a análise combinada de *TEF1* e *RPB2* é uma abordagem robusta para a identificação precisa de isolados de *Fusarium* em bananas, contribuindo para uma melhor compreensão da diversidade e distribuição desses patógenos.

Por fim, a confirmação do potencial patogênico dos isolados de *Fusarium* é realizada por meio de testes de patogenicidade. Esses testes envolvem a inoculação de frutos de bananas com esporos do fungo, seguida da avaliação de sintomas como podridão da coroa, manchas escuras e deterioração da polpa (Lassois et al., 2010; Jiménez-Fernández et al., 2016). A integração dessas abordagens — morfológica, molecular e patogênica — permite uma caracterização abrangente dos isolados de *Fusarium*, facilitando o desenvolvimento de estratégias de controle mais eficazes para reduzir as perdas econômicas causadas por essas

doenças.

A hipótese abordada nesse estudo é que complexos de espécies são causadores da podridão da coroa da banana.

O objetivo deste estudo foi caracterizar filogeneticamente, morfológicamente e quanto a patogenicidade das espécies de *Fusarium* causam podridão pós colheita em banana no território brasileiro.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Isolados de *Fusarium*

Os isolados foram obtidos a partir de pencas de banana em ponto de maturação no estágio 2 com coloração da casca (verde-maduro) sem apresentar sintomas da doença da podridão peduncular. Eles foram coletados de diversas áreas de produção de banana no território brasileiro nos municípios de Limoeiro do Norte (CE), Missão Nova (CE), Missão Velha (CE), Pacajus (CE), Uburetama (CE), Russas (CE), Fortaleza (CE), Tianguá (CE), Ipanguaçu (RN) e Rio Verde (GO). As bananas foram provenientes de áreas produtoras de bananas, CEASA, feiras livres, bancos de germoplasmas e supermercados; e georreferenciadas com GPS.

Os frutos pertenciam às cultivares; Comprida (2), Grand Naine (4), Maçã (5), Prata (14), Prata Anã (3), Prata Catarina (14), Prata (2), Prata Rio (3), Terra (2) e Williams (2). Foram coletadas 5 pencas por município totalizando 5 repetições, posteriormente despencadas com objeto cortante desinfestado e as pencas mantidas com três frutos. Após, os frutos foram encaminhados para o Laboratório de Fitopatologia, do CNPAT, da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza/CE. As pencas assintomáticas, foram previamente lavadas com detergente e água corrente, seguida de sanitização dos frutos, com submersão em hipoclorito (200 ppm) por quatro minutos, enxague com água destilada esterilizada, e dispostos em papel toalha autoclavado para secagem em temperatura ambiente. Após essa separação, as pencas foram dispostas em bandejas plásticas, onde foi adicionado ao fundo das bandejas papel toalha autoclavado e 100 ml de água destilada autoclavada, os frutos foram colocados sobre placas estéreis e em seguida a bandeja foi fechada para formar uma câmara úmida, seguida de incubação em temperatura 30 ± 2 °C e umidade relativa $\geq 70 \pm 3\%$, durante um período de 7 dias, onde foi possível visualizar a manifestação dos sintomas da doença no fruto.

Após o aparecimento dos sinais do patógeno foi realizado o isolamento direto de um fragmento do micélio aéreo presente na coroa do fruto, com a utilização de uma alça de platina flambada; o fragmento micelial foi transferido para placas de Petri contendo o meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA) acrescido dos antibióticos estreptomicina e cloranfenicol na concentração de 100 ppm para ambos. As placas de Petri foram incubadas a 25 °C com fotoperíodo de 12h.

3.2.2 Obtenção da cultura pura

A obtenção de culturas puras do patógeno foi realizada através da técnica de cultura monospórica. Utilizando um microscópio de luz (objetiva de 40x), colônias fúngicas originadas de um único esporo foram isoladas, permitindo a identificação dos morfotipos, de acordo com o método descrito por Leslie e Summerell (2006). Posteriormente, cada isolado foi registrado em um código de coleção, que incluiu informações detalhadas sobre o código do isolado, data e local de coleta, coordenadas geográficas e a cultivar hospedeira.

3.2.3 Preservação dos isolados

Apos cultivar os isolados em meio BDA por sete dias, foram feitos cinco discos de micélio com o auxílio de um furador em formato circular de 5 mm. Os discos foram transferidos para preservação em microtubos contendo água destilada e esterilizada (ADE) (Castellani, 1939), e em tubos de ensaio contendo BDA e armazenados a 25 °C na coleção do Laboratório de Fitopatologia do CNPAT e na Coleção Micológica do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFCM).

3.2.4 Extração do DNA

A extração de DNA dos isolados foi efetuada no Laboratório de Biologia Molecular do CNPAT. Os isolados fúngicos foram cultivados em meio batata-dextrose-ágar (BDA) durante 5 dias, em seguida 5 discos de micélio de 5mm foram transferidos para meio líquido batata-dextrose (BD), cultivados sob agitação mecânica em mesa agitadora a 100 rpm, durante três dias, a temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas. Posteriormente a biomassa fúngica foi filtrada com uma malha de TNT autoclavado e a biomassa lavada com água destilada esterilizada (ADE), em seguida aproximadamente 150 mg. de massa foi

macerada em cadinho e almofariz com a utilização de nitrogênio líquido, adicionando-se 100mg de polivinilpirrolidona (PVP). A extração do DNA foi realizada pelo método CTAB (brometo de hexadeciltrimetilamônio), adaptado do protocolo de Murray e Thompson (1980). A quantificação do DNA extraído foi avaliada com espectrofotômetro Nanodrop 2000c (Thermo Fisher Scientific), e sua qualidade foi verificada utilizando-se eletroforese em gel de agarose 1% e visualizado no transluminador.

3.2.5 Amplificação por reação em cadeia da polimerase (PCR)

A caracterização por meio de PCR foi feita com a amplificação de fragmentos das regiões gênicas *TEF1* e *RPB2*; utilizando os primers EF-1 (5′- ATGGGTAAGGARGACAAGAC -3′) EF-2 (5′- CTGAACGCCTCTAAGTCAG -3′), (O'Donnell *et al.*, 1998); e 5f2

(5′- GGGGWGAYCAGAAGAAGGC -3′) 7cr (5′- CCCATRGCTTGYYTTRCCCAT -3′), (O'Donnell *et al.*, 2010) respectivamente. Para o gene *TEF1* foram utilizadas as condições de 94 °C por 1 min de desnaturação inicial, sendo 35 ciclos de 94 °C por 30s de desnaturação, 56 °C por 50s de anelamento, 72 °C por 1 min de extensão, e 72 °C por 5 min de extensão final. Para *RPB2*, as condições foram de 94 °C por 90s de desnaturação inicial, sendo 40 ciclos de 94 °C por 30s de desnaturação, 60 °C por 90s de anelamento, 68 °C por 2 min de extensão, e 68 °C por 5 min de extensão final. Os produtos das PCRs foram avaliados utilizando-se eletroforese em gel de agarose 1% e visualizado em transluminador. 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.

3.2.6 Teste de patogenicidade e agressividade

Foram avaliados, por meio de teste de patogenicidade os isolados representantes dos grupos filogenéticos FIESC, FFSC, FOSSC após a análise filogenética. Foi feita a coleta de bananas cv. Prata, em estágio fisiológico de maturação 2 (verde com traços amarelos) sem sintomas visíveis. As bananas foram previamente lavadas com detergente e água corrente e desinfestadas superficialmente com submersão dos frutos em solução de hipoclorito de sódio 2,5% (200 ppm) por quatro minutos, seguido de enxague com água destilada esterilizada e secagem dos frutos em temperatura ambiente sobre papel toalha esterilizado. Os isolados testados foram depositados em placas de Petri com meio de cultura BDA, mantidas durante 7

dias a 25 ± 2 °C, sob fotoperíodo de 12 h. Após a secagem dos frutos, foram feitas perfurações na região da coroa do cacho de banana, para isso utilizou-se furador de rolha de 0,5 cm de diâmetro e 1 cm de profundidade. Foi então efetuada a inoculação de 20 µL da suspensão de esporos para cada isolado/tratamento e no tratamento controle foi pipetado 20 µL de ADE nos pontos de perfuração. As suspensões de esporos foram preparadas adicionando na colônia fúngica, água destilada esterilizada (ADE) + Tween (2,5%), seguida de raspagem da colônia com auxílio de escova de cerdas macias esterilizadas, em seguida, filtragem em dupla camada de gaze e ajuste da concentração de esporos para 1×10^6 esporos. mL⁻¹, em hemacitômetro. Após a inoculação, os frutos foram incubados em câmara úmida utilizando bandejas de plástico transparentes e com tampas, e quatro folhas de papel toalha esterilizado úmido em água destilada esterilizada. As condições de incubação foram de fotoperíodo de 12 horas de luz/escuro a 25 °C (± 2 °C) por 7 dias. Após sete dias, foi feita a avaliação da severidade da doença causada pelos diferentes isolados, mensurando o tamanho da lesão com paquímetro digital. Foram testados 3 isolados (tratamentos), com seis repetições e testemunha.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade usando o pacote ExpDes.pt no software R versão 4.1.2.

3.2.7 Caracterização morfológica

Para a caracterização morfológica dos isolados representantes selecionados na análise filogenética, foi utilizado o método de Lima *et al.* (2009) adaptado de Leslie e Summerell (2006), utilizando os meios de cultura batata-dextrose-ágar (BDA) e *spezieller nährstoffarmer agar* (SNA). Para determinação da taxa de crescimento micelial e pigmentação da colônia foi utilizado o meio BDA, com três repetições por isolado para ambas análises. Para determinação da taxa de crescimento micelial um disco de micélio (5 mm de diâmetro) com sete dias de crescimento em placas de Petri contendo BDA foi transferido para o centro de uma placa de Petri contendo o mesmo meio de cultura, seguido de incubação a 25 °C (± 2 °C) no escuro, por três dias. Foram realizadas as medições em dois sentidos diametralmente opostos. Para a avaliação da pigmentação da colônia um disco de micélio foi transferido para o centro de uma placa de Petri contendo o meio de cultura BDA, seguido de incubação em BOD a 25 °C (± 2 °C) sob fotoperíodo de 12 h, por 10 a 14 dias.

Para as características micromorfológicas e culturais, foi utilizado o meio 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 secos e esterilizados de folhas de cravo (*Dianthus caryophyllus* L.). Após 10 a 14 dias de incubação a 25 °C (± 2 °C), fotoperíodo de 12 horas, foi avaliada a presença ou não e cor de esporodóquios; tamanho e formato dos conídios do micélio aéreo e conídios do esporodóquio (com base na medição de 50 estruturas), presença ou não de conídios do micélio aéreo em falsas cabeças, tipos de fiálides, presença ou não de clamidósporos. As dimensões realizadas serão obtidas por meio do programa Motic Images Plus 2.0. instalado em computador acoplado a um microscópio de luz.

4 RESULTADOS

4.1 Isolados de *Fusarium*

Foram obtidos 40 isolados de *Fusarium* spp. com características morfológicas dos grupos FIESC, FFSC e FOOSC a partir de pencas de bananas assintomáticas, de diferentes regiões produtoras de banana do Ceará, Rio Grande do Norte e Goiás (Tabelas 1, 2 e 3).

Tabela 1 - Isolados obtidos no Brasil do complexo de *Fusarium incarnatum-equiseti* (FIESC).

Espécie	Código	Município	Estado	Cultivar
<i>F. arcuatissporum</i>	BAN163	Ipanguaçu	RN	Gran Naine
<i>F. mianyangense</i>	BAN148	Pacajus	CE	Prata Catarina
<i>F. pernambucanum</i>	BAN25	Pacajus	CE	Williams
<i>F. pernambucanum</i>	BAN133	Fortaleza	CE	Comprida
<i>F. pernambucanum</i>	BAN146	Pacajus	CE	Prata Catarina
<i>F. pernambucanum</i>	BAN147	Missão Velha	CE	Prata
<i>F. sulawesiense</i>	BAN119	Tianguá	CE	Prata
<i>F. sulawesiense</i>	BAN123	Limoeiro do Norte	CE	Prata Rio

<i>F. sulawesiense</i>	BAN130	Pacajus	CE	Prata Catarina
<i>F. sulawesiense</i>	BAN145	Limoeiro do Norte	CE	Prata Catarina
<i>Fusarium sp. (1)</i>	BAN21	Ipanguaçu	RN	Grand Naine
<i>Fusarium sp. (1)</i>	BAN 155	Russas	CE	Prata Catarina

Tabela 2 - Isolados obtidos no Brasil do complexo de *Fusarium fujikuroi* (FFSC).

Espécie	Código	Município	Estado	Cultivar
<i>F. fredkrugeri</i>	BAN129	Pacajus	CE	Prata Catarina
<i>F. musae</i>	BAN15	Limoeiro do Norte	CE	Prata Catarina
<i>F. musae</i>	BAN18	Tianguá	CE	Prata
<i>F. musae</i>	BAN19	Limoeiro do Norte	CE	Prata Catarina
<i>F. musae</i>	BAN29	Tianguá	CE	Prata
<i>F. musae</i>	BAN106	Uburetama	CE	Prata
<i>F. musae</i>	BAN107	Uburetama	CE	Prata
<i>F. musae</i>	BAN108	Uburetama	CE	Prata
<i>F. musae</i>	BAN109	Uburetama	CE	Prata
<i>F. musae</i>	BAN110	Uburetama	CE	Prata
<i>F. musae</i>	BAN117	Uburetama	CE	Prata
<i>F. musae</i>	BAN134	Pacajus	CE	Prata Catarina
<i>F. musae</i>	BAN136	Fortaleza	CE	Prata
<i>F. musae</i>	BAN138	Fortaleza	CE	Prata
<i>F. musae</i>	BAN140	Fortaleza	CE	Prata
<i>F. musae</i>	BAN243	Missão Nova	CE	Grand Naine
<i>F. musae</i>	BAN244	Crato	CE	Grand Naine
<i>F. musae</i>	BAN15	Russas	CE	Prata Catarina
<i>F. verticillioides</i>	BAN16	Tianguá	CE	Maça
<i>F. verticillioides</i>	BAN17	Limoeiro do Norte	CE	Prata Anã
<i>F. verticillioides</i>	BAN20	Limoeiro do Norte	CE	Prata Catarina
<i>F. verticillioides</i>	BAN24	Limoeiro do Norte	CE	Prata Rio
<i>F. verticillioides</i>	BAN27	Rio Verde	GO	Maça
<i>F. verticillioides</i>	BAN100	Rio Verde	GO	Terra
<i>F. verticillioides</i>	BAN118	Russas	CE	Williams
<i>F. verticillioides</i>	BAN157	Rio Verde	GO	Maça

Tabela 3 - Isolados obtidos no Brasil do complexo de *Fusarium oxysporum* (FOSC).

Espécie	Código	Município	Estado	Cultivar
<i>F. fabacearum</i>	BAN127	Rio Verde	GO	Terra
<i>F. triseptatum</i>	BAN23	Limoeiro do Norte	CE	Prata Rio
<i>F. triseptatum</i>	BAN120	Russas	CE	Prata Catarina

4.2 Análise filogenética

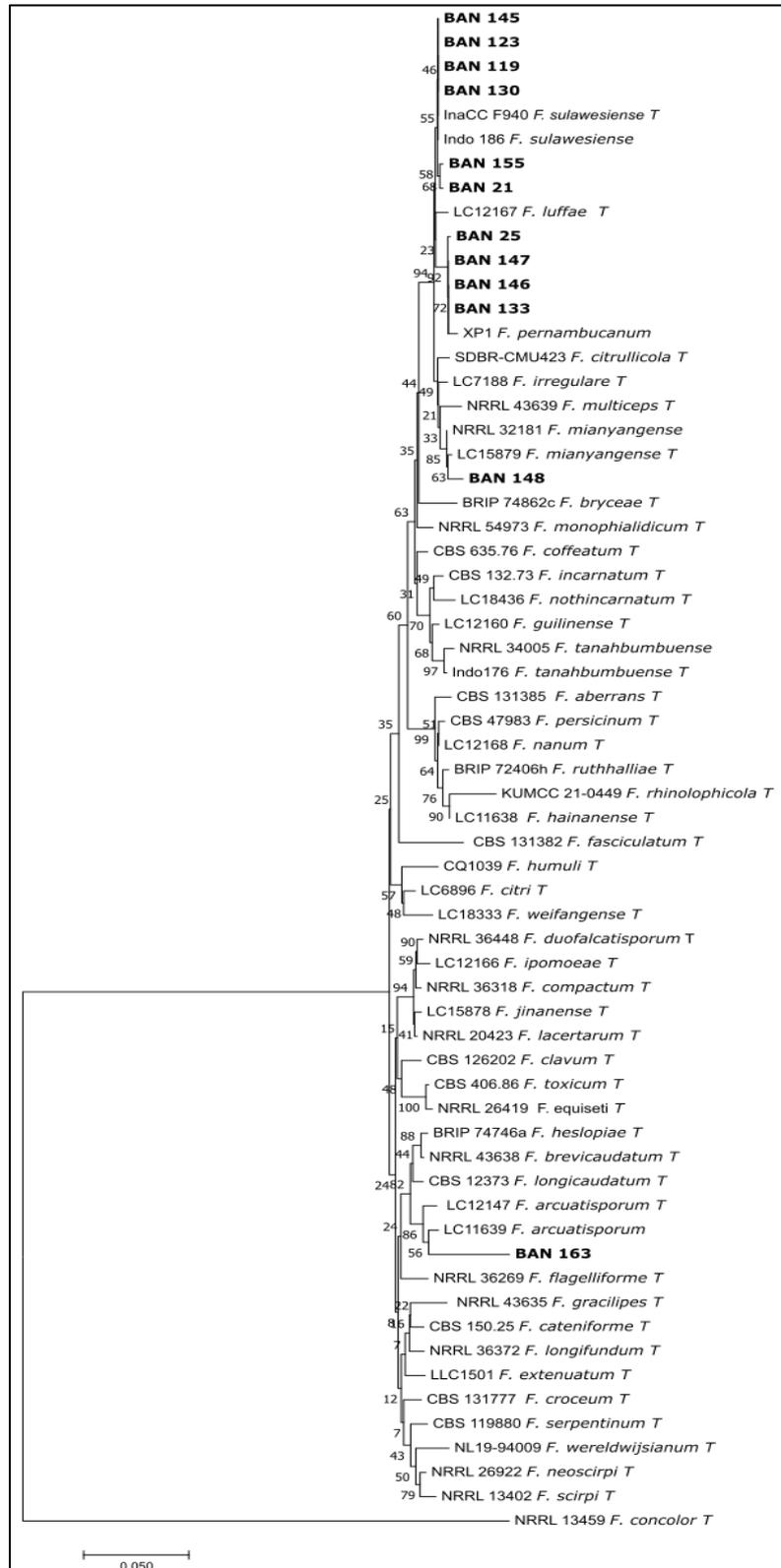
Uma análise multigênica pelo método de *Neighbor-Joining* (NJ) foi realizada dos genes *TEF1* e *RPB*, com aproximadamente 1430 pb, 1000 pb e 1300 pb para as espécies do FIESC, FFSC e FOSC, respectivamente para verificar a distribuição de espécies dentro de cada complexo.

No complexo *incarnatum-equiseti* (FIESC), as espécies *F. sulawesiense* e *F. pernambucanum* apresentaram maior número de isolados (4) dentro do complexo. O clado “espécie sp. 1” apresentou (2) isolados em conjunto sendo duas possíveis novas espécies; seguidos das espécies *F. mianyangense* (1) e *F. arcuatisporum*, (1).

O complexo *fujikuroi* (FFSC), formou o clado com maior número de isolados presentes nesse estudo (16) sendo todos da espécie *F. musae*. A espécie *F. verticillioides* apresentou o segundo maior número de isolados dentro do complexo (8) e apenas uma espécie de *F. fredkruegeri* (1).

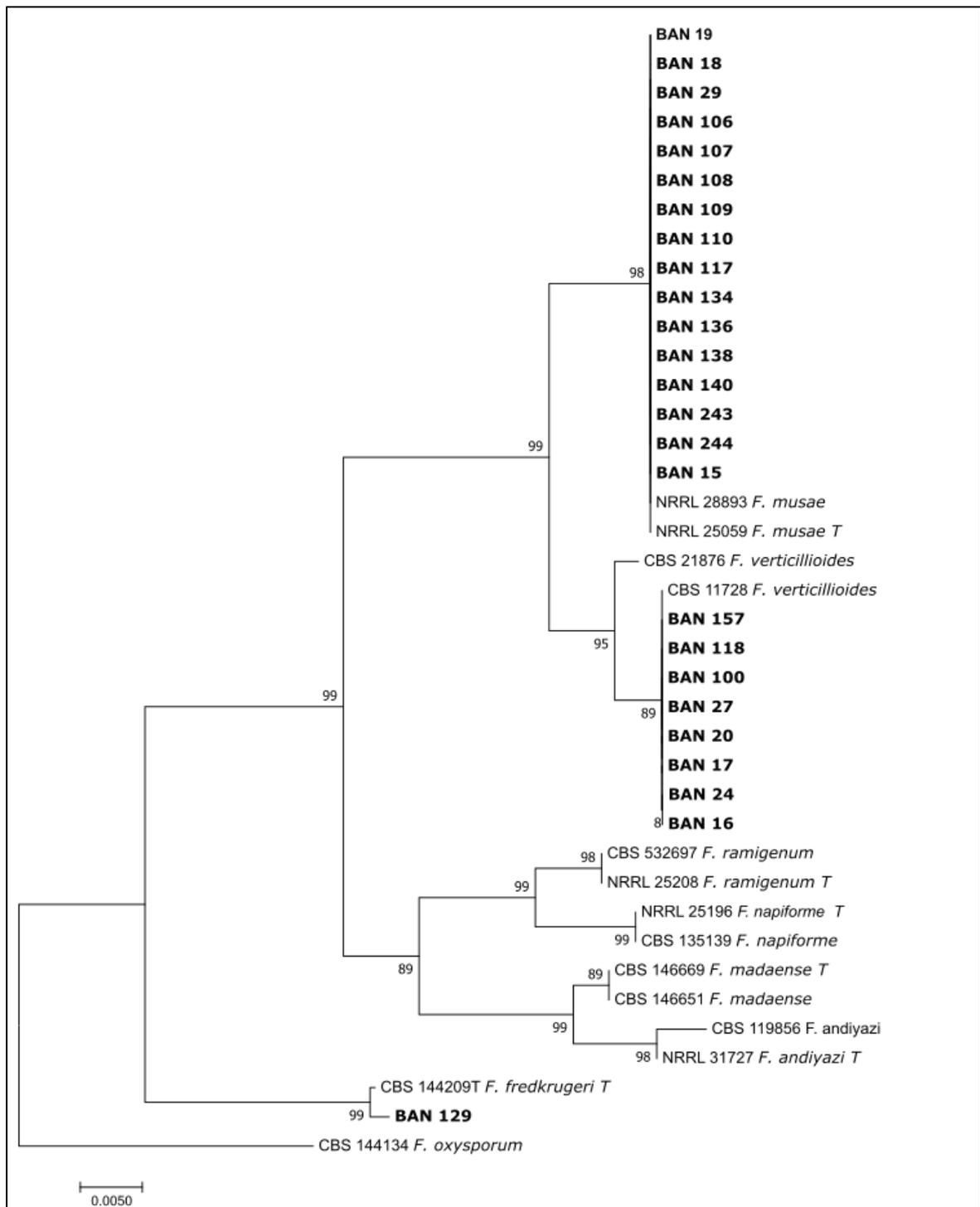
Em relação ao complexo *oxysporum* (FOSC), foram identificadas apenas as espécies *F. triseptatum* (2) e *F. fabacearum* (1).

Figura 1 - Isolados de *Fusarium* pertencentes ao complexo *incarnatum-equiseti* (FIESC) obtidos a partir de pencas de bananas. Os valores nos ramos são de 1000 repetições de bootstrap.



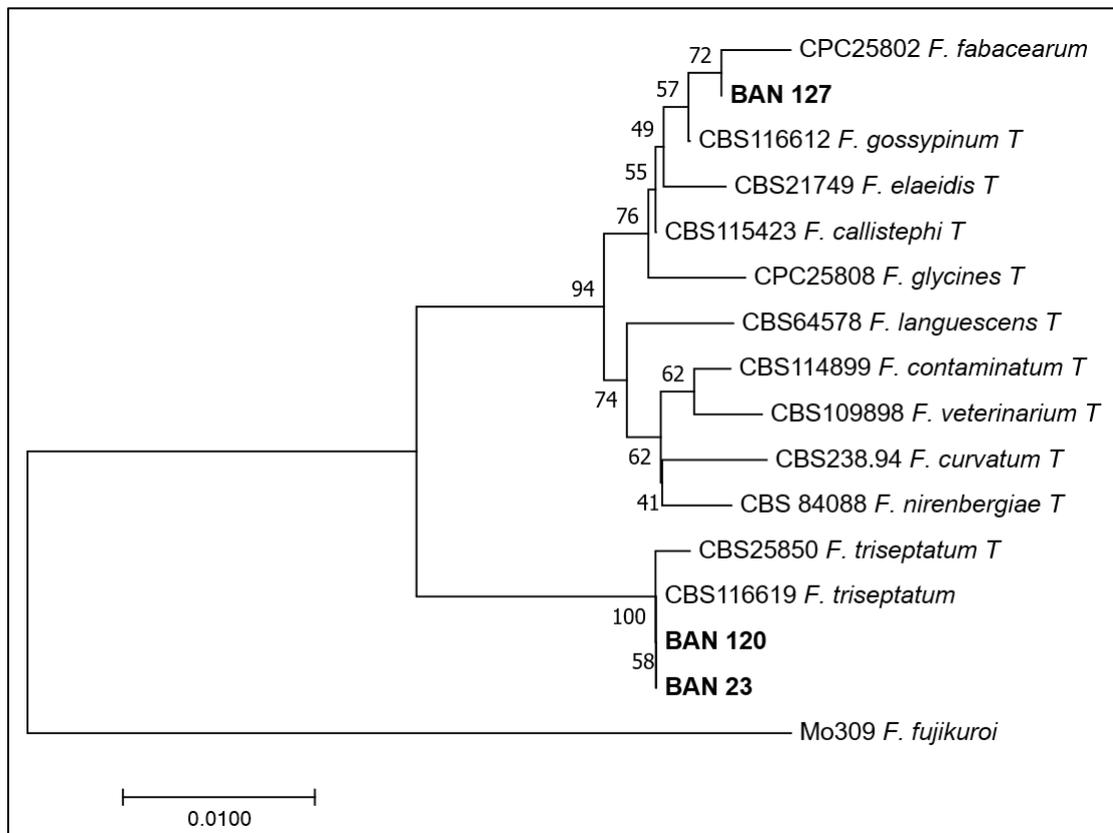
Fonte: Autora, 2025

Figura 2 - Isolados de *Fusarium* pertencentes ao complexo *fujikuroi* (FFSC) obtidos a partir de pencas de bananas. Os valores nos ramos são de 1000 repetições de bootstrap.



Fonte: Autora, 2025

Figura 3 - Isolados de *Fusarium* pertencentes ao complexo *oxysporum* (FOSC) obtidos a partir de pencas de bananas. Os valores nos ramos são de 1000 repetições de bootstrap.



Fonte: Autora, 2025

4.3 Caracterização morfológica e patogenicidade

Para a descrição dos isolados presentes nesse estudo foi feita uma divisão por complexos de espécies; as quais corroboraram com a descrição de espécies já relatadas na literatura.

F. sulawesiense (BAN119) apresentou um diâmetro médio de colônia de 38,76 mm, colônia com coloração amarela no centro e branca na lateral na frente e amarelo no centro e branco nas laterais no verso. *F. fredkrugeri* (BAN129) obteve um diâmetro médio de colônia de 16,76 mm de crescimento, colônia frente e verso com coloração arrocheada. Já *F. triseptatum* (BAN 23) possuía uma colônia com média de 26,01 mm com coloração branca na frente e parte central roxa no verso (Figura 4).

No complexo *oxysporum*, o isolado BAN23 da espécie *F. triseptatum*, apresentou micélio aéreo, conídios do micélio aéreo, produção de clamidósporos e monofialides curtas (Figura 4).

O *incarnatum-equiseti* (FIESC), foram visualizadas características micromorfológicas como a presença de conídios em falsas cabeças, mesoconídios abundantes, macroconídios do esporodóquio longos septados e com as pontas afiladas. O isolado BAN119 *F. sulawesiense* foi escolhido como representante (Figura 5).

Em relação ao complexo *fujikuroi* (FFSC), o isolado BAN129 *F. fredkruegeri*, apresentou monofiálides e abundantes conídios do micélio aéreo (Figura 5).

Todos os três isolados representantes foram patogênicos às bananas na pós-colheita, apresentando sintomas de podridão dois dias após a inoculação, e sinais do patógeno sete dias após a inoculação (Figura 5). Após o teste de patogenicidade foi realizado o reisolamento dos patógenos inoculados e verificados quanto a características morfológicas e culturais anteriores. Na análise estatística, os pressupostos da análise de variância foram atendidos, apresentando normalidade dos resíduos através do teste Shapiro-Wilk, homogeneidade das variâncias no teste de Bartlett e independência dos erros Durbin-Watson todos a 0,05. O teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade mostrou diferença estatística entre todos os isolados e a testemunha, comprovando a patogenicidade dos mesmos, o isolado BAN23, representante do complexo FOESC da espécie *F. triseptatum*, foi o que apresentou maior agressividade isoladamente (Figuras 5).

Figura 4 - Colônias em PDA de *Fusarium triseptatum* - BAN23 (A e B) e características morfológicas (C) fiálides; (D) clamidósporos; (E) conídios do micélio aéreo; Colônias em PDA de *Fusarium sulawesiense* - BAN119 (F e G) e características morfológicas (H) conídios esporodóquiais; (I) mesoconídios; (J) clamidósporos; Colônias em PDA de *Fusarium fredkruegeri* - BAN129 (K e L) características morfológicas (M) monofiálides; (N) microconídios; (O) macroconídio.

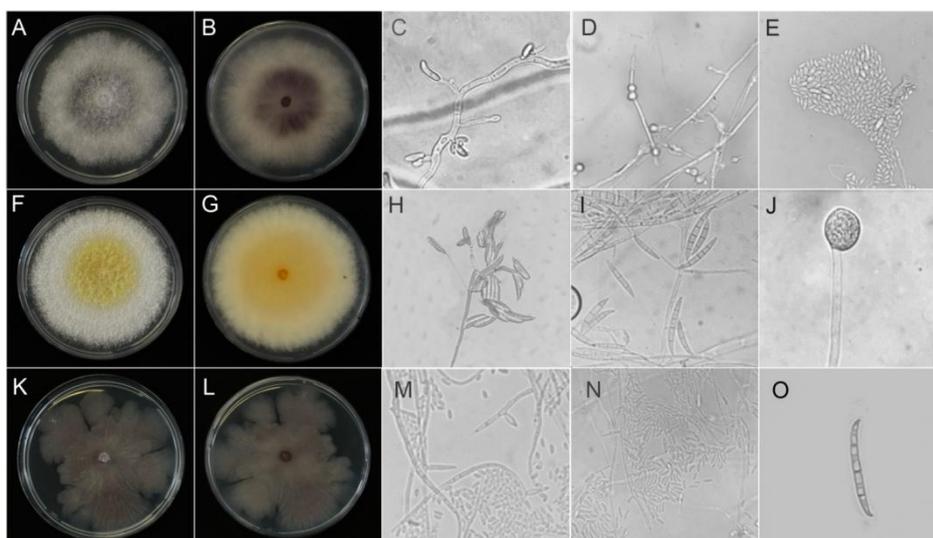
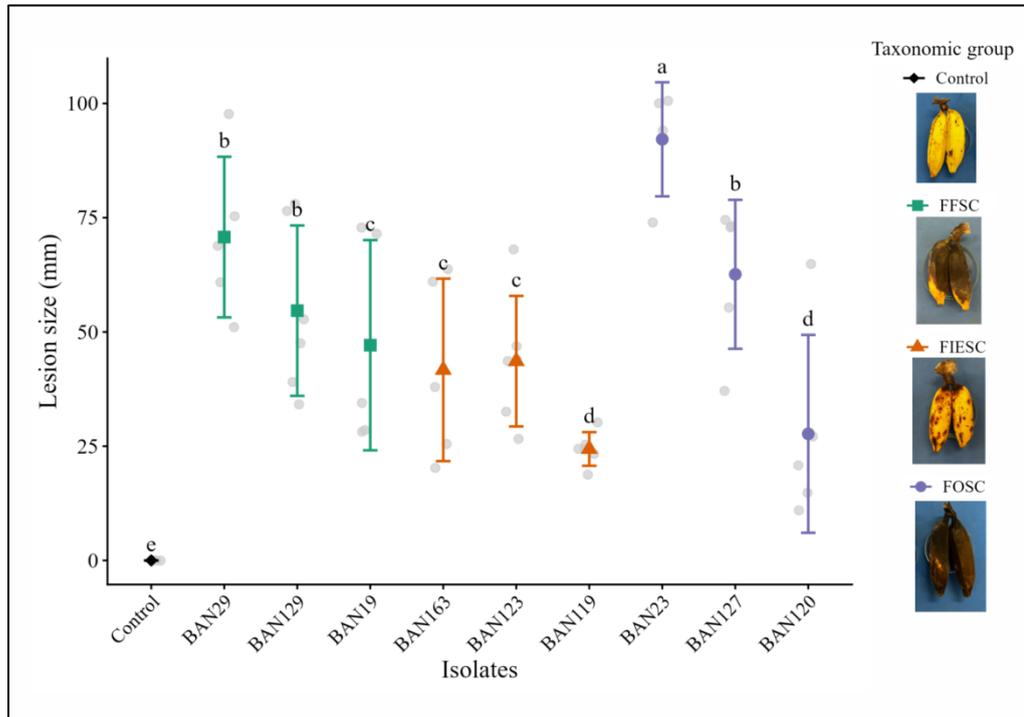


Figura 5 - Diâmetro das lesões (mm) em frutos de banana inoculados com isolados de grupos de complexos de espécies de *Fusarium*: FFSC, FIESC e FOOSC.



Fonte: Autora, 2025

4 DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo forneceram uma visão abrangente da diversidade de espécies de *Fusarium* associadas à podridão da coroa da banana. Foram obtidos 40 isolados pertencentes aos complexos *Fusarium incarnatum-equiseti* (FIESC), *Fusarium fujikuroi* (FFSC) e *Fusarium oxysporum* (FOOSC), coletados em diferentes regiões produtoras do Brasil, como Ceará, Goiás e Rio Grande do Norte. A diversidade de espécies identificadas, incluindo *F. sulawesiense*, *F. fredkruegeri*, *F. triseptatum*, *F. pernambucanum* e *F. musae*, reforça a complexidade da podridão da coroa da banana e a necessidade de estudos detalhados para a adoção de estratégias eficazes de manejo. Esses achados estão em consonância com estudos anteriores, como o de Silva et al. (2022), que também identificaram uma diversidade significativa de espécies de *Fusarium* associadas à podridão da coroa no estado do Ceará, destacando a importância de análises moleculares e morfológicas para a correta identificação dos patógenos.

A análise molecular, utilizando os genes *TEF1* e *RPB2*, permitiu a identificação de espécies e revelou uma diversidade genética significativa dentro dos complexos FIESC,

FFSC e FOOSC. No complexo FIESC, destacaram-se *F. sulawesiense* e *F. pernambucanum*, que apresentaram o maior número de isolados, além de dois isolados BAN125 e BAN21 que podem representar novas espécies, indicando a possibilidade de diversidade ainda não descrita. A prevalência de espécie no FFSC foi da espécie *F. musae*, seguida por *F. verticillioides*, e um isolado identificado como *F. fredkruegeri*; enquanto no complexo FOOSC, apenas *F. triseptatum* e *F. fabacearum* foram identificados.

No complexo FIESC, *F. sulawesiense* foi inicialmente identificado como um dos agentes causais da podridão no pseudocaule de plantas de bananeira (Maryani et al., 2019), e posteriormente causando podridão da coroa na pós-colheita (Wang et al., 2019), sendo que também já foi relatada como agente causal de podridão em frutos de melão no Brasil (Lima et al. 2021). Em FFSC resultados encontrados por Alvindia et al. (2002) e Marin et. al. (1996) já relataram *F. verticillioides* e Morelia-Jiménez (2023) *F. musae* como agentes causais podridão da coroa em bananas.

A caracterização micromorfológica e cultural dos isolados corroborou com descrições já relatadas na literatura, revelando diferenças em relação aos complexos de espécies. Por exemplo, *F. sulawesiense* (BAN119) não apresentou clamidósporos, conforme o observado por Wang et al. (2019), além disso o isolado apresentou colônia de coloração amarela no centro e branca nas laterais, conídios do micélio aéreo e monofiálides. Já *F. fredkruegeri* (BAN129) mostrou uma colônia vermelho-arroxeadada em ambas as faces da placa, com monofiálides e conídios do micélio aéreo abundantes. O isolado *F. triseptatum* (BAN 23) destacou-se com um micélio branco e centro roxo no verso da colônia, além da presença de clamidósporos e fialídes curtas.

Os testes de patogenicidade confirmaram que todos os isolados foram capazes de causar sintomas da doença em bananas da cultivar Prata, com diferentes níveis de agressividade. O isolado *F. triseptatum* (BAN23) foi o mais agressivo, resultando nas lesões mais extensas e severas, enquanto os isolados dos complexos FIESC e FFSC também demonstraram potencial patogênico, mas com menor intensidade. A análise estatística indicou diferenças significativas entre os grupos, sendo o isolado do grupo FOOSC o mais agressivo.

A identificação de diferentes espécies de *Fusarium* associadas à podridão da coroa da banana no Brasil tem implicações importantes para o manejo da doença. A diversidade de espécies pode indicar a necessidade de estratégias de controle específicas para cada patógeno. Além disso, a ampla distribuição geográfica dos isolados sugere que a doença pode ser um problema em várias regiões produtoras do país. O fato de que a maioria dos isolados foi obtida de bananas assintomáticas também indica que o patógeno pode estar presente em frutos

aparentemente saudáveis, o que pode facilitar sua disseminação durante o transporte e armazenamento como observado por Janisiewicz et al. (2013).

Os achados deste estudo fornecem uma base sólida para futuras pesquisas e para o desenvolvimento de medidas eficazes no combate à podridão da coroa, promovendo a qualidade e segurança da produção de banana no Brasil e em outras regiões produtoras. Dessa forma, esse estudo evidenciou a diversidade e patogenicidade de isolados de *Fusarium* presentes em bananas na fase pós-colheita.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo elucidam questionamentos sobre a diversidade de espécies de *Fusarium* associadas à podridão da coroa da banana, uma doença que representa um desafio significativo para a produção da fruta no Brasil. A pesquisa identificou uma variedade de complexos e espécies acometendo frutos anteriormente assintomáticos, isso indica que o patógeno pode estar presente de forma quiescente, sem causar sintomas visíveis, o que facilita sua disseminação durante o transporte e armazenamento. A quiescência ressalta a necessidade de medidas de controle que vão além do campo, incluindo práticas na fase de pós-colheita para minimizar as perdas. Essa diversidade não apenas confirma a complexidade da doença, mas também sugere que estratégias de controle generalistas podem ser insuficientes, dada a variabilidade dos patógenos envolvidos.

Entre as espécies identificadas, algumas se destacaram por sua prevalência e características únicas. Por exemplo, *F. sulawesiense* e *F. pernambucanum* foram os mais frequentes no complexo FIESC, enquanto *F. musae* e *F. verticillioides* dominaram no FFSC. No complexo FOFC, *F. triseptatum* emergiu como uma das espécies mais agressivas. Além disso, a presença de isolados que podem representar novas espécies dentro do FIESC indica que ainda há muito a ser descoberto sobre a diversidade de *Fusarium* associada à banana.

A caracterização morfológica dos isolados também trouxe *insights* valiosos. Por exemplo, *F. sulawesiense* apresentou colônias com coloração amarela no centro e branca nas bordas, além de conídios de micélio aéreo e ausência de clamidósporos. Já *F. fredkruegeri* exibiu colônias com tonalidades vermelho-arroxeadas e uma abundante produção de conídios. Essas diferenças morfológicas auxiliam na identificação preliminar e possível separação por grupos taxonômicos, para posteriores análises filogenéticas.

Os testes de patogenicidade revelaram que todas as espécies identificadas são

capazes de causar a podridão da coroa em bananas da cultivar Prata, embora com diferentes níveis de agressividade. *F. triseptatum* destacou-se como o mais virulento, causando lesões extensas e severas, enquanto espécies do FIESC e FFSC mostraram um comportamento menos agressivo. Esses resultados sugerem que a severidade da doença pode variar significativamente dependendo da espécie de *Fusarium* envolvida, o que tem implicações diretas para o manejo da doença.

Em resumo, este estudo não apenas ampliou o conhecimento sobre a diversidade de *Fusarium* associada à podridão da coroa da banana, mas também destacou a necessidade de abordagens integradas para o manejo da doença. A combinação de análises moleculares, morfológicas e patogênicas forneceu uma visão abrangente do problema, abrindo caminho para estratégias mais eficazes de controle e prevenção.

REFERÊNCIAS

ALVINDIA, D. G.; KOBAYASHI, T.; TANDA, S. Identification of fungi isolated from nonchemical banana fruits and farms in the Philippines. **Journal of Agricultural Science**, Tokyo University of Agriculture, v.47, n.2, p. 78-97, 2002.

AMARO, A.A.; FAGUNDES, P.R.S. Aspectos econômicos e comercialização. In: FERREIRA, C. F.; SILVA, S.O.; AMORIM, E.P.; SANTOS-SEREJO, J.A. **O agronegócio da banana**. Brasília-DF: Embrapa, 2016.

ANCCOTA, R. A.; RAYMUNDO, R. B. G.; BEJARANO, J. A. D.; DUQUE, E. A. M. Hongos asociados a la pudrición de la corona en fru'tos de banano orgánico (*Musa* spp. L.) en Piura, Perú. **Investigación Agraria Y Ambiental**, v.4, n.1, p.81-88, 2013.

AZUDDIN, N. F.; MOHD, M. H.; MOHAMED NOR, N. M. I.; ZAKARIA, L. Molecular characterization and mating study of *Fusarium proliferatum* from various hosts in Malaysia. **Malaysian Applied Biology**, v.50, n.1, p.133-144, 2021.

BARNETT, H. L. & HUNTER, B. B. **Illustrated genera of imperfect fungi**. 4. ed. 1972. BAUTISTA-BAÑOS, S. (ed.). Postharvest decay: control strategies. **Dordrecht: Elsevier**, p.103-130, 2014.

CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A.P. Doenças. In: Banana: Brasília: EMBRAPA, **Comunicação para Transferência de Tecnologia**, 2000. p.116-117.

CORDEIRO, Zilton José Maciel; MATOS, Aristoteles Pires de. Doenças da banana. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 26, n. 228, p. 12-16, 2005.

CROUS, P. W.; LOMBARD, L.; SANDOVAL-DENIS, M.; SEIFERT, K.A.; SCHROERS, H.J.; CHAVERRI, P.; GENÉ, J.; GUARRO, J.; HIROOKA, Y.; BENSCH, K.; KEMA, G. H. J.; LAMPRECHT, S. C.; CAI, L.; ROSSMAN, A. Y.; STADLER, M.; SUMMERBELL, R. C.; RAYLOR, J. W.; PLOCH, S.; VISAGIE, C. M.; YILMAZ, N.; THINES, M. *Fusarium*: more than a node or a foot-shaped basal cell. **Studies in Mycology**, v.98, p.100116, 2021.

DE LANGHE, E.; VRYDAGHS, L.; DE MARET, P.; PERRIER, X.; & DENHAM, T. Why Bananas Matter: An introduction to the history of banana domestication. **Ethnobotany Research and Applications**, v.7, p.165–177, 2009.

DE SOUZA-POLLO E DE GÓES, A.; DE SOUZA-POLLO, A. DE GÓES. Banana pathology and diseases. **Handbook of Banana Production, Postharvest Science, Processing Technology, and Nutrition**. pp. 45-59, 2020.

EWANÉ, C. A.; LEPOIVRE, P., DE LAPEYRE DE BELLAIRE, L., LASSOIS, L. C. A. Involvement of phenolic compounds in the susceptibility of bananas to crown rot, A review. **Biotechnology, Agronomy, Society and Environment**, v.16, n.3, p. 373–404, 2012.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Banana Market Review 2023**. Rome, 2024.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Banana Market Review -**

Preliminary Results 2024. Rome, 2025.

FERNANDES, M. B.; MIZOBUTSI, E. H; RODRIGUES, M. L. M.; RIBEIRO, RCF; MIZOBUTSI, GP; PINHO, DB Tempo de bagagem de 'Prata-anã' banana regarding anthracnose control. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.41, n.1, 2019.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA) Levantamento sistemático da produção agrícola - LSPA. [online]. Rio de Janeiro: **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2025.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA) Levantamento sistemático da produção agrícola - LSPA. [online]. Rio de Janeiro: **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2025.

INDEX FUNGORUM, 2024. Disponível em: <http://www.indexfungorum.org/> Acesso em: 20 de dezembro de 2024.

JANISIEWICZ, W. J.; CONWAY, W. S.; LEVERENTZ, B.; SAFNER, R. A.; CAMP, M. J. Biological control of postharvest diseases of fruits. **Annual Review of Phytopathology**, v.51, p.393-413, 2013.

JIMENEZ, M.; LOERIECO, A; BOTTAGLIO, A; Ocorrencia and pathogenicity of *Fusarium* species in banana fruits. **Journal of Phytopathology**, v.137, p.214-220, 1993.

JIMÉNEZ-FERNÁNDEZ, D.; NAVAS-CORTÉS, J. A.; LANDERAS, E.; MONTES-BORREGO, M.; NAVARRO-CERRILLO, R. M. *Fusarium oxysporum* and *Fusarium proliferatum* as causal agents of postharvest rot in bananas. **Plant Pathology Journal**, v.32, n.3, p.213-220, 2016.

JONES, D. R.; MUIRHEAD, I. F. Fungal diseases of banana fruit: Postharvest diseases. In: JONES, D. R. (ed.). Handbook of diseases of banana, abacá and enset. **Wallingford: CABI**, p.271-288, 2019.

KAMEL, N. A.; ABD-ELSALAM, K. A.; GHAZY, N. A.; ALGHUTHAYMI, M. A. Molecular and morphological characterization of *Fusarium* spp. associated with ear rot of maize in Egypt. **Journal of Plant Pathology & Microbiology**, v. 7, n. 6, p. 1–8, 2016.

KHAN, S. H. .; AKED, J.; MAGAN, N. Control of the anthracnose pathogen of banana (*Colletotrichum musae*) using antioxidants alone and in combination with thiabendazole or imazalil. **Plant Pathology**, v.50 , p. 601 – 608, 2001 .

KOYYAPPURATH, S.; ATUAHIVA, T.; LE GUEN, R.; BATINA, H.; LE SQUIN, S.; GAUTHERON, N.; HERMANN, V. E.; JAHIEL, M.; STEINBERG, C.; LIEW, E. C. Y.; ALABOUVETTE, C.; BESSE, P.; DRON, M.; SACHE, I.; LAVAL, V.; GRISONI, M. *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-vanillae* is the causal agent of root and stem rot of vanilla. **Plant Pathology**, v.65, p.612-625, 2016.

KUSSTATSCHER, P.; CERNAVA, T.; ABDELFATTAH, A.; GOKUL, J.; KORSTEN, L.; BERG, G. Microbiome approaches provide the key to biologically control postharvest pathogens and storability of fruits and vegetables. **Microbiology Ecology**, v.96, n.7, 2020.

LASSOIS, L.; BASTIAANSE H.; CHILLET, M.; JIJAKLI, M. H.; DE LAPEYERE, B. Hand position on the bunch and source–sink ratio influence the banana fruit susceptibility to crown rot disease, **Annals of Applied Biology**, v.156, n.2, p.221-229, 2010.

LASSOIS, L.; DE LAPEYRE DE BELLAIRE, L. Crown rot disease of bananas. In: LOMBARD, L.; SANDOVAL-DENIS, M.; LAMPRECHT, S. C.; CROUS, P. W. Epitypification of *Fusarium oxysporum*–clearing the taxonomic chaos. **Persoonia: Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi**, v.43, p.1-47, 2019.

LASSOIS, L.; JIJAKLI, M. H.; CHILLET, M.; DE LAPEYRE DE BELLAIRE L. Crown rot of bananas: Preharvest factors involved in postharvest disease development and integrated control methods. **Plant Disease**, v.94, n.6, p.648-658, 2010.

LASSOIS, L.; JIJAKLI, M. H.; CHILLET, M.; DE LAPEYRE DE BELLAIRE, L. Crown rot of bananas: Preharvest factors involved in postharvest disease development and integrated control methods. **Plant Disease**, v.94, n.6, p.648-658, 2010.

LESLIE, J. F.; SUMMERELL, B. A. The *Fusarium* Laboratory Manual. **Blackwell Publishing**, 2006.

LICHTEMBERG, L. A. Colheita e pós-colheita da banana. *Informe Agropecuário*, v. 20, n. 196, p. 73-90, 1999.

LIMA, Eveline N. et al. A novel lineage in the *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex is one of the causal agents of Fusarium rot on melon fruits in northeast Brazil. **Plant Pathology**, v. 70, n. 1, p. 133-143, 2021.

MARCUZZO, L. L. Papel do monitoramento de doenças de plantas com ênfase em bactérias foliares. *Ágora, Mafra*, v. 16, n. 2, p. 1-13, 2009.

MARIN, D. H.; SUTTON, T. B.; BLANKENSHIP, S. M.; SWALLOW, W. H. Patogenicidade de fungos associados à podridão da coroa de bananas na América Latina em bananas Grande Naine e híbridas resistentes a doenças. **Plant Disease**, v.80, n.5, p.525-528, 1996.

MARÍN, P.; MAGAN, N.; RAMOS, A. J.; SANCHIS, V. Fumonisin-producing strains of *Fusarium*: A review of their ecophysiology. **Journal of Food Protection**, v.75, n.3, p.543-550, 2012.

MARYANI, N.; LOMBARD, L.; POERBA, Y. S.; SUBANDIYAH, S.; CROUS, P. W.; KEMA G. H. J.; Phylogeny and genetic diversity of the banana *Fusarium* wilt pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in the Indonesian centre of origin. **Studies Mycology**, v.92, p.155-194, 2019.

MARYANI, N.; SANDOVAL-DENIS, M.; LOMBARD, L.; CROUS, P. W.; KEMA, G. H. J. Novas espécies endêmicas de *Fusarium* pegando carona com cepas patogênicas de *Fusarium* que causam a doença do Panamá em pequenas plantações de banana na Indonésia. **Persoonia**, v.43, p.48-69, 2019.

MEREDITH, D. S. Transport and storage diseases of bananas: Biology and control. **Tropical Agriculture**. v.48, n. 1, p. 35-50, 1971.

MORAES, W. S.; ZAMBOLIM, L.; LIMA, J. D. Incidence of mushrooms in post harvest of banana (*Musa* spp.) 'Prata Anã' (AAB). **Summa Phytopathologica**, v.32, n.1, p.67-70, 2006.

MORAES, W. S.; ZAMBOLIM, L.; LIMA, J. Quimioterapia de banana 'Prata anã' no controle de podridões em pós-colheita. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.75, n.1, p.79-84, 2008.

NELSON, S. Postharvest rots of banana. Honolulu: University of Hawai'i Cooperative Extension Service, **Plant Disease**, p.1-4, 2008.

O'DONNELL, K.; HIMMELSTOSS, E. J.; LI, W.; MCCORMICK, S. P.; PROCTOR, R. H.; WARD, T. J.; FOULONGNE-ORIOU, M. Phylogenetic analysis of *Fusarium* species complexes: Advances and challenges. **Mycologia**, v.105, n.3, p.1-20, 2015.

O'DONNELL, K.; KISTLER, H. C.; CIGELNIK, E.; PLOETZ, R. C. Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.95, n.5, p.2044-2049, 1998.

PALOU L.; ALI A.; FALLIK E.; ROMANAZZI G. GRAS, plant-and animal-derived compounds as alternatives to conventional fungicides for the control of postharvest diseases of fresh horticultural produce. **Postharvest Biol Technol**, v. 122, p.41-52, 2016.

PLOETZ, R. C. *Fusarium* wilt of banana. **Phytopathology**, v.105, n.12, p.1512-1521, 2015.

PLOETZ, R. C.; KEMA, G. H. J.; MA, L. J. Impact of diseases on export and smallholder production of banana. **Annual Review of Phytopathology**, v. 53, p. 269-288, 2015.

SERVOLO, H. Tipos de Banana: conheça mais a bananicultura no Brasil. **Mercado Rural**. Disponível em: <https://blog.mercadorural.org/artigos/tipos-de-banana>. Acesso em: 26 out. 2024.

SILVA, DÉBORA CRISTINA DA. Fungos causadores de podridões pós-colheita em bananas e severidade da antracnose em unidades de beneficiamento no Cariri Cearense. 73 f. **Tese** (Doutorado em Proteção de Plantas) – Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2022.

SILVA, S. O.; SEREJO, J. A. S.; CORDEIRO, Z. J. M.. Variedades. In: BORGES A. L.; SOUZA, L. S.. O cultivo de bananeira. 1º ed. Cruz das Almas: **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, v.1, n.4, p. 45-58, 2004.

SIVAKUMAR, D.; JAYASINGHE, L.; HERATH, H. M. T. B. Postharvest diseases of banana and their management: A review. **Postharvest Biology and Technology**, v.172, p.111-391, 2021.

SOUZA, Patrícia Costa et al. Post-harvest loss of "Maçã" banana. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 45, n. 4, p. 770-777, out./dez. 2014.

SUMMERELL, B. A.; SALLEH, B.; & LESLIE, J. F. A utilitarian approach to *Fusarium* identification. **Plant Disease**, v.87, n.2, p.117-128, 2003.

THANGAVELU, R.; MOSTERT, D.; GOMES, E. T.; VIJAYANAND, S.; DEVI, P. G. Genetic diversity and virulence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* isolates from banana in India. **Plant Pathology**, v.68, n.5, p.1032-1040, 2019.

VALMAYOR, R. V. Classification and characterization of *Musa exotica*, *M. alinsanaya* and *M. acuminata* ssp. *Errans*. **Infomusa**, v.10, p.35-39, 2001.

VENTURA, J. A.; HINZ, R. H. Controle das doenças da bananeira. In: ZAMBOLIM, L.; VALE, F.X.R. do; MONTEIRO, A.J.A.; COSTA, H. (Ed.). Controle de doenças de plantas - Fruteiras. **Suprema Gráfica e Editora**, Viçosa, v.2, p.839-937, 2002.

VILAS BOAS, E. V. B.; ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C.; MENEZES, J. B. Características da fruta. In: MATSUURA, F. C. A. U; FOLEGATTI, M. I. S. (ed.). Banana: pós-colheita. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**; Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, v.1, p.15-19, 2001.

VILLANI, A.; MORETTI, A.; DE SAEGER, S.; HAN, Z.; DI MAVUNGU, J. D.; SOARES, C. M. G.; PROCTOR, R. H. Multilocus phylogeny and toxin profiling of *Fusarium* species: Implications for fungal taxonomy and pathogenicity. **Toxins**, v.8, n.4, p.1-20, 2016.

WANG, M. M.; CHEN, Q.; DIAO, Y. Z.; DUAN, W. J.; CAI, L. *Fusarium incarnatum-equiseti* complex from China. **Persoonia**, v.43, p.70-89, 2019.

YAHIA, E. M.; FONSECA, J. M.; KITINOJA, L. Postharvest Losses and Waste. In: YAHIA, E. M. (Ed.). *Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities*. 1. ed. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, p. 43-69, 2019.

ZAKARIA, L. *Fusarium* Species Associated with Diseases of Major Tropical Fruit Crops. *Horticulturae*, v. 9, n. 3, p. 322, mar. 2023.

ANEXO A - ISOLADOS DE REFERÊNCIA UTILIZADOS NAS ANÁLISES FILOGENÉTICAS PARA O COMPLEXO DE ESPÉCIES ESTUDADAS.

Tabela 4 - Isolados de referência utilizados nas análises filogenéticas para o complexo de espécies *Fusarium fujikuroi* (FFSC), complexo de espécies *Fusarium incarnatum-equiseti* (FIESC), complexo de espécies *Fusarium oxysporum* (FOSC) e complexo de espécies *Fusarium concolor* (FCSC).

Espécies	Isolado	Complexo	Código de acesso Genbank	
			<i>TEF-1α</i>	<i>RPB2</i>
<i>Fusarium andiyazi</i>	CBS 119856	FFSC	MN193854	LT996138
	NRRL 31727	FFSC	MN533989	MN534286
<i>Fusarium oxysporum</i>	CBS 144134	FOSC	MH485044	MH484953
<i>Fusarium ramigenum</i>	NRRL 25208	FFSC	KF466423	KF466412
	CBS 52697	FFSC	MN534032	MN534292
<i>Fusarium fredkrugeri</i>	CBS 144209	FFSC	LT996097	LT996147
<i>Fusarium madaense</i>	CBS 146669	FFSC	MW402098	MW402764
	CBS 146651	FFSC	MW402096	MW402762
<i>Fusarium musae</i>	NRRL 25059	FFSC	FN552086	FN552108
	NRRL 28893	FFSC	FN552092	FN552114
<i>Fusarium napiforme</i>	NRRL 25196	FFSC	MN193863	MN534291
	CBS 135139	FFSC	MN534019	MN534290
<i>Fusarium verticillioides</i>	CBS 21876	FFSC	MW402113	MW928835
	CBS 11728	FFSC	MW401977	MW402729
	InaCC F940	FIESC	LS479443	LS479855
<i>Fusarium aberrans</i>	CBS 131385	FIESC	MN170445	MN170378
<i>Fusarium arcuatisporum</i>	LC12147	FIESC	MK289584	MK289739
	LC11639	FIESC	MK289586	MK289736
<i>Fusarium brevicaudatum</i>	NRRL 43638	FIESC	GQ505665	GQ505843
<i>Fusarium bryceae</i>	BRIP 74865c	FIESC	PP209369	PP209368
<i>Fusarium cateniforme</i>	CBS 150.25	FIESC	MN170451	MN170384
<i>Fusarium citri</i>	LC6896	FIESC	MK289617	MK289771
<i>Fusarium clavum</i>	CBS 126202	FIESC	MN170456	MN170389
<i>Fusarium coffeatum</i>	NRRL 20841	FIESC	MN120755	MN120736
<i>Fusarium compactum</i>	NRRL 36323	FIESC	GQ505648	GQ505826
<i>Fusarium concolor</i>	NRRL 13459	FCSC	GQ505674	GQ505852
<i>Fusarium croceum</i>	CBS 131777	FIESC	MN170463	MN170396
<i>Fusarium duofalcatisporum</i>	NRRL 36448	FIESC	GQ505652	GQ505830
<i>Fusarium equiseti</i>	NRRL 26419	FIESC	GQ505599	GQ505777
<i>Fusarium extenuatum</i>	LLC1501	FIESC	OP487158	OP486728
<i>Fusarium fasciculatum</i>	CBS 131382	FIESC	MN170473	MN170406
<i>Fusarium flagelliforme</i>	NRRL 36269	FIESC	GQ505645	GQ505823
<i>Fusarium gracilipes</i>	NRRL 43635	FIESC	GQ505662	GQ505840
<i>Fusarium guilinese</i>	LC12160	FIESC	MK289594	MK289747
<i>Fusarium hainanense</i>	LC11638	FIESC	MK289581	MK289735
<i>Fusarium heslopiae</i>	BRIP 74746a	FIESC	PP209371	PP209370
<i>Fusarium humuli</i>	CQ1039	FIESC	MK289570	MK289724
<i>Fusarium incarnatum</i>	CBS 132.73	FIESC	MN170476	MN170409
<i>Fusarium ipomoeae</i>	LC12165	FIESC	MK289599	MK289752
<i>Fusarium irregulare</i>	LC7188	FIESC	MK289629	MK289783
<i>Fusarium jinanense</i>	LC15878	FIESC	OQ125131	OQ125521
<i>Fusarium khuzestanicum</i>	IRAN 4863C	FIESC	PP858510	PP858506
<i>Fusarium mianyangense</i>	LC15879	FIESC	OQ125232	OQ125510
	NRRL 32181	FIESC	GQ505610	GQ505788
<i>Fusarium nanum</i>	LC12168	FIESC	MK289602	MK289755
<i>Fusarium pernambucanum</i>	XPI	FIESC	MN856619	MN856620
<i>Fusarium sulawesiense</i>	InaCC F940	FIESC	LS479443	LS479855
	INDO186	FIESC	LS479449	LS479864
<i>Fusarium callistephi</i>	CBS 187.53	FOSC	MH484966	MH484875
<i>Fusarium contaminatum</i>	CBS 111552	FOSC	MH484992	MH484901
<i>Fusarium curvatum</i>	CBS 238.94	FOSC	MH484984	MH484893
<i>Fusarium elaeidis</i>	CBS 217.49	FOSC	MH484961	MH484870
<i>Fusarium fabacearum</i>	CBS 144743	FOSC	MH485030	MH484939
<i>Fusarium glycines</i>	CBS 144746	FOSC	MH485033	MH484942
<i>Fusarium gossypinum</i>	CBS 116613	FOSC	MH485000	MH484909
<i>Fusarium languescens</i>	CBS 645.78	FOSC	MH484971	MH484880
<i>Fusarium nirenbergiae</i>	CBS 840.88	FOSC	MH484978	MH484887
<i>Fusarium triseptatum</i>	CBS 258.50	FOSC	MH484964	MH484873
<i>Fusarium fujikuroi</i>	CBS 116619	FOSC	MH485001	MH484910
	Mo309	FFSC	JN695747	

Fonte: Autora, 2025