

LILA SOARES LIMA

ESPECIFICIDADE DE *Cerotelium fici* A *Morus nigra* E *Ficus carica*

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Dr. Emerson Medeiros Del Ponte

Coorientadora: Dra. Lilian Amorim

**Viçosa- Minas Gerais
2024**


LILA SOARES LIMA

ESPECIFICIDADE DE *Cerotelium fici* A *Morus nigra* E *Ficus carica*


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de Junho de 2024.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 LILA SOARES LIMA
Data: 03/09/2024 21:57:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Lila Soares Lima
Autora

Documento assinado digitalmente
 EMERSON MEDEIROS DEL PONTE
Data: 04/09/2024 09:03:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Emerson Medeiros Del Ponte
Orientador

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

L732e
2024
Lima, Lila Soares, 1998-
Especificidade de *Cerotelium fici* a *Morus nigra* e *Ficus carica* / Lila Soares Lima. – Viçosa, MG, 2024.
1 dissertação eletrônica (47 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: Emerson Medeiros Del Ponte.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Fitopatologia, 2024.

Referências bibliográficas: f. 41-46.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.558>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Amora - Doenças e pragas. 2. Figo - Doenças e pragas.
3. Ferrugem. 4. Fungos fitopatogênicos. I. Del Ponte, Emerson
Medeiros, 1973-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitopatologia. Programa de Pós-Graduação em
Fitopatologia. III. Título.

CDD 22. ed. 634.38

**A Deus e à minha família,
Dedico.**

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e todas as graças e bençãos recebidas para mais essa conquista. Pela força do Altíssimo que me foi dada para enfrentar todas as dificuldades, à Virgem Maria e São José por interceder por mim todos os dias.

Ao meu esposo, Arlam Fernandes, meu grande amor, que foi meu apoio nos momentos de fraqueza, me ajudou, me deu conselhos nos momentos mais difíceis e por seu carinho e amor comigo todos os dias.

Aos meus pais, Elton (*in memoriam*) e Leila, pelos valores e princípios ensinados e o amor incondicional que me deram e as minhas queridas e amadas irmãs, Lisandra e Lúcia, por todo apoio e incentivo.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitopatologia pela oportunidade de cursar o Mestrado.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) e ao Departamento de Fitopatologia e Nematologia pela oportunidade de desenvolver meu trabalho experimental de mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

Ao meu orientador, Professor Dr. Emerson Medeiros Del Ponte, pela paciente orientação e ensinamentos, e toda atenção durante meu processo de aprendizado em que estive sob sua orientação.

À minha coorientadora, Professora Dra. Lilian Amorim, por gentilmente me receber em seu laboratório para que eu desenvolvesse minha pesquisa de mestrado e por sua paciente orientação e ensinamentos.

Ao laboratório de Epidemiologia da UFV, e aos colegas de departamento por todo aprendizado, pelas amizades e carinho recebido.

Ao laboratório de Epidemiologia da ESALQ pela realização da minha pesquisa e aos colegas de laboratório que contribuíram com o desenvolvimento dos experimentos.

Aos demais colegas de trabalho, funcionários e professores que contribuíram de forma direta ou indireta para o desenvolvimento da minha pesquisa de mestrado.

Aos meus amigos e familiares do Tocantins que sempre torceram e me deram apoio durante a fase do mestrado.

Meus sinceros agradecimentos!

BIOGRAFIA

LILA SOARES LIMA, filha de Elton Alves Lima (*in memoriam*) e Leila Fernandes Soares Lima, nasceu em 30 de Agosto de 1998, em Palmas, no Tocantins.

Em Janeiro de 2022, graduou-se em Engenharia Agrônômica pelo Centro Universitário Católica do Tocantins, em Palmas, no Tocantins.

Em 3 de Março de 2022 iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de dissertação em 28 de Junho de 2024.

RESUMO

LIMA, Lila Soares, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Junho de 2024.

Especificidade de *Cerotelium fici* a *Morus nigra* e *Ficus carica*. Orientador: Emerson Medeiros Del Ponte. Coorientadora: Lilian Amorim.

As ferrugens da figueira e da amoreira são causadas pelo fungo *Cerotelium fici* e os seus sintomas em folhas podem levar à queda precoce das folhas. O estudo objetivou caracterizar: 1) os aspectos morfométricos dos urediniósporos durante o processo germinativo de isolados oriundo da figueira e da amoreira; e 2) os processos de infecção, colonização e reprodução do patógeno por meio de experimentos de inoculação cruzada, ou seja, figueiras e amoreiras foram inoculadas com isolados de *C. fici* provenientes dos dois hospedeiros, formando combinações co-específicas e heteroespecíficas. As avaliações de germinação de urediniósporos e formação de apressório do fungo foram realizadas por meio de micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura. Cinco plantas sadias de cada hospedeiro foram inoculadas com suspensões de esporos e mantidas em casa de vegetação, em experimentos repetidos uma vez. Foram avaliados o período de incubação, o número de lesões por folha, a severidade da doença e o número de esporos nas lesões. Urediniósporos foram coletados para avaliações morfométricas, e a colonização do tecido foliar foi realizada ao final do experimento com medida de área da lesão antes e depois da coloração com azul de tripano. Foi observado uma elevada percentagem de germinação (>78%) dos urediniósporos em folhas de ambos hospedeiros. No entanto, a formação de apressórios foi baixa na amoreira (<5,8%) quando inoculada com o isolado oriundo da figueira. Os urediniósporos apresentaram valores semelhantes de comprimento (21,9-25 µm), largura (17,2-18 µm) e espessura (~0,9 µm) da parede celular. As áreas das lesões antes e após a coloração foram sempre menores em amoreira do que em figueira. O número de lesões por folha foi consistentemente menor em amoreira (5,67 a 553,87) do que em figueira (89,33 a 5180,9). A severidade variou conforme o hospedeiro e as condições ambientais, sendo de 0,047-8,4% e 8,4-32,2% em amoreira e figueira, respectivamente. Concluiu-se que o isolado da amoreira foi capaz de infectar a figueira, mas o isolado da figueira não foi capaz de infectar a amoreira. A figueira se mostrou mais suscetível aos dois isolados do que a amoreira.

Palavras-chave: amora-preta, figueira, epidemiologia.

ABSTRACT

LIMA, Lila Soares, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June 2024.

Specificity of *Cerotelium fici* to *Morus nigra* and *Ficus carica*. Advisor: Emerson Medeiros Del Ponte. Co-advvisor: Lilian Amorim.

Rust diseases in the fig tree and mulberry tree are caused by the fungus *Cerotelium fici*, and their leaf symptoms can lead to early leaf drop. The study aimed to characterize: 1) the morphometric aspects of urediniospores during the germination process of isolates from the fig tree and mulberry tree; and 2) the processes of infection, colonization, and reproduction of the pathogen through cross-inoculation experiments. In other words, fig trees and mulberry trees were inoculated with *C. fici* isolates from both hosts, forming co-specific and heterospecific combinations. Germination of urediniospores and formation of appressoria by the fungus were evaluated using micrographs obtained through scanning electron microscopy. Five healthy plants of each host were inoculated with spore suspensions and kept in a greenhouse, with experiments repeated once. The incubation period, number of lesions per leaf, disease severity, and spore count in the lesions were assessed. Urediniospores were collected for morphometric evaluations, and colonization of leaf tissue was measured before and after staining with trypan blue. A high germination percentage (>78%) of urediniospores was observed in leaves of both hosts. However, appressorium formation was low in mulberry (<5.8%) when inoculated with the isolate from the fig tree. Urediniospores showed similar values for length (21.9-25 µm), width (17.2-18 µm), and thickness (~0.9 µm) of the cell wall. Lesion areas before and after staining were consistently smaller in mulberry than in fig tree. The number of lesions per leaf varied, consistently being lower in mulberry (5.67 to 553.87) than in fig tree (89.33 to 5180.9). Disease severity varied depending on the host and environmental conditions, ranging from 0.047% to 8.4% in mulberry and 8.4% to 32.2% in fig tree. It is concluded that the mulberry isolate is capable of infecting the fig tree, but the fig tree isolate cannot infect mulberry. The fig tree showed greater susceptibility to both isolates than mulberry.

Keywords: rust, fig tree, mulberry tree, cross-infection.

SUMÁRIO

2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Plantas da família <i>Moraceae</i>	12
2.2 Ferrugem da figueira e amoreira	14
2.2.1. Agente causal, distribuição geográfica e hospedeiros.....	14
2.2.2 Sintomatologia e danos.....	15
2.2.3. Ciclo da doença e epidemiologia	16
2.2.4. Controle da ferrugem em amoreira e figueira	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1 Obtenção e cultivo de mudas de figueira e amoreira	19
3.2 Obtenção e manutenção dos isolados de <i>Cerotelium fici</i>	19
3.3 Germinação de urediniósporos de <i>Cerotelium fici</i> em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)	20
3.4 Inoculação das plantas.....	21
3.5 Avaliações morfológicas de <i>Cerotelium fici</i>	22
3.6 Colonização de tecido foliar do hospedeiro por <i>Cerotelium fici</i>	23
3.7 Componentes monocíclicos.....	23
3.8 Análises estatísticas	24
4. RESULTADOS	25
4.1 Condições ambientais	25
4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	26
4.3 Morfologia de urediniósporos	28
4.4 Colonização de tecidos	29
4.5 Componentes monocíclicos.....	32
5. DISCUSSÃO	37
6. CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS.....	41

1. INTRODUÇÃO

As espécies *Ficus carica* e *Morus nigra* pertencem à Família *Moraceae*. O gênero *Ficus* tem maior diversidade de espécies, com cerca de 750 espécies, enquanto que o gênero *Morus* tem cerca de 12 espécies (ZEREGA et al., 2005).

A amoreira (*Morus nigra*), durante séculos, foi conhecida como uma planta utilizada para a produção de seda e alimentação de animais domesticados. Recentemente, as amoreiras também passaram a ser utilizadas nas indústrias de sericicultura, farmacêutica, cosmética, alimentícia e de bebidas (ROHELA et al., 2020). Contudo, por serem o alimento exclusivo das larvas do bicho-da-seda (*Bombyx mori*), as amoreiras do gênero *Morus* apresentam maior destaque econômico na produção da seda tornando-se essenciais para esse indústria (VIJAYAN; CHAKRABORTI; GHOSH, 2004). O Brasil é o único produtor de fio de seda em escala comercial no Ocidente, e o sétimo produtor mundial de seda crua. O estado do Paraná se consolidou como líder absoluto na produção de casulos de bicho-da-seda, entretanto os estados de São Paulo e Mato Grosso também contribuem com a produção nacional (SEAB/DERAL, 2021). O rendimento e a qualidade das folhas da amoreira impactam na criação do bicho-da-seda e, em última análise, no rendimento do casulo e na produção de seda. As doenças da amoreira são os principais fatores limitantes para a produção de folhas de qualidade. Dentre essas, destaca-se a ferrugem da folha causada por *Cerotelium fici* (SRIKANTASWAMY; GUPTA; REKHA, 2006).

A figueira (*Ficus carica*) é predominantemente cultivada em regiões subtropicais, porém em função de sua baixa exigência em frio, a cultura está se expandindo para novas áreas (LEONEL; TECCHIO, 2010). Alguns países produtores de figos incluem Turquia, Egito, Marrocos, Espanha, Grécia, Estados Unidos, Itália, Brasil e Japão (PARTHASARATHY et al., 2020). No Brasil, a figueira é cultivada em climas e solos diversos e está adaptada às condições das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Em São Paulo, os pomares comerciais de figos são plantados principalmente com a cultivar Roxo de Valinhos (PIO; CHAGAS, 2011; SOUZA et al., 2023). Esta cultivar é suscetível à ferrugem, causada por *C. fici*, que ocorre na maioria das áreas onde é cultivada (PARTHASARATHY, et al., 2020). A ferrugem é a mais importante doença desta cultura e os danos podem ser elevados, especialmente nos casos onde não é feito o controle da doença (GALLETI; REZENDE, 2016).

As ferrugens em plantas são causadas por fungos basidiomicetos da ordem *Pucciniales*. No início do século XXI, epidemias severas de ferrugens foram relatadas em diversos hospedeiros, como soja (SIKORA et al., 2014; KELLY et al., 2015; GODOY et al. 2016), videira (PRIMIANO et al., 2017), trigo (WU et al., 2020), figo (PARTHASARATHY et al., 2020), amora (NAIK et al., 2008) mirtáceas (YAMAOKA, 2014; CARNEGIE; PEGG, 2018; WINZER et al., 2018), dentre outros.

Recentemente, a ferrugem da amoreira, causada por *Cerotelium fici*, foi relatada pela primeira vez no Brasil em plantas de amoreira (GONÇALVES et al., 2023). O patógeno, originalmente descrito em figueira, já havia sido relatado como causador da ferrugem em amoreira-branca (*Morus alba*) (SRIKANTASWAMY; GUPTA; REKHA, 2006) com relatos de danos de 10-30% da área foliar (NAIK et al., 2008; POOJASHREE; ARUNAKUMAR; GNANESH, 2021). A maioria dos trabalhos com as ferrugens da amoreira e da figueira foram realizados na Índia, onde ambas as culturas são importantes e as ferrugens endêmicas.

O fungo *C. fici* é um parasita biotrófico que afeta as folhas das plantas hospedeiras, podendo afetar frutos e ramos. Esse fitopatógeno é causador da ferrugem das folhas e possui ciclo incompleto, pois são conhecidas apenas as fases telial e uredinial, das quais a última tem relevância epidemiológica (GALLETI; REZENDE, 2016; PARTHASARATHY et al., 2020). As plantas infectadas apresentam, inicialmente, pontuações marrom-claras nas folhas, evoluindo para lesões angulares rodeadas ou não por halo clorótico. As lesões, de modo geral, são diminutas e não ultrapassam 10 mm². Em condições favoráveis ao desenvolvimento da doença, observam-se danos fisiológicos que levam à desfolha precoce (GALLETI; REZENDE, 2016), acarretando reduções parciais ou totais na produtividade. A epidemia começa quando os urediniósporos, dispersos pelo vento, são depositados na superfície das folhas, onde germinam, formam apressórios e penetram diretamente através da cutícula (GUPTA et al., 2005; CZAJA et al., 2021), iniciando o primeiro ciclo da infecção. Dentro do ciclo anual da figueira e da amoreira infectadas por *C. fici* diversas reinfecções podem ocorrer, determinando assim uma doença policíclica (CZAJA, 2014). Em amoreira, *C. fici* afeta quase todas as cultivares cultivadas na Índia e pode causar grande prejuízo à produção e à qualidade das folhas (SRIKANTASWAMY; GUPTA; REKHA, 2006). Em figueira, a ferrugem é favorecida em temperaturas superiores a 22°C e umidade relativa acima de 80%. Caso não seja controlada, a ferrugem pode causar reduções de até 80% da produção (MEDEIROS, 2002) além de

reduzir o valor comercial dos frutos (GALLETI; REZENDE, 2016). Caso a infecção ocorra nos estágios iniciais de desenvolvimento vegetativo da planta, pode acarretar na ausência total de frutificação (GALLETI; REZENDE, 2016).

O estudo dos estágios iniciais da patogênese é importante para melhor compreender a doença e estabelecer estratégias de controle. No entanto, há escassez de informações na literatura sobre os processos de infecção, colonização e reprodução de *C. fici* nos hospedeiros *M. nigra* e *F. carica*. A hipótese deste trabalho é de que *C. fici* é capaz de causar ferrugem nesses dois hospedeiros, sem apresentar especificidade. Assim, o estudo objetivou caracterizar 1) os aspectos morfométricos dos urediniosporos durante o processo germinativo de isolados oriundos da figueira e da amoreira; e 2) os processos de infecção, colonização e reprodução do patógeno por meio de experimentos de inoculação cruzada, ou seja, figueiras e amoreiras foram inoculadas com isolados de *C. fici* provenientes dos dois hospedeiros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Plantas da família *Moraceae*

A amoreira-preta (*Morus nigra* L.), pertencente à família *Moraceae* (ERCISLI; ORHAN, 2007; ÖZGEN; SERÇE; KAYA, 2009), tem origem provável na Ásia. Conhecida pelos gregos e romanos antes da era cristã, também foi cultivada no antigo Egito (ERCISLI; ORHAN, 2007; OLIVEIRA et al., 2018). A amoreira-preta é uma árvore caducifólia que foi domesticada ao longo de milhares de anos e está bem adaptada a uma ampla gama de regiões tropicais, subtropicais e temperadas nas regiões da Ásia, Europa e Américas (ÖZGEN, SERÇE, KAYA; 2009) sendo adaptada à uma grande variedade de condições climáticas, topográficas e de solo (ERCISLI; ORHAN, 2007). Foi trazida ao Brasil por imigrantes japoneses, onde adaptou-se bem às condições de clima e solo do país (OLIVEIRA et al., 2018).

A árvore da amoreira tem de 5 a 20 m de altura com folhas grossas, simples e alternas, cordiformes, simétricas na base, de cor verde escura, pecíolos curtos, ásperas, com dentes largos e regulares, estípulas longas, membranosas e felpudas. É uma árvore atraente e de longa vida que pode ser empregada em paisagismo (PADILHA et al., 2010; AHLAWAT et al., 2016). Durante séculos, a amoreira foi utilizada na medicina tradicional chinesa e na alimentação de animais domesticados (OLIVEIRA et al., 2018). Recentemente, as amoreiras são consideradas plantas polivalentes tendo seu uso pelas indústrias de sericultura, farmacêutica, cosmética, alimentícia e de bebidas (ROHELA et al., 2020). Contudo, a amoreira do gênero *Morus* continua tendo seu destaque de maior importância econômica na produção da seda, pois é o alimento exclusivo das larvas do bicho-da-seda (*Bombyx mori* L.) (VIJAYAN; CHAKRABORTI; GHOSH, 2004).

A amoreira é matéria-prima básica para a indústria da sericultura (GUPTA; TEWARI; DATTA, 1994). A sericultura é um ramo importante da indústria de base agrícola e produz diferentes tipos de seda crua (BARUAH; BORTHAKUR, 2021). A criação do bicho-da-seda para fins comerciais tem seu sucesso intimamente relacionado com a qualidade das amoreiras, uma vez que o inseto é monofágico e as folhas dessa planta são sua única fonte de nutrientes (MUNHOZ et al., 2009).

Em países como China e Índia, a produção da amoreira está focada em realçar a folhagem, visando o produto da seda. Na Europa, a amoreira é mais apreciada pelos

seus frutos (PAWLOWSKA; OLESZEK; BRACA, 2008), pois as bagas pretas-roxas são grandes e suculentas; com um bom equilíbrio entre doçura e acidez (AHLAWAT et al., 2016).

A figueira também pertencente à família *Moraceae*, originou-se nos trópicos do Velho Mundo - Ásia Menor e na região mediterrânea. Sendo conhecida por ser uma das espécies frutíferas mais antigas cultivadas pelo homem, acredita-se que o figo comum seja cultivado desde 5.000 a.C. (ANDERSEN; CROCKER, 1994; LEONEL, 2008). Durante o período dos grandes descobrimentos, o figo foi difundido para as Américas. No Brasil, acredita-se que a figueira tenha sido introduzida pela primeira expedição colonizadora, em 1532, no Estado de São Paulo (LEONEL, 2008).

A árvore da figueira é caducifolia e pode atingir 15 metros de altura (ANDERSEN; CROCKER, 1994). No Brasil, devido às técnicas culturais utilizadas, especialmente as podas anuais de frutificação, seguidas de desbrotas, que condicionam o desenvolvimento de um número determinado de ramos por ano, a planta adquire um porte arbustivo com altura média de 3 a 7 metros (LEONEL, 2008). A planta possui folhas grandes (até 30 centímetros de comprimento), grossas, com cor de verde escuro brilhante, são profundamente lobadas, até sete lóbulos, contêm numerosos tricomas o que torna as folhas ásperas (ANDERSEN; CROCKER, 1994), com gemas frutíferas e vegetativas nos ramos, junto às axilas das folhas, durante a estação de crescimento (LEONEL, 2008). A figueira cultivada no Brasil, caracteriza-se por apresentar flores no interior de um receptáculo suculento, denominado sicônio, que nada mais é do que o próprio figo, desenvolvido partenocarpicamente (ANDERSEN; CROCKER, 1994; LEONEL, 2008).

A cultura da figueira no Brasil teve o início da sua exploração econômica somente a partir de 1910, onde começou a ser cultivada comercialmente na região de Valinhos-SP, com a chegada da cultivar Roxo de Valinhos no Brasil. Essa cultivar foi introduzida no Brasil no início do século XX, na região de Valinhos-SP, pelo italiano Lino Bussato, sendo proveniente da Itália, numa região situada próxima ao mar Adriático (LEONEL, 2008). Além do Brasil, o figo também é produzido em vários países como Turquia, Egito, Marrocos, Espanha, Grécia, Estados Unidos, Itália, Brasil e Japão (PARTHASARATHY et al., 2020).

A figueira tem baixa exigência em frio, e por esse motivo a cultura está se expandindo para áreas não tradicionais (LEONEL; TECCHIO, 2010; CAETANO et al., 2013; PIO et al., 2019), adaptando-se a diferentes climas e condições de solo,

aumentando a expansão da produção de figo para regiões tropicais e subtropicais brasileiras. Nas últimas décadas assistiu-se ao rápido aumento da exploração da cultura da figueira no Brasil, com uma produção total de 18.227 toneladas em 2022 (IBGE, 2022), cujo produto é destinado à exportação para o Norte da África e Europa (PIO et al., 2017).

A planta do figo Roxo de Valinhos é vigorosa, produtiva e adaptada ao sistema de poda drástica, cuja prática teve de ser adotada para ajudar no controle de pragas e doenças. Trata-se da única cultivar que possui valor econômico, caracterizando-se pela rusticidade, vigor e produtividade, sendo também um produto sensível ao manuseio e facilmente deteriorável. A produção pode ser destinada à indústria, para fabricação da compota de figos verdes, geleias, figo cristalizado, ou para o consumo ao natural (LEONEL, 2008) na forma fresca e seca. Esta cultivar é altamente suscetível a doenças, principalmente à ferrugem, (PARTHASARATHY, et al., 2020) considerada a doença mais importante da cultura (GALLETI; REZENDE, 2016).

2.2 Ferrugem da figueira e amoreira

2.2.1. Agente causal, distribuição geográfica e hospedeiros

O nome *Cerotelium fici* (Castagne) Arthur foi proposto por Joseph Charles Arthur, em 1917, durante seu estudo sobre o gênero *Kuehneola* (Arthur, 1917). Esse patógeno apresenta vasta distribuição em diversas partes do mundo como continente Africano, com ocorrência em cerca de 18 países; na Ásia, com ocorrência em cerca de 14 países; na América, com ocorrência em cerca de 20 países, e em países Europeus e da Oceania, com ocorrência em 15 países. A ocorrência foi registrada em hospedeiros de plantas nos gêneros *Broussonetia*, *Chlorophora*, *Ficus*, *Maclura*, *Malaisia* e *Morus*. Entre todos os hospedeiros, *C. fici* predomina em espécies do gênero *Ficus* relatado em 51 espécies e do gênero *Morus* relatado em 10 espécies (AVASTHI et al., 2023). O patógeno foi relatado causando ferrugem em amoreira na espécie *M. nigra* somente no Brasil (GONÇALVES et al., 2023) e em figueira. Já em figueira, foi relatado em diversas localidades do mundo como Argentina, Austrália, Barbados, Bermudas, Brasil, Ilhas Canárias, Cabo Verde, China, Colômbia, Congo, Costa Rica, Chipre, El Salvador, Flórida, Cuba, França, Grécia, Guatemala, Hong Kong, Indonésia, Havaí, Índia, Israel, Itália, Sicília, Jamaica, Japão, Quênia, Líbia,

Malawi, Maurício, México, Marrocos, EUA, Nova Caledônia, Nova Zelândia, Papua Nova Guiné, Norte da África, Paquistão, Peru, Filipinas, África do Sul, Porto Rico, África Austral, Taiwan, Tanzânia, Trinidad e Tobago, Turquia, Uruguai, Rússia, Venezuela, Ilhas Virgens e Zimbabwe (AVASTHI et al., 2023).

2.2.2 Sintomatologia e danos

Os sintomas de ferrugem em amoreira aparecem com a formação das urédias que iniciam como áreas ovais ou alongadas marrom-alaranjadas na superfície abaxial das folhas, podendo coalescer, aumentando em comprimento (GUPTA; TEWARI; DATTA, 1994). Os urediniósporos são globoides ou largos, elipsoides e equinulados. As equínulas cônicas e curvadas são distribuídas uniformemente sobre a superfície dos urediniósporos, têm 3-4 depressões em sua parede que formam os poros germinativos, e o hilo aparece relativamente liso ou levemente verrugoso e sem bordas (GUPTA; TEWARI; DATTA, 1994).

A ferrugem causada por *C. fici* infecta a maioria das variedades de amoreira e, em condições de alta severidade, as folhas ficam amareladas, secas e caem prematuramente (GUPTA; TEWARI; DATTA, 1994; BARUAH; BORTHAKUR, 2021). Os danos causados pela doença em amoreiras são de cerca de 10 a 30% da produção de folhas (BARUAH; BORTHAKUR, 2021), além de reduzir a umidade e a proteína bruta da folha enquanto atividade de muitas enzimas é aumentada, comprometendo, por consequência, o desenvolvimento larval do bicho-da-seda e a qualidade e produtividade do casulo (GUPTA; TEWARI; DATTA, 1994; POOJASHREE; ARUNAKUMAR; GNANESH, 2021; NAHIDUZZAMAN et al., 2023).

Na figueira, as lesões causada por *C. fici* iniciam com manchas foliares marrom-avermelhadas nas superfícies adaxiais com correspondentes sintomas nas superfícies abaxiais acompanhado de numerosas pústulas (PARTHASARATHY et al., 2020). Os urediniósporos são circulares, elipsoides ou redondos, globosos ou ovóides e variam em tamanho de 19,6-31,9 × 14,7-24,5 µm. A espessura da parede tem 0,5 - 1 µm, com coloração pálida e esparsamente equinulado. Além da urédia e dos urediniósporos, télias também aparece nas superfícies inferiores das folhas, são muito pequenas e dispersas, com numerosas cadeias de 2-7 teliósporos, esféricos angulares ou amplamente elipsoides, com tamanho de 19-22 × 10-17 µm e a

espessura da parede com 1-1,5 μm , é lisa e hialina (HUSEYIN; SELCUK, 2004; GALLETI; REZENDE, 2016; SILVA et al., 2019; PARTHASARATHY et al., 2020).

Essa doença é a de maior importância na figueira e pode afetar o crescimento das plantas e a produtividade. Geralmente afeta as folhas da figueira e pode causar pouco ou nenhum dano às frutas (AVASTHI et al., 2023). A cultura do figo sofre perdas significativas quando atacada por esse patógeno. Em estágio avançado da doença, as manchas coalescem e formam manchas necróticas nas folhas que caem prematuramente, deixando galhos nus e frutos verdes. Os frutos de uma árvore completamente desfolhada não são capazes de amadurecer (GALLETI; REZENDE, 2005; PARTHASARATHY et al., 2020). A ferrugem da figueira pode causar perdas de 80% da produção (MEDEIROS, 2002) além de reduzir o valor comercial dos frutos (GALLETI; REZENDE, 2016).

2.2.3. Ciclo da doença e epidemiologia

Os fungos causadores de ferrugem são parasitas biotróficos obrigatórios, altamente específicos, que dependem inteiramente de plantas hospedeiras vivas para completar seu ciclo de vida. São de importância econômica em várias culturas agrícolas como cereais, leguminosas e arbóreas. Seus urediniósporos são transportados pelas correntes de vento e depositados na superfície do hospedeiro, em seguida produzem tubo germinativo, quando entram em contato com água livre na superfície da planta, os quais se alongam até formar o apressório (KOLMER; ORDONEZ; GROTH, 2009). Os urediniósporos são produzidos em grande número com elevado potencial de dispersão (NASCIMENTO *et al.*, 2012). Possuem paredes celulares espessadas com equínulas (WANG, YANGE; MA, 2010). Aos 7-10 dias após a infecção inicial, o micélio no tecido do hospedeiro forma células esporogênicas no espaço intercelular rompendo a superfície da epiderme (KOLMER; ORDONEZ; GROTH, 2009) dando início à formação de urédias.

Em amoreira o ciclo da ferrugem não é completamente conhecido, não havendo relato, até o momento, de hospedeiro alternado. Assim, os urediniósporos são os esporos que infectam os hospedeiros (GUPTA; TEWARI; DATTA, 1994). Por outro lado, na ferrugem da figueira, foi observada tanto a formação de télias e teliósporos quanto de urédias e urediniósporos (PARTHASARATHY et al., 2020).

A formação de urédias na figueira representa o principal estágio infectivo (GALLETI; REZENDE, 2016) com subsequente formação de télias, essa segunda menos relatada (PARTHASARATHY et al., 2020). Não há registro de outras fases como espermogonia e aécio (PARTHASARATHY et al., 2020).

Os primeiros sintomas da doença na amoreira manifestam-se entre 12 dias após a inoculação (DAI) (GONÇALVES et al., 2023), podendo se estender para 20-21 dias em condições desfavoráveis para a cultura (SRIKANTASWAMY; GUPTA; REKHA, 2006). Na figueira, os sintomas são observados de 6 a 7 DAI e o tempo de incubação pode se prolongar até 12 DAI, caso as condições não sejam favoráveis para a cultura (CZAJA et al., 2021).

2.2.4. Controle da ferrugem em amoreira e figueira

As cultivares de amoreira existentes são suscetíveis à ferrugem das folhas. Estudos recomendam que medidas de controle sejam tomadas antes dos primeiros 50 dias pós-poda, especialmente durante as estações chuvosas e fria (NAIK et al., 2008). O controle efetivo da doença contribui para evitar a perda do rendimento foliar em amoreiras. O uso de fungicidas é o método mais usual no manejo de doenças nas amoreiras, na ausência de cultivares resistentes (POOJASHREE; ARUNAKUMAR; GNANESH, 2021). Embora o uso de produtos químicos ainda seja sugerido para o controle de doenças nas amoreiras, muitos agricultores hesitam em usar esses métodos regularmente devido à preocupação com a toxicidade residual e os possíveis efeitos nocivos ao bicho-da-seda (NAIK et al., 2008; MANJUNATH et al., 2023). Atualmente, os esforços de melhoramento estão prioritariamente voltados para o desenvolvimento de variedades que combinam alto rendimento foliar com adaptabilidade ambiental, o que é crucial para atender às demandas atuais do uso da cultura (MANJUNATH et al., 2023). Em um segundo plano busca-se desenvolver variedades resistentes a doenças. O melhoramento genético tradicional enfrenta desafios devido à complexidade genética da resistência a doenças, à limitada disponibilidade de germoplasma resistente e à baixa herança das características desejadas em amoreiras. Além disso, o mecanismo pelo qual as amoreiras se defendem de patógenos ainda não foi completamente elucidado (FANG et al., 2019).

Na figueira não é diferente, a prática mais comum e eficaz para o controle da ferrugem é a aplicação de fungicidas, que deve ser feita desde o período de dormência

da planta até a colheita. O processo começa com um tratamento de inverno após a poda. Com o início da brotação, recomenda-se realizar pulverizações a cada duas semanas, alternando produtos como mancozeb, azoxistrobina, hidróxido de cobre, oxiclóreto de cobre, tebuconazole, dentre outros. Durante a fase vegetativa, quando as brotações têm entre 10 a 15 cm, é essencial pulverizar toda a folhagem, focando especialmente na parte inferior das folhas para um controle mais eficaz da doença (LORENZETTI, 2011; MEZZALIRA et al, 2015). Medidas de controle com base em métodos culturais também podem ser adotados no manejo da ferrugem da figueira podendo-se citar a remoção e destruição de folhas e frutos infectados, plantio de árvores em locais secos e com pleno sol e irrigação feita de preferência pela manhã (AVASTHI et al., 2023).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Obtenção e cultivo de mudas de figueira e amoreira

Mudas de figueira (*Ficus carica*) da cv. Figo Roxo de Valinhos, de aproximadamente 30 cm de altura, obtidas a partir de estaquia. As mudas foram transplantadas para vasos de plástico de 7 L, contendo 6 L de substrato esterilizado, e mantidas em casa-de-vegetação com uma temperatura média do ar de $25 \pm 5^\circ\text{C}$.

As mudas de amoreira (*Morus nigra*) foram produzidas por estaquia, de plantas cultivadas no campo experimental do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ-USP, localizado no município de Piracicaba-SP (22°42'28.5" S, 47°37'43.0" O). Estacas com três gemas foram colhidas de ramos novos, plantadas em vasos de plástico de 7 L, contendo 6 L de substrato esterilizado e mantidas em casa-de-vegetação com temperatura média de $25 \pm 5^\circ\text{C}$.

As adubações foram realizadas quinzenalmente com 5 g de adubo N-P-K 10-10-10 e 50 mL, por vaso, de solução nutritiva contendo 8% de N; 3% P_2O_5 ; 8% de K_2O ; 0,2% de B; 1% de Ca; 0,08% de Cu; 0,1% de Fe; 1% de Mg; 0,2% de Mn; 0,05% de Mo; 0,4% de Zn e 6% de carbono orgânico.

3.2 Obtenção e manutenção dos isolados de *Cerotelium fici*

O inóculo de *C. fici*, oriundo de figueira, foi coletado a partir de folhas da cultivar Figo Roxo de Valinhos, cultivadas no campo experimental do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ-USP. Urediniósporos presentes nas folhas sintomáticas foram coletados com uma leve agitação das folhas sobre um béquer de 1000mL; sem haver necessidade de destacar as folhas sintomáticas das plantas para a coleta. Os urediniósporos foram transferidos para 100 mL de água deionizada com Tween 20 (0,05%) para produção da suspensão. A suspensão do inóculo foi ajustada para uma concentração de 5×10^4 urediniósporos.mL⁻¹ e imediatamente aspergida em plantas saudáveis, as quais foram ensacadas com sacos plásticos umedecidos, para garantir a câmara úmida, e alocadas em câmara escura por 24 h a 23°C. Após esse período, as câmaras úmidas foram retiradas e as plantas foram colocadas em casa-de-vegetação específica para a multiplicação do inóculo. A renovação do inóculo foi feita

quinzenalmente, a fim de ter urediniósporos disponíveis e viáveis para os futuros ensaios.

O inóculo de *C. fici* proveniente de amoreira, da espécie *Morus nigra*, vem sendo mantido, desde 2020, em mudas de amoreira em casa-de-vegetação no campo experimental do Departamento de Fitopatologia e Nematologia da ESALQ/USP. A manutenção do inóculo foi realizada usando a mesma metodologia descrita anteriormente, para o inóculo da figueira. Plantas de amoreira foram mantidas em outra casa-de-vegetação, separada do inóculo proveniente da figueira, para que não houvesse contaminação. A multiplicação do inóculo foi feita semanalmente a fim de ter urediniósporos disponíveis e viáveis para os ensaios.

A viabilidade dos urediniósporos de *C. fici* oriundas de figueira e de amoreira foi quantificada por meio da germinação de esporos conforme descrito detalhadamente no item 3.4.

3.3 Germinação de urediniósporos de *Cerotelium fici* em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

Para esse ensaio, cinco folhas maduras de figueira e de amoreira foram destacadas de plantas cultivadas em casa-de-vegetação e desinfestadas superficialmente por imersão sequencial em álcool 70% por 30 s e em hipoclorito de sódio 0,1% por 30 s. As folhas foram lavadas três vezes em água deionizada, e secas em temperatura ambiente, sobre papel toalha por aproximadamente 30 min. As folhas foram transferidas para caixas plásticas tipo Gerbox (20 x 20 cm), sobre papel filtro umedecido e inoculadas com 100 µL de suspensão de *C. fici* proveniente de amoreira, na concentração de 5×10^4 urediniósporos.mL⁻¹ aplicado sobre as folhas de figueira e amoreira. Com auxílio de uma micropipeta, gotas da suspensão foram depositadas em duas áreas de 1 cm² por folha previamente delimitadas. O mesmo processo foi repetido para inóculo de *C. fici* proveniente de figueira, aplicado em amoreira e figueira. No tratamento da testemunha foi depositada uma gota de 100 µL de água deionizada em cada área. As caixas plásticas foram cobertas e mantidas no escuro, por 24 h, a 23°C. Após esse período, dois fragmentos (0,5 x 0,5 cm) das áreas inoculadas das folhas foram coletados. As amostras foram fixadas em solução de Karnovsky, durante sete dias, desidratadas em série etílica (10%, 30%, 50%, 70%, 90% e 100% de etanol), secas ao método do ponto crítico de CO₂, montadas em

suportes de alumínio sobre fitas de carbono dupla face e cobertas com uma camada de ouro de 30 a 40 nm em metalizador (MED 010, Balzers Union, Carlsbad, EUA). As análises e a digitalização das imagens foram realizadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) (JSM-IT300, JEOL, Tóquio, Japão), operado a 20 kv com as escalas impressas diretamente nas eletromicrografias. A porcentagem de germinação de urediniósporos e a porcentagem de formação de apressórios foram avaliadas para os primeiros 100 urediniósporos observados em cada amostra. Foram considerados germinados os urediniósporos que apresentaram tubo germinativo de tamanho igual ou maior ao seu diâmetro. Essa etapa foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica Prof. Dr. Elliot Watanabe Kitajima, localizado na ESALQ-USP.

3.4 Inoculação das plantas

Os urediniósporos foram coletados sete dias após o aparecimento dos primeiros sintomas e suspensos em água deionizada com Tween 20 (0,05%), sendo a concentração ajustada para 5×10^4 urediniósporos.mL⁻¹. A suspensão de urediniósporos foi pulverizada nas folhas das plantas hospedeiras com um pulverizador NS 19/26 (LENZ, Wertheim, Alemanha), acoplado a um atomizador elétrico (Marconi, Brasil) à pressão de 100 kPa, até o ponto de escorrimento superficial. Imediatamente após a inoculação, as plantas foram cobertas com sacos plásticos úmidos. Em seguida, as plantas foram mantidas em uma câmara escura a 23°C, por 24 h. Após este período, os sacos plásticos foram retirados e as plantas foram transferidas para casa-de-vegetação com temperatura média do ar de $25 \pm 5^\circ\text{C}$. Como tratamento controle, em todos os ensaios, cinco plantas de cada espécie foram pulverizadas com água deionizada com Tween 20 (0,05%), e mantidas nas mesmas condições das plantas inoculadas. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com cinco repetições, sendo cada repetição representada por uma planta envasada de cada hospedeiro. Os experimentos foram repetidos uma vez no tempo.

A viabilidade dos inóculos de *C. fici*, provenientes de amoreira e de figueira, foi quantificada por meio da germinação dos urediniósporos *in vitro*. Três gotas de 50 µL da suspensão de urediniósporos de *C. fici*, provenientes de um dos hospedeiros, foram depositadas em placas de Petri de poliestireno (90 x 15 mm), que continha meio ágar-água (16 g ágar por litro de água deionizada). As placas de Petri foram

acondicionadas nas mesmas condições das plantas. Para a avaliação da germinação foram considerados germinados os urediniósporos que apresentaram o comprimento do tubo germinativo igual ou maior que seu diâmetro. Foram utilizadas 3 repetições por experimento onde cada placa de Petri consistiu de uma repetição.

As inoculações cruzadas foram realizadas em casa-de-vegetação separadas, e em datas diferentes para diminuir o risco de contaminação durante a condução dos ensaios. O inóculo proveniente da amoreira foi coletado e inoculado em mudas sadias de figueira e de amoreira e, em outro momento, e em casa-de-vegetação separada, foi usado o inóculo proveniente de figueira, inoculado em mudas sadias de figueira e amoreira como representado no esquema da Figura 1.

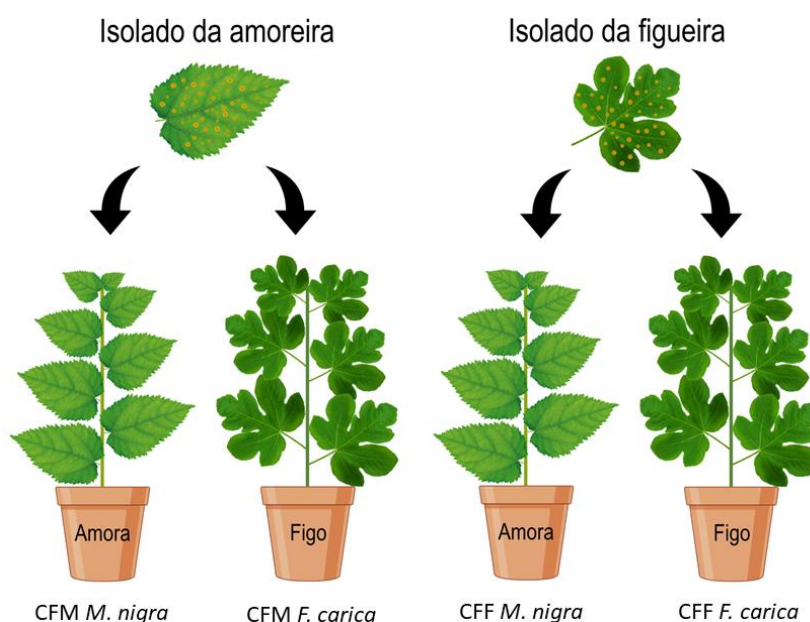


Figura 1. Esquema de inoculação cruzada dos isolados de *Cerotelium fici* derivados de figueira (CFF) e amoreira (CFM) inoculados em *Ficus carica* e *Morus nigra*.

3.5 Avaliações morfológicas de *Cerotelium fici*

Este estudo foi realizado no laboratório de Epidemiologia da ESALQ. Para avaliações quantitativas, os urediniósporos foram coletados sete dias após o aparecimento das primeiras lesões esporulantes em figueira e em amoreira. Em uma lâmina de vidro foi depositada uma gota de lactoglicerol. Os urediniósporos foram adicionados em seguida após movimentos circulares, a suspensão foi coberta por uma lamínula. As medidas do comprimento, da largura e da espessura da parede

celular de 100 esporos de cada isolado foram determinadas com software de imagem ZEN em um microscópio de luz ZEISS Axio Lab.A1 com um aumento de 400x, usando campo claro e contraste de interferência diferencial. As imagens foram obtidas com uma câmera AxioCam 503 color ZEISS.

3.6 Colonização de tecido foliar do hospedeiro por *Cerotelium fici*

Para a avaliação da colonização pelo patógeno, foi destacada uma folha com sintomas de cada vaso dos ensaios. As folhas foram coletadas em diferentes dias (Tabela 1). Duas amostras com lesões foram coletadas de cada folha. As áreas com lesões foram avaliadas em estereomicroscópio, antes e após coloração. Amostras de folhas doentes de figueira e amoreira foram incubadas em solução de azul de tripano 0,025% (glicerol, ácido láctico, água e etanol na proporção de 1:1:1:7) por 24 h a 60°C. Em seguida, as amostras foram imersas em solução de hidrato de cloral (2,5 g.mL⁻¹) por 3 dias. A coloração com azul de tripano em combinação com a descoloração com hidrato de cloral possibilita a visualização do crescimento de hifas de fungos no interior do tecido foliar. Após o processamento das amostras, as imagens das lesões em figueira e amoreira foram obtidas em um estereomicroscópio ZEISS SteREO discovery com luz externa ZEISS, modelo CL4500 led. As áreas das lesões foram estimadas usando o software ZEN.

Tabela 1. Datas de inoculação de cada experimento e dia da coleta foliar para avaliação das variáveis de colonização dos tecidos e esporulação.

Combinação	Experimento	Data da inoculação	Dias após inoculação (DAI)
CFM × <i>M. nigra</i> / <i>F. carica</i>	1	12/01/2024	42 / 42
CFM × <i>M. nigra</i> / <i>F. carica</i>	2	15/02/2024	46 / 23
CFF × <i>M. nigra</i> / <i>F. carica</i>	1	30/01/2024	- / 20
CFF × <i>M. nigra</i> / <i>F. carica</i>	2	19/02/2024	- / 23

3.7 Componentes monocíclicos

Os componentes monocíclicos avaliados foram o período de incubação, a quantidade de lesões (número de lesões esporulantes por folha), a severidade da

doença (proporção de área lesionada na área foliar) e a esporulação das lesões (número de urediniósporos por pústula).

Após a inoculação, as plantas foram observadas a cada dois dias até o aparecimento dos primeiros sintomas e semanalmente até a estabilização dos sintomas. O período de incubação foi estimado com o período de tempo entre a deposição do inóculo e o aparecimento dos primeiros sintomas.

A severidade foi estimada com auxílio de escala diagramática para ferrugem da amoreira e outra para ferrugem da figueira, ambas desenvolvidas pelo laboratório de epidemiologia da ESALQ/USP, e que estão em fase de validação para publicação; essa avaliação foi realizada ao final de cada experimento. O número de lesões esporulantes foi estimado pela contagem do número total de pústulas presentes na folha, a contagem foi feita no quarto dia após o aparecimento dos primeiros sintomas.

3.8 Análises estatísticas

Após a coleta dos dados, a análise descritiva foi feita por meio de visualização gráfica, incluindo o uso de boxplots, para destacar as propriedades intrínsecas do conjunto de dados. A construção dos gráficos foi realizada utilizando-se o ambiente estatístico R (R Core Team, 2024).

4. RESULTADOS

4.1 Condições ambientais

As condições ambientais durante a condução dos experimentos apresentaram grandes oscilações na temperatura (22 a 28 °C) e na umidade relativa do ar (50 a 95%) (Figura 2). Condições de mais baixa umidade relativa (<60%) foram registradas nos primeiros dias do experimento no ambiente 1, onde foi conduzido o primeiro experimento do isolado da amoreira (CFM) (Figura 2, ambiente 1). No ambiente 2 foi conduzido o segundo experimento com o isolado CFM e o ambiente 3 recebeu o segundo experimento com o isolado da figueira (CFF). O primeiro experimento com o isolado CFF não teve coleta de dados devido à desativação do termo-registrador. Nos ambientes 2 e 3, quando houve registro, as condições de umidade oscilaram menos do que o ambiente 1, variando na maior parte dos dias de 85 a 95%). A temperatura foi ligeiramente mais baixa no ambiente 3, variando de 22 a 25 °C.

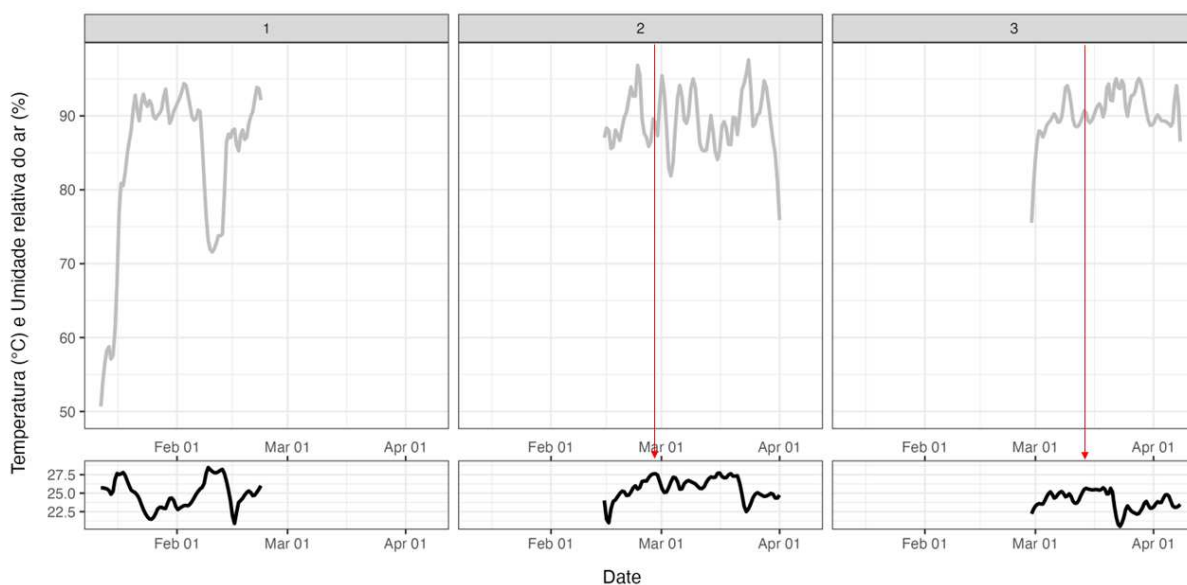


Figura 2. Valores de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) registrados em casas-de-vegetação onde os experimentos foram realizados. O primeiro experimento com o isolado de amoreira (CFM) foi conduzido no ambiente 1; o segundo experimento com o isolado de amoreira (CFM) foi conduzido no ambiente 2 e o ambiente 3 foi usado para o segundo experimento com o isolado de figueira (CFF). Flechas vermelhas indicam o dia que iniciou a desfolha nas plantas de figueira.

4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Urediniósporos dos isolados CFM e CFF apresentaram elevada taxa de germinação em *Morus nigra* e *Ficus carica* (Figuras 3 e 4). No primeiro experimento, a germinação média de urediniósporos foi de 89,9% em CFM × *M. nigra* e 90,4% em CFM × *F. carica*, enquanto que para as combinações CFF × *M. nigra* e CFF × *F. carica* os valores de germinação foram de 78% e 96,6%, respectivamente. No segundo experimento, o isolado CFM manteve taxa de germinação elevada, com 88,5% em *M. nigra* e 86,9% em *F. carica*. O isolado CFF, por sua vez, apresentou 91,9% e 86,3% de germinação em *M. nigra* e *F. carica*, respectivamente.

O isolado CFM apresentou 52% de apressórios formados nos urediniósporos germinados em *M. nigra* e 47,2% em *F. carica*, enquanto o CFF teve 52,7% em *F. carica* e apenas 5,8% em *M. nigra* no primeiro experimento. No segundo experimento, o isolado CFM mostrou valores de 51,9% e 62,3% de apressórios formados em *M. nigra* e *F. carica*, respectivamente, e o isolado CFF apresentou 38,3% e 2,5% de apressórios formados em *F. carica* e *M. nigra*, respectivamente.

Os resultados apresentados na Figura 4 mostram claramente a formação de apressórios na extremidade do tubo germinativo nas combinações CFF × *F. carica*, CFM × *F. carica* e CFM × *M. nigra*. No entanto, na combinação CFF × *M. nigra*, observou-se apenas a formação do tubo germinativo, conforme indicado na figura. Essa condição de baixa formação de apressórios foi consistente em todas as avaliações dessa combinação, além de apresentar um tamanho reduzido do tubo germinativo.

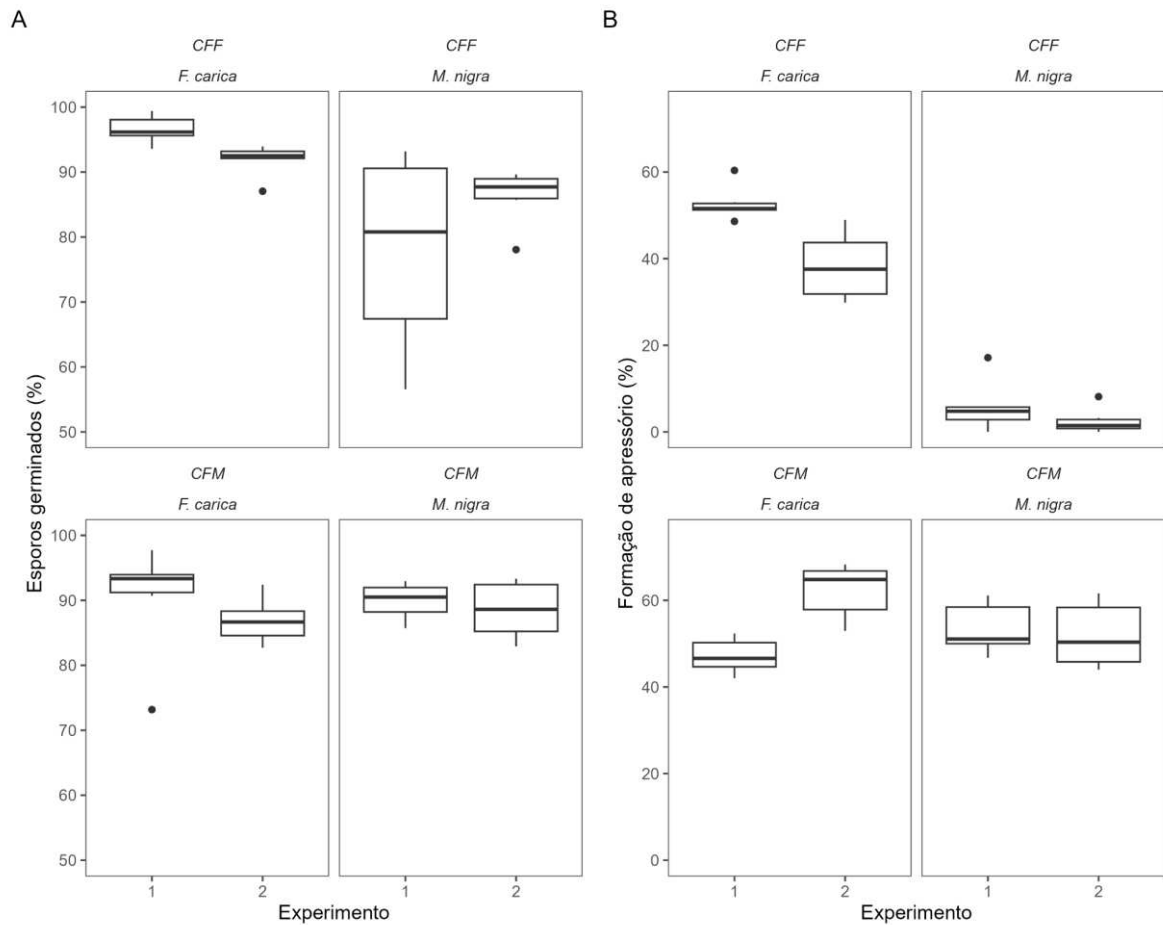


Figura 3. Germinação (%) de urediniósporos (A) e formação de apressório (B) de *Cerotelium fici* oriundas de inoculações cruzadas das combinações CFF × *F. carica*, CFF × *M. nigra*, CFM × *F. carica* e CFM × *M. nigra* avaliadas a partir de micrografias obtidas em microscópio eletrônico de varredura. Cada caixa representa o intervalo interquartil, a linha dentro da caixa é a mediana, e os "whiskers" (linhas verticais) indicam a amplitude dos dados, excluindo os outliers. Outliers são representados por pontos individuais fora dos "whiskers".

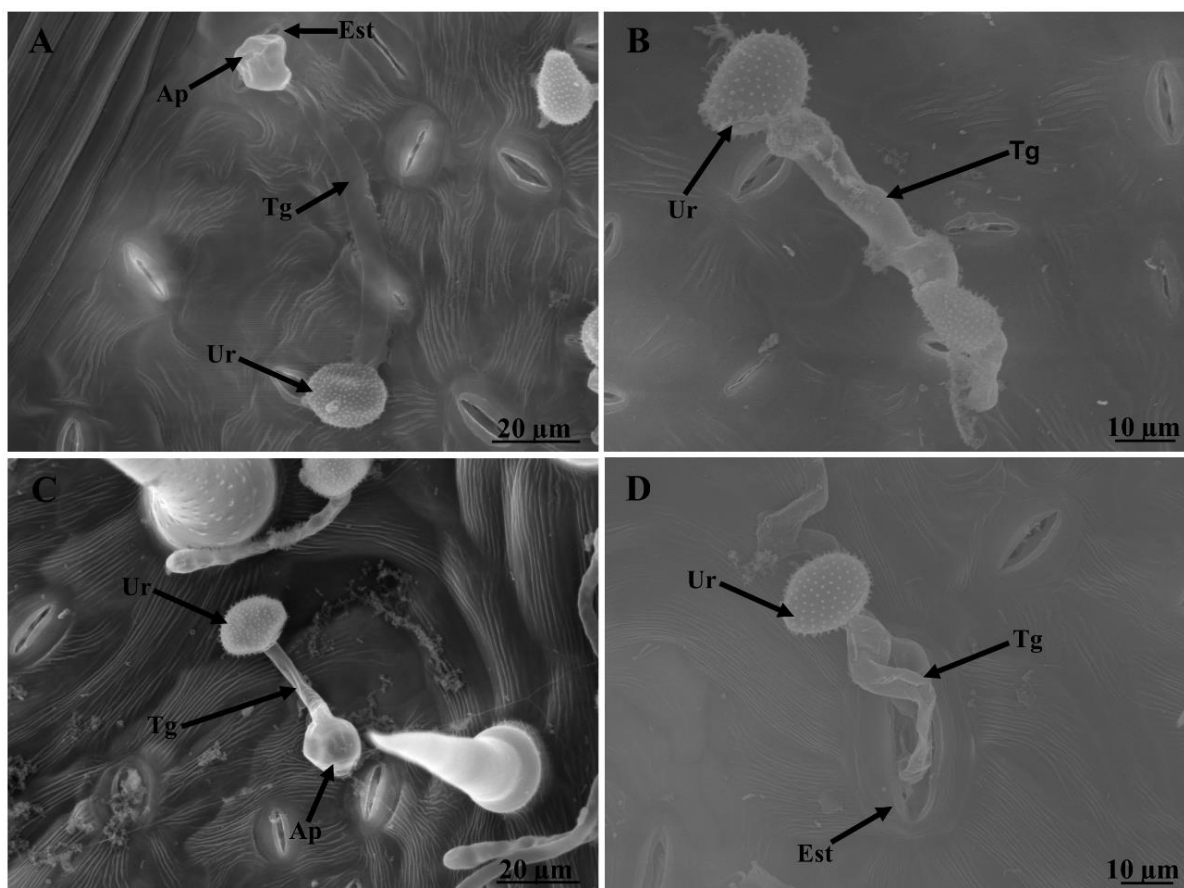


Figura 4. Micrografias obtidas a partir de microscopia eletrônica de varredura com a germinação de urediniósporos (Ur), de *Cerotelium fici* evidenciando o desenvolvimento do tubo germinativo (Tg) e a formação de apressório (Ap) com entrada ou não no hospedeiro via estômato (Est) nas combinações de inoculação cruzada. Isolado proveniente de amoreira (CFM) inoculado em *M. nigra* (A). Isolado proveniente da figueira (CFF) inoculado em *M. nigra* (B). Isolado proveniente da amoreira (CFM) inoculado em *F. carica* (C). Isolado proveniente da figueira inoculado em *F. carica* (D).

4.3 Morfologia de urediniósporos

Não houve formação de pústulas do isolado CFF inoculado em *M. nigra* nos dois experimentos realizados, portanto não houve produção de esporos na combinação cruzada do CFF × *M. nigra*, não havendo assim a avaliação desta variável resposta e das demais seguintes.

A análise morfológica dos urediniósporos dos isolados CFM e CFF (Figura 5) mostrou pequena variação entre os isolados e as plantas hospedeiras. O comprimento

médio dos urediniósporos de CFM \times *F. carica* foi de 21,9 μm enquanto o comprimento médio de urediniósporos de CFM \times *M. nigra* foi de 22,5 μm . O CFF \times *F. carica* produziu urediniósporos maiores que os demais, com 25 μm de comprimento. A largura dos urediniósporos do isolado CFM também mostrou baixa variação entre *M. nigra* e *F. carica* com médias de 17,9 e 17,2 μm , respectivamente. Para CFF \times *F. carica* a média da largura dos urediniósporos foi de 18 μm . A espessura média da parede celular de CFM \times *M. nigra* e CFF \times *F. carica* foi de 0,9 μm , e o CFM \times *F. carica* similar aos demais com 0,8 μm .

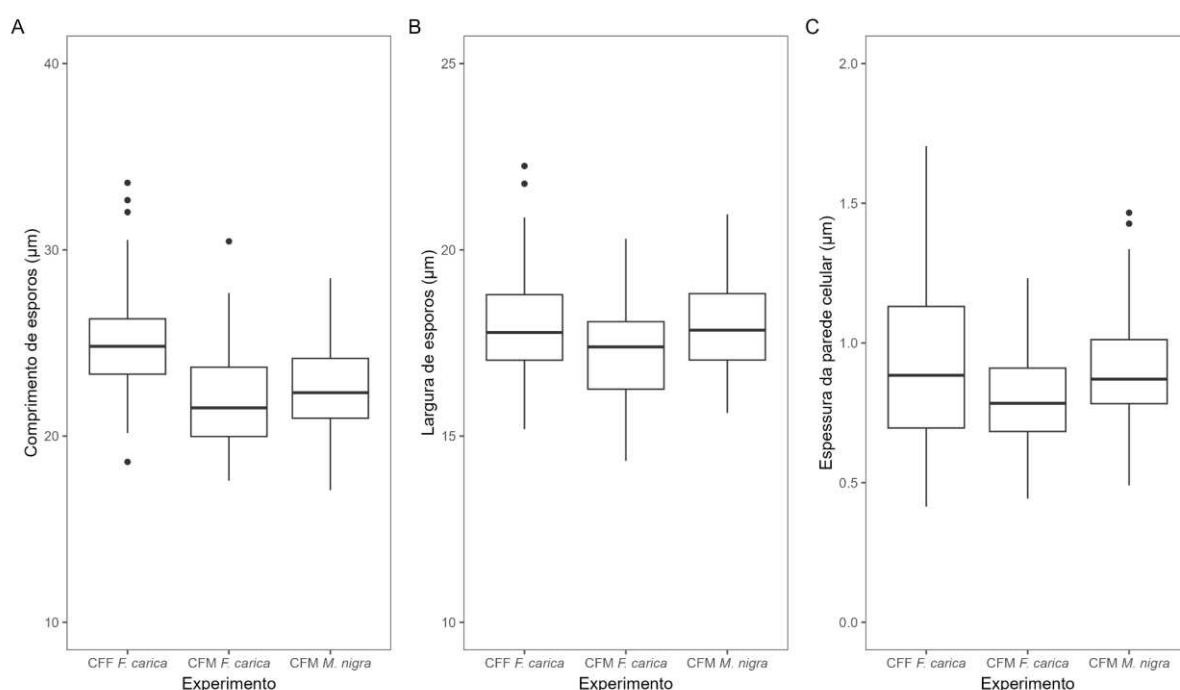


Figura 5. Morfometria de urediniósporos de *Cerotelium fici* providos das inoculações cruzadas, resultando nas combinações CFF \times *F. carica*, CFM \times *F. carica*, CFM \times *M. nigra*: Comprimento (μm) (A), largura (μm) (B) e espessura da parede celular (μm) (C) dos urediniósporos. Cada caixa representa o intervalo interquartil, a linha dentro da caixa é a mediana, e os "whiskers" (linhas verticais) indicam a amplitude dos dados, excluindo os outliers. Outliers são representados por pontos individuais fora dos "whiskers".

4.4 Colonização de tecidos

As lesões foliares apresentaram variações entre as combinações cruzadas de patógeno-hospedeiro (Figura 7). Lesões foliares do isolado CFM tiveram médias de

2,28 mm² em *M. nigra* e 4,05 mm² em *F. carica* no primeiro experimento. A área média de lesões de CFF foi de 1,77 mm² em *F. carica*, no primeiro experimento. No segundo experimento, o isolado CFM apresentou lesões de 2,38 mm² e 2 mm² em *M. nigra* e *F. carica*, respectivamente; enquanto o isolado CFF teve área média de 4,39 mm² em *F. carica* (Figura 6).

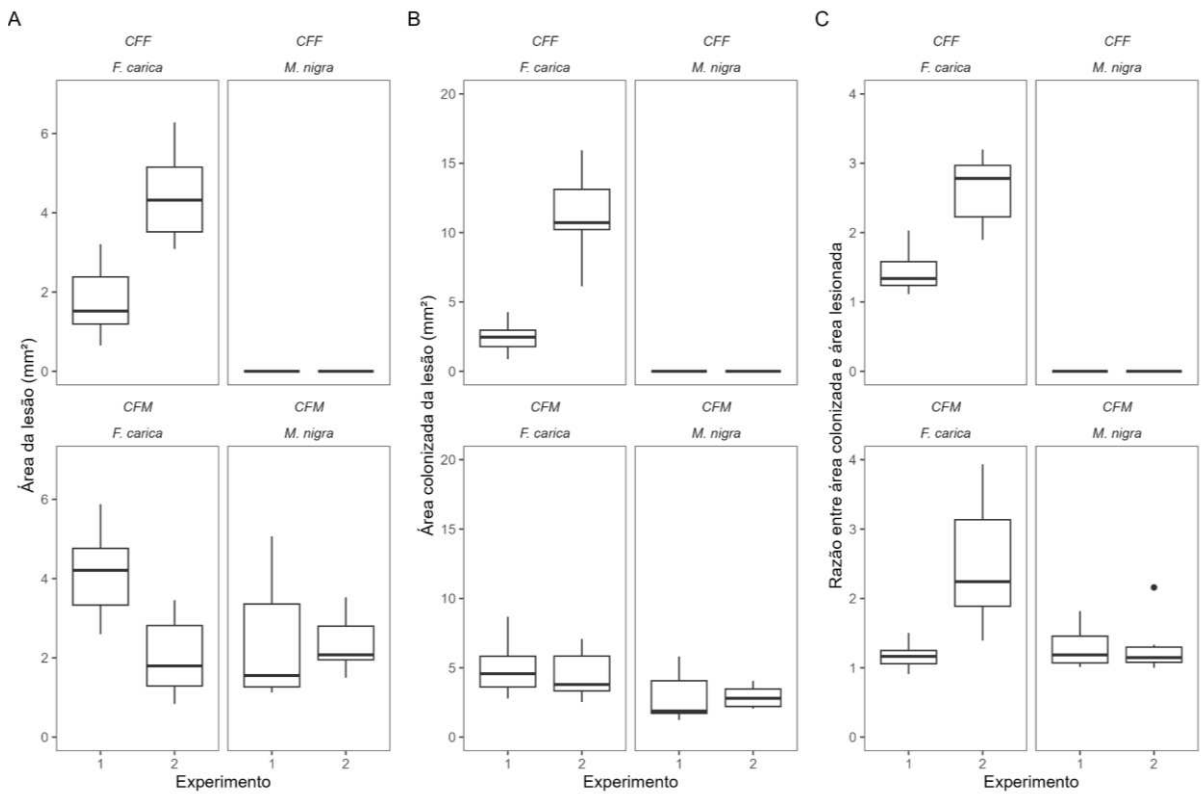


Figura 6. Medidas da área da lesão foliar (mm²) causada nas combinações CFF × *F. carica*, CFF × *M. nigra*, CFM × *F. carica* e CFM × *M. nigra*, antes da coloração com azul de tripano (A). Área colonizada (mm²) por hifas nas mesmas combinações após a coloração com azul de tripano (B). Razão entre área lesionada e área colonizada que apresenta quantas vezes a mais houve de crescimento micelial (C). Cada caixa representa o intervalo interquartil, a linha dentro da caixa é a mediana, e os "whiskers" (linhas verticais) indicam a amplitude dos dados, excluindo os outliers. Outliers são representados por pontos individuais fora dos "whiskers".

A área colonizada pelo isolado CFM foi de aproximadamente 2,87 mm² em *M. nigra* e 4,89 mm² em *F. carica*. A área colonizada pelo isolado CFF foi de 2,43 mm² em *C. fici*, no primeiro experimento. No segundo experimento, a área colonizada por CFM foi de 2,89 mm² e 4,39 mm² em *M. nigra* e *F. carica*, respectivamente, enquanto a área colonizada por CFF aumentou para 11,4 mm² em *F. carica*.

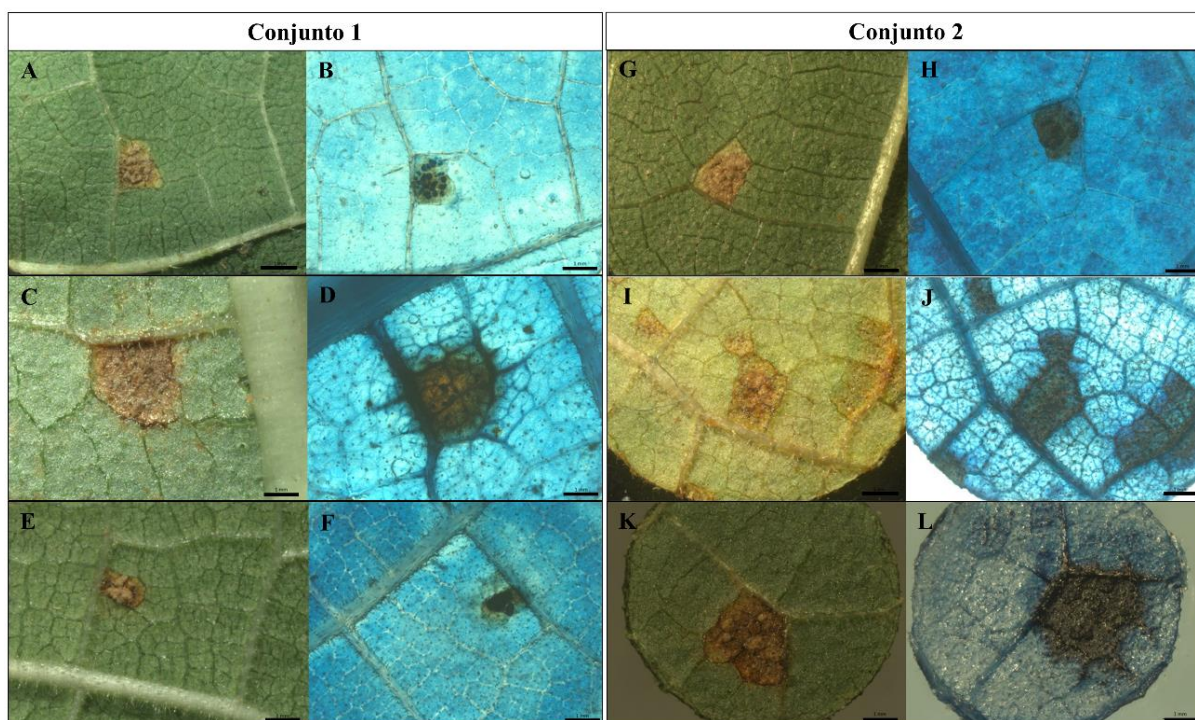


Figura 7. Lesões resultantes das inoculações cruzadas são apresentadas para o primeiro experimento (Conjunto 1) e o segundo experimento (Conjunto 2). No Conjunto 1, as imagens demonstram a lesão foliar pré-coloração (à esquerda) e pós-coloração com azul de tripano (à direita), revelando a colonização das hifas no tecido hospedeiro. O Conjunto 2 segue a mesma metodologia de visualização. As lesões decorrentes da inoculação do isolado CFM, originário de amoreira, em *Morus nigra* são ilustradas nas subfiguras A, B, G e H. As lesões resultantes da inoculação do mesmo isolado em *Ficus carica* são mostradas nas subfiguras C, D, I e J. As lesões oriundas da inoculação do isolado CFF, proveniente de figueira, em *F. carica* são representadas nas subfiguras E, F, K e L. Escala da barra: 1 mm.

A relação entre a área colonizada e a área da lesão é uma relação de quantas vezes a mais houve crescimento micelial no tecido do hospedeiro comparado com o tamanho da lesão visual. Essa variável resposta apresentou que o CFM × *M. nigra* teve um crescimento micelial no tecido foliar do hospedeiro, nos experimentos 1 e 2 de 1,28 e 1,26 vezes superior à lesão visual; e para CFM × *F. carica* teve um crescimento de hifas no tecido foliar de 1,19 e 2,43 vezes superior à área da lesão visual. O CFF × *F. carica* mostrou um crescimento de hifas no tecido foliar de 1,42 e 2,61 vezes superior comparado com a área da lesão visual.

4.5 Componentes monocíclicos

Os primeiros sintomas surgiram tardiamente aos 19 dias após inoculação (DAI) em CFM × *M. nigra* e 11 DAI em CFM × *F. carica*, no primeiro experimento. No segundo experimento os sintomas apareceram, aos com 11 e 7 DAI em CFM × *M. nigra* e CFM × *F. carica*, respectivamente. Os primeiros sintomas em CFF *F. carica* surgiram aos 7 e 6 DAI, no primeiro e segundo experimento, de modo respectivo.

Os sintomas em CFM × *M. nigra* iniciaram com pontuações acinzentadas nas folhas e evoluíram para coloração marrom-claras e as lesões com formato arredondado, rodeadas ou não por halo clorótico (Figura 8). Em CFM × *F. carica*, os sintomas inicialmente surgiram com coloração marrom-clara evoluindo para marrom-escura e com lesões angulares sem formação de halo clorótico. Para CFF × *F. carica* os sintomas iniciaram com coloração marrom-clara e evoluíram para marrom-escura com lesões angulares e sem formação de halo clorótico.

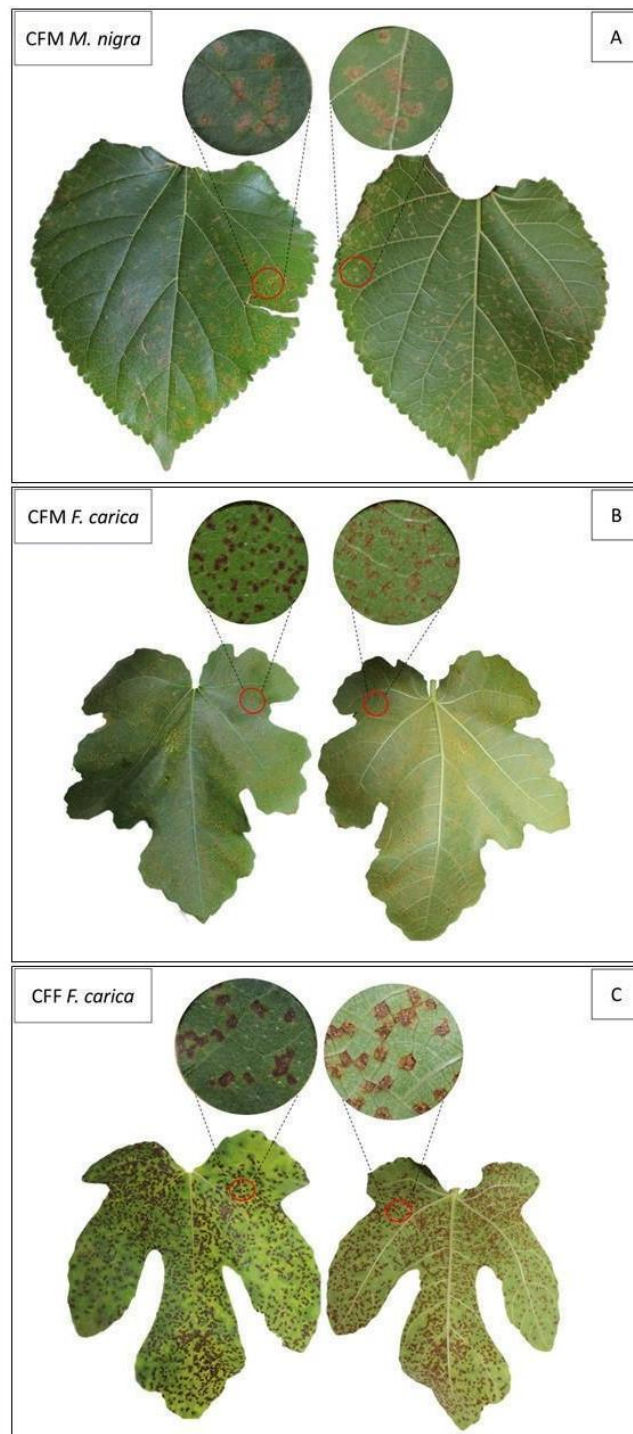


Figura 8. Características das lesões formadas nas inoculações cruzadas. Lesões em amoreira formadas a partir da inoculação com o isolado oriundo da amoreira (A), lesões em figueira formadas a partir da inoculação com o isolado oriundo da amoreira (B) e lesões em figueira formadas a partir da inoculação com o isolado oriundo da figueira (C).

A média da contagem total de lesões por folha para o isolado CFM \times *M. nigra* foi de 5,67 lesões/folha; e para CFM \times *F. carica* foi de 89,33 lesões/folha no primeiro experimento. Já no segundo experimento houve um aumento do número de lesões por folha para 553,87 e 5.180,9, respectivamente. Quanto ao isolado CFF nos experimentos 1 e 2 teve um número médio de lesões por folha de *F. carica* de 2.160,3 e 726,93, respectivamente (Figura 9).

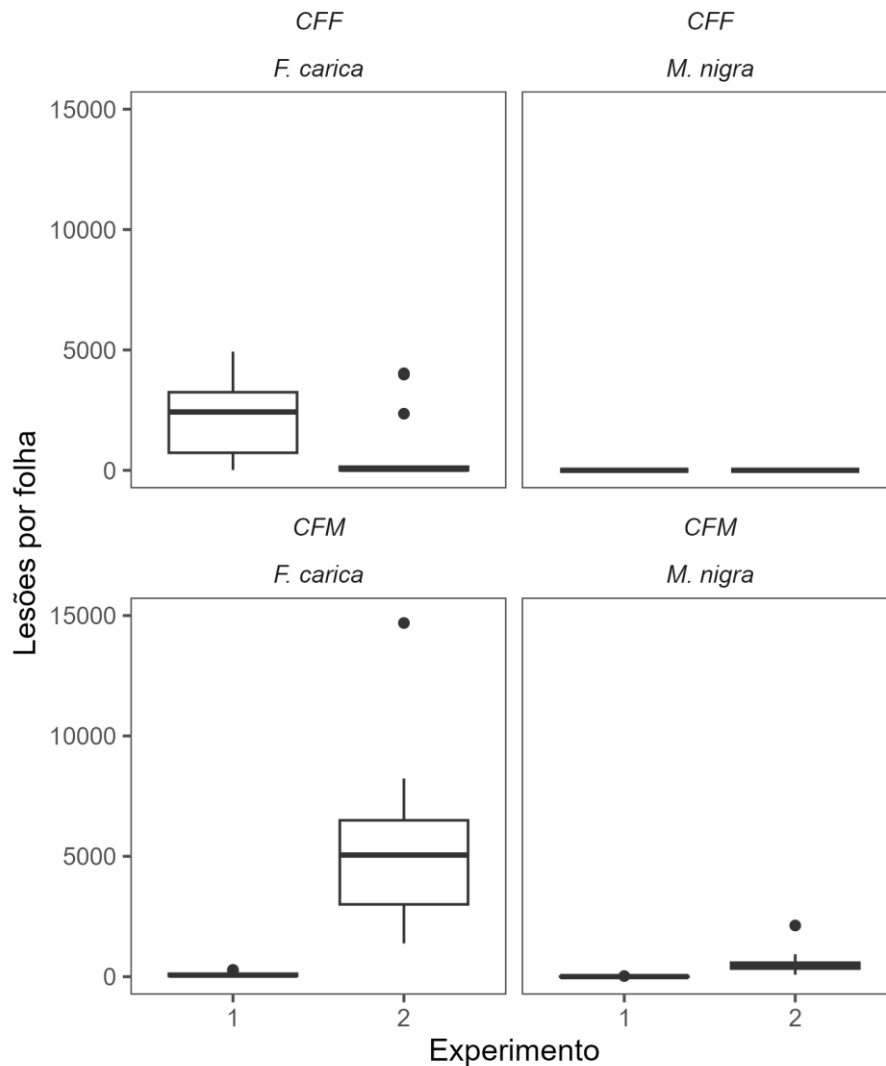


Figura 9. Número total de lesões por folha resultante das combinações cruzadas de CFF \times *F. carica*, CFF \times *M. nigra*, CFM \times *F. carica* e CFM \times *M. nigra*. Cada caixa representa o intervalo interquartil, a linha dentro da caixa é a mediana, e os "whiskers" (linhas verticais) indicam a amplitude dos dados, excluindo os outliers. Outliers são representados por pontos individuais fora dos "whiskers".

A severidade média de CFM foi de 0,047% em *M. nigra* e de 8,45% em *F. carica* no primeiro experimento (Figura 10). O isolado CFF resultou em 27,2% de severidade em *F. carica*, valores esses obtidos no primeiro experimento. Para o segundo experimento, o isolado CFM atingiu uma severidade média de 8,4% em *M. nigra* e 32,2% em *F. carica*, enquanto o CFF *F. carica* teve 12,2% de severidade média.

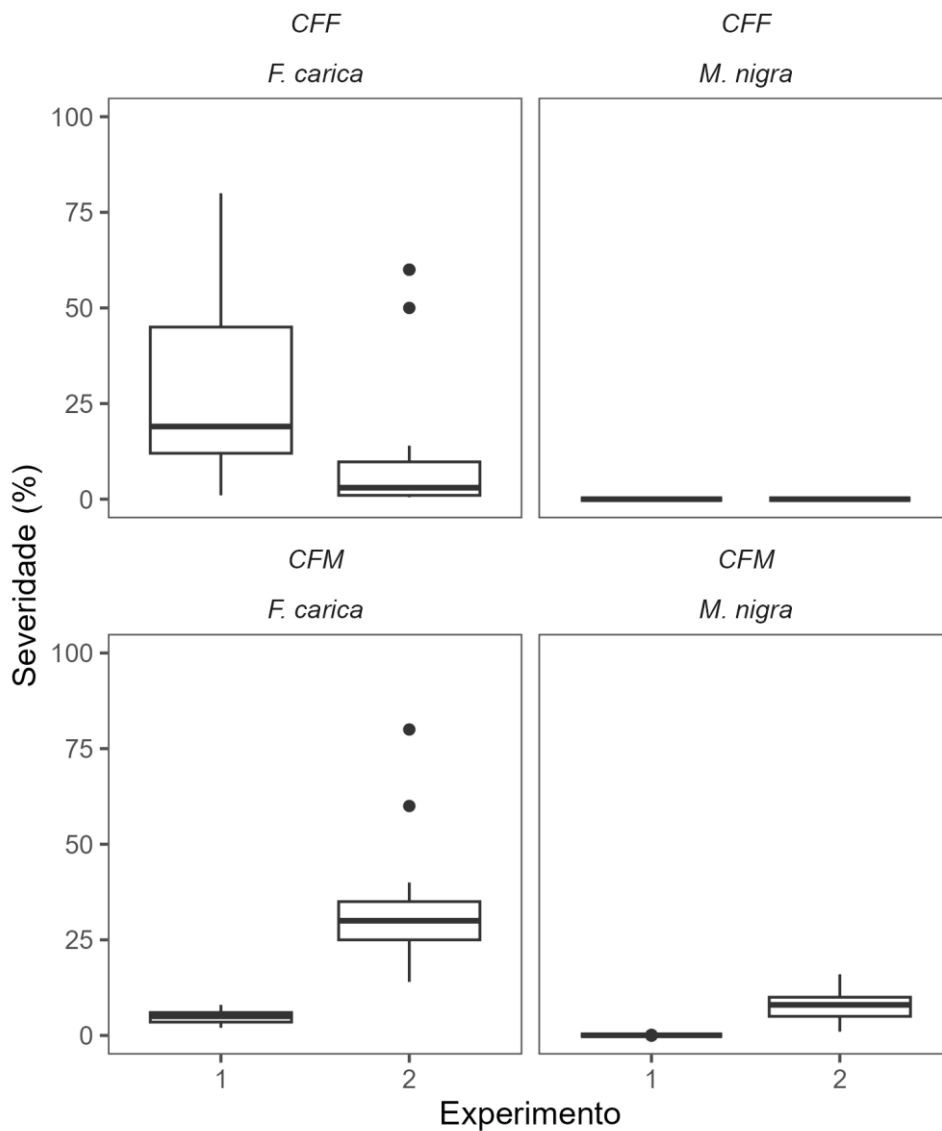


Figura 10. Severidade (%) das combinações cruzadas de CFF × *F. carica*, CFF × *M. nigra*, CFM × *F. carica* e CFM × *M. nigra*. Cada caixa representa o intervalo interquartil, a linha dentro da caixa é a mediana, e os "whiskers" (linhas verticais) indicam a amplitude dos dados, excluindo os outliers. Outliers são representados por pontos individuais fora dos "whiskers".

O número médio de urediniósporos de *C. fici* produzidos por lesão (Figura 11) pelo isolado CFM no primeiro experimento foi de 3354,5 e de 704 em *M. nigra* e *F. carica*, respectivamente. No segundo experimento foram produzidos 3466,3 e 44,8 nos mesmos hospedeiros. A esporulação média de CFF × *F. carica* foi de 1920,4 e 2133,6 nos experimentos 1 e 2, respectivamente.

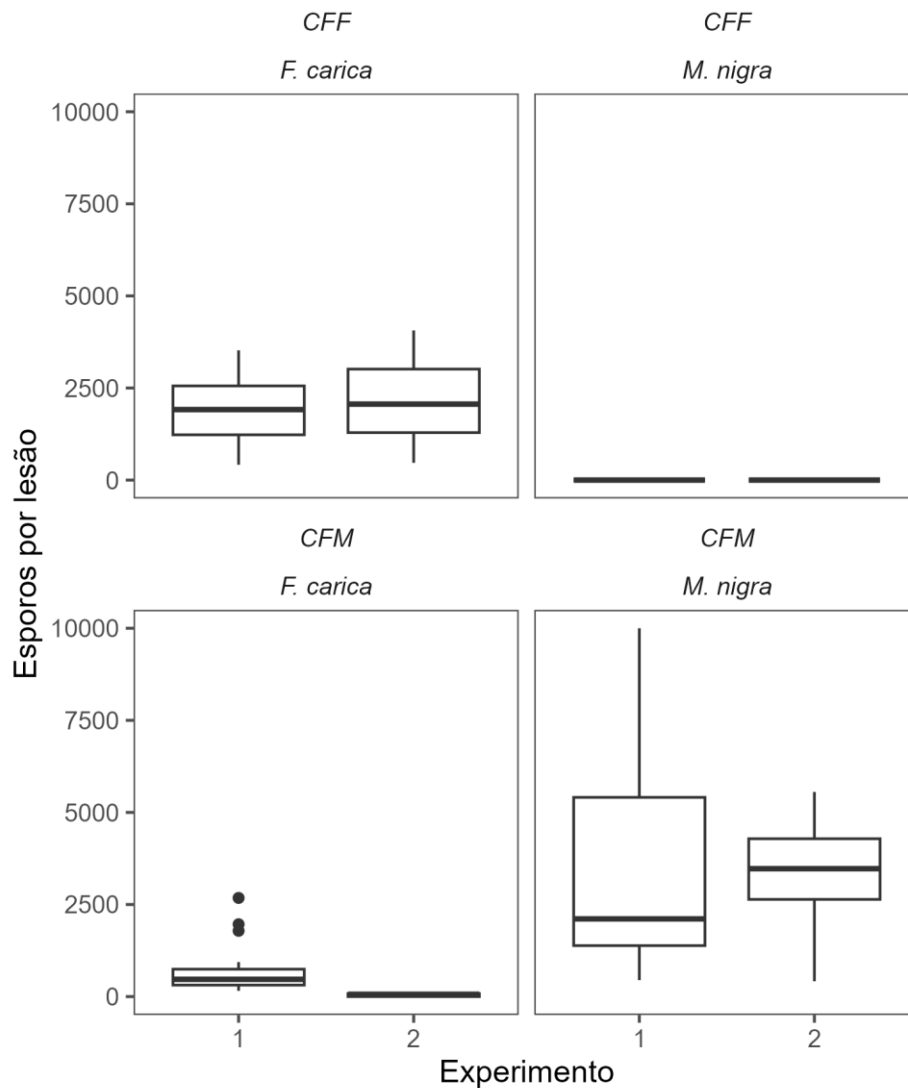


Figura 11. Número total de urediniósporos de *Cerotelium fici* produzidos por pústula resultante das combinações cruzadas de CFF × *F. carica*, CFF × *M. nigra*, CFM × *F. carica* e CFM × *M. nigra*. Cada caixa representa o intervalo interquartil, a linha dentro da caixa é a mediana, e os "whiskers" (linhas verticais) indicam a amplitude dos dados, excluindo os outliers. Outliers são representados por pontos individuais fora dos "whiskers".

5. DISCUSSÃO

O isolado CFM apresentou taxas de germinação consistentemente altas em ambas as plantas, enquanto que o isolado CFF demonstrou preferência marcante por *F. carica*, evidenciada por taxas de germinação e formação de apressórios maiores nesse hospedeiro. Em um trabalho realizado por Yong et al. (2019), a germinação dos urediniósporos de *Austropuccinia psidii* resultou em 76,5 a 100% e 68,0 a 84,9% dos urediniósporos germinados em *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus obliqua*, respectivamente, e mais de 70,0% dos urediniósporos germinados formaram apressórios, valores similares aos obtidos nas combinações CFM × *M. nigra*, CFM × *F. carica* e CFF × *F. carica*.

A reduzida formação de apressórios dos urediniósporos germinados na combinação heteroespecífica de CFF *M. nigra* sugere uma inibição na formação de apressório por parte da planta em sua superfície foliar, possivelmente por haver um mecanismo de defesa da planta já na fase da deposição do patógeno no limbo foliar (WALLING, 2009), diferentemente da combinação heteroespecífica em CFM × *F. carica* que o hospedeiro alternativo apresentou alta suscetibilidade ao patógeno. As plantas possuem mecanismos de defesa pré-haustoriais e pós-haustoriais associados ao não-hospedeiro (YONG et al., 2019). A resistência não-hospedeira é definida como a resistência de todos os genótipos de uma determinada espécie vegetal contra todos os genótipos de uma espécie fúngica para a qual ela não é considerada hospedeira (GOELLNER et al., 2010).

Um caso semelhante à combinação heteroespecíficas CFF × *M. nigra* é apresentado no patossistema *Austropuccinia psidii*, onde dois isolados desse patógeno foram coletados de maçã-rosa e goiabeira para realização de inoculação cruzada e na realização da avaliação de germinação de urediniósporos e formação de apressório dos urediniósporos germinados foi observado altas porcentagens de germinação de urediniósporos em todos os experimentos, no entanto, a porcentagem de formação de apressórios foi menor nas combinações heteroespecíficas (MORALES et al., 2024). É bem conhecido que a formação de apressórios em fungos de ferrugem responde a alterações topográficas e químicas na superfície das folhas (READ et al., 1997). É possível que a superfície da folha da maçã-rosa tenha inibido ou não estimulado a formação de apressórios do isolado de *A. psidii* derivado da goiabeira com a mesma eficiência que o isolado da maçã-rosa, e vice-versa

(MORALES et al., 2024). Algo semelhante a isso pode ter acontecido na combinação CFF × *M. nigra*.

O período de incubação comumente relatado para a ferrugem em amoreiras é de aproximadamente 12 dias, um período longo que se assemelha ao tempo de incubação da ferrugem causada por *C. fici* em amoreira-branca (SRIKANTASWAMY; GUPTA; REKHA, 2006). Em figueira, foi documentado um período de incubação da ferrugem de 6 dias (CZAJA et al., 2021), valor semelhante ao encontrado em plantas de figueira quando inoculadas com os isolados CFM e CFF. Resultados semelhantes a esses foram relatados para a ferrugem da videira, a qual apresenta um período de incubação de 5 a 7 dias em experimentos realizados em ambiente controlado (ANGELOTTI et al., 2014; PRIMIANO; AMORIM, 2020). No entanto, em condições de campo, Naruzawa et al. (2006) observaram os primeiros sintomas de ferrugem em videiras aos 11 dias após a inoculação. A temperatura também desempenha um papel importante na ferrugem asiática da soja, podendo causar variações no período de incubação variando de 6 a 14 dias (PIVONIA; YANG, 2006; DANELLI; REIS, 2016; PRIMIANO; AMORIM, 2020).

Os urediniósporos oriundos das inoculações cruzadas apresentaram similaridade em sua morfometria. Valores semelhantes para comprimento, largura e espessura da parede celular de urediniósporos de *C. fici* foram relatados em combinações co-específicas para *M. nigra* (GONÇALVES et al., 2023) e para *F. carica* (PARTHASARATHY et al., 2020).

A interação entre um patógeno e seu hospedeiro é um fenômeno complexo e multifacetado, que pode variar significativamente dependendo do isolado do patógeno e do hospedeiro em questão. Um exemplo disso é a interação entre o isolado CFM nos hospedeiros *M. nigra* e *F. carica*. Na combinação co-específica CFM × *M. nigra*, as lesões foram pequenas, resultantes da menor capacidade do isolado de colonizar o tecido do hospedeiro quando comparada à combinação heteroespecífica de CFM × *F. carica*. Isso sugere que *M. nigra* apresenta resistência não-hospedeira ao patógeno *C. fici* do que *F. carica*. Em suma, o isolado obtido de *F. carica* apresentou especificidade para a figueira e a figueira se apresentou mais suscetível ao isolado obtido de *M. nigra* do que a própria amoreira.

A especificidade do patógeno em combinações heteroespecíficas é ainda mais evidenciada pela ausência de doença em CFF × *M. nigra* e pela baixa esporulação do isolado CFM em *F. carica*, comparativamente à combinação CFM × *M. nigra*, que

apresentou elevada esporulação. A alta esporulação de CFM × *M. nigra* sugere um mecanismo de sobrevivência do patógeno visto que o crescimento do patógeno no hospedeiro é sempre mais baixo quando comparado com CFF × *F. carica*. O patógeno da ferrugem pode apresentar um pico de produção de esporos quando o crescimento da lesão é limitado (PRIMIANO; AMORIM, 2020).

Um exemplo notável de especificidade em patossistemas é observado no patossistema *A. psidii* × maçã-rosa e *A. psidii* × goiabeira, como citado anteriormente, do qual foi visto que na combinação heteroespecífica, ambos os isolados foram capazes de causar lesões, mas não de produzir esporos (MORALES et al., 2024). A incapacidade do isolado de *A. psidii* da goiabeira de esporular na maçã-rosa, e vice-versa, tem implicações significativas no progresso da ferrugem da murta em campo, pois os hospedeiros alternativos não contribuirão para o aumento do inóculo para o hospedeiro principal (MORALES et al., 2024).

Os valores de crescimento micelial no tecido do hospedeiro nas combinações CFM × *M. nigra* e CFM × *F. carica*, foram semelhantes aos causados na ferrugem da videira. Além disso, o crescimento micelial de CFF × *F. carica* foi comparável ao observado na ferrugem asiática da soja, onde se desenvolveu mais intensamente dentro do tecido do hospedeiro do que na ferrugem da videira (PRIMIANO et al., 2019).

Os sintomas observados em CFF × *F. carica* foram semelhantes aos descritos por (CZAJA et al., 2021). Já os sintomas em CFM × *M. nigra* foram semelhantes aos descritos por Gonçalves et al. (2023). Os sintomas observados em CFM × *F. carica* foram análogos aos sintomas CFF × *F. carica*, fortalecendo, dessa forma, a ideia de que o padrão sintomático da doença depende do hospedeiro.

O alto número de lesões observados em *F. carica*, quando inoculado tanto pelo isolado CFM quanto pelo CFF mostra o quanto esse hospedeiro é suscetível aos dois isolados da espécie *C. ficí*, diferentemente de *M. nigra* que apresentou um número consideravelmente menor de lesões foliares com o isolado CFM. Esse cenário suporta, mais uma vez, a hipótese de que há uma barreira da amoreira ao isolado proveniente dela mesma.

Nos primeiros dias após a inoculação do primeiro experimento com o isolado CFM, proveniente de amoreira, observou-se uma condição de baixa umidade e elevadas temperaturas na casa-de-vegetação. Tal situação possivelmente contribuiu para o surgimento tardio dos sintomas iniciais nos hospedeiros *Morus nigra* e *Ficus*

carica, com período de incubação observado de 19 e 11 dias após a inoculação (DAI), respectivamente. A supressão do desenvolvimento da doença por conta do estresse térmico foi relatada anteriormente em amoreira-branca (SRIKANTASWAMY; GUPTA; REKHA, 2006) e em figueira (CZAJA et al., 2021). Isso pode explicar o baixo número de lesões foliares e, conseqüentemente, a baixa severidade encontrada nesse primeiro experimento. Altas temperaturas e baixa umidade interferem no processo infeccioso de patógenos como *C. fici*, a começar pela germinação do patógeno que depende de alta umidade e condições ideais de temperatura, que gira em torno de 23°C (SALUSTIANO et al., 2006; CZAJA et al., 2021).

Essa interação patógeno-hospedeiro pode explicar o rápido aumento da severidade em *F. carica* inoculada tanto com o isolado CFF quanto com o isolado CFM, levando a uma desfolha precoce devido à alta suscetibilidade, maior número de lesões, maior área da lesão visual e rápida colonização dos tecidos. A desfolha precoce na figueira em decorrência do ataque da ferrugem é relatada também por Mezzalira et al. (2015). Caso similar a esse foi relatado na videira quando acometida pela ferrugem que tem seu processo de senescência das folhas acelerado pela doença (PRIMIANO; AMORIM 2024). A desfolha prematura reduz a capacidade fotossintética das plantas e, conseqüentemente, diminui a produtividade (YONG et al., 2019).

6. CONCLUSÕES

- 1) O isolado proveniente da amoreira (CFM) é capaz de infectar a figueira (*F. carica*);
- 2) O isolado proveniente da figueira (CFF) não é capaz de infectar a amoreira (*M. nigra*), sugerindo possível mecanismo de defesa parcial ou total;
- 3) A figueira é mais suscetível aos dois isolados CFM e CFF comparada à amoreira.

REFERÊNCIAS

- AHLAWAT, T.; PATEL, N. L.; AGNIHOTRI, R.; PATEL, C. R.; TANDEL, Y. Black mulberry (*Morus nigra*). **Underutilized fruit crops: Importance and cultivation**, v. 195, p. 212, 2016.
- ANDERSEN, P. C.; CROCKER, T. E. The Fig. 1994.
- ANGELOTTI, F.; SCAPIN, C. R.; TESSMANN, D. J.; VIDA, J. B.; CANTERI, M. G. The effect of temperature, leaf wetness and light on development of grapevine rust. **Australasian Plant Pathology**, v. 43, p. 9-13, 2014.
- ARTHUR, J. C. Uredinales of Porto Rico Based on Collections by H. H. Whetzel and E. W. Olive, **Mycologia**, v. 9, n. 2, p. 55-104, 1917
- AVASTHI, S.; GAUTAM, A. K.; VERMA, R. K.; RAJESHKUMAR, K. C.; KUMAR, A. Fig rust caused by *Cerotelium fici*: Past, Present and Future. **Chiang Mai Journal of Science**, v. 50, n. 4, 2023.
- BARUAH, J. P.; BORTHAKUR, I. Infectious disease (fungal, bacterial, viral, and nematodal) of mulberry plant and its control measure: a review. **International Journal of Plant and Soil Science**, v. 33, n. 18, p. 110-116, 2021.
- CAETANO, L. C. S.; GUARÇONI, A. M.; LIMA, I. de M.; VENTURA, J. A. Recomendações técnicas para a cultura da figueira. INCAPER. Doc. 203, 38 p. 2013.
- CARNEGIE, A. J.; PEGG, G. S. Lessons from the incursion of myrtle rust in Australia. **Annual review of Phytopathology**, v. 56, n. 1, p. 457-478, 2018.
- CZAJA, E. A. R. “**Monociclo, progresso temporal e estudo sobre o dano da ferrugem da figueira**”. 2014.
- CZAJA, E. A. R., ZEVIANI, W. M., PRIA, M. D., MAY DE MIO, L. L. Monocycle components of fig rust comparing in vivo and ex vivo methodology. **European Journal of Plant Pathology**, v. 160, n. 4, p. 813-823, 2021.
- DANELLI, A. L. D.; REIS, E. M. Quantification of incubation, latent and infection periods of *Phakopsora pachyrhizi* in soybean, according to chronological time and degree-days. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 1, p. 11-17, 2016.
- ERCISLI, S.; ORHAN, E. Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. **Food chemistry**, v. 103, n. 4, p. 1380-1384, 2007.
- FANG, L. J.; QIN, R. L.; LIU, Z.; LIU, C. R.; GAI, Y. P.; JI, X. L. Expression and functional analysis of a PR-1 Gene, MuPR1, involved in disease resistance response in mulberry (*Morus multicaulis*). **Journal of plant interactions**, v. 14, n. 1, p. 376-385, 2019.

GALLETI, S. R.; REZENDE, J. A. M. Doenças da figueira. In L. Amorim; Rezende, J. A. M.; Bergamin Filho, A. (Ed) **Manual de Fitopatologia: Doenças em plantas cultivadas**. 5^a ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2016, p. 397-400.

GODOY, C.V.; SEIXAS, C.D.S.; SOARES, R.M.; MARCELINO-GUIMARÃES, F.C.; MEYER, M.C.; COSTAMILAN, L.M. Asian soybean rust in Brazil: past, present, and future. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 5, p. 407-421, 2016.

GOELLNER, K.; LOEHRER, M.; LANGENBACH, C.; CONRATH, U. W. E.; KOCH, E.; SCHAFFRATH, U. *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of Asian soybean rust. **Molecular plant pathology**, v. 11, n. 2, p. 169-177, 2010.

GONÇALVES, M. P.; SIMÕES, A. L. T.; BOUFLEUR, T. R.; SANTOS, R. F.; BARONCELLI, R.; AMORIM, L. First Report of Mulberry Rust Caused by *Cerotelium fici* on *Morus nigra* in Brazil. **Plant Disease**, v. 107, n. 7, p. 2259, 2023.

GUPTA V. P., KUMAR, V., RAJAN, R. K., DANDIN, S. B. V. P. Ultrastructure of ingress, infection and sporulation of various pathogens causing foliar diseases in mulberry-an appraisal. **Revue des Vers a Soie Journal of Silkworms**, p. 377, 2005.

GUPTA, V. P.; TEWARI, S. K.; DATTA, R. K. Surface ultrastructure of the uredinial stage of *Cerotelium fici* and its infection process on mulberry. **Mycopathologia**, v. 128, p. 99-104, 1994.

HUSEYIN, E.; SELCUK, F. Observations on the genera *Cerotelium*, *Melampsorium* and *Pileolaria* (Uredinales) in Turkey. **Pakistan Journal of Botany**, v. 36, n. 1, p. 203-208, 2004.

IBGE/SIDRA (2022) Sistema IBGE de Recuperação Automática-SIDRA. Disponível em: < <http://www.cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/pesquisa/15/0>>. Acessado em: 17 de Junho de 2022.

KELLY, H. Y.; DUFAULT, N. S.; WALKER, D. R.; ISARD, S. A.; SCHNEIDER, R. W.; GIESLER, L. J.; WRIGHT, D. L.; MAROIS, J. J.; HARTMAN, G. L. From select agent to an established pathogen: the response to *Phakopsora pachyrhizi* (soybean rust) in North America. **Phytopathology**, v. 105, n. 7, p. 905-916, 2015.

KOLMER, J. A.; ORDONEZ, M. E.; GROTH, J. V. The rust fungi. **eLS**, 2009.

LEONEL, S. A figueira. **Revista brasileira de fruticultura**, v. 30, 2008.

LEONEL, S.; TECCHIO, M. A. Épocas de poda e uso da irrigação em figueira 'Roxo de Valinhos' na região de Botucatu, SP. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 571-580, 2010.

LORENZETTI, E.R. DOENÇAS DA FIGUEIRA. In: LEONEL, S.; SAMPAIO, A. C. (ed). **A figueira**. 395 p., 2011.

MANJUNATH, K. K.; HARSHITHA, B. S.; ANUSHA, N. M.; BHARGAVI, H. A. Breeding for mulberry improvement: A review. **The Pharma Innovation Journal**, v.12, n. 2, p. 477-481, 2023.

MEDEIROS A. R. M. Figueira (*Ficus carica* L.) do plantio ao processamento caseiro. Circular Técnica. Pelotas, Embrapa Clima Temperado. 16p. 2002.

MEZZALIRA, E. J.; PIVA, A. L.; NAVA, G. A.; PAULUS, D.; SANTIN, A. Controle da ferrugem e da broca-dos-ramos da figueira com diferentes fungicidas e inseticidas. **Revista Ceres**, v. 62, n. 1, p. 44-51, 2015.

MORALES, J. V.; BOUFLEUR, T. R.; GONÇALVES, M. P.; PARISI, M. C.; LOEHRER, M.; SCHAFFRATH, U.; AMORIM, L. Differential aggressiveness of *Austropuccinia psidii* isolates from guava and rose apple upon cross-inoculation. **Plant Pathology**, v. 73, n. 4, p. 915-923, 2024.

MUNHOZ, R. E. F.; MENDES, T. A.; REGINATO, E. T.; NETO, G. G.; DAVIES, T. R.; BRAVO, J. P.; FERNANDEZ, M. A. A influência de cultivares de amoreiras adubadas sobre características biológicas e produtivas do bicho-da-seda (*Bombyx mori* L.). Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR, v. 12, n. 2, 2009.

NAHIDUZZAMAN, M.; CHOWDHURY, M. E.; SALAM, A.; NAHID, E.; AHMED, F.; AL-EMADI, N.; AYARI, M. A.; KHANDAKAR, A.; HAIDER, J. Explainable deep learning model for automatic mulberry leaf disease classification. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1175515, 2023.

NAIK, V. N.; SHARMA, D.; MALA, V.; REKHA, M.; GUPTA, V. Prediction of leaf rust disease in mulberry for timely management. **Sericologia**, v. 48, n. 2, p. 195-206, 2008.

NARUZAWA, E. S.; CELOTO, M. I.; PAPA, M. F.; TOMQUELSKI, G. V.; BOLIANI, A. C. Estudos epidemiológicos e controle químico de *Phakopsora euvitis*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, p. 41-45, 2006.

NASCIMENTO, J. F. D.; VIDA, J. B.; TESSMANN, D. J.; ZAMBOLIM, L.; VIEIRA, R. A.; OLIVEIRA, R. R. D. Progresso da ferrugem asiática da soja e dos urediniósporos aéreos de *Phakopsora pachyrhizi* no sul do Brasil. **Suma fitopatológica**, v. 38, n. 1, p. 280-287, 2012.

OLIVEIRA, T. N. F. L.; COSTA, C. C.; ESTEVAM, D. D. P.; MEDEIROS, I. A. D. A.; LIMA, E. C. D. S.; SANTOS, V. M.; OLIVEIRA, H. M. B. F. *Morus nigra* L.: revisão sistematizada das propriedades botânicas, fitoquímicas e farmacológicas. **Archives of Health Investigation**, v. 7, n. 10, p. 450-454, 2018.

ÖZGEN, M.; SERÇE, S.; KAYA, C. Phytochemical and antioxidant properties of anthocyanin-rich *Morus nigra* and *Morus rubra* fruits. **Scientia horticultrae**, v. 119, n. 3, p. 275-279, 2009.

PADILHA, M. M.; MOREIRA, L. Q.; MORAIS, F. F.; ARAÚJO, T.; ALVES S. G. Estudo farmacobotânico das folhas de amoreira-preta, *Morus nigra* L., Moraceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 4, p. 621-626, 2010.

PARTHASARATHY, S.; THIRIBHUVANAMALA, G.; RAMALINGAM, K.; JEBARAJ, M. D.; PRABAKAR, K. Incidence and ultramicroscopic characterization of *Cerotelium fici* (castagne) rust in *Ficus carica* L. **Journal of Applied Horticulture**, v. 22, n. 1, p. 24-26, 2020.

PAWLOWSKA, A. M.; OLESZEK, W.; BRACA, A. Quali-quantitative analyses of flavonoids of *Morus nigra* L. and *Morus alba* L. (*Moraceae*) fruits. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 56, n. 9, p. 3377-3380, 2008.

PIO R.; OLIVEIRA A. C. L.; PASQUAL M.; PIO L. A. S.; CURI P. N.; BISI R. B. Protocol for flow cytometric estimation of nuclear DNA amount in fig (*Ficus carica* L.) cultivars. **Acta Horticulturae**, v. 1, p. 99-104, 2017.

PIO R.; SOUZA F. B. M.; KALCSITS L.; BISI R. B.; FARIAS D. H. Advances in the production of temperate fruits in the tropics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 41, p.1-10. 2019.

PIO, R.; CHAGAS, E. A. Variedades de figueira. **A figueira**, p. 93-110, 2011.

PIVONIA, S.; YANG, X. B. elating epidemic progress from a general disease model to seasonal appearance time of rusts in the United States: Implications for soybean rust. **Phytopathology**, v. 96, n. 4, p. 400-407, 2006.

POOJASHREE, K.; ARUNAKUMAR, G. S.; GNANESH, B. N. In vitro evaluation of novel fungicide molecules against *Cerotelium fici* cast.(arth.) causing black leaf rust of mulberry. **Sericologia**, v. 61, n. 34, p. 19-22, 2021.

PRIMIANO, I. V.; AMORIM, L. Comparative study on the monocycle of *Phakopsora meliosmae-myrianthae* and *Phakopsora pachyrhizi*. **European journal of plant pathology**, v. 157, n. 1, p. 151-162, 2020.

PRIMIANO, I. V.; AMORIM, L. Soybean and grapevine rusts accelerate the defoliation rates of host plants. **Plant Pathology**, v. 73, n. 3, p. 657-665, 2024.

PRIMIANO, I. V.; LOEHRER, M.; AMORIM, L.; SCHAFFRATH, U. Asian grapevine leaf rust caused by *Phakopsora euvitis*: an important disease in Brazil. **Plant Pathology**, v. 66, n. 5, p. 691-701, 2017.

PRIMIANO, I. V.; LOEHRER, M.; SCHAFFRATH, U.; AMORIM, L. Formation of satellite uredinia as an important trait related to grapevine colonization by *Phakopsora meliosmae-myrianthae*. **Plant pathology**, v. 68, n. 9, p. 1732-1740, 2019.

READ, N. D.; KELLOCK, L. J.; COLLINS, T. J.; GUNDLACH, A. M. Role of topography sensing for infection-structure differentiation in cereal rust fungi. **Planta**, v. 202, p. 163-170, 1997.

ROHELA, G. K.; SHUKLA, P.; KUMAR, R.; CHOWDHURY, S. Mulberry (*Morus spp.*): An ideal plant for sustainable development. **Trees, Forests and People**, v. 2, p. 100011, 2020.

SALUSTIANO, M. E.; FERRAZ FILHO, A. C.; POZZA, E. A.; CASTRO, H. A. Extratos de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish) na inibição in vitro de *Cylindrocladium scoparium* e de quatro espécies de ferrugens. **Cerne**, v. 12, n. 2, p. 189-193, 2006

Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná - Departamento de Economia Rural (SEAB/DERAL). Prognóstico agropecuário: Sericicultura. Relatório Anual. 2021. Disponível em: https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2022-01/vol_13_n_40_2021_prognostico_agropecuaria_sericultura.pdf, Acessado em : 17 de Outubro de 2023, às 10:52h.

SIKORA, E. J.; ALLEN, T. W.; WISE, K. A. A coordinated effort to manage soybean rust in North America: A success story in soybean disease monitoring. **Plant disease**, v. 98, n. 7, p. 864-875, 2014.

SILVA, G. C. B. M.; PIO, R.; PEREIRA, R. C. M.; PECHE, P. M.; POZZA, E. A. Development and validation of a severity scale for assessment of fig rust. **Phytopathologia Mediterranea**, v. 58, n. 3, p. 597-606, 2019.

SOUZA, J. M. A.; LEONEL, S.; LEONEL, M.; GARCIA, E. L.; RIBEIRO, L. R.; FERREIRA, R. B.; MARTINS, R.C.; SILVA, M de S.; MONTEIRO, L. N. H.; DUARTE, A. S. Calcium nutrition in fig orchards enhance fruit quality at harvest and storage. **Horticulturae**, v. 9, n. 1, p. 123, 2023.

SRIKANTASWAMY, K.; GUPTA, V. P.; REKHA, M. Influence of some factors on the epidemiology of leaf rust (*Cerotelium fici*) disease in mulberry (*Morus alba* L.). **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 39, n. 2, p. 129-140, 2006.

VIJAYAN, K.; CHAKRABORTI, S. P.; GHOSH, P. D. Screening of mulberry (*Morus spp.*) for salinity tolerance through in vitro seed germination. **Indian Journal of Biotechnology**, v. 3, p. 47-51, 2004.

WALLING, L. L. Adaptive defense responses to pathogens and insects. **Advances in botanical research**, v. 51, p.551-612, 2009.

WANG, H.; YANGE, X. B.; MA, Z. Long-distance spore transport of wheat stripe rust pathogen from Sichuan, Yunnan, and Guizhou in southwestern China. **Plant disease**, v. 94, ed. 7, p. 873-880, 2010.

WINZER, L. F.; CARNEGIE, A. J.; PEGG, G. S.; LEISHMAN, M. R. Impacts of the invasive fungus *Austropuccinia psidii* (myrtle rust) on three Australian Myrtaceae species of coastal swamp woodland. **Austral Ecology**, v. 43, n. 1, p. 56-68, 2018.

WU, X. X.; LIN, Q. J.; NI, X. Y.; SUN, Q.; CHEN, R. Z.; XU, X. F.; QIU, Y. C.; LI, T. Y. W. U. Characterization of wheat monogenic lines with known Sr genes and wheat lines with resistance to the Ug99 race group for resistance to prevalent races of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in China. **Plant Disease**, v. 104, n. 7, p. 1939-1943, 2020.

YAMAOKA, Y. Recent outbreaks of rust diseases and the importance of basic biological research for controlling rusts. **Journal of general plant pathology**, v. 80, p. 375-388, 2014.

YONG, W. T. L.; ADES, P. K.; TIBBITS, J. F. G.; BOSSINGER, G., RUNA, F. A.; SANDHU, K. S.; TAYLOR, P. W. J. Disease cycle of *Austropuccinia psidii* on *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus obliqua* leaves of different rust response phenotypes. **Plant Pathology**, v. 68, n. 3, p. 547-556, 2019.

ZEREGA, N. J.; CLEMENT, W. L.; DATWYLER, S. L.; WEIBLEN, G. D. Biogeography and divergence times in the mulberry family (*Moraceae*). **Molecular phylogenetics and evolution**, v. 37, n. 2, p. 402-416, 2005.

APÊNDICES

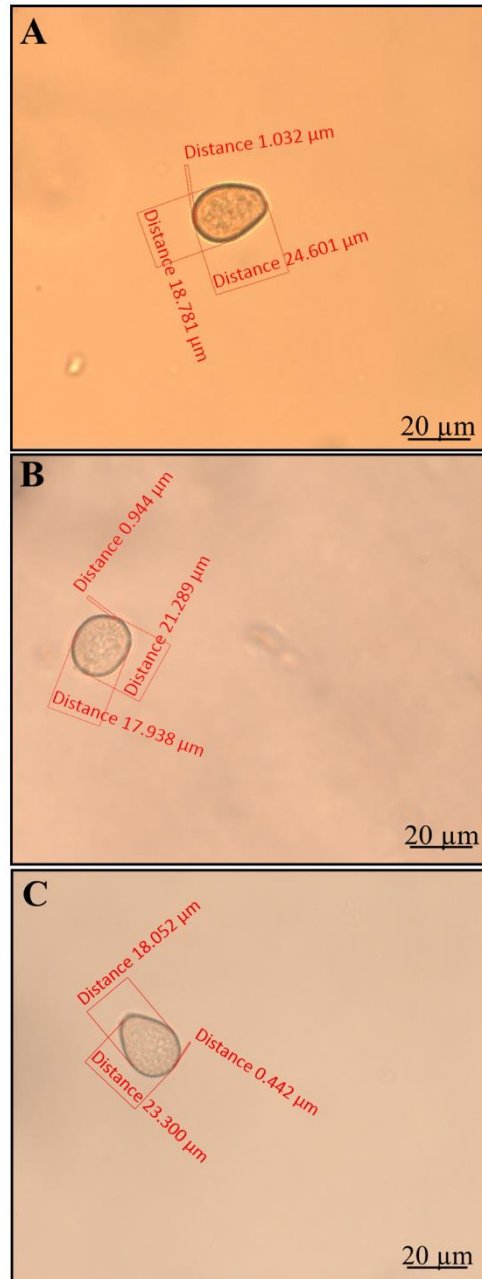


Figura 12. Medidas morfométricas de urediniósporos oriundo das combinações cruzadas CFM *M. nigra* (A), CFM *F. carica* (B) e CFF *F. carica* (C).