



KLS

Fitopatologia Geral

Fitopatologia Geral



Bruna Canabarro Pozzebon

© 2019 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente

Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação e de Educação Básica

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Ana Lucia Jankovic Barduchi

Danielly Nunes Andrade Noé

Grasiele Aparecida Lourenço

Isabel Cristina Chagas Barbin

Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Isabella Alice Gotti

Ruy Flávio de Oliveira

Editorial

Elmir Carvalho da Silva (Coordenador)

Renata Jéssica Galdino (Coordenadora)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Pozzebon, Bruna Canabarro

P893f Fitopatologia geral / Bruna Canabarro Pozzebon. –
Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019.
200 p.

ISBN 978-85-522-1397-0

1. Doenças. 2. Plantas. 3. Microrganismos. 4. Patógenos.
I. Pozzebon, Bruna Canabarro. II. Título.

CDD 580

Thamiris Mantovani CRB-8/9491

2019

Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza

CEP: 86041-100 — Londrina — PR

e-mail: editora.educacional@kroton.com.br

Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

Sumário

Unidade 1

Introdução à Fitopatologia Geral	7
Seção 1.1	
Histórico da fitopatologia	9
Seção 1.2	
Doenças em plantas.....	24
Seção 1.3	
Doenças e fitopatógenos.....	38

Unidade 2

Agentes causais de doenças de plantas	53
Seção 2.1	
Fungos e bactérias fitopatogênicas	55
Seção 2.2	
Vírus e nematóides fitopatogênicos.....	69
Seção 2.3	
Chromistas, protozoários, fitoplasmas e espiroplasmas, e fitomonas fitopatogênicos	83

Unidade 3

Interação fitopatógeno-hospedeiro.....	99
Seção 3.1	
Mecanismos de ataque de patógenos e interferências nas funções da planta	101
Seção 3.2	
Mecanismos de resistência da planta hospedeira contra patógenos	116
Seção 3.3	
Diagnose de doenças em plantas.....	130

Unidade 4

Controle de doenças de plantas	147
Seção 4.1	
Princípios gerais de controle de doenças.....	149
Seção 4.2	
Controle de doenças: químico e genético.....	164
Seção 4.3	
Controle de doenças: cultural, físico e biológico.....	180

Palavras do autor

Prezado aluno, vamos agora iniciar os estudos em Fitopatologia Geral.

A partir desse momento, você passará a conhecer a disciplina de Fitopatologia, muito importante dentro da Agronomia, por tratar do estudo das doenças de plantas que, quando não são manejadas adequadamente na lavoura, causam danos e perdas expressivas para a produção. Assim, essa disciplina será fundamental para sua futura atuação profissional como engenheiro agrônomo.

Ao correr as páginas deste livro, você vai conhecer, como competências gerais da disciplina, um pouquinho da história do surgimento da Fitopatologia, com o objetivo de entender a importância de seu estudo na área agrícola, os fatores que levam ao surgimento de uma doença no campo, bem como saber diferenciar os agentes causais de doenças de plantas, conhecer as formas como eles interagem com o hospedeiro e como manejá-los para evitar perdas de produtividade e aumento dos custos de produção nas culturas agrícolas.

Na Unidade 1, estudaremos a história da Fitopatologia, as doenças em plantas e os fitopatógenos. Na Unidade 2, abordaremos as características dos agentes causais de doenças em plantas de interesse agrônomo, como fungos, bactérias, vírus, nematoides, chromistas, protozoários, fitoplasmas, espiroplasmas e fitomonas. Na Unidade 3, entenderemos como os patógenos atacam as plantas, como as plantas se defendem dos patógenos e como é feita a diagnose de doenças de plantas. Por fim, na Unidade 4, estudaremos os princípios gerais de controle de doenças de plantas, com ênfase nos controles químico, genético, cultural, físico e biológico, além de uma breve abordagem sobre o manejo integrado de doenças de plantas.

Em cada aula você resolverá uma situação-problema, um cenário passível de ocorrer no seu dia a dia como profissional. O autoestudo o ajudará a resolver, de maneira prática e rápida, problemas que possam surgir em sua rotina. Ao final desta disciplina, você será capaz de conhecer a dinâmica da relação entre a doença, a planta hospedeira e o ambiente, de diferenciar os agentes causais e diagnosticar uma doença no campo, bem como proceder ao manejo adequado dela.

Vamos começar? Bons estudos!

Unidade 1

Introdução à Fitopatologia Geral

Convite ao estudo

A Fitopatologia é uma palavra que deriva do grego, em que *phyton* significa planta, *pathos* significa doença e *logos* significa estudo, sendo definida como a ciência que estuda as doenças de plantas em todos os seus sentidos, desde a diagnose e sintomatologia, até a etiologia e epidemiologia e, finalmente, o manejo para evitar as perdas de produtividade em uma cultura de interesse agrícola (BERGAMIN FILHO; KITAJIMA, 2011).

Nesta primeira unidade, vamos estudar e conhecer a história da Fitopatologia, abordando o seu surgimento como ciência e o início da descoberta da interação entre patógenos e plantas. Também será estudado o ciclo das relações patógeno-hospedeiro, que permitirá entender desde o desenvolvimento até a disseminação de uma doença no campo. Você também aprenderá nesta unidade sobre epidemiologia e sintomatologia das doenças de plantas, bem como algumas características do hospedeiro, como os tipos de resistência da planta ao ataque do patógeno. Finalizaremos destacando e entendendo a importância dos efeitos ambientais sobre o hospedeiro, o patógeno e sua influência no controle de doenças.

Com isso, as competências desta primeira unidade são aprender os conceitos básicos em Fitopatologia, entendendo os fatores que levam ao desenvolvimento de uma doença, e compreender a importância do estudo de doenças de plantas para a agricultura. Ao final desta unidade de ensino, você será capaz de reconhecer uma doença de planta no campo, por meio da observação da presença de sintomas e sinais do patógeno.

Você, engenheiro agrônomo, foi contratado para ser o responsável técnico de um plantio comercial de café para exportação, no interior de Minas Gerais. Trata-se de uma lavoura com plantio da cultivar IAC 376-4 do grupo Mundo Novo, que apresenta como características ótimo aspecto vegetativo e elevada produção de café beneficiado, podendo chegar a 60 sacas/ha em cultivos irrigados. Contudo, a produção nessa lavoura apresentou redução drástica no último ano. O seu desafio será identificar a causa primária dessa queda na produtividade, a partir das condições de cultivo e dos sintomas apresentados pela planta. Você saberia dizer como os conhecimentos sobre a história da Fitopatologia poderão ajudá-lo em situações como esta no dia a dia no campo? Observando a doença no campo, você saberia dizer como estão se

desenvolvendo os ciclos primário e secundário dessa doença? Levando em consideração o quadro sintomatológico da doença no campo, você saberia diferenciar os sintomas da doença dos sinais do patógeno? Ou saberia então dizer como os fatores ambientais estão contribuindo para o desenvolvimento da doença no campo?

Em cada seção desta unidade você acompanhará os problemas nesse plantio de café para exportação e conseguirá entender e resolver as situações-problema com os conhecimentos da Fitopatologia Geral.

Vamos começar? Bons estudos!

Histórico da fitopatologia

Diálogo aberto

Caro aluno, vamos estudar a partir de agora alguns conceitos básicos da Fitopatologia Geral, que permitirão conhecer e entender os fundamentos dessa ciência em nosso dia a dia como Engenheiro Agrônomo. Ao longo de sua carreira como profissional da agronomia, você vai se deparar com diversas situações que exigirão seu conhecimento sobre a manifestação de doenças no campo, ou mesmo em cultivo protegido; sobre as características de fitopatógenos, como virulência e formas de reprodução e sobrevivência; sobre as condições ambientais que predisõem o hospedeiro à infecção por patógenos e, principalmente, sobre como proceder a um manejo eficiente de uma doença, de forma que o benefício adquirido seja maior que os custos resultantes do controle de doenças em um campo de produção. Dessa forma, para iniciarmos a Seção 1.1, que abordará a história da Fitopatologia, vamos retomar o cenário profissional do cultivo de café.

Você, engenheiro agrônomo, foi contratado para ser o responsável técnico de um plantio comercial de café para exportação, no interior de Minas Gerais. Trata-se de uma lavoura com plantio da cultivar IAC 376-4 do grupo Mundo Novo, que apresenta as características de ótimo aspecto vegetativo e elevada produção de café beneficiado, podendo chegar a 60 sacas/ha em cultivos irrigados. Contudo, a produção nessa lavoura apresentou redução drástica no último ano. Caminhando pela lavoura cafeeira com o produtor, você notou que os sintomas nas plantas de café apresentavam-se, principalmente, na face abaxial da folha, de onde surgiam manchas, de coloração amarelo-pálida, que evoluíam para a coloração amarelo-laranja, com aspecto pulverulento. Já os sintomas que surgiam na face adaxial se caracterizavam pelo aparecimento de manchas cloróticas amareladas, sempre correspondendo ao tamanho e à mesma região da lesão da face abaxial.

Com o seu conhecimento sobre a importância das doenças de plantas, você observou que as folhas precocemente caídas e com lesões, quando tocadas, soltavam um pó amarelo nas mãos. Além disso, você recorda que nas semanas anteriores houve chuvas intensas aliadas a altas temperaturas e percebe que o local de implantação da lavoura é sujeito a fortes correntes de ventos. Observou, ainda, que a área do vizinho também é cultivada com café, mas em nenhuma das duas existe quebra-ventos. Apesar disso, o produtor relata ter feito aplicações preventivas com fungicidas, visando justamente evitar o desenvolvimento de doenças na lavoura. Com base nessas análises,

you diz assertivamente ao produtor que se trata da ferrugem do cafeeiro, uma doença ocasionada por um fungo, *Hemileia vastatrix*. O produtor, surpreso, questiona como voce constatou que se tratava de uma doença, sem antes se perguntar se os sintomas exibidos pelas plantas não poderiam ser uma injúria ou deficiência nutricional, já que ele havia feito aplicaes preventivas com fungicidas para evitar a presença e o desenvolvimento de patógenos na cultura. Existe algum fato histórico que o ajudou a chegar a esse diagnóstico? Considerando que o produtor adotou medidas de controle preventivas (aplicao de fungicidas), o dano que a doença está ocasionando  lavoura do produtor  real ou potencial? Como você explicaria suas conclusões ao produtor?

Os contudos que serão a partir de agora abordados na presente seo o farão entender a importância da Fitopatologia na Agronomia e vão ajudá-lo a resolver a situao-problema enfrentada pelo produtor que o contratou como responsável técnico da lavoura cafeeira.

Não pode faltar

Vamos iniciar os estudos em Fitopatologia.

Inicialmente, as causas das doenças de plantas eram sempre místicas, normalmente castigo de deuses enviado  Terra para punir os homens. Essa era uma das principais crenças dos romanos: de que a ferrugem que atacava as plantaes de trigo era castigo de um casal de deuses, Robigo e Robigus, e que eram castigados devido  morte cruel, em tempos antigos, de uma raposa vermelha por seus antepassados. Então, na tentativa de minimizar esse castigo, os romanos criaram uma cerimnia religiosa, chamada Robiglia, que envolvia o sacrifício de cães e vacas de colorao avermelhada (BERGAMIN FILHO; KITAJIMA, 2011).

Como ciência propriamente dita, o ramo da Fitopatologia  relativamente recente, embora doenças de plantas sejam relatadas desde que o homem passou a viver em sociedade. Essa ciência teve seu início da mesma forma que todas as outras, visando unir e organizar os conhecimentos práticos e teóricos de problemas cotidianos enfrentados no campo, e se tornou fundamental, por tratar de assuntos relacionados ao manejo de patógenos, na tentativa de reduzir as perdas ocasionadas por esses microrganismos na lavoura, evitar a fome e, conseqentemente, os problemas sociais e econmicos.

De acordo com Bergamin Filho e Kitajima (2011), os primeiros passos para o nascimento da Fitopatologia ocorreram com Anton de Bary que,

em 1853, descobriu que a requeima da batata era causada pelo fungo *Phytophthora infestans*. Essa epidemia dizimou as plantações do tubérculo na Irlanda e em outros países do norte europeu no século XIX, gerando enormes impactos sociais e econômicos, instaurando a fome e mais de duas milhões de mortes no país. Porém, para muitos historiadores, foi Julius Kühn, o pai da Fitopatologia moderna, que publicou o primeiro livro texto *Die Krankheiten der Kulturgewächse; ihre Ursachen und ihre Verhütung*, traduzido para *Doenças das plantas cultivadas; causas e controle*, publicado em Berlin em 1858.

A história do desenvolvimento da Fitopatologia geralmente é contada em fases, que progridem de acordo com o desenvolvimento da agricultura e dos conhecimentos do homem acerca das condições necessárias para o desenvolvimento de uma doença: o patógeno, o hospedeiro e as condições ambientais. Essa divisão, adotada por Galli e Carvalho (1978) e Bergamin Filho e Kitajima (2011), considera a relação de causa-efeito sobre as doenças e divide os períodos históricos em místico, da predisposição, etiológico, ecológico e atual.

O **período místico** aconteceu entre a mais remota antiguidade e o início do século XIX. Foi assim chamado porque, na ausência de uma explicação racional para o desenvolvimento de doenças nos campos de produção, o homem as atribuía a causas sobrenaturais, como castigos divinos de deuses irados por suas más ações (GALLI; CARVALHO, 1978). No final desse período, algumas doenças já eram descritas de acordo com os sintomas que as plantas exibiam. Alguns micologistas passaram também a associar plantas doentes a fungos: Mathieu Tillet, em 1755, provou que a cárie do trigo, também chamada de carvão do trigo, era causada por um fungo, e Giovanni Targioni Tozzetti, em 1767, acreditava que ferrugens e carvões eram causados por fungos que se desenvolviam embaixo da epiderme das plantas doentes. Todavia, a teoria da geração espontânea e perpetuação das espécies prevalecia com a ocorrência de patógenos associados a plantas doentes atribuídos à geração espontânea, e as doenças descritas com base em sintomas e classificadas pelo sistema binomial de Lineu (BERGAMIN FILHO; KITAJIMA, 2011).

Já o **período da predisposição** iniciou-se no começo do século XIX, após o final do período místico e quando já estava claro que existia uma associação entre patógenos fúngicos e plantas doentes. Nessa época, Isaac-Bénédict Prévost descobriu que a causa do carvão do trigo, era o fungo *Tilletia tritici*, confirmando as afirmações de Tillet, de 1755. Contudo, essa descoberta era uma exceção, prevalecendo ainda a teoria da geração espontânea para as demais doenças. Na mesma época, o alemão Franz

Unger sugeriu a teoria de que as doenças resultavam de distúrbios funcionais causadas por desordens nutricionais e, como consequência, predispunham os tecidos da planta a produzir fungos, até então considerados apenas excrescências que se desenvolviam por geração espontânea. Essa teoria, apesar de falha no que se referia aos fungos, já passou a relacionar os fatores ambientais a doenças. Foi ainda nesse período que explodiu a requeima da batata na Europa, e Anton de Bary, em 1845, provou que a doença era causada por um fungo, *Phytophthora infestans*. O alemão também esclareceu o ciclo de vida de *Puccinia graminis*, agente causal da ferrugem do trigo, que até então era atribuída ao castigo divino.

O **período etiológico** teve início com os trabalhos de Julius Kühn e Anton de Bary, porém foi Louis Pasteur quem derrubou a teoria da geração espontânea em 1860, comprovando a etiologia bacteriana de doenças em homens e animais. Robert Koch escreveu os enunciados de seus postulados, possibilitando entender a associação entre patógenos e plantas. Nesse período foram descritas a maioria das doenças de plantas de origem fúngica, bacteriana e virótica, sendo também descoberto o primeiro fungicida para o controle de doenças: a calda bordalesa.

No **período ecológico**, após a catalogação em massa das principais doenças de plantas e seus agentes causais, surgiu o período ecológico, que reconheceu o meio ambiente como aspecto fundamental na indução de doenças em plantas que, finalmente, passaram a ser vistas como resultado da interação entre a planta, o ambiente e o patógeno. Vários estudos sobre a resistência e a predisposição dos hospedeiros a patógenos e sobre genética e melhoramento de plantas surgiram nessa época, evidenciando os primeiros relatos sobre variabilidade de patógenos, raças fisiológicas, variedades e biótipos. Surgiram nesse período também os primeiros fungicidas mercuriais orgânicos para o tratamento de sementes (1913) e os fungicidas orgânicos do grupo dos tiocarbamatos (1934).

Por fim, o **período atual** iniciou-se nas décadas de 40 e 50, com estudos básicos sobre a fisiologia de fungos e de plantas e sobre o progresso da doença, enzimas e toxinas, mostrando novas perspectivas para a Fitopatologia como ciência. Surgiram também, em 1950, duas novas abordagens, que perduram e coexistem juntas até hoje: a **fisiológica**, em que as doenças passam a ser encaradas com base nas relações fisiológicas e dinâmicas, entre a planta e o patógeno, e a **abordagem epidemiológica**, que mostra o desenvolvimento da doença no campo. Nos últimos anos, a biotecnologia vem crescendo cada vez mais em nossa área, e tudo indica que um período biotecnológico dentro da Fitopatologia já está se desenvolvendo.



Assimile

Lembre-se: a história da Fitopatologia é contada em cinco períodos básicos:

Período místico: as doenças eram atribuídas ao castigo divino dos deuses.

Período da predisposição: acreditava-se que as doenças se desenvolviam por geração espontânea.

Período etiológico: a doença passou a ter uma etiologia, ou seja, uma causa, como fungos, bactérias, vírus e nematoides.

Período ecológico: descobriu-se que as doenças eram resultantes da interação entre o patógeno, o hospedeiro e o ambiente.

Período atual: abordagem fisiológica e epidemiológica da doença.

O surgimento da Fitopatologia resultou, em grande parte, de eventos catastróficos que se desenvolveram na agricultura ao longo dos anos, como a epidemia da requeima da batata, que gerou fome, morte e imigração na Irlanda entre 1845 e 1846. A batata (*Solanum tuberosum*) era a base da alimentação da maioria dos países Europeus, pois apresentava alta produtividade, boa adaptação e alto valor nutritivo. Como as condições financeiras da época eram precárias, quanto mais rural e mais pobre a área, mais se consumia batata, que compunha o cardápio desde o café da manhã, até a janta, período em que um trabalhador irlandês chegava a consumir de 4 a 8 kg de batatas por dia. Tudo corria bem, até em meados de junho de 1845 uma doença altamente destrutiva, hoje conhecida como requeima (*Phytophthora infestans*), atacar as plantações de batata. Primeiramente, a doença foi constatada na Bélgica, depois na Holanda, na França, na Inglaterra e, por fim, na Irlanda, com perdas de 25% da produção, mas que não eram nem a metade da catástrofe que estava por vir. Em 1846, enquanto cientistas discutiam se o fungo encontrado nas plantas doentes era a causa ou a consequência do problema, na Irlanda, o patógeno foi observado sobre as plantações de batata dois meses mais cedo do que em 1845. Atacando plantas mais jovens em um clima favorável, o patógeno praticamente dizimou as plantações, com perdas de 80% da produção. Sem o alimento base da alimentação da época, houve em torno de dois milhões de mortos e um milhão de emigrantes.



Refleta

Você consegue imaginar as consequências que a requeima da batata nos anos de 1845 e 1846 trouxe para os irlandeses? William Edward Forster foi uma testemunha da tragédia, relatando mais ou menos o seguinte: As pessoas eram como esqueletos ambulantes, os homens revelavam em seus rostos e corpos a fome, crianças choravam de dor e as mulheres mal conseguiam se manter em pé (KLINKOWSKI, 1970).

Da mesma forma que os irlandeses dependiam da batata para sua alimentação, os habitantes de Bengala (hoje dividida em Índia e Bangladesh) dependiam do arroz. Em 1942, enquanto a guerra atingia seu apogeu na Ásia, os habitantes de Bengala viam suas plantações de arroz serem dizimadas pela ocorrência de um fungo, o *Helminthosporium oryzae*, hoje, *Cochliobolus miyabeanus*. As condições ambientais eram favoráveis ao desenvolvimento da doença, como chuvas e tempo encoberto e, com isso, a fome também foi inevitável. Corpos e pessoas morrendo eram vistos por onde se passava, e a contagem dos mortos também chegou a dois milhões, ficando conhecida como catástrofe de Bengala (BERGAMIN FILHO; AMORIM; REZENDE, 2011).

Já o Ceilão (hoje Sri Lanka) era conhecido como um dos maiores produtores e exportadores de café nos anos de 1869 a 1870. Toda a produção (em torno de 50 mil toneladas) era exportada para a Inglaterra, dando aos ingleses o título de bebedores de café, pois utilizavam a bebida para se aquecer durante o clima frio. Porém, em 1869, foram encontradas nas plantações folhas de cafeeiro caídas precocemente ao chão, apresentando lesões recobertas por um pó amarelo. Amostras de folhas infectadas foram enviadas a Londres, onde o reverendo Miles Joseph Berkeley, que ajudou a identificar a origem fúngica da requeima da batata na Irlanda, descobriu que o agente causal no café era uma ferrugem, causada por um fungo, ao qual deu o nome de *Hemileia vastatrix*. À medida que os anos passavam, as plantações de café no Ceilão definhavam devido à infestação do fungo nos cafezais e, em cerca de 20 anos, a produção de 50 mil toneladas caiu para zero. Enquanto isso, do outro lado do mundo, a preocupação dos ingleses era unicamente encontrar outra bebida quente e estimulante que os ajudassem a aguentar o frio. O chá foi a solução encontrada, e o Ceilão, que no final do ciclo do café só tinha 500 hectares ocupados com chá, em 1880 já plantava 140 mil hectares, transformando os ingleses em bebedores de chá, até os dias atuais (BERGAMIN FILHO; AMORIM; REZENDE, 2011).

A epidemia conhecida como Fogo de Santo Antônio, causada por *Claviceps purpúrea*, em centeio era comum na Idade Média, e milhares de pessoas morreram em decorrência da ingestão de alimentos contaminados pelo patógeno. A doença era conhecida como *Sacer ignis*, o fogo sagrado. Em 1905, foi delegada à Ordem de Santo Antônio tratar os doentes de ergotismo, e o nome de fogo sagrado foi sendo lentamente substituído por fogo de Santo Antônio. Esse patógeno infecta sementes de centeio, cevada e trigo e produz escleródios de cor púrpura, que apresentam grandes quantidades de micotoxinas compostas por alcaloides, incluindo LSD. Os escleródios eram conhecidos como *Ergot* pelos franceses, *Cockspu* pelos ingleses e *Esporão* pelos brasileiros. A ingestão, por exemplo, de pão contaminado por esses alcaloides

vasoconstritores causava aborto em mulheres grávidas, formigamento dos dedos dos pés e das mãos, febre alta, podendo levar a problemas mentais e morte, além de alucinações muito fortes que também podiam causar a morte (BERGAMIN FILHO; AMORIM; REZENDE, 2011).

Como podemos observar, não foram poucos os prejuízos causados por doenças de plantas em épocas passadas. Devido à falta de um método de controle efetivo, elas dizimavam plantações e até pessoas. Quando uma doença afetava uma determinada cultura, fome, imigração e morte eram comuns. Porém, isso não ocorreu apenas no exterior. Muitas epidemias também causaram inúmeros prejuízos no Brasil, como o carvão da cana-de-açúcar (*Sporisorium scitamineum*), que foi relatado em São Paulo no ano de 1946 e hoje está amplamente disseminado pelas plantações em todo o país. Algumas das cultivares mais plantadas na época eram POJ36 e POJ213, altamente suscetíveis, que podiam chegar a 100% de perdas. Com o tempo, os canaviais com suscetíveis foram sendo substituídos por cultivares resistentes, aliados a maiores cuidados na produção, como viveiros, “roguing” e tratamento térmico de tolete. Em 1975, a doença aparentemente estava sob controle, mas, com a crise do petróleo, o governo brasileiro criou o programa PROALCOOL, visando a produção de etanol carburante. Para isso, era necessário que se produzisse álcool o mais rápido possível. Além do aumento exacerbado da área cultivada com cana-de-açúcar em São Paulo, 45% das áreas eram ocupadas com a cultivar argentina NA56-79, moderadamente suscetível ao carvão. Com isso, a infecção pelo fungo novamente se alastrou nos canaviais, alarmando os produtores e o governo do estado que, devido às consequências, acabou limitando o plantio dessa cultivar a 20% das áreas. Atualmente, o limite é 10%, e a epidemia de carvão perdeu a sua importância (BERGAMIN FILHO; AMORIM; REZENDE, 2011).

A tristeza dos citros, foi inicialmente descrita na África do Sul no século XX, já causou grandes epidemias e até hoje é considerada a principal virose na citricultura. Tem como agente causal o vírus *Citrus tristeza virus* (CTV) e foi introduzida no Brasil na década de 30 no estado de São Paulo, por materiais vegetativos vindos da África do Sul e Argentina. As plantas infectadas apresentavam redução do crescimento, queda de produção, seca de galhos e morte, com sintomas mais severos nas combinações de laranja azeda (*Citrus aurantium*) enxertadas em laranja doce (*Citrus sinensis*). Essa era a combinação mais utilizada na época, por apresentar resistência à gomose (*Phytophthora* spp.) e por ter boas características agrônomicas. Com isso, estima-se que aproximadamente nove milhões de árvores morreram em 10 anos da presença da doença nos pomares. Para controlar essa doença no campo, combinações substituindo o porta-enxerto de laranja azeda por

limão cravo foram sendo introduzidas no campo (BASSANEZI et al., 2016; BERGAMIN FILHO; AMORIM; REZENDE, 2011).

Tentando se recuperar da epidemia causada pela tristeza dos citros, em 1957, a citricultura paulista deparou-se com focos de cancro cítrico, causado pela bactéria *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*. A doença também é endêmica no Japão, no sudeste asiático e na Flórida e por lá as medidas adotadas para o controle do patógeno foi a erradicação de plantas e mudas contaminadas e, em 30 anos, a bactéria foi completamente eliminada. Não sabendo o que fazer com o patógeno nos pomares de São Paulo, técnicos do Instituto Biológico também optaram pela erradicação para eliminar a bactéria. Essa medida foi muito eficiente por mais ou menos duas décadas, não fosse, em 1996, a detecção da presença da lagarta minadora dos citros (*Phyllocnistis citrella* Stainton) nos pomares, fazendo o cancro cítrico ressurgir em São Paulo, aumentando a eficiência de infecção da bactéria e, conseqüentemente, a severidade da doença. Com isso, intensificou-se a erradicação dos talhões com incidência igual ou superior a 0,5% de árvores sintomáticas e retomou-se o controle da doença. Porém, essa medida foi revogada em 2009 e seu efeito já é amplamente evidente nos pomares de citros.

A vassoura de bruxa do cacauero é outra importante doença no Brasil. É causada pelo fungo *Moniliophthora perniciosa*, e o nome vassoura de bruxa do cacauero é devido aos sintomas exibidos pela planta, como a seca de ramos com aspecto de uma vassoura velha. Na década de 1980, a Bahia era o segundo maior produtor de cacau do mundo, atrás apenas da Costa do Marfim no continente africano, e era responsável por 95% da produção brasileira de cacau e 20% da produção mundial. Ao final da década de 80, o fungo foi constatado pela primeira vez em plantações de cacauero no território baiano, causando enormes prejuízos nos anos seguintes. Além das perdas causadas pela doença, nessa mesma época, o preço do cacau caiu drasticamente no mercado internacional, provocando o maior desastre socioeconômico nas regiões cacaueiras da Bahia. O desenvolvimento de clones resistentes ao patógeno, controle biológico e práticas culturais têm sido usados no manejo dessa doença, porém, mesmo com todos os esforços, o Brasil não voltou à posição de grande exportador e produtor de cacau (BERGAMIN FILHO; AMORIM; REZENDE, 2011).



Pesquise mais

Existem outras epidemias famosas no Brasil, como o “mal do Panamá e a banana maçã”, o “mal das folhas da seringueira” e a “ferrugem da soja”. Para aprofundar-se no assunto, você poderá ler os artigos indicados abaixo e entender a importância dessas doenças na agricultura brasileira.

CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P. **Mal-do-Panamá:** Fim do bananal?

Cultivar HF: Embrapa Mandioca e Fruticultura, mar. 2003. 3 p.

GASPAROTTO, L. et al. **Doenças da seringueira no Brasil**. Brasília: Embrapa-SPI; Manaus: Embrapa-CPAA, 1997. p. 16-19.

YORINORI, J. T. et al. Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*): identificação e controle. **Informações Agronômicas**. [S.l.], n. 104, p. 5-8, 2003.

Apesar de as epidemias apresentadas anteriormente terem sido catastróficas para a economia e sociedade, elas não são a regra, pois ocorrem esporádica e isoladamente no correr das décadas. Para entendermos melhor, consideremos que os danos causados por patógenos em nosso dia a dia são de intensidade bem menor, porém apresentam efeitos diversos e significativos na sociedade e na economia (BERGAMIN FILHO; AMORIM; REZENDE, 2011). A tipologia dos danos serve justamente para nos fazer entender isso, a diferença entre os tipos de danos que podem ocorrer devido à ocorrência de doenças de plantas, permitindo-nos uma visão geral do problema propriamente dito.

O **dano potencial** é aquele que pode vir a ocorrer quando há ausência de medidas de controle, por exemplo, a devastação dos cafezais do Ceilão, devido à inexistência de fungicidas que controlassem a doença na época. Esse tipo de dano serve para prever os possíveis patógenos que podem afetar a agricultura em nosso país e nos demais países do mundo, tendo importância principalmente para os serviços de quarentena nos portos do país.

O **dano real** é aquele que já ocorreu ou que ainda está ocorrendo na atualidade e pode ser dividido em indireto e direto. É **indireto** quando os efeitos econômicos e sociais causados não são imediatos e afetam:

- O produtor e a comunidade rural, que perdem os produtos e podem se endividar, abandonando a atividade agrícola.
- O consumidor, que ficará sem o produto ou receberá um produto de baixa qualidade.
- O Estado, que arrecada impostos e arca com as pesquisas para a obtenção de produtos melhores.
- O ambiente, que devido à falta de informação do produtor rural e, na presença de doenças, recebe aplicações, muitas vezes desnecessárias, de defensivos.

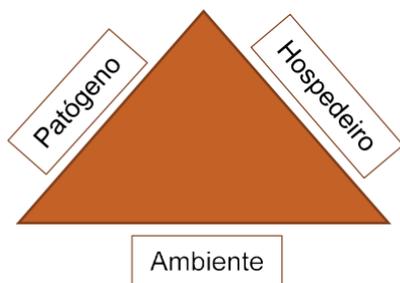
Já o **dano direto** atua na quantidade e na qualidade do produto e sobre a capacidade futura de produção, sendo também dividido em dois grupos: danos primários e danos secundários.

Os **danos primários** ocorrem na pré e pós-colheita dos vegetais, pela ação de patógenos, que ocorrem desde a estocagem de sementes, germinação, crescimento e desenvolvimento da planta, colheita, transporte, manuseio e estocagem do produto colhido, podendo afetar a qualidade e a quantidade do produto final. Nessa categoria são incluídos os custos com controle de doenças e a necessidade de plantio de cultivares menos produtivas, mas com melhor resistência a doenças.

Por fim, os **danos secundários** incidem sobre a capacidade futura de produção de uma cultura, sendo comum para patógenos veiculados pelo solo ou disseminados por órgãos de vegetação propagativa, devido ao difícil controle e remoção do patógeno da área.

Como já falamos anteriormente, a Fitopatologia estuda as doenças de plantas em seus vários aspectos (BERGAMIN FILHO; KITAJIMA, 2011), mas, como podemos definir as doenças de plantas, já que elas se apresentam de maneiras tão diferentes dependendo do patógeno, do hospedeiro e do ambiente? Primeiramente, para que possamos chegar a uma conclusão sobre essa questão, precisamos entender que, a regra na natureza são plantas saudias, sendo a doença uma exceção. Dessa forma, uma doença somente se manifesta em uma planta, seja esta cultivada ou não, quando ocorre a interação entre três fatores fundamentais: planta suscetível, patógeno virulento e ambiente favorável ao desenvolvimento da doença, que são conhecidos, dentro da Fitopatologia, como triângulo da doença (Figura 1.1).

Figura 1.1 | Triângulo da doença



Fonte: elaborada pelo autor.

Além disso, como podemos estabelecer limites entre o que é normal ou sadio e o que é anormal ou doente? Como diferenciar doença de injúria ou deficiência mineral? Para entendermos esses dois questionamentos, partimos do pressuposto de que uma planta sadia ou “normal” não apresentará problemas fitossanitários durante o seu desenvolvimento, podendo, dessa forma, completar todo o seu ciclo, sem a interferência de fatores externos que possam vir a acarretar perdas no rendimento final da cultura. Porém, caso isso venha a ocorrer, é possível que se diferencie uma doença de injúria e de deficiência mineral. Para isso, precisamos lembrar que injúrias são danos físicos causados às plantas, devido à ação de insetos, do homem e fatores externos,

como chuvas intensas, ventos fortes, abrasão entre uma planta e outra, etc. Já a constatação de uma deficiência mineral pode ser feita pela observação dos sintomas que as plantas exibem, pois neles não é possível constatar a presença de patógenos, e uma adubação equilibrada resolveria esse problema. Assim, esses foram sempre os maiores questionamentos entre os fitopatologistas, que ditam a doença como um fenômeno complexo, sem definição exata, mas que apresenta algumas características básicas e essenciais, discutidas a partir de agora, tomando por base os conceitos em doenças.



Exemplificando

Muitos estudiosos mundialmente conhecidos sugeriram algumas definições para doenças. Observe que existem muitas semelhanças entre os diferentes conceitos:

- As doenças podem ser atribuídas a mudanças anormais nos processos fisiológicos da planta, sendo consideradas como distúrbios na atividade normal de seus órgãos (KUHN, 1858).
- As doenças em plantas são caracterizadas por mudanças estruturais e nos processos fisiológicos do vegetal, devido a um ambiente desfavorável ou algum agente nocivo (WALKER, 1950).
- Doença pode ser caracterizada como uma desordem fisiológica ou anormalidade estrutural, prejudicial à planta ou a seus órgãos e respectivos produtos, ou que reduza seu valor econômico (STAKMAN; HARRAR, 1957).
- A doença é uma alteração danosa de um ou mais processos ordenados de utilização de energia em uma planta, causado pela irritação contínua de um ou mais fatores causais primários (BATEMAN, 1978).
- “Doença é o mal funcionamento de células e tecidos do hospedeiro que resulta da sua contínua irritação por um agente patogênico ou fator ambiental e eu conduz ao desenvolvimento de sintomas” (AGRIOS, 2005, p. 5).

Com base nessas definições, alguns pontos devem ser levados em consideração, como: todas tratam a doença como um fenômeno biológico, entendido como uma interferência prejudicial nos processos fisiológicos da planta, que passa a ter um desempenho anormal em suas funções vitais, considerado um desequilíbrio em seu balanço energético. Além disso, se você observar com atenção, quase todas as definições tratam a doença como um processo contínuo, o que nos permite diferenciar a doença de injúrias, que, nesse caso, além da ação momentânea e passageira sobre a planta, são resultantes da ação de fatores físico-mecânicos ou químicos sobre os tecidos da planta (como ferimentos, fogo, deriva de defensivos, etc.).

Dessa forma, considerando a doença como um fenômeno biológico, ela pode ser uma doença de origem infecciosa ou biótica e pode ter origem não infecciosa ou abiótica. Assim, são consideradas doenças bióticas ou infecciosas quando têm um agente causal e são transmissíveis de uma planta para outra, ou seja, existe um fitopatógeno que coloniza os tecidos da planta e retira os nutrientes necessários para o seu desenvolvimento e reprodução, desenvolvendo, nesse caso, um parasitismo sobre a planta, que acarretará a manifestação de sintomas típicos da doença causada por esse fitopatógeno. Já as doenças abióticas ou não infecciosas são causadas por fatores desfavoráveis do meio ambiente e não têm a capacidade de ser transmitidas de uma planta para outra, não existindo um agente causal e não ocorrendo nenhum tipo de parasitismo para que a doença se manifeste, sendo este resultado única e exclusivamente de fatores externos desfavoráveis.

Nesse caso, você, como engenheiro agrônomo, deverá conhecer e saber diferenciar esses dois tipos de doenças em uma lavoura, bem como as suas causas. Geralmente, doenças bióticas ou infecciosas têm como agentes causais microrganismos como fungos, bactérias, vírus, nematoides, oomicetos, viroides, fitoplasmas e espiroplasmas, que interagem com os tecidos do hospedeiro, podendo viver dentro ou fora dele, e invadem seus tecidos para gerar o processo infeccioso, colonizando a planta e se desenvolvendo a partir dos nutrientes que retiram da planta.

Agora que você já conheceu um pouco sobre a história da Fitopatologia, de seu surgimento como ciência, dos possíveis danos que patógenos podem causar aos seus hospedeiros vegetais e, principalmente, o conceito de doenças de plantas, isso lhe permitirá diferenciar, em condições de campo, uma doença de injúria ou de uma deficiência nutricional. Você agora sabe que, para que uma doença se manifeste, é necessário que ocorra a interação entre um hospedeiro suscetível, um patógeno virulento e agressivo e condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento e à manifestação dos sintomas típicos da doença. Tomando por base os conceitos vistos aqui, você aprenderá na Seção 1.2 sobre o ciclo das relações patógeno-hospedeiro, como ocorre o desenvolvimento completo de uma doença e como ela poderá vir a se tornar uma epidemia no campo, além de conhecer a sintomatologia de doenças em vegetais, que lhe darão base para estabelecer a diagnose de um agente fitopatogênico.

Sem medo de errar

Agora que você já conhece a história da Fitopatologia e o desenvolvimento de algumas doenças e epidemias famosas no Brasil e no exterior e que já aprendeu sobre os diferentes tipos de danos que patógenos podem causar

às plantas, bem como o conceito de doenças em plantas, você tem subsídios para auxiliá-lo na resolução da situação-problema proposta.

Lembrando que você é o engenheiro agrônomo responsável por um plantio comercial de café para exportação, que vem apresentando redução da produtividade nos últimos anos. Após analisar a plantação e os sintomas exibidos pelas plantas, você constatou que a queda de produção ocorreu devido à presença de uma doença conhecida como ferrugem do cafeeiro e causada por *Hemileia vastatrix*.

Respondendo aos questionamentos e dúvidas do produtor, você explica que se tratava de uma doença biótica, causada por um agente causal, nesse caso, um fungo fitopatogênico de plantas. Você explica ao produtor que, apesar das chuvas e ventos fortes que incidiram e incidem sobre a plantação de café, não se trata de uma injúria e nem de uma deficiência nutricional, pois as plantas apresentam características de uma doença fúngica, com a presença de um pó alaranjado sobre as lesões (estruturas do patógeno). Com base nos sintomas exibidos pela planta, você constatou que se tratava de uma ferrugem, coincidentemente a mesma que você estudou durante a história da Fitopatologia, que devastou os cafezais no antigo Ceilão, sendo a descrição desse fato histórico uma das garantias de que sua diagnose estava correta, pois as plantas de café do produtor exibiam os mesmos sintomas relatados nas plantas de café do Ceilão. Quando questionado se o dano causado por essa doença era real ou potencial, você explica ao produtor que não se trata de um dano potencial, pois foram adotadas medidas de controle, e esse dano existiria apenas se elas não tivessem sido aplicadas. Então, com isso, você explica que o dano que está levando à redução drástica da produtividade é um dano real, pois está ocorrendo nesse momento na lavoura do produtor, que já está se tornando um dano direto primário, pois está afetando a produção (quantidade de café produzido por hectare) com consequente aumento nos custos de controle para evitar mais perdas futuramente.

Dessa forma, você, como responsável técnico, deverá coletar amostras de folhas com infecção pelo fungo e levá-las para um laboratório ou clínica, onde será feita a identificação e confirmação do patógeno causador da doença. Além disso, elabore um relatório de campo, com os levantamentos feitos e as respostas aos questionamentos, para que o produtor passe a ter um histórico de sua área de plantio e evite problemas como esse nos plantios futuros da propriedade.

Tipos de danos causados por doenças

Descrição da situação-problema

Você é o responsável técnico pela CEASA/MG (Central de abastecimento de hortifruticultura). Em uma de suas inspeções rotineiras, você observou que algumas frutas, como morango, mamão e pêssego, estavam sendo jogados fora pelos vendedores, devido à incidência de fungos decompositores, como *Rhizopus stolonifer*. Esse fungo é um dos mais importantes patógenos de pós-colheita de frutos, pois causa podridões moles e aquosas na polpa dos frutos, além de desenvolver suas estruturas reprodutivas externamente sobre o fruto em decomposição. Agora que já conhece a tipologia dos danos causados por doenças de plantas, você saberia inferir que tipo de dano está ocorrendo sobre essas perdas de frutos na Central de Abastecimento?

Resolução da situação-problema

O dano do cenário acima é um dano real, pois ele está ocorrendo nos frutos da CEASA e se trata de um dano direto, pois está incidindo sobre a qualidade dos frutos de morango, mamão e pêssego que serão comprados por supermercados, revendas, etc., até chegar ao consumidor final. Sendo um dano real, nesse caso dos frutos, ele é classificado como dano primário, por se tratar de perdas na pós-colheita e estar interferindo na qualidade dos frutos que, como você observou na situação acima, estão sendo jogados fora. Então, está afetando diretamente o varejo e, conseqüentemente, o consumidor, que não irá comprar os frutos em decomposição e, por isso, são jogados fora. Provavelmente, durante o transporte e estocagem, esses frutos sofreram danos mecânicos que resultaram em ferimentos, constituindo a porta de entrada para esse fungo colonizar e decompor os frutos.

Faça valer a pena

1. A associação de doenças com plantas mais antiga é reatada em Homero (cerca de 1000 a.C.) e no Velho Testamento (cerca de 750 a.C.). Porém, para fins didáticos, a história da Fitopatologia é dividida em cinco períodos. Esses períodos contam a evolução histórica do surgimento da Fitopatologia, desde as épocas mais remotas até os dias atuais (BERGAMIM FILHO; KITAJIMA, 2011).

Conhecendo o contexto de cada período, qual deles marcou o nascimento da Fitopatologia como ciência?

- a) Período místico.
- b) Período da predisposição.
- c) Período etiológico.
- d) Período ecológico.
- e) Período atual.

2. As plantas, cultivadas ou não, estão propícias ao ataque constante de patógenos. Contudo, para que a manifestação da doença ocorra no campo, é necessária a ocorrência de alguns fatores, pois, na ausência deles, a doença não se desenvolve.

Assinale a alternativa que contém a condição básica para que uma doença se manifeste em uma cultura agrícola.

- a) Presença do hospedeiro.
- b) Presença do patógeno.
- c) Suscetibilidade da planta ao patógeno.
- d) Interação planta-patógeno-ambiente.
- e) Condições ambientais favoráveis ao patógeno.

3. O parasitismo, em Fitopatologia, é considerado uma interação em que um patógeno é capaz de colonizar os tecidos de uma planta hospedeira e de retirar os nutrientes necessários para sua sobrevivência, desenvolvimento e reprodução. Em condições ambientais favoráveis, ocorrerá a manifestação de sintomas típicos e possível transmissão do patógeno para as outras plantas da lavoura.

Com base no texto acima, o processo resultante dessa interação é:

- a) Uma injúria.
- b) Uma doença abiótica ou não infecciosa.
- c) Uma doença abiótica ou infecciosa.
- d) Uma doença biótica ou não infecciosa.
- e) Uma doença biótica ou infecciosa.

Doenças em plantas

Diálogo aberto

Olá, aluno!

Nesta seção vamos conhecer o ciclo das relações patógeno-hospedeiro e como se desenvolve uma doença de plantas. Trabalharemos a epidemiologia de doenças de plantas, em que você aprenderá quais são os fatores, como uma doença pode se tornar epidêmica em um campo de produção e os tipos de epidemias. Além desses conteúdos, vamos estudar também a sintomatologia das doenças de plantas, o que lhe permitirá reconhecer uma doença no campo e lhe dará subsídios para determinar se o sintoma morfológico observado é necrótico ou plástico. Dessa forma, para iniciarmos a Seção 1.2, que abordará as doenças em plantas, vamos imaginar o seguinte cenário profissional:

Você é o engenheiro agrônomo responsável por um plantio comercial de café para exportação, em uma lavoura do interior de Minas Gerais, que está apresentando elevada redução na produtividade. Para ter certeza da identidade do agente causal, amostras foram coletadas e enviadas para uma clínica fitopatológica de sua confiança, que emitiu o diagnóstico, confirmando sua suspeita de que as plantas estavam infectadas por *Hemileia vastatrix*. Você, sendo o responsável técnico pela produção de café do produtor rural e conhecendo o ciclo das relações patógeno-hospedeiro, fala ao produtor que, provavelmente, a primeira geração do patógeno, correspondente ao ciclo primário da doença, veio de fora do campo de produção em questão. Todas as gerações subsequentes do patógeno foram produzidas dentro da lavoura, constituindo os ciclos secundários da doença.

De que forma você explicaria como chegar ao diagnóstico da doença a partir dos sintomas observados nas plantas? Quais fatores o levaram a concluir que o ciclo primário da doença provavelmente é oriundo de inóculos da lavoura vizinha e os demais ciclos, oriundos de inóculos da própria lavoura em questão, e qual seria o papel do ciclo primário e do secundário no processo de desenvolvimento dessa doença? Qual é a importância de cada um dos cinco processos do ciclo das relações patógeno-hospedeiro no desenvolvimento da doença? Seria possível a ferrugem do cafeeiro tornar-se uma epidemia nessa área de cultivo? Por quê?

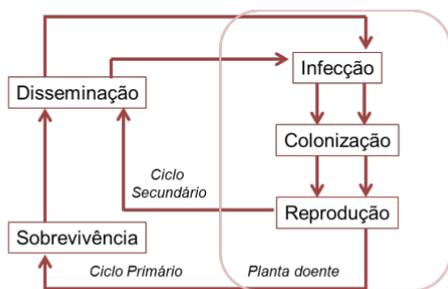
A partir desta seção, você terá subsídios para responder a essas e outras questões, pois conheceremos todas as etapas do ciclo das relações

patógeno-hospedeiro, os conceitos em epidemiologia de plantas e como identificar os sintomas de doenças. Vamos lá?

Não pode faltar

Vamos iniciar esta seção conhecendo os principais processos para o desenvolvimento de uma doença de planta. Para isso, cabe aqui ressaltar que o ciclo das relações patógeno-hospedeiro pode ser entendido como um conjunto de eventos que ocorrem sucessiva e ordenadamente e que se repetem ao longo do tempo. Esses eventos podem ser agrupados em cinco processos básicos, em ordem cronológica de acontecimentos: sobrevivência, disseminação, infecção, colonização e reprodução (Figura 1.2).

Figura 1.2 | Ciclo das relações patógeno-hospedeiro



Fonte: elaborada pelo autor.

Nesse esquema, podemos observar dois ciclos distintos: o primário e o secundário. O **ciclo primário** é a primeira geração do patógeno que se estabelece na cultura, originado das estruturas de sobrevivência ou da fase saprofítica do microrganismo. Nele, o inóculo primário é originado fora da cultura, poucas plantas são infectadas, poucas lesões se desenvolvem e o índice de infecção normalmente é baixo.

Já o **ciclo secundário** ocorre após o ciclo primário e corresponde a todas as gerações subsequentes do patógeno no mesmo ciclo da cultura, apresentando alto índice de infecção, muitas plantas infectadas e muitas lesões, que são a fonte de inóculo para as novas infecções (AMORIM; PASCHOLATI, 2011). Dessa forma, o desenvolvimento de uma epidemia, ou do chamado policiclo, é consequência da repetição contínua do monociclo ou de parte dele, pois essa repetição resulta no desenvolvimento de várias gerações do patógeno em um mesmo ciclo da cultura.



Assimile

Antes de prosseguirmos, é importante que você tenha em mente alguns conceitos básicos, para que possa entender claramente todas as etapas do ciclo das relações patógeno-hospedeiro:

Inóculo: são estruturas reprodutivas ou vegetativas do patógeno, capazes de causar infecção em uma planta.

Fonte de inóculo: é o local onde o inóculo é produzido ou onde ele se encontra (matéria orgânica do solo, plantas hospedeiras, restos culturais no solo, entre outros), antes da infecção no hospedeiro.

Inóculo primário: é o inóculo responsável pelo início da doença em cada ciclo da cultura.

Inóculo secundário: é o inóculo produzido sobre o hospedeiro durante o ciclo da cultura, responsável por todos os ciclos secundários que venham a ocorrer (AMORIM; PASCHOLATI, 2011).

Para entendermos melhor esse processo, a partir de agora, todas as fases do ciclo das relações patógeno-hospedeiro serão descritas detalhadamente.

A **sobrevivência do inóculo** é considerada a primeira fase do ciclo das relações, pois o início do ciclo primário depende da fonte de inóculo (AMORIM; PASCHOLATI, 2011). Essa fase é de extrema importância porque assegura a perpetuação do patógeno frente a condições desfavoráveis ao seu desenvolvimento, garantindo que o patógeno suporte longos períodos de tempo na ausência dos tecidos do hospedeiro, por meio de estratégias de sobrevivência, como a formação de estruturas especializadas de resistência, atividades saprofíticas e sobrevivência em plantas hospedeiras e em vetores.

No caso de estruturas especializadas de resistência, a sobrevivência é do tipo passiva e apenas fungos, oomicetos e nematoides as desenvolvem. Geralmente são as estruturas reprodutivas do patógeno (como teliosporos, ascocarpos, oósporos, escleródios e clamidósporos), à exceção dos nematoides, aos quais a sobrevivência é garantida mediante a adaptação de fases do ciclo de vida, como a dormência de ovos de *Meloidogyne* spp., e encistamento do corpo com ovos, de fêmeas dos gêneros *Heterodera* e *Globodera*.

Já a sobrevivência por meio de atividades saprofíticas indica que o metabolismo do patógeno continua ativo, ou seja, a sobrevivência é ativa, ocorrendo mediante a colonização de restos culturais ou mesmo a solução do solo (AMORIM; PASCHOLATI, 2011). Nessa categoria estão os patógenos que causam podridões de órgãos de reserva (*Pectobacterium* sp.), podridão de raízes (*Rhizoctonia* sp.), murchas vasculares (*Fusarium* sp., *Ralstonia* sp.) e manchas foliares (*Alternaria* sp., *Pseudomonas* sp.). Contudo, a sua capacidade e efetividade de sobrevivência em restos culturais está diretamente ligada ao ambiente a que os patógenos são expostos, bem como à sua capacidade competitiva, na ausência do hospedeiro principal.

A sobrevivência em plantas hospedeiras está relacionada a parasitas obrigatórios, ou seja, aqueles que necessitam do hospedeiro vivo para

completar seu ciclo de vida (AMORIM; PASCHOLATI, 2011). É o caso de fungos causadores de ferrugens e oídios, de oomicetos causadores de míldios, algumas bactérias como *Candidatus liberibacter* (Huanglongbing dos citros), vírus e viroides e fitoplasmas e espiroplasmas.



Exemplificando

A ferrugem do colmo do trigo (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*) já foi uma das doenças mais temidas em cereais. Atualmente, o plantio de cultivares resistentes é uma das formas mais eficientes de controle. Contudo, é um bom exemplo de patógenos que usam plantas hospedeiras como estratégia de sobrevivência. Nesse caso, o hospedeiro secundário *Berberis vulgaris* é a fonte de inóculo principal do patógeno em regiões de clima temperado. De modo geral, esse fungo sobrevive ao inverno através de teliosporos diploides dormentes, escuros e de parede espessa, produzidos em pústulas teliais, encontradas em restos culturais de plantas de trigo. Quando a primavera inicia, esses teliosporos passam por meiose, produzindo basidiósporos haploides, incolores e de paredes finas, que infectarão *Berberis vulgaris*, que germinarão e colonizarão os tecidos de *Berberis*, formando pícnias no interior das folhas. As pícnias produzirão hifas receptivas e picniósporos. O núcleo do picniósporo será unido à hifa receptiva, dando origem ao micélio dicariótico, que cresce pelas folhas de *Berberis*, formando uma nova estrutura, a aécia. Quando a aécia se romper, serão liberados aeciósporos dicarióticos que, embora produzidos em plantas de *Berberis*, infectarão somente o trigo ou outros hospedeiros de *P. graminis*.

Por fim, a sobrevivência por meio de vetores está associada principalmente a vírus e viroides (AMORIM; PASCHOLATI, 2011). Os vetores transportam os patógenos durante o ciclo da cultura hospedeira, contribuindo para sua disseminação, ou os armazenam em seu organismo, contribuindo para a sobrevivência.

A **disseminação do inóculo** consiste do movimento do patógeno de um lugar para o outro e pelo incremento da doença no campo. Essa etapa envolve três processos básicos, que ocorrem na seguinte ordem: liberação, dispersão e deposição do inóculo. De acordo com Amorim e Pascholati (2011), a **liberação** é a remoção do microrganismo patogênico do local onde ele foi produzido, podendo ser ativa (quando o próprio patógeno fornece a energia necessária para se desprender do local em que foi produzido) ou passiva (quando envolve uma ação mecânica externa, como impactos

e vibrações bruscas entre folhas e outras partes da planta, vento, chuva ou orvalho). A **dispersão**, por sua vez, é o transporte do patógeno do local onde foi produzido, até a sua deposição na superfície suscetível da planta, podendo atravessar curtas ou longas distâncias por meio do transporte pelo ar, água, homem, insetos vetores, etc. Por fim, a **deposição** significa que o patógeno fez seu primeiro contato com os tecidos do hospedeiro e pode ocorrer por sedimentação, impacto, turbulência e deposição pela chuva.

A **infecção** é o início da patogênese, inicia com os fenômenos da pré-penetração e finaliza com o estabelecimento das relações parasitárias estáveis entre patógeno e hospedeiro. Contudo, antes da penetração ocorre a ativação de mecanismos de pré-penetração, como o movimento direcionado do patógeno em relação ao hospedeiro (tatismo) e o seu crescimento e desenvolvimento sobre o hospedeiro. Após a pré-penetração, os patógenos penetram os hospedeiros por três vias diferentes (Figura 1.3) (AMORIM; PASCHOLATI, 2011):

- Penetração direta pela superfície do hospedeiro: nesse caso, os patógenos precisam vencer e ultrapassar as barreiras naturais impostas pelas plantas, como cutícula e epiderme na parte aérea e periderme em raízes e ramos lenhosos.

- Penetração por aberturas naturais: como estômatos, hidatódios, nectários, estigmas e lenticelas. As aberturas naturais são a principal porta de entrada de fungos causadores de ferrugens e bactérias em plantas hospedeiras.

- Penetração por ferimentos: é a principal porta de entrada para todos os tipos de patógenos de plantas. Os ferimentos podem ocorrer através da picada de prova de insetos vetores, abrasão de folhas, ventos fortes, práticas culturais e emissão de raízes secundárias.

Iniciada a infecção, o estabelecimento das relações parasitárias estáveis marca o final do processo infeccioso, tendo início, então, o parasitismo, por meio da retirada de nutrientes da planta pelo patógeno. Esse ponto marca a transição entre infecção e colonização, e o sucesso da infecção resulta no surgimento de sintomas (AGRIOS, 2005).

A **colonização** é o momento em que o patógeno inicia a retirada de nutrientes do hospedeiro e usa várias estratégias para crescer, ocupar novos espaços na planta e se reproduzir (AMORIM; PASCHOLATI, 2011). É durante a penetração e a colonização que os patógenos têm que vencer as barreiras naturais da planta. Para isso, produzem toxinas e enzimas extracelulares, como pectinases ou enzimas pectinolíticas, para degradar substâncias pecticas da lamela média, celulases que degradam celulose, hemicelulases que degradam hemicelulose e ligninases que degradam a lignina, todas

presentes nas paredes primárias e secundárias dos vegetais. Durante a colonização, também são estabelecidas as relações nutricionais entre o patógeno e o hospedeiro, em que os patógenos são classificados em biotróficos, necrotróficos e hemibiotróficos.



Assimile

Patógenos biotróficos: alimentam-se dos tecidos vivos da planta.

Patógenos necrotróficos: alimentam-se de tecidos mortos da planta.

Patógenos hemibiotróficos: infectam o hospedeiro como biotróficos, mas colonizam como necrotróficos.

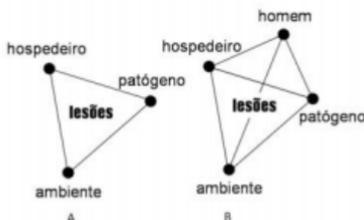
Por fim, a **reprodução** é a fase em que ocorre a produção de inóculo pelo patógeno, podendo ser tanto no interior quanto no exterior do hospedeiro. Alguns patógenos se reproduzem apenas no interior do hospedeiro (vírus e viróides), porém a maioria dos patógenos fúngicos e bacterianos se reproduz na superfície do hospedeiro ou logo abaixo dela, favorecendo a sua posterior disseminação. Além disso, variáveis ambientais como umidade relativa, período de molhamento foliar, temperatura, luz e estado nutricional do hospedeiro podem exercer influência na reprodução, dependendo da espécie fitopatogênica.

Segundo Vanderplank (1963), a epidemiologia é definida como a ciência que estuda a doença em populações vegetais. Já Kranz (1974, p.1) propôs uma definição mais complexa, sendo a epidemiologia o “estudo de populações de patógenos em populações de hospedeiros e da doença resultante desta interação, sob a influência do ambiente e a interferência humana”. Nas duas definições, observamos que a epidemiologia de doenças de plantas trata sempre de populações, seja de hospedeiros ou de fitopatógenos. Além disso, a determinação da quantidade de doença em um campo de cultivo tem como princípio básico o balanço entre **infecção**, representada pelo surgimento de novas lesões na planta, e **remoção do inóculo**, representada pela perda ou queda do tecido doente da planta (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011).

É relevante destacar que, no patossistema selvagem, a epidemiologia é representada pelo patógeno que interage com o hospedeiro sofrendo a ação do ambiente (Figura 1.3 A), e a interação desses três elementos resulta no surgimento de lesões. Já no patossistema agrícola, existe a interferência humana, que interage com o patógeno e com o hospedeiro e modifica as condições ambientais, consequentemente resultando em um surgimento rápido e acelerado da população de lesões de uma planta doente (Figura 1.3 B).

Assim, a **epidemia** pode ser definida como uma mudança na intensidade de uma doença em uma população de hospedeiros no tempo e no espaço (MADDEN et al., 2007) e resulta da interação entre hospedeiro suscetível, patógeno e condições ambientais favoráveis, sofrendo a ação do homem por um período de tempo relativamente longo. Uma **pandemia** é caracterizada por epidemias progressivas, que se expandem por uma área extremamente grande, de tamanho quase continental. Já uma **endemia** pode ser entendida como uma doença que se encontra sempre presente em uma determinada área, porém em equilíbrio com o hospedeiro, sem apresentar expansão na área (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011).

Figura 1.3 | Interação da população do patógeno com a população do hospedeiro sob a ação do ambiente (A – patossistema selvagem); Interação da população do patógeno com a população de hospedeiros, sob a influência do ambiente e interferência humana (B – patossistema agrícola)



Fonte: Bergamin Filho (1995, p. 99).

Além disso, as epidemias de doenças de plantas podem ser:

Explosivas: quando o aumento da intensidade da doença em uma determinada cultura ocorre rapidamente.

Tardívas: quando a intensidade da doença na planta aumenta lentamente.

Progressivas: quando aumentam em extensão de áreas.

Cíclicas: quando uma doença endêmica se torna epidêmica em uma área devido à ação de fatores externos, como o clima.

Poliéticas: quando mostram aumento da intensidade da doença após anos de sua ocorrência na área.



Reflita

Conhecendo os conceitos da epidemiologia, é possível controlar uma epidemia?

A sintomatologia se refere ao estudo dos sintomas de doenças, expressados pelas plantas nas formas de sintomas e sinais, que são, respectivamente, a manifestação das reações da planta a um agente nocivo e as estruturas do patógeno exteriorizadas no tecido doente. A sequência completa ou o

conjunto de sintomas exibidos por uma planta é chamada de quadro sintomatológico (REZENDE et al., 2011).



Exemplificando

Para entendermos melhor os conceitos de sintomas e sinais desenvolvidos por patógenos nas plantas, vamos tomar como exemplo uma folha de tomateiro. As lesões necróticas de coloração escura e em forma de anéis concêntricos são os sintomas da doença conhecida como pinta-preta do tomateiro, causada por *Alternaria solani*. Já os esporos presentes no centro dessas lesões são os sinais (estruturas) do agente causal.

Os sintomas de doenças de plantas são classificados de acordo com a sua localização em relação ao patógeno, as modificações desencadeadas no hospedeiro e de acordo com a alteração na estrutura e/ou nos processos afetados na planta (REZENDE et al., 2011).

Dessa forma, a classificação de acordo com a localização dos sintomas é dividida em sintomas primários (que resultam da ação direta do patógeno nos órgãos atacados) e secundários (quando são manifestados em órgãos distantes do sítio de infecção) (REZENDE et al., 2011). A classificação de acordo com as modificações desencadeadas na planta hospedeira incluem sintomas habituais, que afetam o hábito de crescimento da planta, estimulando ou reduzindo o seu crescimento, ou então provocam sintomas lesionais, que danificam órgãos específicos das plantas. A classificação baseada na alteração da estrutura e processos afetados na planta é a mais utilizada em fitopatologia, pois denota a forma como os sintomas estão ocorrendo e se desenvolvendo na planta. Nesta classificação, os sintomas podem ser: histológicos (ocorrem modificações ao nível celular), fisiológicos (quando os sintomas alteram a fisiologia normal do hospedeiro) e morfológicos (quando as alterações são exteriorizadas no órgão afetado do hospedeiro e, nesse caso, visíveis a olho nu) (REZENDE et al., 2011).

Por ocorrerem externamente ao órgão vegetal, serem visíveis a olho nu e importantes para a diagnose, daremos maior ênfase aos sintomas morfológicos, que podem ser necróticos ou plásticos e são definidos como “qualquer alteração visível na forma ou anatomia dos órgãos de uma planta, decorrente da ação danosa de um patógeno” (REZENDE et al., 2011, p. 45).

Os sintomas morfológicos **necróticos** são assim denominados devido à degeneração do protoplasma e à morte da parte afetada da planta. De acordo com Rezende et al. (2011), os principais sintomas necróticos são:

- **Amarelecimento:** ocorre devido à destruição da clorofila e dos cloroplastos em folhas.

- **Encharcamento ou anasarca:** é um sintoma típico da infecção por bactérias fitopatogênicas e ocorre principalmente em folhas e frutos, devido à liberação de água das células das plantas para os espaços intercelulares.

- **Murcha:** é um sintoma característico de patógenos vasculares, em que ocorre a obstrução dos vasos condutores da planta, resultando na flacidez de folhas e ramos.

- **Cancro:** costuma ocorrer em tecidos corticais, manifestando-se na forma de pequenas depressões sobre caules, tubérculos, frutos, folhas e raízes.

- **Crestamento:** necrose rápida e inesperada em folhas, flores e brotações.

- **Damping-off:** é um sintoma induzido por patógenos de solo, em que ocorre o tombamento de plântulas devido ao apodrecimento de tecidos tenros do caulículo pela ação do patógeno.

- **Escaldadura:** semelhante a uma queimadura de planta por água quente, geralmente observa-se uma mudança na cor do órgão atacado (folhas).

- **Gomose:** sintomas característicos de patógenos que colonizam o córtex ou o lenho de plantas que, por sua vez, exsudam substâncias viscosas (goma) através dos tecidos infectados.

- **Mancha:** é um dos sintomas mais comuns induzidos por patógenos de plantas. Ocorre a morte localizada de tecidos foliares que, posteriormente, adquirem aspecto seco, com forma que varia em função do patógeno.

- **Mumificação:** esse sintoma está relacionado à infecção de frutos jovens, que apodrecem, secam rapidamente, enrugam e escurecem formando uma massa dura.

- **Podridão:** é caracterizado pela morte, perda de consistência e desintegração de tecidos, devido à ação de enzimas extracelulares de alguns fungos e bactérias fitopatogênicas.

- **Pústula:** é o sintoma de ferrugens, em que inicialmente ocorre o desenvolvimento de uma mancha necrótica, que com o tempo evolui de tamanho e dimensão, elevando a epiderme da planta, rompendo e expondo as estruturas reprodutivas do fungo.

Já os sintomas morfológicos **plásticos**, por sua vez, podem ser definidos como “anomalias que levam a alterações visíveis na forma ou no conteúdo dos tecidos doentes” (REZENDE et al., 2011, p. 47). Os mais comuns, conforme Rezende et al. (2011), são:

- **Clorose:** ocorre o esmaecimento do tom verde de órgãos que apresentam clorofila.

- **Enfezamento ou nanismo:** é um sintoma característico de vírus e fitoplasmas, em que ocorre a redução do tamanho da planta ou dos órgãos afetados por esses fitopatógenos.

- **Mosaico:** é um sintoma típico da infecção por vírus, em que ocorre a alternância entre áreas cloróticas e áreas de verde normal, do tecido da planta que foi afetado.

- **Encarquilhamento ou encrespamento:** resulta da hipertrofia ou hiperplasia de células, que acaba deformando o tecido. Ocorre principalmente em folhas.

- **Galha:** é induzida por espécies de nematoides do gênero *Meloidogyne* spp. e por bactérias como *Agrobacterium tumefaciens*, por meio da hiperplasia ou hipertrofia de células em órgãos como raízes e caules de plantas.

- **Verrugose:** é o crescimento excessivo de tecidos epidérmicos e corticais, resultando em lesões salientes e ásperas em frutos, tubérculos e folhas (REZENDE et al., 2011, p. 48).



Pesquise mais

Vamos entender mais os sintomas morfológicos necróticos e plásticos de doenças de plantas? O vídeo a seguir contém ilustrações muito didáticas com a maioria dos sintomas que tratamos nesta seção. Aprecie!

MILTON LIMA. **Sintomatologia de doenças de plantas**. 26 jul. 2011.

Diante disso, após compreender o ciclo das relações patógeno-hospedeiro e a importância de suas fases para a manifestação de doenças em plantas, a forma como os ciclos primário e secundário podem contribuir no desenvolvimento de uma epidemia no campo e conhecer os sintomas mais comuns incitados por fitopatógenos em plantas, você tem subsídios e será capaz, no exercício de sua profissão, de reconhecer os sintomas em uma visita técnica de campo, de inferir a origem de uma doença em uma determinada lavoura (se teve seu desenvolvimento a partir de um inóculo primário de dentro ou de fora da lavoura, por exemplo) e se, futuramente, essa doença poderá tornar-se uma epidemia no campo. Assim, os conteúdos abordados nesta seção são a base para o entendimento da Seção 1.3, que abordará os tipos de resistência de plantas frente à infecção por um patógeno e a forma como o ambiente pode influenciar ou afetar o patógeno, o hospedeiro e o controle de doença de plantas.

Agora que você já conhece o ciclo das relações patógeno-hospedeiro, aprendeu sobre a importância de cada uma de suas fases na manifestação e desenvolvimento de doenças em vegetais, aprendeu sobre a epidemiologia e a sintomatologia de doenças de plantas, você é capaz de resolver a situação-problema proposta no início desta seção.

Vamos começar lembrando que você foi contratado por um produtor rural para supervisionar uma lavoura cafeeira no estado de Minas Gerais. Essa lavoura, que se destina à exportação de café, passou a apresentar elevada e significativa redução na produtividade do grão, devido à incidência de uma doença conhecida como ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo fitopatogênico *Hemileia vastatrix*, diagnóstico que foi confirmado pela clínica fitopatológica para onde o material coletado de plantas doentes foi enviado.

Conhecendo a sintomatologia das doenças de plantas, você relataria que provavelmente a doença em questão se trata de ferrugem, porque as plantas exibiam como sintomas manchas de coloração amarelo-pálida, ou amarelo-laranja quando estavam em estágio mais avançado de desenvolvimento. Com o passar do tempo, essas manchas tornavam-se pequenas pústulas, que rompiam a epiderme da folha e exibiam os urediniosporos (sinais) do patógeno.

Você afirma ao produtor, devido ao seu conhecimento sobre o ciclo das relações patógeno-hospedeiro, que a primeira geração do patógeno (ciclo primário) veio provavelmente de outro cultivo de café e todas as outras gerações, que correspondem aos ciclos secundários, foram desenvolvidas dentro de sua lavoura. Você chegou a essa conclusão porque a lavoura do vizinho estava apresentando alta incidência de ferrugem e, devido às correntes de ar, o inóculo primário é oriundo dessa lavoura. Dessa forma, você demonstra que a importância do ciclo primário da doença foi servir como fonte primária de inóculo na lavoura que você está supervisionando e, a partir desse inóculo primário, foram geradas todas as novas infecções de plantas, que se constituíram em muitos ciclos secundários do patógeno, disseminando a doença de uma para várias plantas na lavoura.

Diante disso, você destaca a importância de cada um dos cinco processos do ciclo das relações patógeno-hospedeiro, deixando o produtor a par de que essa doença que está causando prejuízos à sua lavoura teve início com a sobrevivência do inóculo em plantas e em restos culturais da lavoura de seu vizinho, sendo então disseminada para a sua lavoura por meio de correntes de vento e pela alta incidência de chuva nas últimas semanas. A partir da disseminação para a sua lavoura, plantada com a cultivar de café IAC 376-4 do grupo Mundo Novo, que apresenta boa produtividade, mas

que infelizmente é suscetível à ferrugem, o patógeno encontrou um hospedeiro sadio e suscetível, onde se depositou e iniciou a infecção da planta, colonizando-a posteriormente e se reproduzindo, pela formação de pústulas e liberação de urediniosporos, pela ação de ventos, chuvas, homem e tratos culturais para as plantas vizinhas, o que provavelmente se tornará um ciclo vicioso em sua lavoura, devido à cultivar ser suscetível a essa doença.

Dessa forma, a ferrugem do cafeeiro na lavoura que você supervisiona como engenheiro agrônomo poderá, sim, tornar-se uma epidemia, se métodos de controle eficientes não forem aplicados a tempo, pois o patógeno terá sempre um hospedeiro suscetível à doença, um ambiente favorável para seu desenvolvimento e ainda a ação externa do homem, ajudando na disseminação e na sobrevivência do patógeno ao longo de vários ciclos secundários da doença.

Ao final dessa avaliação da lavoura, é importante que você tome nota de tudo o que foi observado no campo e faça o relatório para o produtor rural para que ele sempre tenha em mãos o histórico de sua área.

Avançando na prática

Importância da sobrevivência do inóculo no ciclo das relações patógeno-hospedeiro

Descrição da situação-problema

Você foi contratado para conduzir uma lavoura de soja no estado do Mato Grosso, um dos maiores produtores do grão no Brasil. As plantas dessa lavoura estão apresentando lesões de cor parda, de aspecto encharcado (anasarca), em que os órgãos, com o passar do tempo, apresentam consistência mole e um micélio branco de aspecto cotonoso, cobrindo principalmente as porções de tecidos mais próximas ao solo. Analisando e observando os sintomas, você verificou que também está ocorrendo a formação de escleródios sobre o micélio, constatando que a doença em questão é o mofo branco da soja, causada pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum*. Por ser um fungo altamente agressivo e polífago, quais possíveis estratégias esse patógeno utilizaria para sobreviver na ausência do hospedeiro principal?

Resolução da situação-problema

De acordo com os sintomas observados, o fungo causa podridões na raiz e no colo das plantas atacadas, além de produzir escleródios, que são uma

de suas principais estruturas de resistência. Dessa forma, o patógeno está usando como estratégia de sobrevivência a produção de estruturas de resistência (escleródios), capazes de permanecer no solo durante longos períodos de tempo sem sofrer ação das condições ambientais adversas. Por ser uma espécie altamente polífaga, usa como estratégia a sobrevivência em plantas hospedeiras alternativas, colonizando outras culturas (tigueras na área) ou mesmo algumas plantas daninhas, e pode também sobreviver nos restos culturais no solo, da cultura principal no período de entressafra, desenvolvendo, nesse caso, uma fase saprofítica.

Faça valer a pena

1. De acordo com Rezende et al. (2011), sintomas morfológicos são qualquer tipo de alteração visível na forma ou anatomia dos órgãos da planta, devido à ação de um fitopatógeno. Os sintomas morfológicos são subdivididos em necróticos e plásticos. Sintomas necróticos são assim denominados devido à degeneração do protoplasma e à morte da parte afetada da planta, e os plásticos são caracterizados por anomalias que alteram a forma ou o conteúdo de tecidos doentes.

De acordo com os enunciados e as definições apresentadas, assinale a alternativa que contém três sintomas morfológicos necróticos.

- a) Murcha, cancro e enfezamento.
- b) Pústula, mancha e escaldadura.
- c) Pústula, cancro e clorose.
- d) Encarquilhamento, enfezamento e verrugose.
- e) Murcha, enfezamento e galha.

2. O ciclo das relações patógeno-hospedeiro é dividido em cinco eventos distintos, sucessivos e ordenados, que caracterizam o desenvolvimento de doenças infecciosas em plantas. De acordo com esses eventos, o ciclo das doenças pode ser dividido em primário e secundário.

Qual é a única fase do ciclo das relações que ocorre apenas no ciclo primário de doenças de plantas?

- a) Infecção.
- b) Reprodução.
- c) Sobrevivência do inóculo.
- d) Colonização.
- e) Disseminação do inóculo.

3. A epidemiologia de plantas é o estudo de populações de patógenos e de hospedeiros que sofrem a ação do ambiente e a interferência humana. O princípio básico da epidemiologia é a determinação da quantidade de doença em um campo de produção, determinada por dois processos opostos: **infecção** e **remoção** do inóculo.

Dessa forma, a mudança na intensidade de uma doença em uma população de hospedeiros, no tempo e no espaço, refere-se a:

- a) Uma pandemia.
- b) Uma endemia.
- c) Um sintoma morfológico.
- d) Uma epidemia.
- e) Um sintoma histológico.

Doenças e fitopatógenos

Diálogo aberto

Caro aluno, você já sabe que, para que uma doença ocorra no campo, é necessário que haja a interação entre três fatores básicos: patógeno virulento, planta suscetível e ambiente favorável ao desenvolvimento de doenças. Caso a interação entre esses fatores não ocorra, a doença não se manifesta. Partindo desse princípio, nesta seção você vai conhecer os tipos de resistências de plantas a doenças e seus princípios básicos, além de descobrir como a resistência da planta pode interferir no desenvolvimento de um patógeno virulento. Ainda dentro da abordagem de resistência, você tomará conhecimento sobre a teoria gene-a-gene de Flor e entenderá porque na natureza a doença é uma exceção e não a regra, como costumamos pensar. Finalizaremos a seção e também a primeira unidade desse livro entendendo como os fatores ambientais podem afetar ou favorecer o desenvolvimento do patógeno, do hospedeiro e o controle de doenças de plantas, visto que o fator ambiental favorável é um requisito básico para o desenvolvimento de uma doença.

Relembrando rapidamente o nosso contexto profissional, você é o engenheiro agrônomo responsável por uma lavoura comercial de café para exportação, que está com problemas graves de queda de produção. Sabe-se que o causador disso é um fungo fitopatogênico, altamente devastador em plantios de café, chamado *Hemileia vastatrix*, diagnóstico confirmado por uma clínica de análises fitopatológicas de sua confiança. Além disso, você fez um levantamento e um monitoramento da área e observou que as condições ambientais estavam favoráveis ao desenvolvimento da doença.

Como você explicaria ao produtor a importância dos efeitos ambientais sobre o patógeno (*Hemileia vastatrix*) e sobre o hospedeiro (cafeeiro) e como esses fatores estão favorecendo o patógeno na cultura? O que mais pode estar ajudando no progresso da doença nesse campo de cultivo, baseado nas informações prestadas inicialmente pelo produtor? Como você utilizaria os fatores ambientais a favor do controle dessa doença?

Você deverá retomar as orientações dadas ao produtor rural durante as seções anteriores e elaborar um relatório técnico, em que deverão constar as observações feitas por você acerca da área de cultivo do produtor rural, as características expressas pelas plantas (sintomas da doença e sinais do patógeno), o tipo de patógeno constatado por você nas plantas de café, o tipo de cultivar (se resistente ou suscetível à ferrugem) e as condições ambientais observadas.

Para finalizar esta primeira unidade da disciplina e para que você tenha os subsídios necessários para resolver essas e outras questões, conheceremos os principais tipos de resistência de uma planta frente ao ataque de patógenos, o motivo de a doença ser exceção em um campo de acordo com a teoria gene-a-gene de Flor e a ação de efeitos do ambiente sobre o patógeno, o hospedeiro e o controle de doenças, permitindo que você aplique esses conhecimentos no contexto profissional descrito. Mãos à obra!

Não pode faltar

Vamos iniciar a última seção da Unidade 1 entendendo um pouco sobre resistência de plantas a doenças. Primeiramente, é importante que você entenda que, na natureza, a doença não é a regra, e sim a exceção, pois apesar da ampla gama de fitopatógenos existentes, poucos são capazes de induzir sintomas de doenças em uma determinada espécie vegetal (CAMARGO, 2011a). Dessa forma, podemos definir resistência como a habilidade da planta em suprimir ou retardar o desenvolvimento de um fitopatógeno em seus tecidos. Dentro da fitopatologia, resistência é sinônimo de imunidade ou imunidade inata, que apresenta mecanismos que asseguram a condição imune da planta frente a um fitopatógeno, conhecidos como mecanismos de resistência de não hospedeiro (CAMARGO, 2011a).

A **resistência de não hospedeiro** é a resistência natural da planta, a forma mais comum e durável na natureza, que ocorre devido às relações não compatíveis entre plantas e patógenos (DALIO et al., 2014). Os mecanismos que envolvem esse tipo de resistência podem ser estruturais (cutícula e estômatos) e bioquímicos (produção de saponinas e compostos fenólicos para inibir o microrganismo patogênico).

Como poderia um microrganismo se tornar patógeno de uma determinada espécie vegetal, se na natureza a doença é exceção? Podemos entender esse questionamento da seguinte forma: durante a evolução, alguns microrganismos desenvolveram mecanismos de patogenicidade capazes de suplantar os mecanismos estruturais e bioquímicos da resistência de não hospedeiro das plantas. Dessa forma, os fitopatógenos vencem as barreiras físicas e estruturais da planta, secretando enzimas capazes de degradar cutinases da cutícula e toxinas, como a coronatina, que induz a planta a manter os estômatos abertos e, dessa forma, bactérias fitopatogênicas penetram e colonizam a planta, retirando dela os nutrientes essenciais para a sobrevivência e o desenvolvimento. Já as barreiras bioquímicas impostas pelas plantas, como as saponinas e os compostos fenólicos, são vencidas pelos patógenos também por meio da produção de enzimas, que degradam esses compostos tóxicos produzidos

pelas plantas e detoxificam o nicho vegetal, possibilitando a colonização do tecido pelo microrganismo patogênico.



Assimile

É importante lembrar que, a partir do momento em que o microrganismo foi capaz de vencer as barreiras de resistência impostas pela planta, ele passa a ser um patógeno daquela espécie vegetal, que fica conhecida como hospedeira do microrganismo fitopatogênico.

A **resistência de hospedeiro**, por sua vez, pode ser qualitativa ou quantitativa. A **qualitativa** é conhecida como resistência do tudo ou nada, em que uma planta sem sintomas aparentes de doença é chamada de resistente, e uma planta com sintomas de doença é suscetível (CAMARGO, 2011b), ou seja, se a planta for capaz de reconhecer o patógeno, não há o desenvolvimento de sintomas e da doença, porém, caso não ocorra o reconhecimento do patógeno por parte da planta, há a manifestação dos sintomas e da doença. A resistência qualitativa é sinônima de resistência vertical e raça específica, controlada por genes R (de efeito maior) que atuam no reconhecimento do patógeno, é pouco durável e monogênica, ou seja, herdada por um ou poucos genes do hospedeiro e, por isso, é efetiva somente a determinadas raças do patógeno (CAMARGO, 2011b; VANDERPLANK, 1968).

A **resistência quantitativa** é assim chamada, pois “para diferenciar uma planta da outra em termos de sua resistência ao patógeno é preciso quantificar os sintomas que cada uma apresenta” (CAMARGO, 2011a, p.122). É sinônima de resistência horizontal e raça não específica, controlada por genes de efeito menor que atuam nas etapas subsequentes ao reconhecimento do patógeno, além de ser durável e poligênica, herdada por vários genes do hospedeiro e efetiva contra várias raças do patógeno (CAMARGO, 2011b; VANDERPLANK, 1968).



Pesquise mais

Você tem ideia de como as plantas conseguem perceber a presença de um patógeno? De acordo com Resende et al. (2006, p. 129), “vários eliciadores podem disparar uma cascata de sinalização nas plantas, induzindo reações de defesa contra fungos, bactérias, vírus e nematoides”. Dessa forma, o reconhecimento do patógeno pela planta ocorre quando os eliciadores do patógeno se ligam a moléculas receptoras da membrana plasmática das células do hospedeiro. Para entender melhor esse processo, leia o artigo indicado (páginas 130-134; 137; 140-146).

RESENDE, M. L. V. et al. Percepção e transdução de sinais para a ativação

Os principais tipos de resistência em plantas são: local (ou resposta de hipersensibilidade – HR) e induzida, que é dividida em **resistência sistêmica adquirida** (do inglês *systemic acquired resistance* – SAR) e **resistência sistêmica induzida** (do inglês *induced systemic resistance* – ISR) (MONTEIRO, 2014). A HR resulta na morte repentina de poucas células do hospedeiro no entorno do sítio de infecção pelo patógeno, em que ocorre a parada do crescimento e morte do patógeno nesses locais (PASCHOLATI, 2011), ou seja, a planta mata algumas células para que as demais (sadias e sem infecção) sobrevivam sem sofrer o ataque do patógeno.

A SAR é caracterizada por uma resposta generalizada da planta a agentes bióticos ou abióticos capazes de causar estresse (CAMARGO, 2011a). Esse tipo de resistência se desenvolve devido à ação de patógenos biotróficos que causam HR em plantas ou à aplicação exógena de indutores de resistência de plantas, como o acibenzolar-S-metil (ASM), tendo a sinalização mediada pela via hormonal do ácido salicílico (Figura 1.4), ou seja, após a aplicação de certos defensivos ou mesmo por causa da ação de um patógeno, a planta os reconhece e, em uma tentativa de defesa, “adquire” uma resistência inata, como a dos animais, por exemplo.

Já a ISR depende da ativação de mecanismos latentes do hospedeiro mediante o tratamento da planta com agentes bióticos (como microrganismos benéficos ativos ou inativados), que resultam na ativação de uma série de genes envolvidos com as respostas de resistência da planta e tem a sinalização mediada pela via hormonal do ácido jasmônico e etileno (CAMARGO, 2011a; PASCHOLATI, 2011) (Figura 1.4). Esses microrganismos benéficos são reconhecidos pela planta, que acaba ativando seus mecanismos de defesa latente e desencadeando sua cascata de defesa, tornando-se resistente aos patógenos que poderão vir a se depositar sobre a sua superfície posteriormente.

Analisando a Figura 1.4, você verá uma comparação entre ISR e SAR. Note que a SAR é induzida por meio da exposição de tecidos radiculares ou foliares a agentes bióticos ou não. Além disso, depende do fito-hormônio silicato (ácido salicílico), associando-se, também, ao acúmulo de proteínas, pela planta, relacionadas à patogênese (proteínas PR). Já a ISR é induzida pela exposição dos tecidos da planta a linhagens específicas de rizobactérias (ou bactérias endofíticas) benéficas, que induzem resistência ou promovem o crescimento da planta, sendo dependente dos fito-hormônios etileno e jasmonato (ácido jasmônico), independentemente da via do ácido salicílico e sem apresentar o acúmulo de proteínas PR.

Figura 1.4 | Resistência sistêmica adquirida e resistência sistêmica induzida, mediadas pelas respectivas vias hormonais

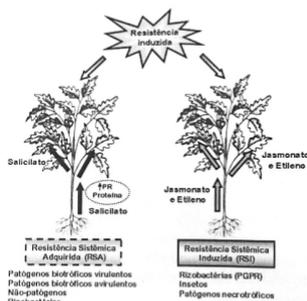


Figura 6.4 - Resistência sistêmica adquirida mediada pelas vias hormonais do ácido salicílico ou do ácido jasmônico/etileno. A ativação destas vias depende do tipo de estresse.

Fonte: Amorim; Rezende; Bergamin Filho (2011, p. 126).



Refleta

Como já discutimos, a resistência sistêmica adquirida normalmente é desencadeada por patógenos, com a sinalização mediada pela via do ácido salicílico. Já a resistência sistêmica induzida é normalmente desencadeada por microrganismos benéficos, como bactérias endofíticas e rizobactérias. Você consegue imaginar de que forma esses microrganismos poderiam ser usados visando desencadear a resistência da planta, na proteção contra o estabelecimento de patógenos?

Além disso, as plantas podem ainda apresentar tolerância às doenças. Diz-se que uma planta é tolerante quando ela é capaz de suportar a doença sem ter reduções na produção (CAMARGO, 2011a). Contudo, essa característica está relacionada apenas à capacidade da planta em manter a sua produtividade, não sendo então considerada resistente, visto que a planta não apresenta a capacidade de prevenir o ataque do patógeno.

A **teoria gene-a-gene** foi proposta por Harold Henry Flor, em 1942. Flor estudou o patossistema linho-*Melampsora lini* (ferrugem do linho) nos Estados Unidos e propôs uma explicação muito simples para a herança da patogenicidade de *M. lini*, comprovando que existia uma relação exata de um gene de ataque do patógeno para um gene de defesa do hospedeiro (CAMARGO, 2011a). Isso significa que, para cada gene que confere resistência ao hospedeiro, existe um gene correspondente no patógeno que condicionará a virulência, dando-lhe a capacidade de causar doença na planta, de maneira que cada gene no hospedeiro é detectado e identificado apenas pelo seu gene correspondente no patógeno e vice-versa.



Exemplificando

Para entendermos melhor a teoria gene-a-gene, vamos tomar como exemplo o experimento conduzido por Flor em 1942 com a ferrugem do linho, visando avaliar a herança genética resultante das interações entre *M. lini* e linhagens de linho (*Linum usitatissimum*). Flor selecionou como parental suscetível em seu estudo a cultivar de linho Bison, que foi cruzada com outras cultivares que continham genes de resistência (R), e os indivíduos resultantes desse cruzamento foram inoculados com as raças de *M. lini* de sua micoteca. Flor observou em seus resultados que as plantas poderiam ser resistentes a uma raça de *M. lini* devido a um alelo de resistência, ou que poderiam ser resistentes a uma segunda raça do patógeno, baseando-se em um segundo alelo para resistência, ou que poderiam, ainda, ser resistentes a uma terceira raça do patógeno por causa da presença de três alelos de resistência. Dessa forma, o número de genes que segregavam no cruzamento entre uma cultivar resistente e uma cultivar suscetível dependia do isolado que ele utilizava nas inoculações (RODRIGUES; ZAMBOLIM, 2014). Em resumo, os resultados desse estudo mostraram que sobre as cultivares de linho que tiveram um gene de resistência para a raça parental do fungo, as culturas F2 resultantes segregaram em taxas monofatoriais, e sobre as cultivares que apresentaram dois, três ou quatro genes de resistência para a raça parental, as culturas F2 resultantes do cruzamento segregaram em taxas bi, tri e tetrafatoriais, respectivamente.

Agora que já vimos os tipos de resistência de plantas, de que forma o ambiente poderia influenciar a doença? Considerando o que vimos nas Seções 1.1 e 1.2 deste livro, a ocorrência de uma doença no campo está diretamente relacionada à interação entre um hospedeiro suscetível, um patógeno virulento e agressivo e um ambiente com condições favoráveis para o desenvolvimento dos sintomas típicos da doença. Porém, cabe ressaltar que, desses três componentes, o único capaz de apresentar variações durante o ciclo de uma cultura é o ambiente. Dessa forma, podemos perceber que é o ambiente o responsável por regular a manifestação de uma epidemia em um campo de cultivo, facilitando ou dificultando seu desenvolvimento, mesmo na presença de hospedeiros suscetíveis e patógenos virulentos (BEDENDO; AMORIM, 2011).

É fato que o bom desenvolvimento e a produtividade de uma cultura dependem de suas características agrônômicas, mas fatores ambientais associados ao clima (umidade, temperatura, luz e vento), à qualidade do solo (pH e disponibilidade de nutrientes do solo) e ao cultivo (práticas culturais diversas) podem afetar direta ou indiretamente o hospedeiro, podendo até

mesmo predispor a planta ao ataque de agentes fitopatogênicos (BEDENDO; AMORIM, 2011). A umidade do solo, disponível para a planta na forma de água do solo, exerce grande influência sobre a predisposição da planta ao ataque de patógenos. Sabe-se que ela é um fator primordial para a sobrevivência e o desenvolvimento do patógeno, pois sem ela o microrganismo não é capaz de realizar seus processos vitais básicos e morre. Contudo, é necessário compreender que precisa haver um balanço hídrico adequado, pois tanto o excesso quanto a escassez de água são elementos negativos para a planta, no que diz respeito à infecção por patógenos. O excesso de água no solo torna a planta mais propensa ao ataque de patógenos radiculares, que causam podridões e tombamento de plântulas e plantas, enquanto a deficiência hídrica resulta no subdesenvolvimento da planta e, conseqüentemente, na perda de sua resistência natural, visto que a planta deixa de produzir algumas proteínas de defesa, como quitinases, glucanases e peroxidases, para direcionar sua energia para processos vitais básicos, como absorção de nutrientes, e manter-se viva.

A temperatura também exerce influência direta sobre a resistência ou suscetibilidade do hospedeiro. Os efeitos da temperatura tornam a planta suscetível a patógenos devido à redução da formação de compostos fenólicos pela planta, bloqueio de mecanismos estruturais e, principalmente, por causa da condição debilitada do hospedeiro, que favorece a colonização da planta pelo patógeno.



Exemplificando

A refrigeração de produtos armazenados é um dos métodos mais utilizados para o controle de doenças de pós-colheita. A incidência de microrganismos fitopatogênicos em frutos, raízes, tubérculos, hortaliças, sementes e grãos costuma ser bem reduzida, pois as estruturas reprodutivas desses patógenos, frequentemente depositadas sob a superfície desses órgãos, não se desenvolvem, impedindo a infecção. Apesar de ser uma das práticas mais eficazes para o armazenamento e a manutenção de produtos de pós-colheita, é preciso tomar alguns cuidados essenciais, principalmente relacionados a variações bruscas de temperatura, entre as operações de armazenamento e exposição dos produtos. Alguns produtos em particular, principalmente frutos e hortaliças acondicionadas em embalagens plásticas, quando expostos para vendas em supermercados, são retirados da câmara fria e acomodados em prateleiras, muitas vezes sem refrigeração. Dessa forma, os patógenos que estavam presentes na superfície dos tecidos vegetais e que antes não se desenvolviam devido ao frio passam a ter um micro-

clima ideal para o seu desenvolvimento, deteriorando ainda mais rapidamente os órgãos, pois, devido ao choque térmico que receberam saindo de um ambiente de armazenamento frio para a temperatura ambiente, formam-se gotículas de água e elevada umidade dentro da embalagem, predispondo o produto à ação de patógenos.

O excesso ou a falta de elementos minerais na nutrição da planta também a predispõe ao ataque do patógeno. Com uma nutrição balanceada e com o fornecimento adequado dos nutrientes necessários ao desenvolvimento, a planta tende a apresentar maior resistência a doenças. No entanto, o desequilíbrio nutricional, tanto de macro quanto de micronutrientes, influencia negativamente o vigor e as reações de defesa da planta, tornando-a mais sensível ao ataque de fitopatógenos, devido ao mal desenvolvimento (BEDENDO; AMORIM, 2011).

Os fatores ambientais também podem exercer influência sobre o patógeno. Eles estão relacionados diretamente à distribuição e à intensidade da doença em uma determinada área, pois os patógenos se distribuem geograficamente de acordo com a sua capacidade em se adaptar ao meio (BEDENDO; AMORIM, 2011). Com isso, a umidade, a temperatura, a ação do vento e o pH do solo podem ter ação direta no desenvolvimento de microrganismos. A umidade, na ausência do hospedeiro, por exemplo, tem ação direta sobre a sobrevivência de patógenos fúngicos, bacterianos e viroses. Tanto o encharcamento do solo quanto a sua baixa umidade pode desencadear a morte do microrganismo, devido à promoção de um ambiente anaeróbico e pela dessecação das estruturas do patógeno, respectivamente. Porém, patógenos que produzem estruturas que se movimentam na água, como oósporos e zoósporos, são favorecidos pela alta umidade do solo. A dispersão de patógenos pode ser favorecida também por meio de respingos de chuva, irrigação e ação do vento. Além disso, a umidade é essencial para o desenvolvimento e a reprodução do patógeno, principalmente para a germinação e penetração do microrganismo na planta.

A grande maioria dos patógenos é capaz de crescer, desenvolver-se e reproduzir-se em uma faixa bem variável de temperatura, que nem sempre é um fator decisivo para a vida do microrganismo (BEDENDO; AMORIM, 2011). Todavia, temperaturas muito elevadas podem causar o dessecação de células bacterianas e estruturas de fungos, e temperaturas muito baixas cessam as atividades do patógeno até o restabelecimento das condições normais de temperaturas, deixando o microrganismo em estado de latência. De maneira positiva ao patógeno, a temperatura pode também atuar sobre a germinação de esporos, formação de apressórios e penetração. Já o pH do solo pode interferir diretamente na sobrevivência, germinação, penetração e

reprodução de patógenos de solo (BEDENDO; AMORIM, 2011). De forma geral, fungos se desenvolvem melhor em pHs mais ácidos, enquanto agentes bacterianos não toleram a acidez.



Vocabulário

Apressórios são estruturas achatadas, formadas pela dilatação do tubo germinativo ou da hifa, com capacidade de se aderir firmemente ao hospedeiro para facilitar a penetração do fungo, ou a emissão dos **haustórios** que, por sua vez, é uma estrutura dilatada ou ramificada, desenvolvida por fungos para a absorção de nutrientes a partir do citoplasma da célula do hospedeiro (MASSOLA JR; KRUGNER, 2011).

Por fim, a ação de fatores ambientais pode também atuar sobre o controle de doenças de plantas. De acordo com Bedendo e Amorim (2011), algumas práticas na instalação e na condução de uma determinada cultura podem ser adotadas visando criar condições ambientais que desfavoreçam o desenvolvimento do patógeno e favoreçam a planta, para impedir ou prevenir a manifestação de doenças. Táticas como escolha de solos bem drenados, irrigação adequada, espaçamento e densidade de plantio apropriados, adubação equilibrada e correção da acidez do solo evitam que o patógeno encontre as condições ideais para suas atividades, não ocorrendo, dessa forma, a doença.

Considerando as abordagens expostas nesta seção, desde os tipos de resistência de uma planta ao ataque de um agente fitopatogênico, a teoria gene-a-gene de Flor e a ação dos fatores ambientais sobre o patógeno e o hospedeiro e sobre o controle de doenças de plantas, você será capaz de diferenciar uma planta suscetível de uma planta resistente, bem como saber quais fatores ambientais podem favorecer o desenvolvimento do hospedeiro e retardar o aparecimento do patógeno em uma lavoura, além de aprender a manejá-los a favor do hospedeiro para o controle ou a prevenção do surgimento de uma determinada doença. A partir da Unidade 2, você conhecerá detalhadamente todos os tipos de patógenos que podem atacar as plantas cultivadas e aprenderá a diferenciá-los por meio de abordagens teóricas e práticas.

Sem medo de errar

Depois de estudarmos sobre os tipos de resistência de plantas e a teoria gene-a-gene de Flor, bem como a importância dos efeitos ambientais no desenvolvimento ou não de doenças de plantas, você tem subsídios para resolver a situação-problema proposta no início dessa seção.

Recordando o nosso contexto profissional, você foi contratado como engenheiro agrônomo para supervisionar uma lavoura cafeeira plantada com a cultivar IAC 376-4 do grupo Mundo Novo, que vem apresentando reduções drásticas na produtividade. De acordo com a análise clínica e com relatórios entregues por você ao produtor, o diagnóstico final foram plantas apresentando incidência de ferrugem, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*. Você observou que a região apresentou alta intensidade de chuvas aliadas a temperaturas elevadas durante o dia, além de apresentar correntes fortes de ventos e a inexistência de quebra-ventos no entorno do cultivo.

Baseado em seus conhecimentos sobre a importância dos efeitos ambientais no patógeno e no hospedeiro, você explica ao produtor que o ambiente é fator fundamental no desenvolvimento da doença e, nesse caso, a alta intensidade de chuvas e as temperaturas elevadas proporcionaram um microclima ideal para o rápido desenvolvimento da doença na cultura, favorecendo o patógeno e desfavorecendo o hospedeiro. Além disso, a incidência de ventos fortes na área está acarretando em ferimentos nas plantas, devido à abrasão entre folhas e ramos, abrindo portas para o fungo e outros patógenos na cultura. Do mesmo modo, a cultivar usada pelo produtor, apesar de ter boas características agronômicas e de produtividade, é suscetível à ferrugem do cafeeiro, fato que, aliado às condições ambientais desfavoráveis ao hospedeiro, está agravando ainda mais o progresso da doença nesse campo de cultivo.

Nesse caso, o ideal seria utilizar nessa lavoura uma cultivar que apresente resistência ao patógeno, já que a área está sujeita à incidência da doença. Como você não tem condições de modificar o tempo na região e de modo a usar os efeitos do ambiente a favor do controle de doenças, você sugere que o produtor implante quebra-ventos no entorno de seu cultivo, com o objetivo de amenizar os efeitos danosos às plantas e favorecer o hospedeiro ao invés do patógeno. Outra tática importante seria remover restos culturais da área, a fim de reduzir a fonte de inóculo, fazer uma adubação equilibrada das plantas, de maneira a propiciar um melhor desenvolvimento e a predispor a uma condição de bom desempenho vegetativo, e, com o tempo, ir replantando a lavoura com cultivares resistentes à ferrugem, para evitar ou amenizar o problema na área.

De posse dessas informações e dos dados coletados por você durante as Seções 1.1 e 1.2, você vai elaborar um relatório técnico para o produtor, em que constarão essas informações e suas principais recomendações para tentar reverter a queda de produção que a lavoura está apresentando. Para isso, retome as etapas anteriores a fim de compor o seu relatório final, descrevendo as condições da área de cultivo, os sintomas e os sinais da doença, a identificação do patógeno, a condição da cultivar utilizada pelo produtor, se

resistente ou suscetível à doença, e as condições ambientais que podem estar influenciando o desenvolvimento da doença.

Avançando na prática

Tipos de resistências desencadeadas por plantas

Descrição da situação-problema

Você foi contratado por um produtor rural do interior de Goiás para supervisionar um plantio de tomate industrial, cultura que pode sofrer com o ataque de inúmeros patógenos. O produtor observou que algumas plantas estavam apresentando, nas folhas, manchas encharcadas (anasarca), de aspecto necrótico e formatos irregulares que, com o passar do tempo, coalesciam, tomando grandes proporções da folha, sempre com halo amarelado no entorno da lesão. O produtor enviou o material para análise em uma clínica de diagnose, que constatou a presença de uma doença conhecida como mancha bacteriana do tomateiro, causada pela bactéria fitopatogênica *Xanthomonas vesicatoria* e de ocorrência comum em cultivos de tomate destinados à indústria. Considerando que não existem cultivares resistentes para essa doença e que o controle com fungicidas e produtos à base de cobre nem sempre são eficazes, você sugeriu ao produtor uma tentativa de controle biológico com Serenade, fungicida bactericida microbiológico, registrado para o controle dessa doença em tomateiro e formulado a partir de *Bacillus subtilis* inativo, agente bacteriano de biocontrole de doenças de plantas. Você considerou também a aplicação de um indutor de resistência, chamado BION[®] 500 WG, que tem como princípio ativo acibenzolar-s-metílico, também registrado para a cultura e doença em questão. Considerando os tipos de resistência estudados por você durante o curso de Agronomia, a resistência desencadeada pelo Serenade, formulado a partir de *Bacillus subtilis* (agente benéfico), seria de que tipo e como possivelmente ela estaria agindo na planta? E a resistência desencadeada pelo indutor de resistência BION[®] 500 WG seria do mesmo tipo?

Resolução da situação-problema

Tendo conhecimento sobre os tipos de resistência de plantas, você esclareceu ao produtor que a resistência desencadeada por microrganismos benéficos e, conseqüentemente pelo produto de controle biológico Serenade, é conhecida como resistência sistêmica induzida (ISR). Essa resistência atua na planta mediante a ativação da rota do ácido jasmônico e etileno e propicia

a proteção pela ativação de mecanismos de defesa que estavam latentes no hospedeiro, como genes de resistência e enzimas de defesa da planta. Se o produtor optar pelo uso do indutor de resistência BION[®] 500 WG, o tipo de resistência desencadeada pela planta não será a mesma desencadeada pelo Serenade, pois o BION tem em sua composição acibenzolar-s-metílico, análogo funcional do ácido salicílico que, conseqüentemente, desencadeará na planta a resistência sistêmica adquirida (SAR), que atua mediante a ativação da rota de defesa do ácido salicílico e ativa os mecanismos de defesa da planta via proteínas relacionadas à patogênese (proteínas PR).

Faça valer a pena

1. Estudos conduzidos com o patossistema linho *versus* ferrugem do linho em 1942 explicaram de forma clara e simples a herança da patogenicidade de *Melampsora lini*. O conceito criado a partir dessa descoberta foi de que, para cada gene de ataque do patógeno, existe um gene de defesa correspondente no hospedeiro e vice-versa (CAMARGO, 2011a).

Com base nessas informações, como é conhecida essa interação de um para um (um gene de ataque para um de defesa)?

- a) Resistência sistêmica induzida.
- b) Teoria gene-a-gene de Flor.
- c) Resistência vertical.
- d) Resistência de não-hospedeiro.
- e) Resistência sistêmica adquirida.

2. A resistência de uma planta pode ser definida como a habilidade do vegetal em suprimir ou retardar o desenvolvimento de um patógeno (CAMARGO, 2011a). Dessa forma, um dos principais tipos de resistência manifestada por plantas frente ao ataque de fitopatógenos é a resposta de hipersensibilidade (HR).

Sobre a resposta de hipersensibilidade, é correto afirmar que:

- a) A resposta de hipersensibilidade trata-se de uma resposta da planta a agentes bióticos ou abióticos.
- b) Depende da ativação de mecanismos latentes do hospedeiro mediante o tratamento da planta com agentes bióticos.
- c) É um tipo de tolerância da planta desenvolvida contra patógenos para evitar perdas de produtividade.
- d) A resposta de hipersensibilidade pode ser considerada como a resistência natural da planta hospedeira.

- e) Ocorre a morte repentina de algumas células da planta, no entorno do sítio de infecção, para evitar o desenvolvimento do patógeno.

3. Dos três fatores-chave para o desenvolvimento de doenças em plantas – hospedeiro suscetível, patógeno virulento e agressivo e ambiente favorável - o ambiente, que é um conjunto que engloba fatores climáticos e edáficos, é quem controla o desenvolvimento de uma epidemia no campo, porque é o único que apresenta variações durante o ciclo da cultura.

Com relação aos efeitos do ambiente sobre o patógeno, é correto afirmar que:

- a) Uma nutrição balanceada da planta não exerce nenhuma influência sobre o ataque de patógenos.
- b) O encharcamento ou a baixa umidade do solo são essenciais para a sobrevivência de patógenos de solo.
- c) A alta umidade do solo favorece patógenos que produzem estruturas como oósporos e zoósporos, que se movimentam na água.
- d) O excesso de água no solo torna a planta mais resistente ao ataque de patógenos radiculares, pois a deixa mais hidratada.
- e) O pH do solo não exerce nenhuma influência sobre o patógeno.

Referências

- AGRIOS, G. **Plant Pathology**. 5.ed. San Diego: Academic Press, 2005.
- AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (ed.). **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011.
- AMORIM, L.; PASCHOLATI, S. F. Ciclo de relações patógeno-hospedeiro. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (ed.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 59-99.
- BASSANEZI, R. B. et al. Doenças dos Citros. In: AMORIM, L. et al (ed.). **Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. Ouro Fino – MG: Agronômica Ceres, 2016. p. 271-306.
- BATEMAN, D. The dynamic nature of disease. In: HORSFALL, J.; COWLLING, E. (ed.). **Plant disease an advanced treatise**. New York: Academic Press, 1978.
- BEDENDO, I. P.; AMORIM, L. Ambiente e doença. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (ed.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 133-147.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Epidemiologia de doenças de plantas. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (ed.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 101-118.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M. Importância das doenças de plantas. In: _____ (ed.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 3-17.
- BERGAMIN FILHO, A.; KITAJIMA, E. História da Fitopatologia. In: _____. **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 3-17.
- CAMARGO, L. E. A. Genética da interação patógeno-hospedeiro. In: _____. **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 119-132a.
- _____. Controle genético. In: _____. **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 325-341b.
- CAMBOLIM L., JESUS JUNIOR, W. C.; RODRIGUES, F. A. (ed.). **O essencial da fitopatologia: controle de doenças de plantas**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, 2014. p. 119-134.
- DALIO, R. J. D. et al. Efeitores nas interações planta-patógenos. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 22, p. 25-68, 2014. Disponível em: <https://redefeitores.weebly.com/uploads/4/5/1/3/45136245/rapp_2014_dalio_et_al_-_efeitores.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2018.
- GALLI, F.; CARVALHO, P. C. T. História da Fitopatologia. In: GALLI, F. (ed.). **Manual de Fitopatologia**. São Paulo: Ceres, 1978. p. 9-14.
- JESUS-JÚNIOR, W. C.; RODRIGUES, F. A. (Eds.). **O essencial da fitopatologia: controle de doenças de plantas**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, 2014. p. 119-134.
- KLINKOWSKI, M. Catastrophic plant disease. **Annual Review of Phytopathology**, v. 8, p. 37-60, 1970.
- KRANZ, J. **Epidemics of plant disease. Mathematical analysis and modeling**. Berlin: Springer-Verlag, 1974.

KUHN, J. **Die Krankheiten der Kulturgewächse, ihre Ursachen und ihre Verhütung**. Berlin: G. Bosselmann, 1858.

MADDEN, L. V.; HUGHES, G.; VAN DEN BOSCH, F. **The study of plant disease epidemics**. Saint Paul: APS Press, 2007.

MASSOLA JUNIOR, N. S.; KRUGNER, T. L. Fungos fitopatogênicos. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (ed.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 149-206.

MONTEIRO, A. C. A. **Indutores de resistência no manejo da ferrugem e cercosporiose do cafeeiro (*Coffea arabica*)**: Análises bioquímicas e moleculares. 2014. 133f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitopatologia. Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2zywx91>>. Acesso em: 29 nov. 2018.

PASCHOLATI, S. F. Fisiologia do parasitismo: como as plantas se defendem dos patógenos. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (ed.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 593-636.

REZENDE, J. A. M. et al. Conceito de doença, sintomatologia e diagnose. In: _____. **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 37-58.

RODRIGUES, F. A.; ZAMBOLIM, L. A teoria gene-a-gene. In: ZAMBOLIM, L. et al. **Principles of Plant Pathology**. New York: The Ronald Press Company, 1957.

VANDERPLANK, J. E. **Disease resistance in plants**. New York: Academic Press, 1968.

_____. **Plant diseases: epidemics and control**. New York: Academic Express, 1963.

WALKER, J. C. **Plant Pathology**. New York: McGraw-Hill, 1950.

Unidade 2

Agentes causais de doenças de plantas

Convite ao estudo

Olá, aluno!

Agora que já estudamos a introdução à Fitopatologia, em que foram abordados tópicos com o conceito de doenças de plantas, o ciclo das relações patógeno-hospedeiro e sua importância no desenvolvimento de doenças, a sintomatologia, a epidemiologia e os efeitos que as condições ambientais podem causar ao hospedeiro e ao patógeno, você aprenderá nessa unidade a diferenciar os diversos tipos de patógenos que podem incitar doenças em plantas. Por exemplo, com os conhecimentos que você vai adquirir ao final desta unidade, será capaz de diferenciar uma doença causada por fungos de uma causada por bactérias fitopatogênicas.

Dessa forma, a competência da segunda unidade é conhecer os principais grupos de patógenos que causam doenças em plantas, a fim de reconhecer os sintomas incitados por eles no campo. Com isso, ao final dessa unidade de ensino, você terá subsídios para diferenciar doenças causadas por fungos, bactérias, vírus, nematóides, oomicetos, fitomonas, fitoplasmas e espiroplasmas por meio do conhecimento das características básicas apresentadas por cada um desses patógenos.

Você foi contratado por uma empresa multinacional que presta serviços de diagnose de doenças para a região sul do país (abrangendo os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). Você será o engenheiro agrônomo responsável por um laboratório de análises fitopatológicas (diagnose de doenças e agentes causais), mas também vai atuar como agrônomo de campo, realizando algumas visitas técnicas com o objetivo de avaliar no campo as condições em que as plantas se encontram e coletar amostras de tecidos com sintomas de doenças para identificar o agente causal, bem como receber e catalogar amostras trazidas por produtores rurais para o laboratório da empresa. Com isso, seu desafio e principal função, além das visitas técnicas, será atuar na diagnose de doenças de plantas de diferentes espécies, por meio da observação de sintomas e sinais, caracterizar a doença, definindo com precisão o seu agente causal, e coordenar sua equipe de laboratório para que todas as diagnoses sejam realizadas de forma correta e precisa.

Ao passo que realiza as visitas de campo, efetua as coletas ou recebe o material vegetal no laboratório da empresa, você observa que, além de estar recebendo diferentes tipos de culturas, como arroz, soja, milho, trigo, sorgo e plantas frutíferas, sobre as quais podem incidir inúmeros patógenos diferentes, as plantas, mesmo quando da mesma espécie, apresentam diferentes sintomas, deixando-o em dúvida sobre qual patógeno está atacando-as. Como os sintomas são diferentes, quais características você usaria para separar um fungo de uma bactéria fitopatogênica de plantas? Com relação aos sintomas manifestados, qual seriam as partes da planta coletadas para avaliar a presença de um agente virótico ou de nematoides? Seria possível inferir sobre qual espécie de nematoide está incidindo através dos sintomas manifestados pelas plantas? De acordo com as características do patógeno, seria possível diferenciar um oomiceto (Reino Chromista), de um protozoário (Reino Protozoa) ou mesmo ainda de fitomonas, fitoplasmas e espiroplasmas?

Ao final dessa unidade você terá condições de responder não apenas a essas dúvidas, mas a muitas outras que poderão surgir em seu cotidiano como profissional, pois vai conhecer os patógenos de plantas de importância agrônômica, suas características básicas e as principais diferenças entre eles. Além disso, você será capaz de reconhecê-los como agentes causais de doença, muitas vezes ainda no campo, somente pelos sintomas e sinais. Para isso, utilizaremos como ponto de partida o contexto acima.

Pronto para começar? Boa sorte!

Fungos e bactérias fitopatogênicas

Diálogo aberto

Olá, aluno!

Nesta seção você vai conhecer dois grupos de fitopatógenos de plantas: fungos e bactérias. Esses microrganismos são conhecidos como os mais diversificados morfológica e filogeneticamente, apresentando formas variáveis, e são os responsáveis por causar inúmeras doenças de plantas de importância econômica. Desta forma, você conhecerá as principais características desses patógenos, sua classificação e importância dentro da fitopatologia, de maneira que, ao final dessa seção, você será capaz de diferenciar um patógeno fúngico de um bacteriano. Para isso, vamos tomar como ponto de partida o seguinte cenário profissional:

Você foi contratado como engenheiro agrônomo para ser o responsável por um laboratório de diagnose de doenças de plantas de uma multinacional no sul do país. Como é de se esperar, esse laboratório costuma receber muitas amostras semanalmente, e você, junto com a equipe técnica, é o responsável pelo processamento, identificação e emissão dos laudos. Na sua primeira semana como responsável técnico, o laboratório recebeu amostras de plantas de arroz da cultivar GURÍ INTA CL, vindas de uma cidade do interior do Rio Grande do Sul, chamada Itaqui, considerada um polo da produção nacional de arroz irrigado. Essa cultivar apresenta características agrônomicas de alto vigor inicial na lavoura, é resistente ao acamamento, bom perfilhamento no campo, alta produtividade, medianamente tolerante à toxidez por ferro, porém é suscetível a doenças como a brusone (*Pyricularia oryzae*) e a mancha dos grãos (*Bipolaris oryzae*). As plantas recebidas pelo laboratório estavam no estágio de desenvolvimento reprodutivo R4, ou seja, na antese com emissão de panículas, e apresentavam nas folhas manchas de coloração castanha e formatos elípticos com extremidades agudas, com centro cinza e bordos marrom-avermelhados. No centro das lesões encontram-se os sinais do patógeno. Algumas manchas coalesceram no tecido, tomando maiores áreas, estendendo-se no sentido das nervuras das folhas. Nos colmos, as manchas se apresentavam na região dos entrenós, também de formatos elípticos com centro cinza e bordos marrom-avermelhados. Algumas plantas apresentavam ainda sintomas nas panículas recém-emittidas, na forma de uma lesão marrom no entorno da região nodal, tendendo ao estrangulamento da mesma. Além desses sintomas, as plantas também apresentavam nas folhas manchas menores de formato ovalado, de coloração

marrom-avermelhada com o centro um pouco acinzentado, onde estão os sinais do patógeno.

Diante dos sintomas e sinais exibidos pelas plantas, você saberia dizer se existe mais de uma doença nas plantas recebidas para análise? Essas doenças são de natureza fúngica, bacteriana ou ambas? Considerando que seja possível fazer o isolamento do patógeno em meio de cultivo, quais características você usaria para identificá-lo e dar o laudo ao produtor, para afirmar com certeza a etiologia do patógeno?

Você, como responsável pelo laboratório, deverá, baseado em seus conhecimentos acerca de patógenos fúngicos e bacterianos, elaborar um relatório técnico (laudo) indicando os possíveis patógenos que estão ocorrendo na cultura. Esse relatório deverá ser impresso em duas vias, uma entregue ao produtor para que ele possa proceder ao manejo correto da doença e outra arquivada no laboratório, para consultas posteriores. Além disso, será necessário montar um fitoherbário para o laboratório ter exsicatas referências para fins de comparação, devendo dessa forma, também herbarizar esse material vegetal doente.

Para ajudá-lo a resolver essas questões, nessa seção estudaremos as características gerais, a morfologia, a classificação e os principais grupos de fungos fitopatogênicos, além da taxonomia e da organização celular, ciclo de vida e principais grupos de bactérias fitopatogênicas. Dessa forma, você saberá diferenciar esses dois agentes causais de doenças e identificá-los através de características básicas exibidas por eles.

Vamos começar?

Não pode faltar

Iniciaremos a partir de agora a Unidade 2 da disciplina de Fitopatologia Geral, em que você conhecerá diferentes tipos de patógenos de plantas. Como já estudamos na Seção 1.1, dentro da fitopatologia, as doenças bióticas são as que apresentam maior importância, porque são induzidas por diferentes tipos de microrganismos fitopatogênicos, como fungos e bactérias (REZENDE et al., 2011). De acordo com Agrios (2005), mais de 10.000 espécies fúngicas podem causar doenças em plantas, todas as plantas são atacadas por algum tipo de fungo e cada fungo pode atacar uma ou mais espécies de plantas. Os fungos são conhecidos como seres eucariotos, que formam um grupo muito grande de microrganismos com características morfológicas e filogenéticas muito diversificadas (MASSOLA JR.; KRUGNER, 2011).

Embora sejam um grupo heterogêneo, os fungos apresentam algumas particularidades que os diferenciam de outros seres vivos. De acordo com

Alexopoulos, Mims e Blackwell (1996), essas características são: o talo eucariótico, contendo células que possuem uma membrana nuclear que envolve o seu material genético; o heterotrofismo, pois os fungos não possuem clorofila, necessitando de carbono orgânico na sua nutrição; a absorção de nutrientes, feita a partir do substrato onde crescem, através da parede celular das hifas, e formam esporos, suas unidades reprodutivas.

Além disso, a parede celular é constituída por quitina e β – **glucano**, o carboidrato de reserva é o glicogênio, e esses microrganismos apresentam um corpo, também chamado de talo, que contém estruturas assimilativas e reprodutivas. Como exemplos de estruturas assimilativas, podemos citar as **hifas**, importantes para o desenvolvimento, a colonização e a absorção de água e nutrientes, podendo apresentar ou não septos e ser uni ou multicelulares.

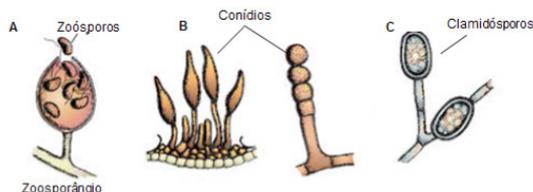
Contudo, as hifas podem sofrer modificações estruturais e formar estruturas especializadas, como **haustórios**, conhecidos como estruturas especializadas na absorção de nutrientes do citoplasma do hospedeiro onde se desenvolve; **rizoides**, que são estruturas semelhantes a uma raiz ramificada e filamentosa de planta, sem núcleo e com paredes grossas com funções de manter o fungo fixo ao hospedeiro e auxiliar na absorção de nutrientes; e **apressórios**, que se caracterizam por sua forma achatada, formados pela dilatação do tubo germinativo ou da hifa, e que têm capacidade de se aderir à superfície da planta hospedeira para facilitar a penetração ou emissão do haustório (MASSOLA JR.; KRUGNER, 2011).

Além da formação de estruturas especializadas, as hifas podem também se agregar, formando **escleródios** (conhecida como uma massa de hifas enveloadas e resistentes, com funções na sobrevivência de fungos de solo), **estroma** (é uma massa de hifas com formato semelhante ao escleródio, porém com função de proteger ou originar as estruturas reprodutivas do fungo), **rizomorfo** (é um agregado de hifas semelhante a uma raiz de planta, com funções de sobrevivência, disseminação e penetração do fungo em hospedeiros arbóreos) e **corpos de frutificação** (são as estruturas reprodutivas macroscópicas de basidiomicetos, ascomicetos e corpos de frutificação microscópicos como ascomas e basidiomas).

As estruturas reprodutivas são representadas pelos esporos, que é um propágulo especializado com uma ou mais células, utilizado como elemento de dispersão do patógeno, podendo dar origem a um novo indivíduo e, em alguns casos específicos, como os clamidósporos e zoósporos, apresentam papel na sobrevivência (MASSOLA JR.; KRUGNER, 2011). As unidades reprodutivas podem ser formadas por reprodução assexuada e sexuada. Na

reprodução assexuada as estruturas reprodutivas são produzidas por mitose e, por isso, têm baixa variabilidade genética, sendo basicamente a cópia fiel (clones) do microrganismo que os produziu, como zoósporos, conídios e clamidósporos (Figura 2.1).

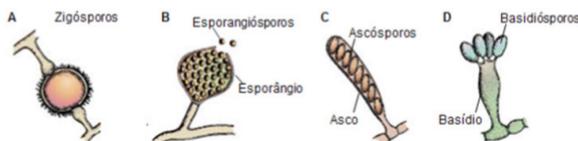
Figura 2.1 | Estruturas reprodutivas assexuais produzidas por mitose: (A) zoósporos; (B) conídios; (C) clamidósporos



Fonte: adaptada de Agrios (2005, p. 389).

Na reprodução sexuada, as estruturas reprodutivas são provenientes de meiose, com alta variabilidade genética, o que lhes confere resistência a condições ambientais adversas, como os zigósporos, esporangiósporos, ascósporos e basidiósporos (Figura 2.2).

Figura 2.2 | Estruturas reprodutivas sexuais produzidas por meiose: (A) zigósporos; (B) esporangiósporos; (C) ascósporos; (D) basidiósporos



Fonte: adaptada de Agrios (2005, p. 389).

Os fungos, como já mencionado, são muito diversificados morfológica e filogeneticamente e, por isso, apresentam representantes nos **Reinos Protozoa, Chromista e Fungi** (MASSOLA JR.; KRUGNER, 2011). Contudo, apenas os **fungos verdadeiros** estão classificados dentro do **Reino Fungi**, e esses serão os microrganismos estudados nessa seção, enquanto aqueles pertencentes aos Reinos Protozoa e Chromista, que reúnem protozoários e algas, e oomicetos, respectivamente, serão discutidos na Seção 2.3 dessa unidade.

Durante muito tempo, a classificação dos fungos foi baseada em critérios morfológicos, como cor, forma e dimensões da colônia, tipo e tamanho de esporos, formação de estruturas de resistência, temperatura ótima de crescimento, entre outros. Contudo, a classificação baseada na morfologia dos fungos nem sempre era precisa, levando a equívocos na nomenclatura

das fases sexual e assexual dos fungos, que recebiam nomes diferentes, embora pertencessem à mesma espécie. Com o advento da biologia molecular e o desenvolvimento de ferramentas mais sensíveis, como a PCR (Reação em Cadeia da Polimerase), sequenciamento, estudos de filogenia etc., que passaram a evitar erros que se obtinham com a análise apenas de caracteres morfológicos, mostrando e comprovando que, muitas vezes, fungos morfológicamente semelhantes eram filogeneticamente diferentes ou vice-versa.

Whittaker em 1969 agrupou os fungos verdadeiros no Reino Fungi, de acordo com suas características filogenéticas e morfológicas, dividindo-os em quatro Filos, os quais são:

- Filo Chytridiomycota: é constituído por microrganismos com talo monocêntrico, policêntrico ou micélio cenocítico, com parede celular contendo quitina e glucanas, e hifas simples e cenocíticas, com septos apenas na delimitação das estruturas reprodutivas (NASCIMENTO; PIRES-ZOTTARELLI, 2009). Sua principal característica é que as células reprodutoras são móveis (zoósporos e gametas), apresentando um flagelo liso e posterior, sobrevivendo predominantemente em ambientes aquáticos ou solos úmidos. Além disso, podem degradar materiais orgânicos como quitina, queratina, celulose e hemicelulose.



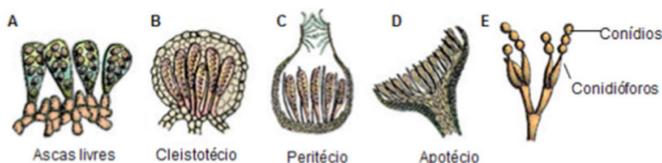
Exemplificando

Como exemplo de patógenos de interesse econômico pertencentes ao Filo Chytridiomycota, podemos citar o agente causal da mancha marrom do milho, *Physoderma maydis* (Miyabe) Miyabe, e o fungo causador da verrugose da batata, *Synchytrium endobioticum* (Schilb.) Percival.

- Filo Zygomycota: é constituído por patógenos, em sua maioria fungos saprófitas de solo e, eventualmente, parasitas. Quando jovens apresentam micélio ramificado e cenocítico e quando adultos podem apresentar micélio septado com microporos, e a parede celular é constituída por quitina e quitosano (MOREIRA; SCHOENLEIN-CRUSIUS, 2010). A reprodução sexuada forma estruturas chamadas zigospórangios, que formarão os zigósporos, e a reprodução assexuada formará estruturas conhecidas como esporângios, que darão origem aos esporangiósporos. Apesar disso, a principal característica desse Filo é a formação de esporos imóveis, como os aplanósporos que são formados por clivagem citoplasmática. Este filo tem como exemplos importantes de doenças a podridão mole de frutos e sementes, causada por *Rhizopus stolonifer*, e a podridão de cucurbitáceas, causada por *Mucor racemosus*.

- **Filo Ascomycota:** é o mais numeroso, com mais de 60.000 espécies de fungos micro e macroscópicos, monofiléticos, filamentosos ou leveduriformes. Produzem células dicariontes no ciclo de vida, em um talo filamentoso ou gemulante e não apresentam esporos móveis (BRUNS et al., 1992; HIBBETT et al., 2007). A característica principal desse grupo é a formação de ascósporos dentro de ascos (ou em ascas livres) na reprodução sexuada, podendo ter a forma de taça (apotécio), garrafa (peritécio) ou esfera fechada (cleistotécio) (Figura 2.3 (A), (B), (C), (D)). Na reprodução assexuada ocorre a formação de conídios em conidióforos (Figura 2.3 (E)). Este filo abriga o maior número de espécies fúngicas e tem como exemplos de doenças importantes a crespeira do pessegueiro (*Taphrina deformans*), bolores e mofos (*Aspergillus* sp. e *Penicillium* sp.), murchas vasculares, cancrios e seca de ramos de árvores (*Ceratocystis* sp. *Verticillium* sp.), manchas foliares (*Pyricularia* sp.), entre outros.

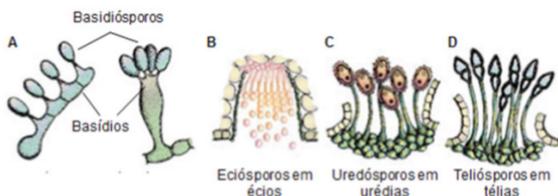
Figura 2.3 | Reprodução sexuada com formação de ascósporos em: (A) ascas livres; (B) apotécio; (C) peritécio; (D) cleistotécio. (E) Reprodução assexuada com formação de conídios em conidióforos



Fonte: adaptada de Agrios (2005, p. 389).

- **Filo Basidiomycota:** os fungos desse Filo apresentam uma fase dicariótica no seu ciclo de vida, o micélio é constituído por hifas septadas simples ou com septo dolipórico, que facilita a transferência dos núcleos após sua divisão. Produzem na fase sexual basidiósporos, em uma estrutura especializada chamada basídio, localizada nos basidiomas (SILVA; COELHO, 2006). Além disso, são características desses patógenos a formação de corpos de frutificação macroscópicos, como os cogumelos e orelhas-de-pau e, além dos basidiósporos, formam esporos do tipo eciosporos, uredósporos e teliosporos. Nesse filo estão os fungos causadores de podridões branca e parda em madeira, ferrugens e carvões (Figura 2.4 (A), (B), (C), (D)).

Figura 2.4 | Estruturas reprodutivas sexuais de basidiomycetos (A) basidiósporos; (B) eciosporos; (C) uredósporos; (D) teliosporos



Fonte: adaptada de Agrios (2005, p. 389).



Exemplificando

O Filo Basidiomycota abrange patógenos causadores de podridões (*Armillaria* sp; *Moniliophthora perniciosa*); carvões (*Ustilago* sp.) e ferrugens (como *Puccinia* spp., *Phakopsora pachyrhizae*, *Hemileia vastatrix*).

Da mesma forma que os fungos, as bactérias também compõem um grupo numeroso e diversificado de microrganismos. De acordo com Bedendo (2011), os primeiros trabalhos voltados para o estudo de bactérias como patógenos de plantas foram desenvolvidos por Burril em 1880, por meio do estudo da queima da pereira, causada por *Erwinia amylovora*.

A taxonomia de bactérias trata de características importantes para sua classificação, nomenclatura e identificação, dividindo-as em três grupos, de acordo com a presença ou ausência de parede celular e reação da célula à coloração de Gram. Assim, o grupo Gracilicutes engloba as fitobactérias com parede celular e Gram-negativas, em Firmicutes estão as fitobactérias com parede celular e Gram-positivas, e em Tenericutes, as fitobactérias que não possuem parede celular. Com isso, as bactérias apresentam uma nomenclatura binomial incluídas em gênero e espécie, podendo incluir o nível taxonômico de subespécie e níveis classificatórios infraespecíficos, como patovares, raças e biótipos (BEDENDO, 2011).



Assimile

Patovar: diz respeito à patogenicidade de uma fitobactéria a um hospedeiro específico – como *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*, agente causal da pinta bacteriana do tomateiro, e *P. syringae* pv. *garcae*, agente causal da mancha aureolada do cafeeiro – em que as bactérias pertencem à mesma espécie, mas são patógenos de diferentes hospedeiros.

Raça: diz respeito à diferenciação dentro do nível patovar, de acordo com a patogenicidade da fitobactéria a variedades ou genótipos pertencentes a uma mesma espécie de planta hospedeira.

Biótipos: estão presentes em espécies ou patovares, definidos com base em características bioquímicas, de lise celular e/ou sorológicas (BEDENDO, 2011).

Diferentemente dos fungos, as bactérias são microrganismos procariotos, unicelulares e microscópicos, que não possuem o núcleo organizado. As formas não são constantes e podem variar de acordo com o meio e com o tipo de associação (podem ser esféricas, em forma de bastão, de espiral, de vírgula). Além disso, diferentemente dos fungos, não apresentam estruturas exteriorizadas no tecido vegetal (sinais), mas

podem ser facilmente reconhecidas em alguns tecidos vegetais ou em preparações microscópicas, através da exsudação de células, conhecido como pus bacteriano.



Exemplificando

Existem duas formas de observar a exsudação de células bacterianas:

A forma mais comum para a maioria das doenças bacterianas é a observação da exsudação de células em preparações microscópicas, em que um pequeno fragmento entre o limiar de tecido sadio e doente é cortado e colocado em uma lâmina de microscopia contendo uma gota de água. Essa gota de água é então coberta com lamínula e a lâmina, observada em microscópio para visualização das células da bactéria, que saem do meio menos concentrado (tecido da planta), para o meio mais concentrado (água presente na lâmina). A exsudação de células de algumas bactérias vasculares, como *Ralstonia solanacearum*, pode ser verificada pelo teste do copo, em que é feito um corte longitudinal no caule da planta apresentando sintomas de murcha bacteriana. Esse fragmento do caule é colocado em um recipiente transparente contendo água limpa, para a observação do escorrimento de um filete de pus bacteriano em direção ao fundo do recipiente.

Os componentes celulares são divididos em estruturas externas (flagelo, fímbrias e cápsula), envelope (composto por membrana interna, membrana externa e parede celular) e estruturas internas (citoplasma, material genético, ribossomos, grânulos ou inclusões, mesossomos, plasmídeos e endósporo) e apresentam diferentes funções:

Estruturas externas ao envelope

- Flagelo: tem função de mobilidade ou motilidade da célula bacteriana;
- Fímbrias: também chamados de pelos, servem para adesão da célula na superfície suscetível do hospedeiro e adsorção de bacteriófagos na superfície da célula;
- Cápsula: serve para adesão das células e proteção contra condições adversas do ambiente.

Envelope celular

- Parede celular: define e mantém o formato da célula bacteriana;
- Membrana interna: atua na permeabilidade seletiva;

- Membrana externa: existe apenas em bactérias Gram-negativas e atua também na seletividade de substâncias da membrana.

Estruturas internas ao envelope

- Citoplasma: responsável pelas reações metabólicas da célula para produção de energia e formação de novos componentes celulares;

- Material genético: refere-se à identidade da bactéria, representado por um cromossomo circular, enrolado e condensado;

- Ribossomos: participam da síntese de proteínas da célula;

- Inclusões ou grânulos: são depósitos de material de reserva que servem como fonte de energia para a célula;

- Mesossomos: envolvidos no processo de replicação de DNA durante a divisão celular;

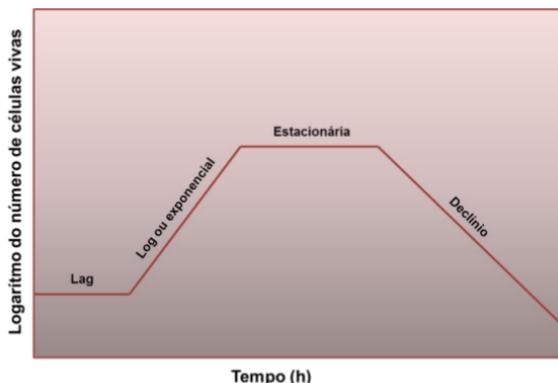
- Plasmídeos: envolvidos com a indução da patogenicidade em algumas espécies bacterianas;

- Endósporos: ocorrem geralmente em espécies de controle biológico e são responsáveis por critérios associados à sobrevivência do microrganismo às condições ambientais adversas.

A reprodução das bactérias ocorre principalmente assexuadamente por fissão binária transversa ou cissiparidade, em que uma célula dá origem a duas células filhas idênticas à célula mãe (sem variação genética). A diversidade genética pode surgir devido à mutação ou recombinação, que envolve mecanismos de conjugação, transformação e transdução (BEDENDO, 2011).

Além disso, o tempo necessário para que uma célula bacteriana se divida e multiplique, dobrando seu número, é conhecido em fitopatologia como curva de crescimento bacteriano e apresenta quatro fases distintas. A primeira fase dessa curva é conhecida como lag, em que a população inicial do meio permanece constante por um período determinado, enquanto as células individuais sintetizam novos componentes celulares. A segunda fase é conhecida como log ou exponencial, em que as células estão em plena atividade e intensa multiplicação e se estende por um período um pouco maior do que a fase lag. A terceira fase, chamada estacionária, mantém a população bacteriana constante, ou seja, o número de novas células novas que surge é igual ao número de células que morrem. A quarta e última fase é chamada de declínio, em que o número de células mortas supera o número de novas células produzidas, devido à escassez de nutrientes e secreção de compostos tóxicos ao meio (Figura 2.5).

Figura 2.5 | Curva de crescimento padrão de bactérias



Fonte: elaborada pelo autor.



Refleta

Ao analisar a curva de crescimento padrão de bactérias e conhecendo as características das fases lag, log, estacionária e de declínio, você conseguiria definir a ideal para inocular experimentalmente, em casa de vegetação, *Xanthomonas vesicatoria* em plantas de tomateiro?

Já o ciclo de vida de bactérias fitopatogênicas é definido de acordo com as fases do ciclo das relações patógeno-hospedeiro. Dessa forma, a sobrevivência de bactérias no ambiente pode ocorrer na presença da planta hospedeira, quando atuam como patógenos ou microrganismos residentes, e também na ausência da planta, atuando como saprófitas. Como patógenos, as bactérias podem ser encontradas em qualquer parte da planta, desde lesões até material de propagação vegetativa. Como residentes, sobrevivem de forma epifítica no hospedeiro, desde que as condições ambientais sejam favoráveis ao seu desenvolvimento, e como saprófitas, a sobrevivência se dá através da colonização de restos culturais e matéria orgânica do solo. Já a disseminação é feita principalmente através da ação da água, pois esta é capaz de liberar as células que estavam depositadas e presas a uma determinada superfície. Além da água, o homem, insetos, material de propagação vegetativa e partículas do solo também são agentes disseminantes de bactérias fitopatogênicas. Após a disseminação, ocorre a infecção do hospedeiro, em que a bactéria pode penetrar na planta através de ferimentos, aberturas naturais, hidatódios e lenticelas, ou seja, passivamente. Por fim, a colonização e a multiplicação da bactéria no hospedeiro ocorrem de forma simultâneas, em que a bactéria, após penetrar, inicia sua multiplicação e conseqüentemente

coloniza os tecidos adjacentes ao ponto de penetração. Essas duas últimas etapas do ciclo ocorrem nos espaços intercelulares ou no interior dos vasos condutores da planta e envolvem o movimento da bactéria para tecidos adjacentes e locais distantes do ponto de infecção.

Diferentemente da classificação de fungos, que divide esses microrganismos em quatro filos distintos dentro do Reino Fungi, a classificação de bactérias ainda não está bem estabelecida. Para compreender melhor os principais grupos de bactérias fitopatogênicas, utilizaremos a abordagem proposta por Bedendo (2011), que destaca alguns gêneros importantes dentro da Fitopatologia:

- *Agrobacterium*: Gram-negativas, aeróbias, as células apresentam a forma de bastonetes. Produzem exopolissacarídeos e colônias sem pigmentação em meios de culturas. Os sintomas costumam manifestar-se na forma de galhas em raízes e no colo da planta.

- *Pseudomonas*: Gram-negativas, aeróbias, apresentam a forma de bastonetes retos ou levemente curvos e produzem pigmentos fluorescentes em meio de cultura específico. Manifestam sintomas como manchas foliares, crestamento ou queima de flores e folhas, cancrios em ramos e podridões.

- *Xanthomonas*: Gram-negativas, aeróbias restritas, formato de bastonetes retos e produção de pigmentos conhecidos como xanthomonadinas. Os sintomas mais comuns induzidos por esses patógenos são manchas isoladas, que podem coalescer e provocar queima e queda das folhas.

- *Ralstonia*: Gram-negativa, aeróbias, apresentam formato do tipo bastonetes e não produzem pigmentos em meio de cultura. É um patógeno habitante de solo e que habita o sistema vascular da planta, bloqueando o transporte de água e nutrientes, resultando em sintomas como murchas vasculares e escurecimento dos vasos condutores.

- *Pectobacterium*: Gram-negativas, anaeróbias facultativas, apresentam o formato de bastonetes retos. São bactérias pectinolíticas, causadoras de podridões moles em frutos, tubérculos, raízes e em hortaliças.

Agora que você já conhece as principais características de fungos e bactérias fitopatogênicas, será capaz de diferenciar uma doença de etiologia fúngica de uma de etiologia bacteriana no seu cotidiano profissional, tomando como base os sintomas e sinais (estruturas reprodutivas ou pus bacteriano) desses patógenos. Ao decorrer das próximas seções, você aprenderá a reconhecer doenças causadas não apenas por esses dois patógenos, mas por vírus e nematóides, como será visto na Seção 2.2, por oomicetos, protozoários, fitoplasmas, espiroplasmas e fitomonas, na seção 2.3, que o ajudará a realizar a

diagnose correta de doenças de plantas quando estiver exercendo a profissão de engenheiro agrônomo e se deparar com esses patógenos no campo.

Sem medo de errar

Após conhecer as principais características, a classificação e alguns gêneros de fungos e bactérias, você tem subsídios suficientes para resolver a situação-problema proposta no início dessa seção. Relembrando rapidamente nosso contexto profissional, você foi contratado como engenheiro agrônomo para coordenar o laboratório de diagnose de doenças de plantas de uma multinacional que presta serviços a toda a região sul do país. O laboratório recebeu amostras de plantas de arroz da cultivar GURÍ INTA CL, apresentando manchas castanhas com formatos elípticos, centro cinza e bordos marrom-avermelhados nas folhas. As plantas ainda apresentavam, na região dos entrenós, manchas elípticas de centro cinza e bordos marrom-avermelhados e, na região do pescoço da panícula, lesões marrons com tendência ao estrangulamento da mesma. Algumas plantas apresentavam, além dos sintomas supra-mencionados, manchas marrom-avermelhadas com formato ovalado e centro acinzentado, um tanto diferente das primeiras manchas observadas inicialmente por você.

Diante dos sintomas e sinais exibidos pelas plantas, você poderá concluir que existem duas doenças diferentes, pois os sintomas manifestados pelas plantas de arroz são distintos. Devido aos tipos de lesões, que apresentam formatos e tamanhos irregulares, bem como o centro da lesão cinza, você desconfia que se trata de duas doenças fúngicas. Normalmente, nesse centro cinza estão as estruturas reprodutivas do patógeno (esporos), as quais, para confirmar que se trata mesmo de dois fungos diferentes, deverão ser observadas em lupa e microscópio. Por se tratar de patógenos fúngicos, você parte do pressuposto de que é possível isolar os dois fungos em meio de cultura, em condições *in vitro*, a fim de obter a cultura pura dos microrganismos. Considerando que você tenha sucesso no isolamento *in vitro*, poderia confrontar as estruturas vegetativas (hifas e tipo de micélio) e reprodutivas (esporos) observadas no isolamento com guias de laboratório, como chaves de identificação e manuais de fitopatologia, além de comparar também a sintomatologia das plantas, a fim de identificar os patógenos e dar o diagnóstico correto ao produtor rural, para que esse possa proceder ao manejo adequado de sua lavoura.

Finalizada a análise e a diagnose, você catalogará a doença através do preparo de exsicatas, que serão mantidas e preservadas no fitoherbário da

empresa que você está montando, para servir como exemplares das duas doenças. Além disso, você vai preparar o laudo técnico, que será impresso em duas vias, sendo uma arquivada na empresa e a outra entregue ao produtor, para que ele possa adotar um manejo que o permita controlar a doença e não tenha perdas de produtividade.

Avançando na prática

Constatação de doenças bacterianas em tomateiro de cultivo protegido

Descrição da situação-problema

Um produtor do interior de Minas Gerais solicitou que você prestasse consultoria à sua produção de tomate em cultivo protegido (casa de vegetação), pois as plantas estavam apresentando sintomas de murcha e as mais novas morriam antes que pudessem se desenvolver. Os sintomas apresentados pelas plantas eram inicialmente a murcha das folhas mais velhas, durante os horários mais quentes do dia, progredindo para a murcha total da planta que, em casos mais severos, secava e morria. Ao cortar o caule das plantas, esse apresentava-se escurecido na região dos feixes vasculares. Diante dos sintomas, você desconfiou de três patógenos específicos, que poderiam induzir murchas vasculares em plantas: um bacteriano, *Ralstonia solanacearum*, e dois fungos, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* e *Verticillium* spp. De que forma seria possível esclarecer a natureza do patógeno de forma rápida, na própria casa de vegetação?

Resolução da situação-problema

Considerando que os três patógenos induzem murchas vasculares em plantas de tomate, você fala ao produtor que é possível descobrir ali mesmo, no local, se trata-se de um patógeno bacteriano ou fúngico. Dessa forma, você deve solicitar ao produtor que lhe arranje um copo, um béquer ou mesmo uma garrafa PET de material transparente, para realizar o teste de exsudação. Faça um corte longitudinal no caule de uma das plantas apresentando sintomas de murcha, encha o recipiente com água limpa e coloque o caule em contato com a parede do recipiente e imerso na água. Após alguns minutos, você deve observar o escorrimento de um filete de pus bacteriano para o fundo do recipiente, confirmando ao produtor que a murcha nas plantas de tomate são resultantes da ação da bactéria *R. solanacearum*, e não pela ação dos fungos.

1. As hifas (micélio) atuam no desenvolvimento, na colonização e na absorção de água e nutrientes de patógenos fúngicos. Em alguns casos, elas sofrem modificações em sua forma estrutural, formando estruturas especializadas (MASSOLA JR; KRUGNER, 2011).

Qual é a estrutura especializada que atua na absorção de nutrientes a partir do citoplasma do hospedeiro?

- a) Apressórios.
- b) Haustórios.
- c) Esporo.
- d) Escleródio.
- e) Estroma.

2. Patógenos fúngicos são muito diversificados em sua morfologia e filogenia, sendo classificados no Reino Fungi em quatro Filos distintos: Chytridiomycota, Zygomycota, Basidiomycota e Ascomycota. Desses, o Filo Ascomycota é o mais numeroso, e os microrganismos desse grupo apresentam uma característica básica que os diferencia dos demais Filos.

Assinale a alternativa que contém a característica básica dos ascomicetos.

- a) Formação de zoósporos com flagelos.
- b) Formação de teliósporos em télias.
- c) Formação de esporangiósporos na reprodução assexuada.
- d) Formação de ascósporos dentro de ascos.
- e) Formação de basidiósporos em basidiomas na fase sexual.

3. Segundo Bedendo (2011), o tempo necessário para que uma célula bacteriana se divida e multiplique é conhecido dentro da fitopatologia como curva de crescimento bacteriano. A curva completa apresenta quatro fases distintas, que se desenvolvem em uma sequência ordenada de eventos de acordo com o desenvolvimento celular da bactéria.

Sobre a curva de crescimento bacteriano, é correto afirmar:

- a) A fase estacionária é quando ocorre a multiplicação intensa e a plena atividade das células bacterianas.
- b) Na fase de declínio, o número de novas células produzidas é igual ao número de células que estão morrendo.
- c) Na fase log, nutrientes são escassos e ocorre a secreção de compostos tóxicos ao meio.
- d) Na fase exponencial, as células individuais permanecem constantes enquanto sintetizam novos componentes celulares.
- e) Na fase de declínio, o número de células mortas é maior que o número de novas células.

Vírus e nematóides fitopatogênicos

Diálogo aberto

Olá, aluno!

Na seção anterior estudamos fungos e bactérias, patógenos de plantas capazes de causar inúmeros prejuízos em culturas agronomicamente importantes. Nessa seção abordaremos vírus e nematóides e sua importância como patógenos de plantas, detalhando as características principais, formas de infecção e transmissão, bem como os principais representantes de cada grupo. Para iniciarmos essa seção, vamos imaginar o seguinte cenário profissional:

Após algumas semanas de trabalho no laboratório de diagnose de doenças da multinacional pela qual você é o engenheiro agrônomo responsável, foi solicitado que você fizesse uma visita ao interior do Paraná, nos municípios de Medianeira e Santa Helena, onde um produtor, cliente da multinacional, estava com alguns problemas fitossanitários em sua lavoura. Ao realizar a visita técnica nas áreas cultivadas com soja nos dois municípios, você observou que na lavoura do município de Santa Helena alguns conjuntos de plantas se apresentavam com porte pequeno, muito inferior ao tamanho normal de desenvolvimento das plantas de soja. Além disso, essas plantas apresentavam coloração amarelada e estavam ocorrendo em reboleiras, dispersas ao longo de praticamente toda a área de cultivo. Algumas dessas plantas de tamanhos menores ainda exibiam nas folhas, necrose internerval com aspecto carijó. Ao iniciar a coleta de algumas plantas para levar ao laboratório, você observou a presença de galhas nas raízes delas.

Já nas plantas da lavoura localizada no município de Medianeira, relativamente próximo a Santa Helena, algumas plantas isoladas apresentavam os trifólios encarquilhados, deformados e com algumas bolhas e com áreas verde-claras e verde-escuras, distribuídas irregularmente sobre o limbo foliar, na forma de mosaico. Você notou que sobre essas plantas existia a incidência de pulgões e na área ao lado dessa lavoura de soja existia um pequeno cultivo de feijão, próximo à estrada de acesso, também com incidência de pulgões e de domínio do mesmo produtor rural que solicitou sua visita.

Diante dessa análise *in loco*, nas duas lavouras do produtor, você saberia dizer se o patógeno que está afetando a lavoura de soja do município de Santa Helena é vírus ou nematoide? Quais sintomas levaram você a essa conclusão? E com relação à lavoura de Medianeira, e ainda com base apenas na análise *in loco*, você saberia que tipo de patógeno está afetando a soja e,

consequentemente, o cultivo de feijão do produtor? Existe algum fator que você tenha observado na área ou nas plantas que o levou a chegar a essas conclusões?

Baseado nisso, você, como engenheiro agrônomo e conhecendo as características de vírus e nematóides, deverá elaborar um relatório técnico indicando os patógenos que estão ocorrendo nas culturas a partir das condições da planta e da lavoura que observou durante a visita. Esse relatório deverá ser impresso em duas vias, uma que será entregue ao produtor, para que tome conhecimento do problema que está ocorrendo em sua lavoura, e outra que será arquivada no laboratório para consultas posteriores.

Nessa seção você terá subsídios para responder a essas e outras perguntas, pois vamos estudar as características, a forma de infecção, os sintomas e os tipos de transmissão de vírus de plantas, bem como as características, principais famílias, gêneros e respectivos sintomas induzidos por nematoides de plantas. Vamos lá?

Não pode faltar

Vamos iniciar a segunda seção da Unidade 2 conhecendo um pouco sobre vírus e nematóides como agentes causais de doenças de plantas. Os vírus são agentes infecciosos submicroscópicos, filtráveis e não celulares, constituídos por uma pequena molécula de ácido nucléico, envolvida por capa proteica ou lipoprotéica, com capacidade de replicação apenas dentro da célula hospedeira (REZENDE; KITAJIMA, 2011). Além disso, esses microrganismos não apresentam um metabolismo próprio que os permita se reproduzir de maneira independente, como fungos e bactérias, sendo, portanto, considerados parasitas obrigatórios dependentes dos sistemas de síntese de ácido nucleico e proteínas da planta para realizarem sua replicação.

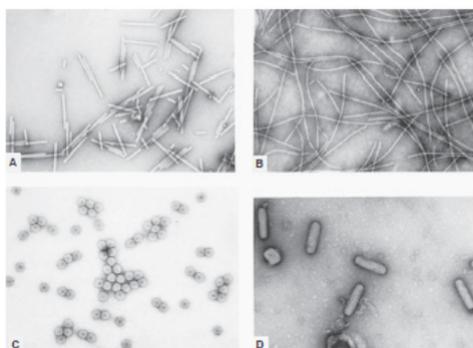
A unidade infecciosa é representada pela partícula viral, que apresenta em sua constituição uma ou mais moléculas de DNA ou RNA de fita simples ou dupla. Nesse caso, o ácido nucleico de que é constituído o vírus (DNA ou RNA) representa o seu genoma, que é protegido por proteínas capsidiais codificadas pelo genoma viral, podendo ainda estar envolto por um envelope lipoproteico (REZENDE; KITAJIMA, 2011). Contudo, em alguns grupos específicos de vírus, como os *Endornavirus*, o seu genoma não codifica a proteína capsidial, sendo nesse caso protegidos por vesículas adquiridas no interior do citoplasma celular.

De acordo com o genoma do vírus, estes recebem uma denominação específica, como monopartidos, representada por vírus que contêm genoma constituído por apenas uma molécula de ácido nucleico;

multipartidos, que possuem genoma dividido em duas ou mais moléculas de ácido nucleico e apresentam o ácido nucleico (moléculas de DNA ou RNA) protegido por uma única capa proteica; ou multiparticulados, que também têm o genoma dividido em duas ou mais moléculas de ácido nucleico, porém com os fragmentos de DNA ou RNA encapsidados separadamente pelas mesmas proteínas capsidiais, gerando diferentes partículas. De acordo com Rezende e Kitajima (2011), existe ainda outra categoria de vírus, conhecida como vírus satélites e RNAs e DNAs satélites que, isoladamente, não causam infecção, porém, quando se associam a um vírus auxiliar, replicam-se na célula vegetal, interferindo na replicação e na expressão dos sintomas do vírus auxiliar. Esses tipos de vírus podem ser entendidos como parasitas moleculares, pois são subunidades virais sem a capacidade de codificação de enzimas para sua própria replicação. Já os viroides, por sua vez, são ainda mais simples, sendo formados por uma única molécula de RNA de fita simples e circular, não apresentarem capa proteica, não terem capacidade de codificar proteínas e infectarem apenas plantas, sendo, portanto, considerados os menores agentes infecciosos que causam doenças em plantas, causando doenças como o tubérculo afilado da batata (*Potato spindle tuber viroid* – PSTVd) e *sunblotch* do abacate (*Avocado sunblotch viroid*-ABSVD).

Existem basicamente três tipos morfológicos de vírus vegetais: helicoidais (quando apresentam simetria alongada e rígida ou alongada e flexuosa); icosaedrais (com simetria arredondada ou isomérica); e baciliformes (com simetria em forma de bastonete) (Figura 2.6).

Figura 2.6 | Tipos morfológicos dos vírus de plantas: (A) alongados e rígidos; (B) alongados flexuosos; (C) isoméricos; (D) baciliforme



Fonte: adaptada de Agrios (2005).

De acordo com Rezende e Kitajima (2011), o genoma dos vírus é composto por regiões que codificam proteínas estruturais, como a proteína

capsidial, e proteínas não estruturais, como a replicase, transcriptase reversa e protease, envolvidas na infecção, movimentação e transmissão do vírus por vetores. A infecção da planta pelo patógeno se dá principalmente por ferimentos mecânicos (práticas culturais, abrasão, vento) ou pela alimentação de vetores. Após adentrar a célula da planta, o ácido nucleico viral deve ser desencapsidado da capa proteica e direcionar o mecanismo celular da planta hospedeira para sintetizar novas moléculas de DNA ou RNA e proteínas, para produzir novas partículas virais e dar início à sua replicação.

A replicação de um vírus de RNA de fita simples, senso positivo, inicia com a introdução do vírus na célula e desencapsidação do RNA, que se associa com os ribossomos do hospedeiro, ocorrendo a tradução e originando a RNA polimerase e outras proteínas. A RNA polimerase transcreve a fita positiva de RNA em diversas fitas complementares de RNA senso negativo, que são utilizadas pela polimerase viral para síntese de novas fitas positivas (RNA viral), ocorrendo a produção das proteínas capsidiais, que se unem com as fitas positivas formando novas partículas virais.

Já os vírus de RNA de fita simples, senso negativo e RNA de fita dupla não são infecciosos, necessitando, dessa forma, ter seu RNA transcrito em RNA complementar (senso positivo), pela enzima transcriptase reversa que é carregada com o vírus no interior da capa proteica com o material genético, para dar continuidade ao processo infeccioso e causar doença. Alguns vírus de DNA de fita simples circular, após entrar no citoplasma e desencapsidar, tem seu material genético direcionado para o núcleo, onde ocorre a replicação pela polimerase de DNA I nuclear, pelo processo chamado círculo rolante, em que há a conversão do DNA de fita simples em DNA de fita dupla e nova produção de DNA de fita simples (DNA viral) a partir da forma duplicada. A fita negativa do DNA de fita dupla serve como molde na síntese de DNA viral, produzida continuamente através do círculo rolante, em que o DNA é cortado em pontos específicos e as extremidades são ligadas, originando o DNA circular que será novamente encapsidado para formar a partícula viral.

Já para os vírus de DNA de fita dupla, o DNA entra no núcleo da célula e se associa a histonas do hospedeiro, formando minicromossomos, que é transcrito pela polimerase do hospedeiro, originando duas moléculas de RNA com tamanhos diferentes, que migram para o interior do citoplasma para ocorrer uma segunda etapa de replicação. A molécula menor de RNA sofre uma tradução pelos ribossomos, originando uma grande quantidade de proteínas que constituirão o viroplasma (local de replicação do vírus na célula) e ativarão a tradução da molécula maior de RNA para síntese da transcriptase reversa e proteína capsidial. A molécula maior é usada como molde na síntese da primeira fita de DNA senso negativo, por meio da transcriptase

reversa, sendo então sintetizada a fita de DNA complementar para formar moléculas de dupla fita encapsidadas em novas partículas virais (REZENDE; KITAJIMA, 2011).



Assimile

O processo de desencapsidação de DNA ou RNA é quando o ácido nucleico do vírus é liberado da capa proteica.

Para que possam invadir sistemicamente a planta, os agentes virais podem ser transportados por movimentos de curtas distâncias, de célula a célula, que ocorre logo após o processo de infecção viral pelos plasmodesmas, na forma de ácido nucleico ou como partículas completas (REZENDE; KITAJIMA, 2011). O processo de transporte da folha em que iniciou a infecção até o floema da planta leva de dois a cinco dias, em média. Quando o patógeno atinge o floema, passa a ocorrer o movimento a longa distância que acontece de forma mais rápida, devido ao acesso pelo vírus aos vasos condutores. Já a transmissão pode ocorrer por material de propagação vegetativa e enxertia, mecanicamente de forma natural ou por pratos culturais, pode se dar por sementes ou pólen contaminados e, principalmente, por insetos vetores.



Exemplificando

A transmissão de vírus ocorre de várias formas. Por exemplo, o vírus causador do enrolamento das folhas da batata (*Potato leaf roll virus - PLRV*) é transmitido através de **propagação vegetativa** (tubérculos contaminados). Já a transmissão por **ferimentos** decorrentes de pratos culturais ocorre principalmente para patógenos altamente concentrados no tecido da planta e altamente estáveis, como é o caso do vírus do mosaico do fumo (*Tobacco mosaic virus - TMV*). Na transmissão por **sementes**, o vírus pode ser disseminado como contaminante externo ou alojado nos tecidos do embrião, porém, precisa ser altamente estável, de modo a não perder a viabilidade durante processos de colheita, processamento e armazenamento, como o TMV, o vírus do mosaico do tomateiro (*Tomato mosaic virus - ToMV*). A principal forma de transmissão é por **insetos vetores**, como afídeos, cochonilhas, moscas brancas, cigarrinhas, coleópteros e tripses, e pode ser do tipo **não persistente**, em que o inseto realiza a picada de prova na planta doente, adquire o vírus e o transmite para uma planta sadia durante nova picada de prova (vírus do mosaico do mamoeiro - *Papaya ringspot virus - type P*); **semipersistente**, em que o vetor coloniza a espécie infectada, o vírus fica retido na faringe do inseto e posteriormente é transmitido (vírus da

tristeza do citros – *Citrus tristeza virus* – CTV); e **persistente**, quando o vetor adquire o vírus durante longo período de alimentação na planta e o vírus circula no organismo do vetor, podendo ou não se multiplicar. Quando ocorre apenas a circulação do vírus pelo corpo do inseto sem replicação, a relação é persistente circulativa, como o vírus do mosaico dourado do feijoeiro (*Bean golden mosaic virus* – BGMV). Quando o vírus é capaz de se replicar no corpo do inseto, a relação é chamada de persistente propagativa, como ocorre com o vírus do vira cabeça do tomateiro (*Tomato spotted wilt virus* – TSWV).

Plantas que foram infectadas com vírus são classificadas como assintomáticas, quando a infecção ainda está latente e a planta não exterioriza nenhum tipo de sintoma, e sintomáticas, quando a doença é exteriorizada na forma de sintomas, que podem ser locais ou sistêmicos (REZENDE; KITAJIMA, 2011). Os sintomas locais ocorrem no entorno do ponto de infecção do vírus na planta e resultam da reação de hipersensibilidade (HR) de algumas poucas células para defesa da planta. Já quando os sintomas são sistêmicos, ocorre uma alteração geral no desenvolvimento das plantas, bem como na produção da mesma.

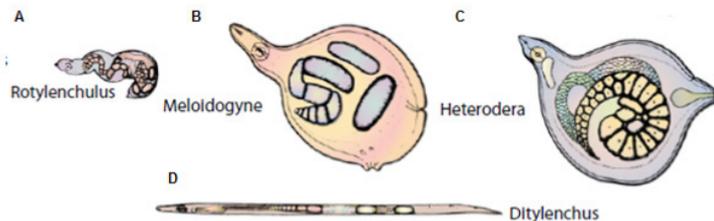
Segundo Rezende e Kitajima (2011), os principais sintomas sistêmicos induzidos por vírus são: **murcha**, caracterizada pelo estado flácido de folhas e brotos de plantas infectadas por vírus, como a induzida pelo vírus do mosaico amarelo em abobrinha da moita, cv. Caserta no estádio cotiledonar (*Zucchini yellow mosaic virus* – ZYMV); **necrose**, induzida por vírus que invadem a planta de maneira sistêmica e, geralmente, associada à degeneração dos vasos do floema, podendo ocorrer em folhas, como a necrose branca em folhas de fumo (*Tobacco streak virus* – TSV) e nas hastes, necrose da haste da soja (*Cowpea mild mottle virus* – CpMMV); **clareamento de nervuras**, sintoma inicial da maioria das viroses, em que o tom das nervuras se torna mais claro que o tom do tecido foliar; **mosaico**, considerado o sintoma mais comum das viroses, caracteriza-se pelo surgimento de áreas cloróticas intercaladas com áreas de verde normal, como o mosaico comum da abobrinha da moita (*Papaya ringspot virus* – type W – PRSV-W), mosaico dourado do feijoeiro (*Bean golden mosaic virus* – BGMV), mosaico comum da soja (*Soybean mosaic virus* - SMV), entre outros; **anéis**, que se apresentam como círculos de tons mais claros nos órgãos afetados, como os induzidos pelo vírus do vira cabeça do tomateiro (*Tomato spotted wilt virus* – TSWV); **enfazamento ou nanismo**, caracterizado pela redução do crescimento da planta, como o nanismo do algodoeiro (*Cotton leafroll dwarf virus* - CLRDV); **enrolamento**, que representa uma deformação geralmente de órgãos foliares, em que ocorre o enrolamento das mesmas, como o enrolamento das folhas

da batateira (*Potato leafroll virus* - PLRV); **malformações, rugosidades e bolhas em folhas**, que se caracterizam pela deformação em folhas e frutos, como as deformações em feijoeiro pelo vírus do mosaico do fumo (*Tobacco mosaic virus* - TMV).

A nomenclatura dos vírus é composta pelo nome da planta hospedeira onde o patógeno foi encontrado pela primeira vez mais o sintoma que ele induz nessa planta, como o vírus do mosaico dourado do feijoeiro (*Bean golden mosaic virus* – BGMV), vírus do nanismo do arroz (*Rice dwarf virus* – RDV) etc. Porém, o estabelecimento de uma classificação taxonômica universal, como a proposta para fungos, segundo Rezende e Kitajima (2011), tem sido uma tarefa complicada, feita pelo *International Committee on Taxonomy of Viruses* (ICTV). Foi apenas no sétimo relatório do ICTV que se formalizou o conceito de espécie de vírus, tomando por base um conjunto consensual de propriedades do microrganismo, como morfologia das partículas virais, ácido nucleico, organização do genoma, entre outras. Com isso, para que pertençam a uma mesma espécie, todos os membros da classe devem possuir várias propriedades em comum, em que para cada gênero exista uma lista de características que indicarão se duas estirpes pertencem ou não a uma mesma espécie.

Os nematoides podem também afetar drasticamente diversas culturas de interesse econômico. Os níveis de danos variam muito e dependem da espécie e da cultivar da planta, da espécie do nematoide e do nível de infestação do solo e condições ambientais (FREITAS; OLIVEIRA; FERRAS, 2012). Os nematoides são organismos microscópicos, alongados e não segmentados que se alimentam de células vivas da planta, apresentando coloração quase transparente e organização complexa (FREITAS; OLIVEIRA; FERRAS, 2001). Os machos e as fêmeas apresentam morfologia filiforme semelhante, com exceção dos órgãos reprodutivos. Em alguns casos, as fêmeas podem tornar-se obesas, adquirindo a forma de rim (*Rotylenchulus* sp.), de pera (*Meloidogyne* spp.) e de limão (*Heterodera* sp.) (Figura 2.7).

Figura 2.7 | Formas dos nematoides: (A) forma de rim (*Rotylenchulus* sp.); (B) forma de pera (*Meloidogyne* spp.); (C) forma de limão (*Heterodera* sp.); (D) filiforme (*Ditylenchus* sp.)



Fonte: adaptada de Agrios (2005).

O corpo dos nematoides apresenta um lado ventral, com as aberturas externas do corpo (poro excretor e ânus, abertura cloacal no macho e vulva nas fêmeas) e, opostamente, um lado dorsal. Internamente, distingue-se uma região esofagiana (constituída de cavidade bucal e esôfago), uma região mediana (formada pelo intestino e as gônadas masculinas ou femininas) e uma região caudal, seguindo o plano estrutural semelhante ao que se pode chamar de 'um tubo dentro do outro'. O tubo externo seria representado pela parede do corpo (cutícula, hipoderme e células musculares), enquanto o tubo interno, pelo sistema digestivo (intestino), e entre os dois, existe o pseudoceloma, que contém o fluido pseudocelomático, banhando todos os órgãos internos e importante na movimentação do nematoide (FERRAZ; MONTEIRO, 2011).

A maioria das espécies tem os sexos separados. O aparelho reprodutor feminino é formado por ovário, oviduto, espermateca, útero e vagina. Já o masculino apresenta os testículos, canal deferente, canal ejaculador, cloaca e bursa. Esse último serve para reter a fêmea durante a cópula. Segundo Ferraz e Monteiro (2011), os nematoides podem se reproduzir por fertilização cruzada (anfimixia) ou partenogênese (meiótica ou mitótica), quando os machos da espécie não ocorrem ou são raros. Pode haver o hermafroditismo, porém é um evento raro, que ocorre em condições de estresse para a fêmea. A maioria das espécies é ovípara, apresentando desenvolvimento embriogênico após a postura, ou ovovivíparos, quando os ovos ainda no corpo do nematoide adulto já contém os juvenis completamente formados.

O parasitismo em plantas se estabelece devido ao estilete, estrutura essencial na obtenção do alimento, e pelas substâncias produzidas pelas glândulas esofagianas, importantes na indução de células gigantes e nutridoras, sincitos, penetração do estilete e digestão. De acordo com a localização em relação à célula hospedeira, os nematoides podem ser **endoparasitas** (introduzem todo o corpo dentro das células vegetais) e **ectoparasitas** (permanecem externamente e introduzem apenas o estilete nos tecidos). São **endoparasitas migradores** (penetram e migram inter e intracelularmente); **endoparasitas sedentários** (penetram na célula, acham o local ideal para o parasitismo e induzem o hospedeiro a produzir células especiais de alimentação, onde ficam sem se mover); **ectoparasitas migradores** (introduzem o estilete nas células, mas migram externamente); **ectoparasitas sedentários** (introduzem o estilete e não se movimentam mais na planta); e **semioendoparasitas** (introduzem parte do corpo dentro da célula) (FREITAS; OLIVEIRA; FERRAZ, 2014).

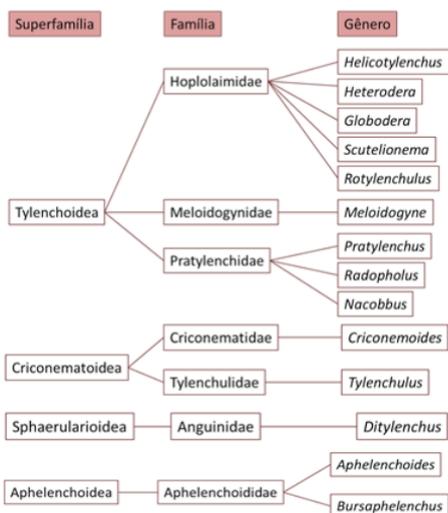
Ainda de acordo com Freitas, Oliveira e Ferraz (2014), o ciclo de vida básico de um nematoide começa com o ovo, em que se forma o juvenil 1 (J1) que não apresenta sistema reprodutivo maduro. Esse J1 passa por uma

ecdise, transformando-se em juvenil 2 (J2). O J2 eclode do ovo, locomove-se no solo em busca de uma planta hospedeira para infectá-la. Após o 2º estágio, o nematoide passa por mais três ecdises, resultando no juvenil 3 (J3), no juvenil 4 (J4) e, finalmente, nos adultos. A duração do ciclo de vida é muito variável, mas para a maioria dos nematoides dura de 2 a 4 semanas.

Baseado em um ciclo de vida relativamente curto, hospedeiros suscetíveis, manejo extremamente difícil, por se tratar de patógenos de solo, e condições ambientais favoráveis ao patógeno, problemas com fitonematoides costumam ser frequentes na agricultura brasileira. A classificação proposta por Decraemer e Hunt (2006), os nematoides são classificados dentro do Reino Animalia e Filo Nematoda, e os grupos de maior interesse pertencem à classe Chromadorea, ordem Rhabditida, subordem Tylenchina, em que encontram-se os nematoides mais danosos às plantas que, em sua grande maioria, parasitam raízes e, em alguns casos, a parte aérea das plantas (Figura 2.8).

As superfamílias de nematoides mais importantes, segundo Decraemer e Hunt (2006), são: Tylenchoidea, Criconematoidea, Sphaerularioidea e Aphelenchoidea. Essas superfamílias estão subdivididas em famílias, as quais abrigam alguns dos principais gêneros (Figura 2.8).

Figura 2.8 | Superfamílias e famílias da subordem Tylenchina e gêneros de fitonematoides importantes para a agricultura



Fonte: elaborada pelo autor.

As doenças causadas por alguns desses gêneros serão descritas a partir de agora, com ênfase para a sintomatologia, de acordo com Ferraz e Monteiro

(2011). No gênero *Heterodera* existe uma espécie de grande importância econômica no Brasil, o nematoide de cisto da soja (*H. glycines*). São endoparasitas sedentários em que os corpos das fêmeas formam cistos que abrigam volumosas massas de ovos. O cisto abriga e protege os ovos durante longos períodos de tempo contra inimigos naturais e condições adversas do ambiente, favorecendo a disseminação desse patógeno. No gênero *Rotylenchulus*, o nematoide reniforme (*R. reniformes*) a fêmea é um semiectoparasita sedentário com parasitismo na superfície externa das raízes, sendo a única espécie no Brasil, e causa danos e perdas de até 60% na cultura do algodão. Os sintomas ocorrem em reboleiras e os sistemas radiculares tornam-se pobres e rasos, quase sem raízes secundárias e radículas. A planta atacada apresenta porte reduzido e clorose internerval conhecida como carijó.

Espécies do gênero *Meloidogyne* são endoparasitas sedentárias e conhecidas por incitar galhas em plantas hospedeiras, que resultam da hiperplasia e hipertrofia celular no cilindro vascular e parênquima cortical da planta, formadas pela própria planta como reação a toxinas induzidas pelo nematoide. Pode ocorrer ainda uma redução no volume do sistema radicular, o deslocamento cortical, a presença de raízes digitadas e rachaduras em raízes de plantas. Já as espécies do gênero *Pratylenchus* são endoparasitas migradores e atacam diversas espécies vegetais, como batata, cana-de-açúcar, milho, soja etc. Os sintomas ocorrem em reboleiras no campo, redução no volume do sistema radicular, presença de áreas necrosadas escuras em raízes e redução do porte das plantas.

Já o gênero *Tylenchulus* apresenta poucas espécies fitopatogênicas. A mais conhecida é o nematoide dos citros, *T. semipenetrans*, que chega a causar perdas de 12% da produção de frutos. São ectoparasitas sedentários que induzem sintomas como escurecimento de raízes, redução do porte das plantas, enfezamento, folhas amareladas e atraso na produção de frutos.



Refleta

Nematoídeos são patógenos que se movimentam no solo em busca de uma planta hospedeira. Baseado nos conhecimentos adquiridos durante essa seção, você considera que esse movimento ocorre de forma rápida ou gradual? Para ajudá-lo a responder, tome como exemplo a sintomatologia exibida por plantas infestadas com o *Meloidogyne* spp. e o *Pratylenchus* spp.



Pesquise mais

Como já vimos, a maioria dos nematoides ataca o sistema radicular das plantas. Contudo, a espécie *Aphelenchoides bessey*, agente causal da ponta branca do arroz, é um nematoide de parte aérea. Para conhecer um pouco mais sobre essa doença, leia as páginas 1, 2, 3 e 4 da tese abaixo:

JESUS, D. S. Taxonomia integrativa de espécies de *Aphelenchoides* associadas a sementes de gramíneas forrageiras e desenvolvimento de diagnóstico baseado em PCR em tempo real. (Tese de doutorado). Viçosa/MG, 2015. 79 p.

Agora que você conhece as principais características de viroses e nematoses de plantas, será capaz de diferenciar doenças induzidas pelos dois patógenos. Para finalizarmos essa segunda unidade, você conhecerá na próxima seção algumas doenças e características de oomicetos, protozoários, fitoplasmas, espiroplasmas e fitomonas fitopatogênicos. Com todas essas abordagens, você terá uma bagagem completa sobre patógenos de plantas, que vai auxiliá-lo durante a sua vida profissional.

Sem medo de errar

Após conhecer as características principais de vírus e nematoides, bem como alguns gêneros de importância agrônoma e a sintomatologia que induzem em plantas, você tem subsídios para resolver a situação-problema proposta. Lembrando brevemente, foi proposto um cenário profissional em que você foi contratado como engenheiro agrônomo responsável por um laboratório de diagnose de doenças em uma multinacional da região sul do país. O laboratório recebe e/ou coleta amostras in loco, e após algumas semanas de sua contratação pela empresa, foi solicitado que você fizesse uma visita técnica em duas lavouras cultivadas com soja, nos municípios de Medianeira e Santa Helena, no interior do Paraná. Em Santa Helena, a lavoura apresentava algumas plantas com subdesenvolvimento e coloração amarelada, com a presença de galhas nas raízes, ocorrendo em reboleiras. Já na lavoura de Medianeira, cultivada próxima a um plantio de feijão, as plantas apresentavam trifólios encarquilhados, deformados e com bolhas e sintomas de mosaico, com incidência de pulgões.

Diante da análise in loco e com os conhecimentos sobre nematoses e viroses de plantas, você afirma ao produtor que as plantas de soja da lavoura de Santa Helena estão com infestação de nematoides, devido à presença de

galhas, e que possivelmente se trata da espécie *Meloidogyne incognita* ou *M. javanica*, que são as mais disseminadas em cultivos de soja no Brasil. Você explica ao produtor que chegou a essa conclusão porque as plantas apresentavam porte menor do que o normal: estavam amareladas, com algumas folhas com aspecto carijó e, principalmente, porque ocorriam em reboleiras e nas raízes, havia a presença de inúmeras galhas, induzidas por essas duas espécies de nematoides supramencionadas. Já ao avaliar a lavoura de Medianeira, você descartou a presença de nematoides, pois, ao analisar a sintomatologia, você não observou galhas nas raízes. Os sintomas eram exibidos na parte aérea, principalmente pelas folhas que apresentavam trifólios encarquilhados, deformados, com bolhas e apresentavam mosaico e, pelas características, você fala ao produtor que possivelmente a doença se trata de uma virose, conhecida como mosaico comum da soja, que tem como agente causal o vírus *Soybean mosaic virus* (SMV). Para chegar a essa conclusão, um dos fatores que mais contribuiu para a sua diagnose, além da sintomatologia, foi a presença de pulgões tanto nas plantas de soja, quanto no cultivo de feijão próximo à lavoura de soja, que são os vetores de viroses e sua principal forma de disseminação na lavoura.

Após a análise e diagnose inicial in loco, você coletará amostras de plantas e levará para o laboratório para confirmar suas suspeitas e emitir um relatório técnico com a diagnose final e precisa ao produtor e à empresa. Esse relatório será impresso em duas vias, uma que será entregue ao produtor, para que tome conhecimento e possa manejar a cultura adequadamente com o objetivo de não perder a sua produção, e uma que ficará arquivada na empresa, para manter o histórico da área do produtor para consultas futuras.

Avançando na prática

Diagnose de nematoides em cafeeiro

Descrição da situação-problema

Você foi contratado para prestar consultoria em uma lavoura de café, em Bambuí, interior de Minas Gerais, que está apresentando problemas fitossanitários. Ao analisar as plantas na lavoura, você observou que elas estão apresentando clorose foliar, queda de folhas e, em algumas plantas em estágio mais avançado, o declínio completo da planta, com reduções no crescimento e em alguns casos, a morte da mesma. Você decide coletar amostras vegetais de folhas e raízes para submeter a uma análise em uma clínica de diagnose. Ao coletar as raízes, notou que elas apresentavam rachaduras e degradação dos tecidos corticais, com a presença de pequenas manchas necróticas. A

partir dos sintomas observados, você saberia que patógeno está afetando as plantas? Como constatou a presença do patógeno?

Resolução da situação-problema

Ao observar os sintomas nas plantas, você descartou a hipótese de ser um patógeno fúngico, pois as folhas não apresentavam sinais de fungos e, ao analisar as raízes, desconfiou que o patógeno se tratava de um nematoide que causa descorticação, que vem sendo muito incidente nos cultivos de café em Minas Gerais. Você falou ao produtor que existem duas possíveis espécies que podem causar os sintomas observados: *Meloidogyne paranaensis*, que tem se tornado um dos mais agressivos e comuns em cultivos de café, e *M. incognita*. Por não ter observado a presença de galhas e devido às rachaduras, à degradação dos tecidos corticais da raiz e às manchas necróticas nas raízes, você acreditou se tratar da primeira espécie (*M. paranaensis*), porém aconselhou ao produtor que enviasse o material para uma clínica de diagnose para confirmar o agente causal.

Faça valer a pena

1. Os vírus são agentes infecciosos submicroscópicos e não celulares constituídos por uma pequena molécula de ácido nucléico, que se replicam apenas dentro da célula hospedeira (REZENDE; KITAJIMA, 2011). De acordo com o genoma, os vírus apresentam uma denominação diferente. Dessa forma, existem vírus que apresentam o genoma dividido em duas ou mais moléculas de ácido nucleico, protegidas por uma única capa proteica.

A esses tipos de vírus dá-se a denominação:

- a) Icosaedrais.
- b) Monopartidos.
- c) Baciliformes.
- d) Multipartidos.
- e) Multiparticulados.

2. A transmissão de viroses pode ocorrer de várias maneiras, sendo a principal forma conhecida a transmissão por insetos vetores, como afídeos, cochonilhas, moscas brancas, cigarrinhas, coleópteros e tripses. Em um tipo de transmissão por insetos vetores, o vetor coloniza a espécie da planta infectada e mantém o vírus retido em sua faringe para posterior transmissão.

Como é conhecido esse tipo de transmissão do vírus?

- a) Transmissão não-persistente.
- b) Transmissão mecânica.

- c) Transmissão por ferimentos.
- d) Transmissão persistente.
- e) Transmissão semipersistente.

3. De acordo com a localização em relação à célula hospedeira, os nematoides podem ser endoparasitas (introduzem todo o corpo dentro das células vegetais) e ectoparasitas (permanecem externamente e introduzem apenas o estilete nos tecidos) (FREITAS; OLIVEIRA; FERRAZ, 2014).

São considerados ectoparasitas sedentários quando:

- a) São capazes de penetrar na célula hospedeira e migrar inter e intracelularmente.
- b) Introduzem o estilete na célula hospedeira, porém não se movimentam mais na planta.
- c) Penetram na célula hospedeira e, ao iniciarem o parasitismo, induzem o hospedeiro a produzir células especiais de alimentação, quando ficam sem se mover.
- d) Introduzem parte do corpo dentro da célula hospedeira, e parte do corpo fica do lado externo da célula.
- e) Apenas introduzem o estilete nas células hospedeiras e podem migrar externamente.

Chromistas, protozoários, fitoplasmas e espiroplasmas, e fitomonas fitopatogênicos

Diálogo aberto

Olá, aluno!

Nas seções anteriores você aprendeu sobre a importância de fungos, bactérias, vírus e nematoides, considerados os principais e mais comuns patógenos de plantas. Na presente seção, que finda a Unidade 2 desse livro, você conhecerá alguns patógenos que apresentam características bem distintas das que observou nas seções anteriores, mas que têm grande importância econômica no que se refere à manifestação de doenças em plantas. Para isso, vamos retomar o cenário profissional proposto no início dessa unidade, em que você foi contratado por uma multinacional, como agrônomo responsável por um laboratório de diagnose de doenças de plantas, que presta serviços para toda a região sul do país. Você atua coordenando o laboratório e fazendo visitas técnicas na lavoura quando solicitado. Ao receber amostras de plantas de milho safrinha, vindas do interior de Santa Catarina, o produtor informa que suspeita que as plantas estão apresentando sintomas de vírus, e que a cultivar é transgênica. Você anota as informações em sua ata de laboratório e dá continuidade ao procedimento de recebimento, catalogação e diagnose das amostras. Inicialmente, você observa que as plantas estão apresentando como sintomas a clorose marginal das folhas do cartucho, seguida por um pequeno avermelhamento nas pontas de folhas inferiores. Algumas plantas trazidas pelo produtor ainda apresentam espigas, porém com pouca ou nenhuma produção de grãos, além de incidência de cigarrinhas. Outras plantas apresentam sintomas semelhantes, porém com clorose mais acentuada na base foliar, o que lhe chama a atenção. Outras ainda apresentavam sintomas bem distintos dos já relatados, como coloração marrom-escura nos tecidos do colmo, com aspecto encharcado, tendendo para o estrangulamento da planta. O produtor, ao entregar as amostras, destaca que a área apresenta alta umidade do solo, devido à incidência frequente de chuvas na região.

De acordo com as informações básicas prestadas pelo produtor e pelos sintomas exibidos pelas plantas, você descarta a possibilidade de incidência de vírus e passa a trabalhar com patógenos que desencadeiam sintomas parecidos, como fitoplasmas e espiroplasmas. Contudo, a necrose e o estrangulamento no colmo não são características de fitoplasmas e espiroplasmas, mas você cogita a possibilidade de incidência de um oomiceto conhecido

como *Pythium spp.* Como você chegou a essas conclusões? Conhecendo esses patógenos, de que forma você confirmaria a presença de fitoplasma e espiroplasma na planta? E a presença do oomiceto seria confirmada utilizando quais características do patógeno?

Conhecendo as características principais de fitoplasmas, espiroplasmas e oomicetos, após determinar a etiologia dos agentes causais que estão afetando as culturas, você deverá elaborar um relatório técnico com as principais características dos patógenos e suas respectivas identificações. Esse relatório será impresso em duas vias, uma que será entregue para o produtor e outra que ficará arquivada no laboratório. Você deverá também retomar os trabalhos realizados anteriormente e reunir em um único arquivo os três relatórios técnicos, referentes às três diagnoses que efetuou nesse laboratório.

Ao finalizarmos essa segunda unidade da disciplina, em que você conhecerá patógenos dos reinos Chromista e Protozoa, além de fitoplasmas, espiroplasmas e fitomas fitopatogênicos, bem como suas principais características e sintomas induzidos em plantas, você terá subsídios para resolver problemas cotidianos como os apresentados nessa situação-problema. Mãos à obra!

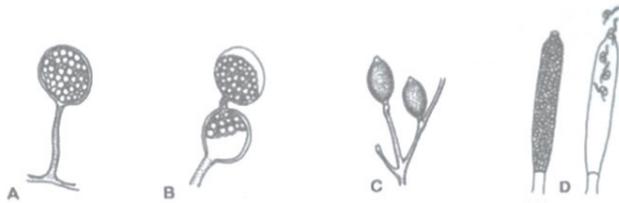
Não pode faltar

Para finalizarmos a Unidade 2 desse livro didático, iniciaremos essa seção falando sobre o Reino Chromista, que agrupa alguns patógenos importantes agronomicamente. São comumente conhecidos como oomicetos que, no passado, já fizeram parte do Reino Fungi, que abriga os fungos verdadeiros, sendo excluídos deste reino devido a algumas características bem peculiares, as quais você vai conhecer a partir de agora.

Os oomicetos apresentam parede celular composta por β -glucanas, celulose e aminoácido hidroxiprolina e não apresentam quitina em sua constituição, a lisina é sintetizada pela via do ácido diaminopimélico, como nas plantas, o ergosterol não é um constituinte importante na membrana plasmática dos oomicetos, sendo muitas vezes ausente, as laminarinas β -1,3-glucanas solúveis em água são o principal composto de reserva e apresentam as cristas mitocondriais tubulares, como ocorre nas plantas, e o sistema de Golgi apresenta cisternas múltiplas, também semelhante ao que ocorre em plantas, e apresentam centríolos importantes na organização de estruturas celulares durante a divisão celular e na formação dos flagelos dos zoósporos, além de possuírem talo assimilativo micelial, bem desenvolvido, diploide e hifas asseptadas (MASSOLA JR.; KRUGNER, 2011). Ao analisarmos esses patógenos, podemos perceber que eles apresentam várias características bioquímicas e estruturais que os distanciam do Reino Fungi e os aproximam do Reino Plantae.

Segundo Massola Jr. e Krugner (2011), os oomicetos durante a sua evolução perderam a capacidade autotrófica e passaram a precisar de uma fonte elaborada de carbono, o que os deu a condição de patógenos saprófitas ou parasitas. Na reprodução assexual, produzem por meio de clivagem citoplasmática zoósporos que apresentam dois flagelos que ficam dispostos um em cada lado da estrutura reprodutiva, formados dentro de esporângios, podendo apresentar formatos variados, dependendo do patógeno (Figura 2.9). Já na reprodução sexual são formados gametângios femininos (também conhecidos como oogônios) e masculinos (também conhecidos como anterídeos), formados por meiose gametangial.

Figura 2.9 | Estruturas reprodutivas assexuais: (A) esporângio; (B) esporângio com vesícula; (C) esporângio; (D) esporângio e zoósporos



Fonte: Amorim, Rezende e Bergamin Filho (2011, p. 164).

Na reprodução sexual também ocorre a plasmogamia através do contato dos gametângios, por onde passam os núcleos do anterídio para o interior do oogônio através do tubo de fertilização e que posteriormente sofrerão por cariogamia formando os oósporos (Figura 2.10).

Figura 2.10 | Estruturas reprodutivas assexuais

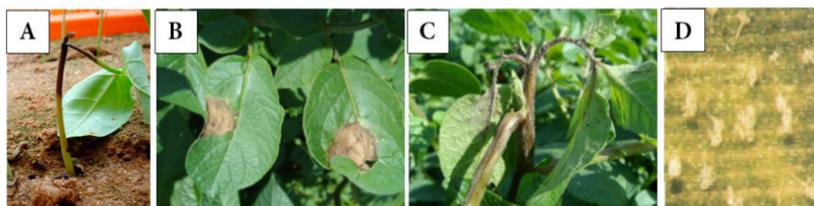


Fonte: Amorim, Rezende e Bergamin Filho (2011, p. 164).

Algumas doenças de grande importância econômica são induzidas por oomicetos, como as ferrugens brancas que ocorrem em olerícolas, causadas

por *Albugo* sp.; as podridões de sementes e raízes, tombamento de pré e pós-emergência e podridões mole de órgãos suculentos induzidas pelo habitante de solo *Pythium* sp. (Figura 2.11A); o tombamento, podridões de raízes e colo, cancrs e requeimas causadas por *Phytophthora* sp. em diversas espécies de plantas, que também é um patógeno de solo (Figura 2.11 B e C); e as doenças mais conhecidas do grupo, que são os míldios, causadas por vários gêneros de oomicetos, todos parasitas obrigatórios e emissores de haustórios no hospedeiro para absorção dos nutrientes, como *Peronospora* sp., *Bremia* sp., *Plasmopara* sp., *Sclerospora* sp. (Figura 2.11 D), entre outros.

Figura 2.11 | Tombamento causado por *Pythium* sp. (A); requeima e escurecimento do caule causados por *Phytophthora* sp. (B e C); e míldio do sorgo causado por *Sclerospora graminicola* (D)



Fonte: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao-caupi/arvore/CONTAG01_59_510200683537.html; <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/batata/arvore/CONT000gnc4knh302wx5ok0edacxlnqqvc0v.html>; <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/32600/1/Peronosclerospora-sorghii.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2018.



Assimile

Pythium sp. e *Phytophthora* sp. são dois patógenos de solo que causam doenças que manifestam sintomas semelhantes, como podridões de órgãos e tombamento de pré e pós-emergência. A diferença entre os dois gêneros é que os zoósporos de *Pythium* são diferenciados na vesícula do esporângio e os de *Phytophthora* se diferenciam e são liberados diretamente dos esporângios.

O Reino Protozoa, por sua vez, engloba microrganismos capazes de crescer sobre a superfície de plantas de pequeno porte ou rasteiras, como gramados, em condições de alta umidade. Alguns patógenos desse Reino desenvolvem plasmódios e estruturas reprodutivas que recobrem a planta sem ocorrer o parasitismo, usando-a apenas como suporte para crescimento. Porém, alguns microrganismos podem ser considerados fitopatogênicos, atuando como parasitas obrigatórios, por exemplo, *Plasmodiophora* (hérnia das crucíferas), *Polymyxa* (doenças de raiz em gramíneas e cereais) e *Spongospora* (sarna pulverulenta da batata) (Figura 2.12) (MASSOLA JR.; KRUGNER, 2011).

Figura 2.12 | Sarna pulverulenta da batata, causada por *Spongospora subterranea*



Fonte: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/batata/arvore/CONT000gnc4knh302wx5ok0edacxlnqqvc0v.html>. Acesso em: 18 dez. 2018.

Os patógenos conhecidos como fitoplasmas são classificados no Domínio Bactéria, Filo Tenericutes e Classe Mollicutes (BEDENDO, 2011). São procariontos que não apresentam parede celular, apenas uma membrana plasmática circundando a célula, conhecidos como causadores de doenças do tipo amarelo em plantas. Devido à inexistência de parede celular, quando visualizados no interior do floema da planta, apresentam um alto grau de pleomorfismo, podendo ter o formato de corpúsculos arredondados, elípticos, clavados ou alongados. Além disso, segundo Bedendo (2011), as células dos fitoplasmas são menores que as das bactérias, medindo entre 200 – 280 nm. Os fitoplasmas não são cultiváveis em meio de cultura, sendo, portanto, parasitas obrigatórios que se desenvolvem restritamente no floema da planta ou hemolinfa do inseto vetor e se reproduzem principalmente por fissão celular.



Exemplificando

Os primeiros relatos de doenças conhecidas como “amarelos” foram na década de 1920 (BEDENDO, 2011). Com o passar dos anos, algumas doenças causadas por esses patógenos se tornaram famosas devido aos danos que provocaram em culturas de interesse econômico, sendo consideradas fatores limitantes ao cultivo dessas espécies.

São exemplos o amarelecimento letal do coqueiro, o enfezamento vermelho do milho e o superbrotamento da batata na América Central e do Sul, bem como o superbrotamento do olmo, os amarelos da ameixeira, do pessegueiro e da videira e o declínio da pereira na Europa e América do Norte. Em se tratando de Brasil, doenças como o enfezamento do milho, do repolho, da couve-flor e do brócolis, o superbrotamento

tamento do maracujazeiro, da mandioca, da abóbora e do hibisco, o declínio do cinamomo, a síndrome do amarelecimento foliar da cana de açúcar e o enfezamento da pimenta têm sido motivos de preocupações pelos produtores dessas culturas e merecido destaque nos últimos anos, provocando, inclusive, o abandono das áreas com essas culturas devido à alta infestação de fitoplasmas.

Os fitoplasmas sobrevivem no hospedeiro principal (cultura de interesse), em que habitam o floema e os órgãos de propagação vegetativa, e em hospedeiros alternativos (como plantas daninhas e insetos vetores), onde habitam a hemolinfa e outras partes do corpo do inseto, e são capazes de sobreviver em hospedeiros vivos por serem parasitas obrigatórios. A disseminação ocorre por material de propagação vegetativo contaminado e principalmente por insetos vetores como cigarrinhas e psilídeos. O vetor introduz o fitoplasma nos vasos do floema, onde o patógeno inicia sua colonização e multiplicação, podendo se translocar para outras partes da planta. A infecção é sistêmica, porém, a distribuição do patógeno na planta nem sempre é uniforme, resultando no surgimento de sintomas em uma parte da planta, enquanto a outra parte ainda está assintomática. A transmissão é feita principalmente por cigarrinhas das famílias Cicadellidea e Fulgoridea e por psilídeos, apresentando relação vetor-fitoplasma do tipo persistente propagativa, em que o patógeno, após ser adquirido pelo vetor, é transmitido para outras plantas durante toda a vida do inseto (BEDENDO, 2011).

Os sintomas se apresentam de várias formas, sendo exibidos na maioria das vezes pelas plantas como um conjunto de sintomas. A **clorose** é um sintoma que ocorre comumente em plantas infectadas por fitoplasmas, e foi o que originou o nome “amarelos” referidos a essas doenças. A tonalidade mais clara do verde da folha pode variar de leve à intensa, tornando o órgão afetado completamente amarelado.

O superbrotamento ocorre em ramos, devido ao estímulo no desenvolvimento de gemas pelo fitoplasma. Já o enfezamento ou nanismo (Figura 2.13) é caracterizado pela redução do tamanho de ramos, folhas, colmos e mesmo da planta inteira por causa da presença do patógeno. O avermelhamento de bordos ou da lâmina foliar, bem como o declínio, principalmente em plantas lenhosas, podem ser sintomas característicos induzidos por fitoplasmas. Pode ocorrer também o escurecimento dos vasos, que se inicia com um amarelecimento e torna-se enegrecido com o desenvolvimento da doença. Já a virescência se caracteriza pela coloração esverdeada em pétalas de flores e, por fim, a filodia é caracterizada pelo desenvolvimento de folhas em que deveriam se desenvolver os órgãos florais da planta.



Fonte: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/487535/1/Circ26.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2018.

Se você parar para analisar os sintomas supramencionados, verá que eles são muito semelhantes aos induzidos por viroses em plantas. Apesar do uso da sintomatologia na diagnose de fitoplasmas, essa deve ser confirmada através da detecção do patógeno por outros métodos mais sensíveis, por exemplo, pela observação de cortes extremamente finos de tecidos vegetais sintomáticos em microscópio eletrônico de transmissão, em que se busca a observação dos corpúsculos pleomórficos, ou por técnicas de biologia molecular, como a reação em cadeia da polimerase (PCR), que utiliza primers específicos para detectar o patógeno através da extração de DNA.



Assimile

A técnica molecular de PCR (reação em cadeia da polimerase) consiste basicamente na amplificação de fragmentos de DNA através do uso de enzimas termoestáveis (ZERBINI; ALFENAS-ZERBINI, 2016). Além disso, é um método *in vitro* muito sensível usado para amplificar milhões ou até bilhões de vezes uma região específica do DNA ou cDNA de um microrganismo patogênico (PINHO; MACHADO; FIRMINO, 2016).

Para isso, inicialmente procede-se à extração do DNA total da planta com suspeita de infecção por fitoplasmas. A montagem da reação é feita dentro de um tubo e consiste do DNA total da planta com suspeita de infecção (DNA-molde), dois oligonucleotídeos iniciados, conhecidos como primers Forward e Reverse, um mix de dNTPs (adenina, timina, citosina e guanina), a enzima termoestável polimerase de DNA e solução tampão da reação. Os tubos com as reações prontas são colocados em um termociclador, onde ocorrerá a desnaturação do DNA, anelamento dos primers ao DNA-molde e extensão final da fita de DNA.

Com isso, a identificação é feita por técnicas de biologia molecular e é considerada fundamental para a classificação dos fitoplasmas, feita principalmente com base na sequência de nucleotídeos 16S rDNA por PCR e análise de RFLP (*Restriction Fragment Length Polymorphism*), que envolve a digestão enzimática por enzimas de restrição, dos fragmentos genômicos correspondentes ao 16S rDNA, que darão origem a fragmentos menores e serão separados por uma matriz de poliácridamida, originando conjuntos de bandas na matriz, conhecidos como perfil eletroforético, que permitirão classificar o fitoplasma. Assim, após a identificação, a classificação mais aceita desses microrganismos é a organização dos mesmos em grupos e subgrupos, considerando que não obedecem às regras para classificação ao nível de gênero e espécie, já que não podem ser descritos em cultura por não serem cultiváveis *in vitro*. Contudo, a identificação molecular permite conhecer a diversidade genética e estabelecer relações filogenéticas entre esses microrganismos (BEDENDO, 2011).

Os espiroplasmas, por sua vez, são também procariotos sem parede celular, porém, diferentemente dos fitoplasmas, apresentam conformação espiralada, que originou a nomenclatura “espiroplasma”. São também classificados dentro do Domínio Bactéria, Filo Tenericutes e Classe Mollicutes (BEDENDO, 2011).

Os filamentos helicoidais característicos do formato desses microrganismos medem entre 2 – 5 µm de comprimento e 0,15 – 0,20 µm de diâmetro e, diferentemente dos fitoplasmas, a célula é circundada por uma membrana trilaminar e o citoplasma contém grânulos e filamentos, que representam os ribossomos e material genético compactado, respectivamente (BEDENDO, 2011). Outra característica que os difere dos fitoplasmas é que os espiroplasmas podem ser isolados e cultivados em meio de cultura, com a condição de que esse meio contenha em sua composição colesterol, que serve como estimulante ao crescimento das colônias, pois estas são muito pequenas e de crescimento lento, apresentando aspecto granular com bordos difusos, ou centro escuro e bordos claros.

Esses microrganismos atuam como patógenos de plantas quando são capazes de colonizar os tecidos internos da planta, principalmente o floema, de maneira sistêmica. Podem também exercer atividade epifítica e, nesse caso, desenvolvem-se sobre os órgãos da planta, como flores e folhas, sem parasitá-la. De acordo com Bedendo (2011), insetos, principalmente as cigarrinhas, podem servir como hospedeiros alternativos dos espiroplasmas e atuar como os vetores mais importantes na sobrevivência e disseminação do patógeno em condições naturais. A relação vetor *versus* espiroplasma é do tipo persistente-circulativa, em que o inseto, ao se alimentar de uma planta infectada, adquire o patógeno, que se multiplica no vetor e é transmitido

para outras plantas durante toda a vida do inseto. Além da transmissão por vetores, esses patógenos podem também ser transmitidos por material de propagação vegetativa contaminado.

Os sintomas induzidos em plantas por espiroplasmas se assemelham aos causados por fitoplasmas, como os “amarelos” (clorose), superbrotamentos, enfezamentos (Figura 2.14), declínio e, conseqüentemente, morte de plantas. Além disso, esses patógenos podem ainda provocar o desenvolvimento lento da planta, florescimento fora de época, queda de produtividade e queda prematura e/ou deformação de frutos (BEDENDO, 2011).

Figura 2.14 | Enfezamento pálido do milho causado por *Spiroplasma kunkelii*



Fonte: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/487535/1/Circ26.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2018.



Refleta

Considerando que os enfezamentos vermelho e pálido do milho são causados por fitoplasmas e espiroplasmas, respectivamente, e que os sintomas exibidos pelas plantas doentes são muito semelhantes, que procedimento você usaria para detectar o agente causal?

A detecção desses patógenos é baseada na sintomatologia das plantas e isolamento em meio de cultura, por testes sorológicos com antissoros específicos desenvolvidos para esse fim, por microscopia eletrônica de transmissão e de luz e, principalmente, por técnicas moleculares com o uso de primers específicos para detectar regiões do genoma desses microrganismos.



Pesquise mais

O enfezamento do milho é causado por um fitoplasma, enquanto o enfezamento pálido, por um espiroplasma. Juntas, as duas doenças compõem um complexo de doenças de destaque e grande relevância econômica na cultura do milho. Para conhecer mais e entender sobre as duas doenças e sua importância para a cultura do milho, leia a circular técnica abaixo referenciada, que aborda os vetores da doença, os sintomas do enfezamento pálido e vermelho, bem como o manejo.

WAQUIL, J. M. Cigarrinha-do-milho: vetor de mollicutes e vírus. Circular técnica. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2004. 7 p.

Por fim, embora raramente lembrados e de ocorrência restrita em plantas, os fitomonas constituem um pequeno grupo de protozoários flagelados tripanosomatídeos (KITAJIMA, 2011). São organismos fusiformes, ou seja, alongados com as extremidades mais estreitas que o centro, medindo entre 10 – 20 μm x 1 - 2 μm e com um flagelo inserido na parte anterior medindo aproximadamente 10 μm , além de poderem ser visualizados em microscópio de luz, devido ao seu tamanho.

Segundo Kitajima (2011), a disseminação na natureza ocorre por meio de percevejos das famílias Pentatomidae, Lygaeidae e Coreidae e, em muitos casos, esses e outros insetos já estão naturalmente infectados com organismos flagelados, sendo que a provável teoria sobre o surgimento desses microrganismos é que, originalmente, os fitomonas infectavam insetos e, com o processo evolutivo, desenvolveram alguns mecanismos de sobrevivência que os permitiu parasitar as plantas nas quais esses insetos se alimentavam.

No Brasil esses patógenos têm sido relatados colonizando o floema de palmáceas nos estados do Amazonas, Bahia e Mato Grosso, em vasos laticíferos de mandioca no Rio de Janeiro e Espírito Santo e associados a manchas causadas por percevejos em frutos de tomate, vagens de feijoeiro e soja e sementes de milho no Paraná (KITAJIMA, 2011). Nem sempre as plantas apresentam sintomas externos quando infectadas por fitomonas, sendo nesse caso chamadas de plantas assintomáticas. Contudo, quando a infecção resulta no desenvolvimento de sintomas sobre os órgãos afetados, estes resultam em anomalias, clorose e degradação de órgãos florais, devido à colonização do floema pelo patógeno.

A detecção desses patógenos é feita geralmente por microscopia de luz, em que são analisados extratos do floema ou do látex, pelo isolamento em

cultura pura in vitro e, para alguns flagelados, como os que afetam raízes, existem alguns protocolos que usam técnicas de biologia molecular na identificação desses agentes fitopatogênicos (KITAJIMA, 2011).

Entre as doenças causadas por fitomonas no Brasil e que apresentam importância econômica estão a necrose do floema do cafeeiro, que tem como agente causal *Phytophthora leptosporium*, que predispõe as plantas de cafeeiro à murcha, clorose lenta, queda das folhas e morte em um período de tempo relativamente curto. Outra doença conhecida é a hartrot do coqueiro, causada por *P. staheli*, em que as plantas manifestam sintomas iniciais na inflorescência, como manchas e escurecimento, que progridem para os frutos, que se tornam opacos e pardos e acabam apodrecendo. Quando o ataque do patógeno ocorre nas raízes, estas se degeneram, apodrecendo o palmito e produzindo odor desagradável. *P. Staheli* pode também afetar plantas de dendezeiro, em que manifesta a doença marchitez do dendezeiro, com sintomatologia semelhante à hartrot. Na doença conhecida como chochamento das raízes da mandioca, causada por *P. francai*, as plantas desenvolvem raízes muito pequenas, que perdem o valor comercial e, na parte aérea, pode ocorrer clorose foliar.

Considerando as abordagens expostas nessa seção sobre o Reino Chromista, Reino Protozoa, fitoplasmas, espiroplasmas e fitomonas fitopatogênicos a vegetais cultivados ou não, bem como os patógenos abordados nas Seções 2.1 (fungos e bactérias) e 2.2 (vírus e nematoides), você tem subsídios para distinguir uma doença em uma determinada espécie vegetal a partir das características do patógeno que está induzindo a doença e que você passou a conhecer pelas abordagens teóricas e práticas que presenciou durante o estudo da Unidade 2. Na Unidade 3, você aprenderá sobre a interação entre o patógeno e o hospedeiro baseada na forma como os patógenos atacam as plantas e na maneira como as plantas reagem e se defendem dos patógenos, bem como aprender métodos essenciais para a diagnose correta e precisa de um fitopatógeno de plantas.

Sem medo de errar

Após conhecer as características dos patógenos dos Reinos Chromista e Protista, bem como fitoplasmas, espiroplasmas e fitomonas, você tem conhecimentos suficientes para resolver a situação-problema proposta. Relembrando rapidamente, você é o agrônomo responsável pelo laboratório de diagnose de doenças de uma multinacional e recebeu para análise amostras de plantas de milho safrinha, com suspeita de virose, apresentando sintomas como clorose marginal das folhas do cartucho, avermelhamento nas pontas de folhas inferiores e algumas plantas emitindo espigas com

pouca ou nenhuma formação de grãos, além da incidência de cigarrinhas nas plantas. Algumas plantas, apesar de apresentarem um quadro sintomatológico semelhante, manifestavam clorose mais acentuada na base foliar. Outras plantas tinham sintomas completamente diferentes, como coloração marrom-escuro e encharcamento nos tecidos do colmo e estrangulamento da planta. A área de onde vieram as plantas apresenta alta umidade do solo resultante da incidência de chuvas frequentes na região.

Ao tomar conhecimento das condições do hospedeiro, do ambiente e da sintomatologia, você descartou a possibilidade de infecção por vírus e passou a suspeitar de patógenos como fitoplasmas e espiroplasmas que apresentam sintomas semelhantes a vírus. Porém, para as plantas com necrose e estrangulamento do colmo como sintomas, você levantou a possibilidade de infecção por um oomiceto. Você chegou a essas conclusões através da sintomatologia e por se tratar de milho safrinha, cultivado mais tardiamente, época em que coincide com o período de maior infestação de cigarrinhas, vetoras de fitoplasmas e espiroplasmas, que causam, respectivamente, o enfezamento vermelho e pálido do milho, suas suspeitas para as plantas com clorose, avermelhamento e redução na formação de grãos na espiga. A suspeita sobre a incidência do oomiceto *Pythium* sp, causador da podridão do colmo, deu-se devido aos sintomas de encharcamento, escurecimento e estrangulamento do colmo.

Para confirmar a presença de enfezamento vermelho (*Candidatus Phytoplasma asteris*), além da sintomatologia, você deve realizar cortes finos dos tecidos vegetais na região do floema, para visualização dos corpúsculos característicos do patógeno através de microscopia eletrônica de transmissão. O procedimento para diagnose do enfezamento pálido deve ocorrer da mesma forma, buscando a observação de estruturas espiraladas no interior dos vasos do floema. Para a confirmação do oomiceto, além da sintomatologia, você deve proceder ao isolamento do patógeno em meio de cultura, a fim de observar hifas hialinas e não septadas, esporangióforos filamentosos, com esporângios reniformes, e zoósporos flagelados.

Após realizar as análises e determinar os agentes causais, você deverá elaborar um relatório técnico individual sobre essa diagnose, com as principais características dos patógenos e suas respectivas identificações. Esse relatório será impresso em duas vias, uma entregue para o produtor, para que ele tome as medidas necessárias acerca do manejo, e a outra ficará arquivada no laboratório, para que se possa manter um histórico dessa área de cultivo. Além do relatório individual, você deverá retomar os relatórios anteriores e reunir em um único arquivo os resultados obtidos sobre as três diagnoses, a fim de prestar contas sobre os trabalhos desenvolvidos por você à empresa que o contratou, durante esse primeiro mês de trabalho.

Identificando a gomose em plantas de citros

Descrição da situação-problema

Você foi contratado por uma empresa para prestar consultoria em pomares, viveiros e sementeiras de citros no interior do Paraná. Ao visitar um pomar de três anos de implantação, o produtor mostrou a você algumas plantas em que a copa era laranja doce enxertada em limão cravo. Essas plantas estavam apresentando lesões que exsudavam goma na região do tronco, acima do ponto de enxertia. Você pediu autorização ao produtor para arrancar uma dessas plantas, a fim de observar as raízes, e notou que elas também apresentavam a exsudação de goma. Em algumas plantas com estágio mais avançado da doença, os tecidos do tronco apresentavam rachaduras e fendilhamentos longitudinais. Contudo, em algumas plantas aparentemente saudáveis, você observou alguns ferimentos na região de enxertia, provavelmente resultantes de práticas na cultura, como capina. A partir dos sintomas observados, você saberia que tipo de patógeno está incidindo sobre as plantas de citros? De que forma a doença pode ter se estabelecido nesse pomar, já que é um pomar relativamente novo, com apenas três anos de implantação? Ao observar a condição das plantas, existe algum fator relacionado ao manejo que possa estar contribuindo para o aumento da incidência e da severidade da doença?

Resolução da situação-problema

Ao observar as condições da planta, como idade, sintomas, cultivar da copa e porta enxerto, você acabou suspeitando da incidência de uma doença conhecida como gomose, que tem como agente causal o oomiceto *Phytophthora* sp., que ataca plantas jovens e apresenta como sintomas justamente a exsudação de goma na região de enxertia da planta. Além disso, a copa pertence a uma cultivar altamente suscetível ao patógeno (laranja doce), enquanto o porta-enxerto é moderadamente suscetível (limão cravo), o que daria a condição ideal para a manifestação desse patógeno na região de enxertia dessas plantas. Essa doença costuma se manifestar em plantas mais jovens, então, provavelmente as mudas já vieram contaminadas do viveiro e, quando implantado o pomar, já apresentavam a contaminação do patógeno, que passou a se expressar de forma mais severa ao longo dos anos. Além disso, quando você analisou as plantas assintomáticas, observou que elas continham ferimentos na região de enxertia, provavelmente devido a uma capina realizada sem muito cuidado pelos funcionários do pomar, sendo este um dos fatores que pode estar favorecendo a disseminação do patógeno para plantas saudáveis.

1. Os fitoplasmas sobrevivem no hospedeiro principal habitando o floema e os órgãos de propagação vegetativa, e, em insetos vetores, habitando a hemolinfa e outras partes do corpo do inseto. Dessa forma, pode-se concluir que os fitoplasmas são disseminados por material de propagação vegetativa contaminados e insetos vetores, como cigarrinhas e psilídeos.

A relação estabelecida entre vetor *versus* fitoplasma é do tipo:

- a) Persistente-propagativa.
- b) Persistente-circulativa.
- c) Não persistente.
- d) Semipersistente.
- e) Não existe uma relação vetor *versus* fitoplasma.

2. Os oomicetos são microrganismos semelhantes a fungos em sua aparência, mas que apresentam algumas características bem peculiares, que os excluam do Reino Fungi, que abriga os fungos verdadeiros, passando então a ser conhecidos como “pseudofungos”.

Assinale a alternativa que contém uma das principais características dos oomicetos.

- a) Produzem plasmódios e estruturas reprodutivas que recobrem a planta sem parasitá-la.
- b) Não apresentam parede celular, apenas uma membrana plasmática circundando a célula.
- c) São organismos fusiformes que apresentam um flagelo inserido na parte anterior.
- d) Apresentam parede celular composta por β -glucanas, celulose e aminoácido hidroxiprolina.
- e) Apresentam quitina em sua constituição, assim como os fungos verdadeiros.

3. Fitoplasmas e espiroplasmas são procariotos, classificados dentro do Domínio Bactéria, Filo Tenericutes e Classe Mollicutes, que não apresentam parede celular e induzem doenças em plantas conhecidas como “amarelos” (BEDENDO, 2011).

Assinale a alternativa que contém, respectivamente, uma doença causada por um fitoplasma e uma doença causada por um espiroplasma.

- a) Requeima da batata e amarelecimento letal do coqueiro.
- b) Enfezamento vermelho do milho e superbrotamento da batata.
- c) Hartrot do coqueiro e necrose do floema do cafeeiro.
- d) Enfezamento vermelho do milho e hérnia das crucíferas.
- e) Amarelecimento letal do coqueiro e enfezamento pálido do milho.

- AGRIOS, G. **Plant Pathology**. 5. ed. San Diego: Academic Press, 2005.
- ALEXOPOULOS, C. J.; MIMS, C. W.; BLACKWELL, M. **Introductory mycology**. 4 ed. New York: Wiley, 1996.
- BEDENDO, I. P. Bactérias fitopatogênicas. In: BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M. (ed.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p.207-226.
- _____. Fitoplasmas e espiroplasmas. In: _____. **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 255-270.
- BRUNS, T. D. et al. Evolutionary relationships within the fungi: analyses of nuclear small subunit RNA sequences. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 1, p. 231–241. 1992.
- DECREAMER, W.; HUNT, D. J. Structure and classification. In: PERRY, R. N.; MOENS, M. (ed.). **Plant Nematology**. Wallingford: CABI, 2006. p. 3-32.
- FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R. Nematóides. In: BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M. (ed.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 277-305.
- FREITAS, L. G.; OLIVEIRA, R. D. I.; FERRAS, S. **Introdução à nematologia**. Viçosa: UFV, 2001. 84 p.
- FREITAS, L. G.; OLIVEIRA, R. D. I.; FERRAS, S. Nematóides como patógenos de plantas. In: ZAMBOLIM, L.; JESUS JR., W. C.; PEREIRA, O. L. (ed.). **O essencial da fitopatologia: agentes causais: volume 2**. Viçosa: UFV, 2012. p. 89-128.
- HIBBETT, D. S.; et al. A higher-level phylogenetic classification of the fungi. **Mycological Research**, v.111, p.509–547. 2007.
- KADO, C.I.; HESKETT, M. G. Selective media for isolation of *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas*, and *Xanthomonas*. **Phytopathology**, v. 60, p. 969, 1970.
- KITAJIMA, E. W. Fitomonas. In: BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M. (ed.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p.271-276.
- MASSOLA JR, N. S.; KRUGNER, T. L. Fungos fitopatogênicos. In: _____. **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p.149-206.
- MOREIRA, C. G.; SCHOENLEIN-CRUSIUS, I. H. **Fungos em ambientes aquáticos continentais**. Instituto de Botânica – IBT. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente. Programa de capacitação de monitores e educadores. [S.l.], 2010.
- NASCIMENTO, C. A.; PIRES-ZOTTARELLI, C. L. A. Chytridiales (Chytridiomycota) do Parque Estadual da Serra da Cantareira, São Paulo, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, p. 459-473. 2009.
- PINHO, D. B.; MACHADO, A. R.; FIRMINO, A. L. Princípios e métodos para identificação molecular de fungos. In: ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. (ed.). **Métodos em fitopatologia**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2016. p. 389-421.
- REZENDE, J. A. M. et al. Conceito de doença, sintomatologia e diagnose. In: BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M. (ed.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 37-58.

REZENDE, J. A. M.; KITAJIMA, E. W. Vírus e viróides. In: _____. **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 227-254.

SILVA, R. R.; COELHO, G. D. **Fungos principais grupos e aplicações biotecnológicas**. Instituto de Botânica – IBt. Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente. Curso de Capacitação de monitores e educadores. [S.l.], 2006.

ZERBINI, F. M.; ALFENAS-ZERBINI, P. Métodos em virologia vegetal. In: ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. (ed.). **Métodos em fitopatologia**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2016. p. 297-353.

Unidade 3

Interação fitopatígeno-hospedeiro

Convite ao estudo

Olá, aluno!

Após estudar as bases da Fitopatologia e os principais agentes causais de doenças em plantas, você vai aprender nessa unidade como ocorre a interação fitopatígeno-hospedeiro, ou seja, de que forma e quais artifícios o patógeno usa para atacar, infectar e colonizar a planta, bem como os mecanismos de defesa utilizados por esta, na tentativa de tentar evitar ou retardar o desenvolvimento de fitopatógenos em seus tecidos. Além disso, nessa unidade você aprenderá princípios básicos de diagnose, que, por exemplo, darão subsídios para saber identificar uma fito doença.

Como já vimos na Unidade 1, nos tempos mais remotos, as doenças eram normalmente atribuídas a causas místicas, como o castigo divino dos Deuses, ou então dizia-se que as doenças se desenvolviam por geração espontânea. Foi somente após muitos anos que cientistas da época conseguiram provar a origem de patógenos bacterianos e fúngicos e, por meio de sua diagnose (feitas através dos postulados de Koch, que serão vistos na Seção 3.3 dessa unidade), conseguiram descrever muitas doenças até hoje importantes para a agricultura, como míldios, ferrugens e carvões (BERGAMIM FILHO; KITAJIMA, 2011).

Assim, a competência dessa unidade é compreender os mecanismos de ataque dos patógenos e os mecanismos de defesa da planta na interação planta-patógeno. Portanto, ao final desta unidade de ensino, você saberá quais são os principais fatores de patogenicidade de fitopatógenos e os principais mecanismos de resistência das plantas, além de saber proceder à correta diagnose do agente causal.

Para isso, vamos imaginar o seguinte cenário profissional: após a conclusão do curso de Agronomia, você foi contratado por um produtor de hortaliças, assumindo a responsabilidade de conduzir uma fazenda especializada na produção extensiva de hortigranjeiros. Os vegetais, frutos e tubérculos produzidos são posteriormente vendidos para a CEASA de sua cidade. As principais hortaliças cultivadas nessa fazenda pelas que você será o responsável a partir de agora são: tomate de mesa, tomate cereja, pimentão e batata inglesa.

Essa fazenda, no entanto, está apresentando alta incidência de doenças causadas por fungos e bactérias, principalmente podridões, causando perdas à produção e afetando a qualidade do produto final que é entregue na CEASA. O seu desafio será identificar, a partir dos sintomas das plantas, quais patógenos estão incidindo sobre essas hortaliças e que estratégias estão utilizando ao atacar as plantas, ou seja, de que forma estão agindo na planta para colonizar o tecido vegetal, ou o contrário, de que forma e quais estratégias a planta estaria usando em sua defesa contra o ataque do patógeno.

De acordo com os sintomas apresentados pelas plantas, você saberia inferir sobre quais fatores de patogenicidade o patógeno está lançando mão para vencer as barreiras estruturais e bioquímicas do hospedeiro? Será que seria possível definir em qual processo vital da planta ele está atuando? Quais fatores a planta poderá utilizar para evitar a entrada do patógeno em seus tecidos? E, além disso, de acordo com os sintomas, você saberia como proceder a diagnose do agente causal?

Ao final dessa unidade, você será capaz de responder a essas e a outras perguntas, bem como terá subsídios para proceder à diagnose correta de fitopatógenos, além de conhecer os mecanismos de ataque de patógenos às plantas e a forma como as plantas reagem a esse ataque para se defenderem de um determinado patógeno. Para isso, tomaremos como ponto de partida nessa seção a fazenda de produção extensiva de hortigranjeiros, onde você será o responsável pela condução de toda a produção.

Vamos começar?

Mecanismos de ataque de patógenos e interferências nas funções da planta

Diálogo aberto

Caro aluno,

Nessa seção vamos abordar a forma como um determinado patógeno consegue invadir os tecidos de uma planta, a fim de entender os mecanismos de patogenicidade e de agressividade e o modo como cada um desses mecanismos interfere nos processos vitais da planta (desde a fotossíntese até a respiração e a permeabilidade seletiva de membranas). Esse conhecimento é fundamental para que você entenda como o patógeno é capaz de vencer algumas barreiras estruturais natas da planta, por exemplo, a degradação da cutícula da planta, através da síntese de enzimas conhecidas como cutinases, permitindo que o patógeno acesse, então, o interior dos tecidos do vegetal. A síntese de cutinases por determinados fitopatógenos seria, dessa forma, o fator de patogenicidade que permitiria ao patógeno estabelecer as relações parasitárias estáveis com o seu hospedeiro, permitindo colonizá-lo ativamente e de desenvolver em seus tecidos.

Além disso, ao estudar enzimas, fitotoxinas, fito-hormônios e polissacarídeos extracelulares, você verá que esses fatores de patogenicidade são os responsáveis pela indução da maioria dos sintomas que observa em uma planta doente no campo. Isso servirá como base para poder compreender como o patógeno está atuando na planta e de que forma você deverá proceder futuramente, como engenheiro agrônomo, no manejo da doença no campo. Com isso, iniciaremos a Seção 3.1 retomando o cenário profissional da fazenda produtora de hortigranjeiros.

Depois de concluir o curso de agronomia, você foi contratado para ser o responsável por uma fazenda especializada na produção de hortigranjeiros, que vende toda a sua produção à CEASA de sua cidade. Porém, devido às condições climáticas nos últimos meses, com alta incidência de chuvas e temperaturas elevadas, plantas de tomate e pimentão, mesmo as produzidas em cultivo protegido, estão apresentando problemas fitossanitários.

Ao fazer uma inspeção de rotina pelas casas de vegetação, você observou que algumas plantas dessas duas culturas já apresentavam frutos iniciando a fase de maturação. Porém, ao analisar algumas plantas individualmente, você notou a presença de insetos e ferimentos em caules e frutos, provavelmente

resultantes de tratamentos culturais. Além disso, plantas com ferimentos estavam apresentando sintomas de apodrecimento do caule e dos frutos. Ao arrancar uma planta que já estava morrendo, você realizou um corte no caule, em que viu o escurecimento dos vasos condutores de seiva. Os sintomas nos frutos iniciavam com um escurecimento e apodrecimento no entorno dos ferimentos, que evoluíam para perda de consistência e liquefação total do tecido do fruto, apresentando odor desagradável. Apesar da perda de consistência, os frutos de tomate e pimentão se mantinham presos às plantas, como se fossem bolsões com água.

De acordo com a sintomatologia pelas plantas, você suspeita de uma doença conhecida como podridão mole e talo oco, causada por bactérias dos gêneros *Pectobacterium sp.* e *Dickeya sp.* O produtor, ainda não satisfeito, pergunta quais sintomas o fizeram chegar a essa conclusão, de que forma essas bactérias poderiam ter penetrado os tecidos da planta e que fatores ambientais estão contribuindo para o seu desenvolvimento. Além disso, ele fica espantado com o fato de, apesar de completamente podres, os frutos ainda permanecerem presos às plantas e lhe pergunta como seria possível isso acontecer e quais fatores de patogenicidade essas bactérias utilizam durante a infecção da planta para que manifestem os sintomas por você observados. Esses fatores de patogenicidade interferem em quais processos vitais da planta?

Conhecendo a sintomatologia, a influência de fatores ambientais na manifestação de doenças e a forma e os mecanismos utilizados por patógenos para infectar as plantas, você vai, além de responder às dúvidas do produtor, elaborar um relatório técnico com informações sobre a cultivar plantada, idade das plantas, condições ambientais observadas e a doença que está incidindo sobre as duas culturas, para que possa proceder ao manejo adequado e manter um histórico da propriedade.

Com os seus conhecimentos sobre sintomatologia de doenças, fatores ambientais e os mecanismos de ataque de patógenos a plantas, você responderá aos questionamentos do produtor e, com isso, deverá elaborar um relatório técnico de sua visita à casa de vegetação, em que deverão constar os principais fatores que estão facilitando que a doença se manifeste nas culturas, a fim de manter um histórico da propriedade e das condições de produção e principalmente para iniciar o manejo adequado das doenças em questão.

Ao final dessa seção, você será capaz de responder a essas e outras perguntas e entender os principais fatores de patogenicidade de patógenos às plantas, bem como a interferência desses fatores nos processos vitais do vegetal.

Mãos à obra!

Iniciaremos agora a terceira unidade da disciplina de Fitopatologia Geral, em que você aprenderá sobre a interação fitopatógeno-hospedeiro. Nessa seção abordaremos os principais fatores de patogenicidade de patógenos a plantas e de que forma esses fatores podem interferir nos processos vitais do hospedeiro.

Para que possam sobreviver, os patógenos precisam retirar de seus hospedeiros os nutrientes necessários para o seu crescimento, desenvolvimento e reprodução. Segundo Pascholati (2011), a maioria desses nutrientes está no interior do protoplasma das células da planta e, para que o patógeno tenha acesso a eles, estes devem vencer as barreiras externas do hospedeiro, compostas por cutícula e/ou parede celular, e promover a colonização interna dos tecidos. Além disso, o acesso de patógenos ao interior dos tecidos da planta pode ocorrer por penetração direta, por aberturas naturais ou por ferimentos e, posteriormente a essa infecção, os patógenos se espalham e colonizam o tecido infectado intra ou intercelularmente.

Esse processo de infecção é caracterizado pela desagregação celular e utilização de nutrientes que alteram a morfologia e o metabolismo da planta e resultam em sintomas (PASCHOLATI, 2011). Assim, para que ocorra a infecção, além de ser eficiente na penetração, colonização e obtenção de nutrientes, o patógeno deve ser capaz de barrar as reações de defesa da planta, mediante a produção de enzimas, fitotoxinas, fito-hormônios e polissacarídeos extracelulares, que afetam diretamente em processos vitais básicos da planta hospedeira.

As enzimas produzidas por fitopatógenos agem na planta desintegrando os componentes estruturais das células do vegetal, degradando as substâncias presentes nas células e até mesmo afetando o protoplasto das plantas. São proteínas de alto peso molecular, compostas por longas cadeias de aminoácidos, responsáveis pela catálise das reações anabólicas e catabólicas das células da planta e, para cada reação metabólica, existe uma enzima específica catalisando o substrato (PASCHOLATI, 2011).



Assimile

A nomenclatura de enzimas normalmente é dada em função do substrato ou da reação que catalisam, seguido do sufixo – ase, como as celulases são enzimas que degradam a celulose.

Normalmente, uma das primeiras barreiras que os patógenos encontram ao tentar colonizar uma planta é a cutícula, que recobre folhas, frutos e

tecidos jovens, evitando a perda de água para o ambiente externo da planta e como barreira de proteção à penetração de microrganismos em geral. Os fungos, por exemplo, degradam a cutícula através da produção de cutinases, que facilitam, além da penetração, a adesão do esporo e a formação de apressórios, podendo estar envolvidas na determinação da especificidade de fungos com os tecidos da planta (FERREIRA; CARES; FERREIRA, 2014).

Já a degradação de componentes da parede celular é feita por enzimas extracelulares, que são induzíveis, estáveis e presentes no tecido do hospedeiro infectado, sendo o contato entre essas enzimas e a parede celular visto como uma das primeiras interações moleculares entre o patógeno e o hospedeiro (PASCHOLATI, 2011). Normalmente, as paredes celulares são divididas em três componentes básicos conhecidos como lamela média, que compreende o espaço entre as paredes de células, parede primária, que fica entre a membrana plasmática e a lamela média e é formada após o término da divisão celular, e parede secundária, que está situada no interior da parede primária e é formada após a expansão celular.

A lamela média apresenta em sua constituição substâncias pecticas, semelhantes a um gel amorfo que contém pectatos de cálcio, que preenchem os espaços entre as microfibrilas de celulose. Dessa forma, as substâncias pecticas são responsáveis por manter coesos os tecidos vegetais e são degradadas por enzimas conhecidas como pectinases ou enzimas pectolíticas. Porém, quando observamos sintomas de podridão mole em frutos, por exemplo, vemos que eles, embora completamente degradados por dentro, formam uma espécie de bolsões com água, ficando pendurados às plantas. Isso acontece porque as bactérias pectolíticas são capazes de degradar os pectatos de cálcio da lamela média, devido à ação de pectinases, mas esses patógenos não degradam a cutícula do fruto, pois não produzem cutinases. De acordo com Pascholati (2011), essas enzimas são agrupadas de acordo com os mecanismos que rompem as ligações glicosídicas α -1,4 (hidrolítico ou B-eliminativo); a especificidade da enzima pelo substrato (pectina ou ácido pectico); e a posição da ligação α -1,4 rompida na cadeia pectica (terminal ou não).

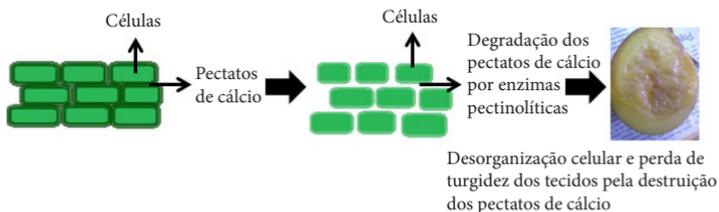


Exemplificando

Para que você entenda a importância da lamela média e pectatos de cálcio na parede celular, vamos imaginar uma construção de alvenaria. O que precisamos para poder construir uma parede, por exemplo? Tijolos e cimento! Imagine, então, que os tecidos celulares de uma planta se assemelham à construção de uma parede, em que os tijolos correspondem às células, e o cimento corresponde aos pectatos de cálcio. Imaginou? Então, agora pense no que aconteceria sem a presença desses

pectatos de cálcio (ou do cimento, no caso da parede). Tanto a parede quando as células “desabariam”, ou seja, da mesma forma que o cimento em uma construção, os pectatos de cálcio servem para manter coesos os tecidos das plantas. Quando uma bactéria causadora de podridão mole ataca um fruto de pimentão, por exemplo, ocorre exatamente esse processo: o patógeno produz enzimas pectinolíticas que vão degradar esses pectatos de cálcio e, conseqüentemente, as células vão “desabar” de sua estrutura normal, o que caracteriza o aspecto de podridão e degradação dos tecidos (Figura 3.1).

Figura 3.1 | Atividade de enzimas pectinolíticas em tecidos vegetais: localização das células e dos pectatos de cálcio; células sem sustentação devido à degradação dos pectatos de cálcio por enzimas pectinolíticas; e sintomas em tubérculo de batata devido à ação de enzimas pectinolíticas, respectivamente



Fonte: elaborada pela autora.:

A Tabela 3.1 apresenta as principais enzimas degradadoras de pectina e ácido pectínico, de acordo com os mecanismos de ação, em que podemos observar que as enzimas com mecanismo de ação hidrolítico que têm maior especificidade com o substrato pectina são conhecidas como metilpoligalacturonases. Já as que têm maior especificidade com o ácido pectínico são conhecidas como poligalacturonases. Quando o mecanismo de ação é β -eliminativo, as enzimas que apresentam maior especificidade com o substrato pectina são chamadas transeliminase do ácido pectínico, e aquelas com maior especificidade com o substrato ácido pectínico são conhecidas como transeliminases do ácido poligalacturônico.

Tabela 3.1 | Principais enzimas degradadoras de pectina e ácido pectínico

Mecanismos de ação		
Substrato	Hidrolítico	β -eliminativo
Pectina (Ácido Pectínico)	Metilpoligalacturonase	Transeliminase do Ácido Pectínico (= pectina liase)
Ácido pectínico (Ácido Poligalacturônico)	Poligalacturonase	Transeliminases do Ácido Poligalacturônico (= liases do Ácido Pectínico)

Fonte: adaptada de Amorim, Rezende e Bergamin Filho (2011).:

Já os polissacarídeos constituintes das paredes primárias e secundárias são divididos em substâncias pécticas, hemiceluloses e celuloses, de acordo com a solubilidade e a composição química (PASCHOLATI, 2011). A degradação das hemiceluloses em constituintes monoméricos de xilose, arabinose, glucose e manose é feita por hemicelulases, e a degradação da celulose em moléculas de glicose é feita por duas celulases (β -1,4 D-glucanase que rompe as ligações glicosídicas da celulose e pela β -1,4 D-glucana celobiohidrolase que libera moléculas de celobiose) e a β -glicosidase, por fim, hidrolisa a celobiose em glicose. Algumas paredes celulares apresentam lignina em sua constituição, que é degradada por ligninases, e as proteínas por proteases. Segundo Pascholati (2011), as enzimas degradadoras de parede estão provavelmente envolvidas na destruição de tecidos vegetais por patógenos necrotróficos (enzimas pectolíticas) e em alterações específicas e localizadas nas paredes celulares degradadas por patógenos biotróficos (glucanases e glicosidases).

A membrana plasmática também é afetada quando um patógeno inicia o seu processo de infecção, pois é ela que separa o interior da célula do ambiente externo, e as membranas de organelas delimitam os compartimentos no interior da célula (PASCHOLATI, 2011). Dessa forma, a degradação dos componentes da membrana plasmática é feita em função da composição da mesma, podendo sofrer a ação de enzimas como as fosfolipases, que liberam ácidos graxos a partir de moléculas de fosfolipídios e de proteases, que liberam peptídeos e aminoácidos a partir da ruptura das ligações peptídicas em moléculas de proteínas (PASCHOLATI, 2011). Já o amido, considerado o principal polissacarídeo de reserva das células vegetais, é degradado por amilases, as proteínas por proteases, e os lipídeos por enzimas lipolíticas (lipases e fosfolipases) (PASCHOLATI, 2011).

As fitotoxinas são importantes no estabelecimento de patógenos no interior do hospedeiro, seletividade ou estrutura das membranas e organelas. Podem agir como inibidores enzimáticos, interferir na expressão de genes de defesa e no desenvolvimento de sintomas, como a clorose, necrose e murcha (FERREIRA; CARES; FERREIRA, 2014). Além disso, são compostas por baixo peso molecular, constituídos por peptídeos, glicopeptídeos, terpenóides, esteróides etc., capazes de afetar o metabolismo e a fisiologia da célula hospedeira.

De acordo com Pascholati (2011), as fitotoxinas são classificadas em não seletivas ou seletivas ao hospedeiro. As **não seletivas**, também conhecidas como não específicas, são tóxicas a várias espécies de plantas, independentemente de estas serem ou não hospedeiras do patógeno. Além disso, induzem a manifestação total ou parcial dos sintomas e são vistas como fatores de

virulência ou determinantes secundários da patogenicidade, pois contribuem para a severidade da doença, sem serem essenciais para que ela ocorra. A maioria das fitotoxinas enquadra-se nessa classe, como:

- **Faseolotoxina:** produzida por *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*, que causa o crestamento de halo em feijoeiro, doença caracterizada pelo surgimento de manchas de óleo como sintomas primários e halos cloróticos, clorose sistêmica e nanismo como sintomas secundários da planta, sendo a fitotoxina responsável, nesse caso, pelo aparecimento dos sintomas secundários da doença e pela agressividade do patógeno em condições de campo (PASCHOLATI, 2011).

- **Tabtoxina:** produzida por diversos patovares de *P. syringae*, é conhecida como a toxina do fogo selvagem. Um exemplo de doença que apresenta sintomas induzidos por essa toxina é a queima bacteriana do fumo, causada por *P. syringae* pv. *tabaci*. Essa doença caracteriza-se pela necrose das folhas basais, que ocorre dos bordos para o centro, circundadas por um halo clorótico (PULCINELLI; MASSOLA JR., 2016).

- **Taxtominas:** as taxtominas A e B e seus análogos são produzidas por *Streptomyces scabies*, agente causal da sarna da batata. Essa doença se caracteriza elevação da cutícula, que se torna áspera, suberificada e com coloração parda (necroses). De acordo com Pascholati (2011), essas toxinas causam alterações no fluxo de íons, morte celular programada e bloqueio da biossíntese de celulose.

- **Ácido fusárico e licomarasmina:** são produzidas por *Fusarium oxysporum*, agente causal de murchas em diversas espécies botânicas. Um exemplo de doença em que essas toxinas atuam é a murcha de *Fusarium* (*F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*), e induz sintomas como amarelecimento das folhas, murcha, necrose marginal do limbo foliar, redução do crescimento e escurecimento dos vasos do xilema (INOUE-NAGATA et al., 2016) (Figura 3.2).

Figura 3.2 | Sintomas de plantas com sintomas de murcha de *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*), em que o patógeno normalmente desencadeia a produção das fitotoxinas ácido fusárico e licomarasmina como fatores de patogenicidade



Fonte: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPH-2009/31080/1/bpd_2.pdf. Acesso em: 4 fev. 2019.:

Já as **fitotoxinas seletivas** ou específicas, por sua vez, são tóxicas apenas às plantas hospedeiras do fitopatógeno que produz a toxina, sendo, então, consideradas como fatores de patogenicidade ou determinantes primários de patogenicidade, justamente por serem essenciais no estabelecimento do patógeno no vegetal e para a manifestação dos sintomas típicos da doença. Como exemplos dessas toxinas, podemos citar:

- **Toxina HV (victorina):** é produzida por *Bipolaris victoriae*, que causa a doença queima das folhas e podridão do colo e raízes em cultivares suscetíveis de aveia portadoras do gene Vb de resistência a ferrugem (PASCHOLATI, 2011). A fitotoxina nesse caso é a responsável pela indução de todos os sintomas da doença, como a queima das folhas, a podridão do colo e das raízes e a consequente morte da planta.

- **Toxina HmT (toxina T):** é produzida por *Bipolaris maydis*, raça T, que causa a queima das folhas em germoplasma de milho com citoplasma T (Texas), portador de macho esterilidade, e induz sintomas como a inibição do crescimento de raízes em plântulas, clorose nas folhas devido à alteração na fotossíntese do hospedeiro, afetando também a respiração e fechamento dos estômatos do hospedeiro (PASCHOLATI, 2011).

- **Toxina AM:** é produzida por *Alternaria alternata* patótipo de macieira, responsável pela indução de manchas em cultivares de maçã suscetíveis. De acordo com Pascholati (2011), essa fitotoxina pode ser detectada em fluido de germinação de conídios e até mesmo em cultura pura in vitro do patógeno.

- **Toxina PC:** é produzida por *Periconia circinata* em sorgo, que apresenta como principais sintomas o enfezamento e a queima das folhas devido à toxemia sistêmica que o patógeno produtor da fitotoxina induz na planta, causando, além disso, aumento da respiração, redução do crescimento e da síntese de proteínas e alteração da permeabilidade das membranas (PASCHOLATI, 2011).

De forma geral, as fitotoxinas atuam como moléculas supressoras alterando o início ou a manutenção da expressão de mecanismos de resistência da planta, danificam as células do hospedeiro e liberam nutrientes para que o patógeno possa realizar suas atividades metabólicas, facilitam o movimento do patógeno pela planta, pois propiciam um microambiente adequado para o patógeno e aceleram a senescência da planta (PASCHOLATI, 2011).



Refleta

Visto que as fitotoxinas são fatores-chave na indução e na manifestação de sintomas de várias doenças, qual é a importância da classificação em seletivas e não seletivas ao hospedeiro?

Os hormônios ou substâncias de crescimento são compostos que ocorrem naturalmente nas plantas, ativos e em baixas concentrações, que regulam o crescimento e o desenvolvimento de plantas. Podem inibir ou modificar qualitativamente o crescimento e o desenvolvimento de plantas, agindo a distância do sítio onde são produzidos (PASCHOLATI, 2011). Dessa forma, o desequilíbrio hormonal é a parte da fisiopatologia de doenças, e muitos patógenos podem sintetizar hormônios de crescimento, que são considerados, nesse caso, fatores de virulência (agressividade), produzidos como uma adaptação ao parasitismo (FERREIRA; CARES; FERREIRA, 2014). Assim, cinco são os principais hormônios em plantas: auxinas, giberelinas, citocininas, etileno e ácido abscísico que, quando em concentrações ideais e produzidos pelas plantas, são fatores que influenciam de forma benéfica no vegetal e quando produzidos por patógenos, tornam-se fatores de virulência dos mesmos.

As auxinas, quando atuam de forma benéfica na planta, são responsáveis por vários processos de crescimento de plantas e atuam no vegetal de forma a aumentar a plasticidade da parede celular e pelo alongamento celular, promovendo, dessa forma, o crescimento (PASCHOLATI, 2011). A principal auxina é o ácido indolil-3-acético, que também pode ser sintetizada por patógenos como *Taphrina deformans* (crespeira do pessegueiro), *Ustilago maydis* (carvão do milho), *Agrobacterium tumefaciens* (galha da coroa das rosáceas), *P. savastanoi pv. savastanoi* (nódulo da oliveira) e, nesse caso, é o hormônio responsável pela indução das doenças causadas por esses patógenos.

As giberelinas, quando atuam de forma benéfica na planta, estão envolvidas no alongamento de entrenós, na reversão do nanismo, na indução da floração, na manutenção da divisão celular, na dominância apical e na indução de enzimas para a produção de amido e síntese da parede celular (PASCHOLATI, 2011). Porém, quando atuam como fatores de patogenicidade, esses hormônios já foram isolados de *Gibberella fujikuroi* (bakanae do arroz), *Verticillium dahliae* (murcha de verticílio em tomate) e espécies de *Pseudomonas*.

As citocininas, quando atuam de forma benéfica no vegetal, estão envolvidas nos processos de indução da divisão celular e normalmente exercem seus efeitos em conjunto com as auxinas, estimulando o crescimento de gemas laterais, inibindo a senescência de tecidos e promovendo a germinação de sementes dormentes (PASCHOLATI, 2011). Quando atuam como fatores de patogenicidade podem ser sintetizadas por *A. tumefaciens* (galha da coroa das rosáceas), *Puccinia graminis f.sp. tritici* (ferrugem do trigo).

O etileno, também conhecido como hormônio gasoso, quando atua de forma benéfica na planta, está envolvido no controle do crescimento e do desenvolvimento dos vegetais, induzindo a maturação de frutos, a floração, a senescência, a germinação de sementes e a formação de raízes adventícias (PASCHOLATI, 2011). Quando visto como fator de patogenicidade pode ser produzido por *Pectobacterium carotovorum* (podridões moles), *Ralstonia solanacearum* (murcha bacteriana), entre outros.

O último hormônio, porém não menos importante, é o ácido abscísico, também chamado de ABA, que de forma benéfica atua na planta como inibidor de crescimento, podendo estar envolvido na dormência de gemas, na inibição da germinação de sementes, no fechamento dos estômatos e na abscisão de folhas e frutos (PASCHOLATI, 2011). Como fator de patogenicidade, já foi isolado de *Botrytis cinerea* (podridão mole de pós-colheita de frutos e sementes) e de *Mycosphaerella cruenta* (mancha vermelha em feijão-caupi).

Por fim, os polissacarídeos extracelulares (EPS) são produzidos por inúmeras bactérias fitopatogênicas tanto em plantas, quanto em meios de cultivo in vitro, podendo estar associados com a célula bacteriana ou ser secretados para o meio, que são fundamentais como fatores de patogenicidade desses microrganismos, porque diminuem o contato da bactéria com compostos tóxicos, protegem a bactéria de dessecação, aumentam a sua adesão à superfície e reduzem o contato com determinadas moléculas que podem ser tóxicas às bactérias, como detergentes e antibióticos (PASCHOLATI, 2011). Como fatores de patogenicidade podem estar envolvidos em sintomas como murchas (*R. solanacearum*) e podridões moles (*P. carotovorum*).

Todos os fatores de patogenicidade abordados nessa seção interferem de alguma maneira em processos vitais da planta, como permeabilidade de membranas, fotossíntese e respiração. Geralmente, os sintomas das doenças de plantas se desenvolvem a partir de alterações causadas por fitopatógenos em processos vitais para o desenvolvimento do vegetal, e a forma como o patógeno altera esses processos vitais depende do tecido ou do órgão infectado e do estilo de vida do microrganismo, que pode ser biotrófico, necrotrófico ou hemibiotrófico (DALIO; PASCHOLATI, 2018).

A membrana plasmática tem como principais funções o revestimento, a proteção e a permeabilidade seletiva. Dessa forma, a suscetibilidade de plantas doentes pode estar relacionada a alterações causadas por patógenos, no funcionamento da membrana, frequentemente referentes à degradação de lipídeos e proteínas, interferência no reparo ou na manutenção da fluidez da membrana, estímulo ou inibição de enzimas que controlam o

bombeamento de íons, ou mesmo a interferência com receptores ancorados na membrana que podem ativar mecanismos de defesa da planta (DALIO; PASCHOLATI, 2018). Hifas e toxinas de patógenos podem, por exemplo, fazer com que ocorra a perda da fluidez da membrana plasmática, além de degradar e romper a mesma, de forma a liberar eletrólitos para o meio intercelular. Exemplos de patógenos que causam interferências nas membranas de plantas são *Bipolaris victoriae* (queima das folhas e podridão de colo e raízes de aveia) e *P. syringae* pv. *tabaci* (fogo selvagem em soja).

Já a fotossíntese e a respiração são funções vitais básicas das plantas, e em tecidos infectados por patógenos, geralmente a taxa de respiração aumenta enquanto a taxa fotossintética diminui (DALIO; PASCHOLATI, 2018). Na maioria dos casos, a respiração de um hospedeiro infectado aumenta porque a planta aumenta a atividade metabólica, necessitando, dessa forma, de muita energia para suprir essa demanda, que ocorre normalmente logo após a infecção do tecido da planta pelos patógenos, que geralmente ocorre em resposta à produção de enzimas que degradam lignina e carboidratos, e de toxinas, como flavonoides e isoflavonoides. Todavia, a taxa fotossintética diminui, segundo Dalio e Pascholati (2018), devido ao surgimento de áreas cloróticas e necróticas, onde ocorre a destruição da clorofila e danos aos cloroplastos. Alterações na fotossíntese, por sua vez, podem ser induzidas por patógenos que produzem enzimas, fitotoxinas e fito-hormônios.



Pesquise mais

Dada a importância de enzimas e fitotoxinas na manifestação de sintomas de doenças de plantas, leia os documentos abaixo que, respectivamente, versa sobre a forma como as enzimas pectolíticas atuam no tecido vegetal (ler as páginas 136, 137, 138, 139, 140), e aborda algumas fitotoxinas produzidas por fungos e a classificação em fitotoxinas seletivas e não seletivas (ler as páginas 9, 10, 11, 12).

MARIANO, R. L. R. et al. Bactérias fitopatogênicas pectinolíticas dos gêneros *Pectobacterium* e *Dickeya*. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v. 2, p. 121-153, 2005.

TREMACOLDI, C. R.; SOUZA FILHO, A. P. S. **Toxinas produzidas por fungos fitopatogênicos**: possibilidades de uso no controle de plantas daninhas. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 22 p.

Dessa forma, as abordagens expostas nessa seção sobre os fatores de patogenicidade de fitopatógenos e o modo como os patógenos usam desses fatores para atacar seus hospedeiros permitem que você compreenda a maneira como são induzidos os sintomas de doenças em plantas, uma vez

que estes são induzidos e expressos devido à ação de enzimas, toxinas, hormônios e polissacarídeos extracelulares produzidos por patógenos. Com isso, ao se deparar com plantas doentes durante sua vida profissional, você saberá por qual mecanismo o patógeno está atuando ao observar o tipo de sintoma que ele está induzindo na planta. Porém, como já vimos nas seções anteriores, na natureza a doença é exceção, então, na Seção 3.2, você vai entender de que forma a planta pode se defender desses fatores de patogenicidade e quais mecanismos ela utiliza na tentativa de impedir a colonização de seus tecidos por fitopatógenos.

Sem medo de errar

Agora que você já conhece os principais fatores de patogenicidade que permitem aos patógenos atacar e colonizar os tecidos da planta hospedeira, é capaz de resolver a situação proposta no início dessa seção. Relembrando rapidamente o cenário profissional proposto, você foi contratado para ser o responsável por uma fazenda especializada na produção de hortigranjeiros que destina toda a sua produção à CEASA de sua cidade.

Os últimos meses foram chuvosos e com temperaturas elevadas, fator que corrobora para a incidência frequente de doenças em plantas de tomate e pimentão. Ao fazer uma inspeção de rotina pelas casas de vegetação, você observou que algumas plantas dessas duas culturas estavam apresentando a incidência de insetos e, principalmente, ferimentos em caules e frutos, que evoluíam para sintomas de apodrecimento nesses órgãos. Ao cortar um caule de uma planta que apresentava os sintomas de apodrecimento, você notou o escurecimento dos vasos condutores de seiva, e os sintomas nos frutos iniciavam com um escurecimento e apodrecimento no entorno dos ferimentos, que evoluíam para perda de consistência e liquefação total do tecido do fruto, apresentando odor desagradável e se mantendo presos às plantas, como se fossem bolsões com água. Ao analisar as plantas, você suspeitou de podridão mole e talo oco, doença que pode ser causada por bactérias dos gêneros *Pectobacterium* sp. e *Dickeya* sp. Sua suspeita foi baseada nos sintomas de maceração e degradação dos tecidos dos órgãos afetados e no escurecimento dos vasos condutores nos tecidos do caule. Ao ser questionado sobre como os patógenos podem ter penetrado nos tecidos, você respondeu que isso provavelmente ocorreu devido aos ferimentos resultantes dos tratamentos culturais e à ação de picadas dos insetos que observou sobre as duas culturas, que, aliado às condições climáticas de chuva (alta umidade) e altas temperaturas, favorecem o desenvolvimento desse tipo de patógenos. O produtor ficou intrigado ao perceber que os frutos completamente apodrecidos ficavam presos às plantas, como se fossem bolsões com

água e questionou o motivo e que tipos de fatores de patogenicidade estão agindo para que isso ocorra. Com seus conhecimentos sobre mecanismos de ataque de patógenos a plantas, você explicou ao produtor que essas bactérias fitopatogênicas produzem enzimas pectolíticas como fatores de patogenicidade, capazes de degradar os tecidos internos dos frutos e dos caules, mas esses patógenos não têm a capacidade de degradar a cutícula dos mesmos, pois não produzem cutinases, então, o fruto fica pendurado à planta, como se fosse realmente um bolsão com água. Você também explicou ao produtor que esses fatores de patogenicidade interferem em processos vitais como a permeabilidade das membranas, que são conseqüentemente degradadas, a fotossíntese e a respiração da planta.

De posse dessas informações sobre a sintomatologia, fatores ambientais e os mecanismos de ataque de patógenos a plantas, após responder aos questionamentos do produtor, você deverá elaborar um relatório técnico de sua visita à casa de vegetação, informando os principais fatores que estão facilitando que a doença ocorra nessas culturas, como tipo de cultivar, idade das plantas, condições ambientais e doença que está incidindo, visando manter um histórico da propriedade e para que o produtor possa iniciar um manejo adequado e não sobra com mais perdas em sua produção.

Avançando na prática

Identificando fatores de patogenicidade a partir de sintomas de doenças

Descrição da situação-problema

Você foi contratado como engenheiro agrônomo para supervisionar um cultivo de tomate destinado à indústria. Ao percorrer a lavoura, você observa que algumas plantas estão apresentando sintomas de murcha em reboleiras no campo, com intenso amarelecimento das folhas mais velhas, que gradualmente murcham e apresentam necrose marginal. As plantas com esse sintoma estão apresentando crescimento reduzido e, ao fazer um corte longitudinal no caule, nota um escurecimento na região do xilema. Ao realizar o teste de exsudação do copo, você descarta a presença de bactéria, pois não ocorreu exsudação de pus bacteriano, passando então a trabalhar com um patógeno fúngico, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, que causa a doença conhecida como murcha de *Fusarium* em tomateiro. Considerando que você esteja correto quanto ao agente causal dessa doença, de acordo com os sintomas observados, qual fator de patogenicidade – enzima, toxina, hormônio ou

polissacarídeos extracelulares - esse fungo está utilizando para colonizar e se estabelecer na planta hospedeira? Em se tratando de uma toxina, seria esta seletiva ou não seletiva ao hospedeiro? Em quais processos vitais da planta esse fator de patogenicidade está interferindo?

Resolução da situação-problema

De acordo com os sintomas de amarelecimento e murcha das folhas, com o escurecimento dos vasos do xilema e com seus conhecimentos sobre os fatores de patogenicidade de microrganismos, você acredita que o fungo esteja utilizando como mecanismo de ataque ao hospedeiro a produção de fitotoxinas. Por se tratar de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, é possível que se trate de duas fitotoxinas não seletivas ao hospedeiro, ou seja, são tóxicas a várias espécies de plantas, independentemente de estas serem ou não hospedeiras do patógeno, podendo induzir à manifestação total ou parcial dos sintomas, conhecidas como ácido fusárico e licomarasmina, que interferem em processos vitais de permeabilidade de membranas, fotossíntese e respiração da planta.

Faça valer a pena

1. De acordo com Pascholati (2011), as enzimas produzidas por fitopatógenos agem na planta desintegrando os componentes estruturais das células do vegetal, degradando as substâncias presentes nas células e até mesmo afetando o protoplasto das plantas.

Assinale a alternativa que apresenta a enzima responsável pela degradação dos pectatos de cálcio presentes na lamela média.

- a) Cutinases.
- b) Hemicelulases.
- c) Celuloses.
- d) Pectinases.
- e) Lipases.

2. O desequilíbrio hormonal é a parte da fisiopatologia de doenças, e muitos patógenos podem sintetizar hormônios de crescimento, que são considerados, nesse caso, fatores de virulência (agressividade), produzidos como uma adaptação ao parasitismo (FERREIRA; CARES; FERREIRA, 2014).

Assinale a alternativa que contém o hormônio e o patógeno responsável pela síntese desse hormônio como fator de patogenicidade.

- a) Auxinas - *Gibberella fujikuroi*.
- b) Giberelinas - *Taphrina deformans*.
- c) Auxinas - *Ustilago maydis*.

- d) Citocininas - *Ustilago maydis*.
- e) Etileno - *Taphrina deformans*.

3. As fitotoxinas produzidas por fitopatógenos são fatores de patogenicidade responsáveis pela manifestação dos sintomas de várias doenças de plantas e podem ser classificadas em não seletivas (ou não específicas) e seletivas (específicas) ao hospedeiro.

Assinale a alternativa que contém apenas fitotoxinas não seletivas ao hospedeiro.

- a) Faseolotoxina, tabtoxina e toxina HV.
- b) Tabtoxina, taxtominas e faseolotoxina.
- c) Toxina HmT, toxina HV e taxtominas.
- d) Toxina Hmt, toxina HV e toxina PC.
- e) Toxina HV, faseolotoxina e taxtominas.

Mecanismos de resistência da planta hospedeira contra patógenos

Diálogo aberto

Prezado aluno,

Na Seção 3.1 você conheceu os mecanismos que os fitopatógenos utilizam para causar doenças em plantas. Lembrando que doenças são exceções na natureza e a resistência é a regra, de que forma as plantas se defendem do ataque constante de fitopatógenos? Para compreender como ocorre o processo de resistência de uma planta frente ao ataque de fitopatógenos, nessa seção você conhecerá os mecanismos de defesa de plantas e de que forma eles são usados para evitar a entrada e a colonização de um patógeno em seus tecidos. De posse desse conhecimento, você compreenderá o papel de mecanismos como papilas, estômatos, fitoalexinas, proteínas PR, entre outras, no estabelecimento da resistência de um vegetal, de maneira a garantir que essa resistência continue sendo a regra na natureza. Assim, iniciaremos a Seção 3.2 retomando o cenário profissional da fazenda produtora de hortigranjeiros.

Ao concluir a graduação, um produtor e fornecedor de hortigranjeiros para a CEASA de Campinas o contratou como engenheiro agrônomo responsável pela sua fazenda. Como essa região no interior de São Paulo costuma apresentar alta incidência de chuvas e temperaturas elevadas de setembro a novembro, podem ocorrer muitos problemas fitossanitários, e a mancha bacteriana (*Xanthomonas vesicatoria*) é um dos problemas mais frequentes em tomate cereja e pimentão dessa propriedade. Essa doença afeta principalmente a área foliar do tomateiro, interferindo nos processos de fotossíntese, e deprecia a qualidade final do fruto, devido à incidência de manchas nos mesmos. Quando o produtor notou o surgimento de alguns sintomas dessa doença nas plantas, ele aplicou um defensivo biológico à base de *Bacillus* sp., que possui registro para a cultura e doença em questão e, na semana seguinte, do indutor de resistência acibenzolar-S-metil, também registrado para a cultura, a fim de evitar perdas com a manifestação da doença.

Sabendo que na natureza a regra é a resistência e a doença é a exceção, seria possível a planta ter ativado algum mecanismo de resistência ao patógeno na tentativa de evitar a infecção, antes mesmo da aplicação do defensivo pelo produtor? De que tipo seriam esses mecanismos? Ao aplicar

esses produtos, que tipo de resistência seria induzida na planta para defesa contra os patógenos? De que forma essas resistências estão agindo na planta?

Ao final dessa seção você terá subsídios para responder a esses questionamentos, pois compreenderá como as plantas se defendem do ataque de patógenos, por exemplo, fatores estruturais pré e pós-formados, fatores bioquímicos pré e pós-formados, reação de hipersensibilidade ou resistência induzida e de que forma ocorre a especificidade existente nas relações patógeno-hospedeiro.

Não pode faltar

Na Seção 3.1 dessa unidade você aprendeu sobre mecanismos de ataque de patógenos a plantas e de que forma fatores de patogenicidade como enzimas, toxinas, fito-hormônios e polissacarídeos extracelulares atuam na planta hospedeira favorecendo o desenvolvimento de fitopatógenos nos tecidos do hospedeiro. No entanto, partindo do pressuposto de que na natureza a doença é a exceção e a resistência é a regra, quais seriam os mecanismos de que as plantas estariam lançando mão para se defender desse ataque constante de fitopatógenos e não desenvolver doenças?

Para responder a esse questionamento e entender como isso ocorre, é importante primeiro você saber que cada interação patógeno-hospedeiro é como se fosse uma luta entre dois organismos pela sobrevivência, em que, de um lado, o patógeno lança mão de armas químicas para atacar a planta hospedeira, enquanto esta, por sua vez, defende-se do patógeno por meio de mecanismos estruturais e bioquímicos (PASCHOLATI, 2011).

Além disso, ao transcorrer do processo evolutivo, as plantas desenvolveram vários mecanismos que resultaram na formação de barreiras físicas ou químicas, com funções de proteção e autodefesa que, na maioria das vezes, são mais eficientes que os mecanismos de ataque dos patógenos (RESENDE et al., 2014). Com isso, podemos entender que a resistência da planta seria a capacidade de atrasar ou evitar a colonização de seus tecidos por um fitopatógeno, que é caracterizada pela sua natureza dinâmica e coordenada em uma sequência de acontecimentos lógicos, imediatamente após o contato do patógeno em seus tecidos.

Esse sistema multicompetente se inicia com o reconhecimento pela planta de sinais exógenos do patógeno, seguido de mecanismos de transdução desses sinais, que consequentemente resulta na reprogramação do metabolismo da célula vegetal, envolvendo alterações gênicas (PASCHOLATI, 2011).

Dessa forma, a defesa da planta pode ser ativa ou passiva, e os mecanismos de defesa são geralmente subdivididos de acordo com a tentativa de penetração do patógeno no hospedeiro em: **pré-formados** - passivos, constitutivos - incluem aqueles já presentes nas plantas antes do contato com os patógenos; e **pós-formados** - ativos, induzíveis - são ausentes ou presentes em baixos níveis antes da infecção, sendo produzidos ou ativados em resposta à presença dos patógenos. Nas duas categorias, os fatores podem ser subdivididos em: **estruturais** - atuam como barreiras físicas, impedindo a entrada do patógeno e a colonização dos tecidos; e **bioquímicos** - englobam a produção de substâncias tóxicas ao patógeno ou geram condições adversas para o crescimento dele no interior dos tecidos do hospedeiro (PASCHOLATI, 2011; SCHWAN-ESTRADA et al., 2008).



Refleta

Você saberia definir a importância dos mecanismos estruturais e bioquímicos na defesa de plantas?

Com isso, podemos entender como fatores de **resistência estruturais** as defesas físicas que evitam ou restringem o desenvolvimento da doença nos tecidos da planta. Os **fatores estruturais pré-formados** são considerados como a primeira linha de defesa contra fitopatógenos, que atuam como barreiras de proteção ou barreiras para impedir a colonização de fitopatógenos nos tecidos da planta. Nesse grupo estão as estruturas produzidas pelo vegetal, independentemente de ação de patógenos, entre os quais, de acordo com Pascholati (2011) e Stangarlin et al. (2011), podemos citar:

- **Cutícula:** onde ocorre o contato inicial entre patógeno e planta, sendo uma superfície hidrofóbica que impede a formação de filme d'água, impedindo a germinação de esporos depositados sobre as folhas; a cutícula também pode ser vista como uma barreira tóxica, capaz de secretar substâncias antifúngicas e antibacterianas;

- **Estômatos:** essas estruturas são aberturas naturais de vegetais, que apresentam como função básica a manutenção do fluxo contínuo de água e como porta de entrada de CO_2 nos tecidos vegetais. Dessa forma, contribuem para a resistência da planta em função do número, da morfologia, da localização e do período de abertura, fatores que podem prejudicar o estabelecimento das relações parasitárias estáveis entre planta e fitopatógeno;

- **Tricomas:** são prolongamentos uni ou multicelulares que se estendem a partir da epiderme (pelos), com funções relacionadas à perda de água pela planta, bem como podem secretar substâncias tóxicas como terpenos,

fenóis e alcaloides, que inibem o desenvolvimento de fitopatógenos nos tecidos do vegetal. O número de tricomas também é importante, pois quanto maior a quantidade, menor a possibilidade de o patógeno atingir as aberturas naturais, porque interferem na continuidade do filme d'água na superfície da planta;

- **Paredes celulares espessas:** contribuem para restrição da colonização dos tecidos vegetais por fitopatógenos, com funções de interromper o avanço do patógeno pelos tecidos.

Já os **fatores estruturais pós-formados** servem como novas barreiras estruturais que interferem no progresso do patógeno pelo tecido do hospedeiro, podendo ser desenvolvidos em decorrência da resistência sistêmica adquirida (SAR) e são divididos em: **estruturas de defesa celular**, que envolvem células individuais que estão sofrendo o ataque de patógenos e **estruturas de defesa histológica**, que envolvem tecidos normalmente distantes do sítio de infecção pelo patógeno (PASCHOLATI, 2011).

Conforme Pascholati (2011) e Stangarlin et al. (2011), como exemplos de **estruturas de defesa celular**, pode-se citar:

- **Agregações citoplasmáticas:** normalmente a formação de barreiras celulares localizadas é dependente da habilidade da célula em acumular agregados (massa) citoplasmático no entorno do sítio de ataque do patógeno. Nessas agregações também pode ocorrer a secreção de materiais que podem ser utilizados na formação de papilas e halos, ambas estruturas de defesa celular da planta;

- **Halos:** são modificações da parede celular no entorno do sítio de infecção do patógeno, a fim de evitar a perda de água e dificultar o desenvolvimento do patógeno, que ocorrem como resultados de alteração na parede superior das células epidérmicas e das paredes laterais adjacentes;

- **Papilas:** atuam em conjunto com os halos e são caracterizadas por modificações e deposição de material heterogêneo nos espaços entre a membrana plasmática e a parede celular, no sítio de infecção, sob a hifa de penetração, ou seja, no local em que o patógeno está exercendo pressão para penetrar os tecidos da planta;

- **Lignificação:** a lignina atua na planta reforçando as paredes celulares ou a formação de lignina ao redor de estruturas do patógeno, a fim de impedir seu avanço nos tecidos vegetais. Pode ocorrer em citoplasmas em degradação, em depósitos extracelulares e nas paredes das células, interferindo no crescimento do patógeno através da modificação química da parede celular, tornando-a mais resistente à ação, por exemplo, de enzimas degradadoras de parede celular que são secretadas por patógenos como fatores de patogenicidade;

- **Glicoproteínas ricas em hidroxiprolina:** são proteínas estruturais encontradas nas paredes celulares das células vegetais, são constitutivas e o seu acúmulo ocorre em resposta a injúrias e infecções, de maneira a fortalecer a parede celular e restringir a invasão da célula pelo patógeno.

A outra subdivisão dentro dos **fatores estruturais pós-formados** são as estruturas de defesa histológica que, de acordo com Pascholati (2011) e Stangarlin et al. (2011), podem ser:

- **Camadas de abscisão:** é um mecanismo com o objetivo de eliminar o tecido vegetal doente e o patógeno da planta. Normalmente, após o reconhecimento do patógeno pela planta, algumas células específicas da periferia da lesão ficam mais lignificadas, visando parar o desenvolvimento do patógeno, enquanto as células sadias localizadas mais externamente à lesão ativam enzimas específicas que dissolvem as mesmas no entorno da lesão e, conseqüentemente, desconectam o sadio do tecido doente;

- **Camadas de cortiça:** impedem a invasão dos tecidos sadios e interrompem o fluxo de nutrientes e de água em direção ao patógeno e o fluxo de metabolitos tóxicos em direção ao hospedeiro. Normalmente, as camadas de cortiça inibem o crescimento e o desenvolvimento de lesões, devido à formação de uma camada de cortiça no entorno das mesmas, pois as células sadias no entorno da lesão produzem grandes quantidades de suberina e, com isso, param a sua atividade biológica, de maneira a limitar o avanço do patógeno nos tecidos sadios da planta;

- **Tiloses:** essas estruturas são formadas nos vasos do xilema em resposta ao ataque de patógenos, no qual ocorre a hipertrofia de células parenquimáticas adjacentes ao xilema, que crescem para o interior do xilema, obstruindo os vasos e impedindo o avanço do patógeno.

Os **fatores de resistência bioquímicos** atuam produzindo toxinas ao patógeno ou criando condições desfavoráveis ao seu crescimento no interior da planta. Da mesma forma que os fatores de resistência estruturais, os fatores bioquímicos são divididos em pré e pós-formados.

Os **fatores de resistência bioquímicos pré-formados** são conhecidos também como fitoanticipinas (LO; NICHOLSON, 2008), que apresentam atividade antimicrobiana, e estão presentes em altas concentrações nos tecidos sadios de plantas (PASCHOLATI, 2011), dentre os quais podemos citar:

- **Compostos fenólicos:** são solúveis em água e estão localizados frequentemente nos vacúolos celulares, sendo conhecidos como substâncias que apresentam atividade fungicidas, antibacterianas e antiviróticas, que podem estar envolvidas em mecanismos bioquímicos e estruturais de resistência

de plantas (LO; NICHOLSON, 2008). Como exemplos podemos citar o ácido protocatecúico e catecol, ácido clorogênico, floridizina e arbutina (PASCHOLATI, 2011).

- **Saponinas:** são metabólitos secundários glicosilados, conhecidos como compostos antifúngicos, que lisam as células que contêm esteróis na membrana, como α -tomatina e avenacinas (PASCHOLATI, 2011).

- **Glicosídeos cianogênicos:** formam gás cianeto de hidrogênio (HCN) em resposta a alguma injúria à infecção por fungos necrotróficos e, pela sua toxicidade, têm sido relacionados à defesa de plantas contra patógenos (STANGARLIN et al., 2011). Como exemplos de glicosídeos cianogênicos que produzem gás HCN temos a linamarina e a durina.

- **Proteínas e peptídeos antimicrobianos:** normalmente as plantas possuem famílias multigenes que codificam proteínas e peptídeos antimicrobianos, em que alguns são expressos de forma constitutiva (principalmente em órgãos de armazenamento e de reprodução) e outros são produzidos em resposta ao ataque de patógenos (normalmente em folhas), por exemplo, quitinases e β -1,3-glucanases, lisozimas, tioninas e defensinas, inibidores de proteases e poligalacturonases, proteínas ligantes da quitina, proteínas inativadoras de ribossomos, proteínas de transferência de lipídeos e fototoxinas (PASCHOLATI, 2011).

A Tabela 3.2 apresenta exemplos de proteínas e peptídeos com ação antimicrobiana que estão envolvidos na resistência de plantas a patógenos, tendo ação sobre diferentes estruturas do microrganismo, como parede celular e membrana do patógeno, e sobre a inibição da ativação de enzimas fitopatogênicas.

Tabela 3.1 | Proteínas e peptídeos antimicrobianos que atuam na resistência de plantas a patógenos

Tipo	Atividade biológica
Quitinase; β -1,3-glucanase	Atuam sobre componentes da parede celular de fitopatógenos
Proteínas ligantes de quitina	Interferem na síntese da parede celular de fitopatógenos
Tioninas; Defensinas	Desestabilizam a membrana de fungos fitopatogênicos
Proteínas de transferência de lipídeos	Desestabilizam a membrana de fungos fitopatogênicos
Proteínas inativadoras de ribossomos	Inibem a elongação de peptídeos
Lisozima	Digere polímeros da parede celular de bactérias fitopatogênicas
Inibidores de proteases	Inibem enzimas digestivas de fitopatógenos
Inibidores da poligalacturonase	Inibem a ação de poligalacturonases
Fototoxinas	Danificam componentes celulares como ácidos nucleicos e membrana plasmática do patógeno

Fonte: adaptada de Amorim, Rezende e Bergamin Filho (2011).

Por fim, os fatores de **resistência bioquímicos pós-formados** são ausentes ou presentes em baixos níveis nas plantas antes da infecção e produzidos ou ativados em resposta à presença do patógeno (PASCHOLATI, 2011). São exemplos:

- **Espécies Ativas de Oxigênio (EAOs)**: ou também chamadas de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs), são moléculas altamente reativas que atuam diretamente sobre o patógeno, logo no início do processo de infecção, tanto em interações compatíveis quanto em incompatíveis (explosão oxidativa) (PASCHOLATI, 2011). Dessa forma, atuam inibindo o desenvolvimento do microrganismo no tecido, reforçando a parede celular da planta e fortalecendo a integridade da membrana plasmática.



Exemplificando

As EAOs são moléculas reduzidas e altamente reativas, produzidas no caminho metabólico de transformação do oxigênio molecular (O_2) a água (H_2O). Nesse processo, podem ser geradas as seguintes EAOs, que vão atuar como mecanismos de resistência da planta durante a explosão oxidativa:

Singlet oxygen (1O_2): capaz de reagir com outras moléculas induzindo a oxidação das mesmas;

Radical superóxido (O_2^-): o radical, ânion superóxido ou apenas superóxido, representa o produto da redução de um elétron do O_2 ;

Peróxido de hidrogênio (H_2O_2): uma redução bivalente do oxigênio conduz à formação do H_2O_2 , o qual também pode ser formado durante a ação de dismutase do superóxido;

Radical hidroxil (OH): a posterior redução do H_2O_2 conduz à produção desse radical, que é uma espécie muito agressiva de oxigênio.

- **Fitoalexinas**: definidas como compostos antimicrobianos que são sintetizados por plantas e se acumulam nas células vegetais como uma resposta da planta à infecção microbiana (PAXTON, 1981). São compostos biocidas, nocivos a bactérias, fungos, nematóides, plantas e animais.

- **Proteínas relacionadas à patogênese (proteínas PR)**: são induzíveis no hospedeiro em resposta à infecção por fitopatógenos ou por estímulos abióticos, podendo estar correlacionadas com a resistência não específica do hospedeiro ao patógeno (STANGARLIN et al., 2011). São conhecidas atualmente 17 famílias de proteínas PR que apresentam diferentes funções nos vegetais (Figura 3.3).

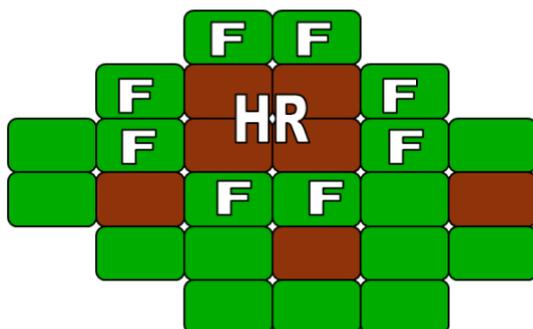
Figura 3.3 | Famílias de proteínas relacionadas à patogênese e suas respectivas funções

Família	Propriedades
PR-1	Antifúngica
PR-2	β -1,3-glucanase
PR-3	Quitinase I-II, IV-VII
PR-4	Quitinase I-II
PR-5	Osmotina
PR-6	Inibidores de protease
PR-7	Endoproteíases
PR-8	Quitinase III
PR-9	Peroxidasas
PR-10	<i>Proteínas semelhantes a ribonuclease</i>
PR-11	Quitinase V
PR-12	Defensinas
PR-13	Tioninas
PR-14	Proteínas relacionadas com o transporte de lipídios
PR-15	Oxalato oxidases
PR-16	<i>Proteínas semelhantes a oxalato oxidase</i>
PR-17	Desconhecida

Fonte: Stangarlin et al. (2011, p. 28):

As plantas podem também se defender de inúmeros patógenos através da Reação de Hipersensibilidade (HR) (Figura 3.4), que resulta na morte repentina de um número limitado de células do hospedeiro circundando os sítios de infecção (PASCHOLATI, 2011). Nesse caso, a planta mata algumas poucas células em seu tecido, a fim de que as demais (células saudáveis) sobrevivam sem sofrer o ataque ou a ação do fitopatógeno. Além disso, a HR é considerada uma resposta de defesa induzida que ocorre devido ao reconhecimento da infecção, por parte do hospedeiro, como uma consequência da incompatibilidade entre a planta e o patógeno, expressa na forma de uma pequena necrose.

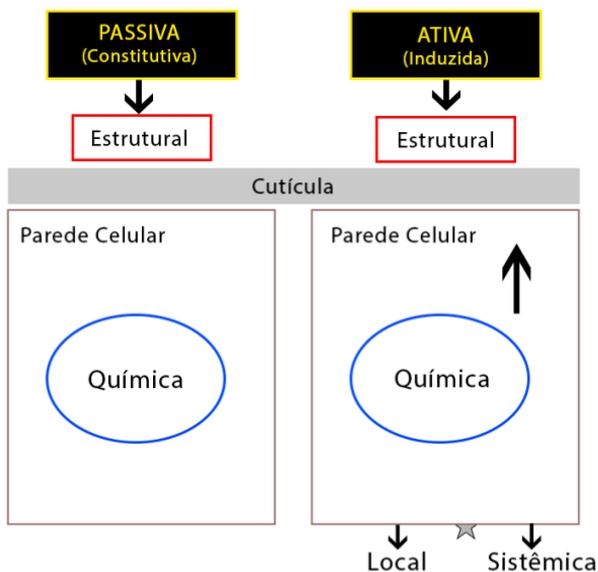
Figura 3.4 | Resposta de hipersensibilidade (HR) de uma planta nos sítios de infecção pelo patógeno com acúmulo de fitoalexinas (F) nas células vizinhas, para garantir que o patógeno não se expanda para as demais células do hospedeiro



Fonte: Resende et al. (2014, p. 204):

Já a resistência induzida é também conhecida como indução de proteção ou imunidade adquirida e envolve a ativação dos mecanismos latentes de resistência em uma planta através de tratamentos com agentes externos bióticos (microrganismos viáveis ou inativados) ou abióticos (metais pesados, ASM, fosfitos, silício, entre outros), sem alteração do genoma da mesma (CAVALCANTI et al., 2005). Dentro disso, a proteção pode ser local (onde o patógeno está atuando) ou sistêmica (distante do ponto e infecção pelo patógeno), nesse caso, sendo dividida em resistência sistêmica adquirida (SAR), dependente da via do ácido salicílico, e resistência sistêmica induzida (ISR), dependente da via do ácido jasmônico e etileno (Figura 3.5). Na Figura 3.5, por exemplo, podemos observar a ação da defesa passiva da planta, que ocorre conjuntamente com o desenvolvimento normal da mesma através de mecanismos estruturais. Já a expressão da defesa ativa é regulada por um sinal provocado por um estímulo externo, como a deposição de um patógeno em uma folha. Após a expressão desse sinal químico desencadeado pela planta, a defesa poderá ser local, ou seja, no sítio de infecção do patógeno, podendo resultar em HR, por exemplo, ou a defesa poderá ser sistêmica, ocorrendo em tecidos distantes do sítio de infecção pelo patógeno, como a expressão de SAR e ISR.

Figura 3.5 | Defesa passiva e ativa da planta demonstrando a ocorrência da proteção local e sistêmica



Fonte: acervo Kroton:



Pesquise mais

A indução de resistência em plantas atualmente vem sendo muito estudada visando o manejo de doenças. Dessa forma, o artigo indicado abaixo aborda justamente o emprego da indução de resistência no manejo integrado de doenças. Essa leitura será de grande valia para sua formação profissional, permitindo o entendimento de como ocorre o processo de indução de resistência em plantas e como esse mecanismo de resistência atua na planta.

PASCHOLATI, S. F.; MELO, T. A.; DALIO, R. J. D. Indução de resistência contra patógenos: definição e perspectivas de uso. **Visão Agrícola**, n. 13, p. 110-112, 2015.

A especificidade nas interações planta-patógeno pode ser distinguida de duas maneiras: uma em nível de espécie, que é comumente referida como resistência de não-hospedeiro (especificidade espécie-espécie), e a outra em nível de variedade, normalmente chamada de resistência de hospedeiro (especificidade raça-variedade) (HEATH, 1981). Contudo, independentemente dos mecanismos que podem estar envolvidos na especificidade, o reconhecimento do patógeno, por parte da planta é o evento que marca o início das respostas da planta frente ao ataque de um microrganismo fitopatogênico, que tem por objetivo impedir o desenvolvimento de um patógeno em seus tecidos.

Após o reconhecimento, ocorre a ativação de respostas de defesa da planta, que se inicia pelo reconhecimento de padrões moleculares associados ao microrganismo (PAMP e MAMP), que podem incluir mecanismos de resistência da planta como a HR, produção de EAOs, ativação de genes de defesa, síntese de fitoalexinas e de compostos aptos a promover mudanças estruturais na parede celular (PASCHOLATI, 2011). Dessa forma, para que ocorra a ativação dos mecanismos de defesa, a planta precisa reconhecer sinais moleculares impostos pelo patógeno durante a infecção, como moléculas receptoras presentes na membrana plasmática e citoplasma.



Assimile

Conforme já abordamos durante essa seção, as plantas reconhecem moléculas derivadas do patógeno e, assim, ativam suas respostas de defesa. Os Padrões Moleculares Associados a Microrganismos (**MAMP**) são componentes estruturais conservados de microrganismos, por exemplo, constituintes da parede celular e lipopolissacarídeos bacterianos. Os Padrões Moleculares Associados a Patógenos (**PAMP**) também são componentes estruturais conservados de microrga-

nismos, porém são reconhecidos como resultado da imunidade inata das plantas (PASCHOLATI, 2011).

Após a percepção do sinal, mediada pelos receptores celulares, inicia-se a transdução de sinais, que é gerada pela interação eliciador-receptor, a qual consiste na amplificação desse sinal para o sítio de ação no interior da célula (PASCHOLATI, 2011). Por fim, após a transdução de sinais, há a tradução desses sinais, em que ocorrem as respostas celulares na planta, em função da ativação de genes envolvidos na síntese de proteínas PR, de enzimas de rotas metabólicas de fitoalexinas e de mecanismos estruturais de defesa (PASCHOLATI, 2011).

Em resumo, para que a doença ocorra, o patógeno precisa vencer as barreiras naturais e bioquímicas impostas pela planta, e para que a defesa ocorra, é necessário que haja o reconhecimento, a sinalização e a ativação dos sinais de defesa da planta. Assim, com os conteúdos expostos nessa seção, você é capaz de compreender de que forma as plantas se defendem do ataque de fitopatógenos e porque na natureza a doença não é a regra, pois existem inúmeros mecanismos que os vegetais podem usar a seu favor na tentativa de evitar o desenvolvimento de patógenos em seus tecidos.

Sem medo de errar

Agora que você já sabe como as plantas se defendem do ataque de patógenos e quais mecanismos elas utilizam para desencadear sua resistência, tem subsídios para resolver a situação-problema proposta no início dessa seção. Relembrando, o cenário profissional proposto foi que, ao concluir a graduação, você foi contratado como engenheiro agrônomo por um produtor e fornecedor de hortigranjeiros para a CEASA de Campinas. Nessa fazenda, um dos principais problemas em tomate cereja e pimentão é a mancha bacteriana (*X. vesicatoria*), principalmente devido às condições climáticas de alta incidência de chuvas e temperaturas elevadas de setembro a novembro. A mancha bacteriana é uma doença que afeta a área foliar das plantas, interferindo nos processos de fotossíntese, e deprecia a qualidade final do fruto devido à incidência de manchas. Ao notar o aparecimento de sintomas dessa doença nas plantas de tomate e pimentão, o produtor aplicou um defensivo biológico à base de *Bacillus* sp. e, na semana seguinte, aplicou ainda um indutor de resistência chamado acibenzolar-S-metil (ASM), visando reduzir as perdas com a incidência da doença.

Sabendo que na natureza a regra é a resistência e a doença é a exceção, provavelmente a planta ativou seus mecanismos de defesa antes mesmo da aplicação dos defensivos pelo produtor. Como é uma doença bacteriana, ou seja, de patógenos que penetram por aberturas naturais, provavelmente os mecanismos ativados foram estruturais, como tricomas e fechamento de estômatos, e mecanismos de resistência e bioquímicos, por exemplo, a produção de proteínas e peptídeos antimicrobianos, produção de espécies ativas de oxigênio, fitoalexinas e proteínas relacionadas à patogênese. Contudo, ao aplicar esses produtos, um à base de *Bacillus* sp. e o outro à base de ASM, a resistência induzida na planta seria do tipo ISR, no caso da aplicação de *Bacillus* sp., e do tipo SAR, no caso do ASM, em que a ISR está agindo na planta via rota do ácido jasmônico e etileno, e a SAR, via ácido salicílico.

A partir dessas conclusões sobre os mecanismos de resistência de plantas de tomateiro e pimentão frente ao ataque de *X. vesicatoria*, você deverá elaborar um relatório técnico de seus levantamentos e conclusões, com os principais mecanismos de resistência que estão sendo empregados ao aplicar os dois produtos sobre as plantas, bem como sua importância no manejo de doenças, a fim de manter um histórico de manejo das doenças e para, futuramente, poder comparar a eficácia entre os métodos de manejo utilizados.

Avançando na prática

Identificando a resistência induzida

Descrição da situação-problema

Você foi contratado como engenheiro agrônomo para prestar consultoria em um plantio de trigo no interior do Rio Grande do Sul. A lavoura em questão está apresentando incidência de uma doença conhecida como mancha amarela da folha do trigo, que tem como agente causal o patógeno fúngico *Drechslera tritici-repentis*. O produtor, não satisfeito com o resultado da aplicação de defensivos químicos na safra anterior, pergunta a você se existe alguma outra forma de controle que não fosse a aplicação de fungicidas. Você recomenda o uso de indutores de resistência de plantas, como fosfitos, silício ou acibenzolar-S-metil (ASM). De que tipo é a resistência induzida por esses produtos? Quais são as rotas metabólicas utilizadas por esses produtos nas plantas?

Resolução da situação-problema

Ao recomendar o uso de indutores de resistência, como fosfitos, silício ou mesmo o acibenzolar-S-metil, você explica ao produtor que esses produtos estariam atuando na proteção da planta através da resistência sistêmica adquirida (SAR). Nesse caso, após a aplicação do produto indutor de resistência, a planta ativa seus mecanismos latentes de resistência, ficando protegida da ação do patógeno quando este tentar infectá-la. Ou seja, quando o patógeno se depositar na planta, a mesma já estará com o todo o seu arsenal de defesa preparado para evitar a infecção pelo patógeno e, conseqüentemente, o desenvolvimento da doença. Ao ser questionado sobre as rotas metabólicas utilizadas por esses produtos, você explica ao produtor que, por se tratar de agentes abióticos, a rota que esses produtos ativam na planta é a do ácido salicílico, responsável pela ativação da SAR em plantas. Além disso, esses produtos estariam atuando diretamente na formação de fatores de resistência estruturais, como a formação de defesas físicas que evitam ou restringem o desenvolvimento da doença nos tecidos do hospedeiro. Dessa forma, por exemplo, a aplicação de um indutor de resistência, estaria atuando no fortalecimento da cutícula e da parede celular, por meio da formação de estruturas de defesa celular, como halos (modificações da parede celular no entorno do sítio de infecção), papilas (deposição de material heterogêneo nos espaços entre a membrana plasmática e a parede celular) e formação de lignina (que reforça a cutícula ou paredes celulares).

Faça valer a pena

1. Os fatores de resistência estruturais são as defesas físicas que evitam ou restringem o desenvolvimento de doenças sob os tecidos vegetais, que podem ser subdivididos em pré ou pós-formados. Os pré-formados são a primeira linha de defesa contra fitopatógenos, enquanto os pós-formados servem como novas barreiras estruturais, formadas após o contato do patógeno com os tecidos da planta.

Assinale a alternativa que apresenta apenas fatores de resistência estruturais pré-formados.

- a) Cutícula, agregações citoplasmáticas e paredes celulares espessas.
- b) Estômatos, tricomas e papilas.
- c) Cutícula, tricomas e halos.
- d) Cutícula, tricomas e estômatos.
- e) Estômatos, halos e papilas.

2. São moléculas altamente reativas que atuam diretamente sobre o patógeno, logo no início do processo de infecção tanto em interações compatíveis quanto em incompatíveis, que atuam inibindo o desenvolvimento do microrganismo no tecido, reforçando a parede celular da planta e fortalecendo a integridade da membrana plasmática.

A sentença supramencionada se refere a qual fator de resistência bioquímico pós-formado?

- a) Fitoalexinas.
- b) Proteínas relacionadas à patogênese.
- c) Espécies ativas de oxigênio.
- d) Glicoproteínas ricas em hidroxiprolina.
- e) Camadas de cortiça.

3. Para que uma planta ative seus mecanismos de defesa, é necessário que ocorra uma sequência cronológica de eventos celulares e moleculares de reconhecimento do patógeno em seus tecidos, comumente chamada de interação planta x patógeno.

Assinale a alternativa que contém, em ordem cronológica, todos os eventos necessários para desencadear a resistência de uma planta.

- a) Reconhecimento do patógeno – sinalização – ativação de respostas de defesa da planta.
- b) Sinalização – reconhecimento do patógeno – ativação de respostas de defesa da planta.
- c) Reconhecimento do patógeno – sinalização – tradução de sinais.
- d) Sinalização – ativação de respostas de defesa da planta – transdução de sinais.
- e) Ativação de respostas de defesa da planta – sinalização – reconhecimento do patógeno.

Diagnose de doenças em plantas

Diálogo aberto

Olá, aluno!

Para finalizarmos a unidade, vamos abordar nesta seção a diagnose de doenças de plantas. Assim, você aprenderá a proceder à diagnose de doenças conhecidas, ou seja, já relatadas na literatura, e de doenças desconhecidas, isto é, uma doença nova para um determinado local ou cultura. Quando nos deparamos com doenças já relatadas, como a mancha alva da soja (*Corynespora cassiicola*), a diagnose e a identificação do agente causal se tornam mais fáceis, pois é possível comparar os sintomas e sinais do patógeno com os já descritos na literatura ou mesmo proceder ao isolamento do agente causal, quando possível, e identificá-lo por meio de estudos morfológicos ou moleculares. Partindo desse princípio, você deve estar se perguntando como as doenças atualmente conhecidas foram inicialmente identificadas, ou mesmo, como realizar a diagnose de uma doença que aparece pela primeira vez em uma cultura, se não temos um material para tomar como base para consulta. O primeiro pesquisador a elucidar essas dúvidas e esclarecer a metodologia de identificação e associação de doenças com seus respectivos hospedeiros foi o médico alemão Robert Koch, em 1881, que estabeleceu uma série de etapas para a identificação de uma doença em ovelhas, que ficaram conhecidas como **Postulados de Koch**. Mais tarde, esses postulados foram adaptados para a fitopatologia e até hoje são utilizados na diagnose de doenças que ainda não foram descritas para uma cultura específica, o que será uma das principais abordagens nessa seção. Para que você possa entender melhor a importância da diagnose de doenças de plantas, vamos considerar o seguinte cenário profissional:

Você foi contratado para ser o engenheiro agrônomo em uma fazenda de produção extensiva de hortigranjeiros, para fornecimento de produtos hortícolas ao CEASA de sua cidade. Ao inspecionar os talhões cultivados com batata, você observa algumas plantas doentes, apresentando como sintomas anéis ou pontuações necróticas nas folhas e leve mosaico em folhas apicais, além de terem um tamanho reduzido, quando comparadas com plantas sem a presença desses sintomas. Ao seguir com a observação nos talhões, você repara que algumas plantas estão apresentando redução da área foliar e manchas escurecidas de formato ovoide, que ficam delimitadas às nervuras das folhas. Essas lesões apresentam zonas concêntricas em toda a sua extensão e são delimitadas por um halo clorótico.

Ao analisar bem os dois sintomas, no primeiro caso, você suspeita de virose, porém, fica em dúvida quanto à correta diagnose do patógeno: mosaico Y (*Potato virus Y* – PVY) ou vírus X da batateira (*Potato virus X* – PVX). No segundo caso, você não reconhece as características da lesão, mas suspeita ser um patógeno fúngico, pelos sinais exibidos no centro da lesão. Como a fazenda não possui um laboratório e você não tem certeza sobre os agentes causais, sugere que o produtor encaminhe o material para uma clínica de diagnose, a fim de que, por meio de diferentes técnicas, esses patógenos sejam identificados e vocês possam realizar o manejo correto na cultura. Partindo do pressuposto de que o segundo caso, que você suspeita de infecção fúngica, seja uma doença nunca antes descrita, de que forma deveria ser feita a diagnose e a descrição dela? E considerando que sejam duas doenças já relatadas e descritas, quais técnicas poderiam ser utilizadas para a correta diagnose dos agentes causais?

Você deverá explicar os possíveis procedimentos que serão utilizados na diagnose dos patógenos e de que forma a clínica conduziria a diagnose de doenças conhecidas e desconhecidas. Assim que receber as análises da clínica, você deverá identificar e informar ao produtor quais doenças estão ocorrendo em sua plantação de batata e, a partir disso, elaborar um relatório técnico, que precisará conter as informações sobre a diagnose, além de suas observações acerca da área de plantio. Com esses dados, além de manter o histórico da área, o produtor poderá ainda estabelecer o manejo correto para que não sofra com perdas posteriores devido à incidência dos patógenos.

Ao finalizarmos essa seção e, conseqüentemente, a terceira unidade da disciplina, você aprenderá os principais métodos de identificação de patógenos de plantas de doenças já relatadas e ainda não relatadas e será capaz de realizar ou orientar a diagnose correta de doenças de plantas durante a sua vida profissional.

Mãos à obra!

Não pode faltar

Para finalizarmos a Unidade 3 do livro didático, abordaremos nesta seção um dos principais tópicos da Fitopatologia Geral: a diagnose de doenças de plantas.

Você deve estar se perguntando por que essa abordagem é tão importante dentro da Fitopatologia, correto? Vamos considerar que até aqui, você tenha aprendido sobre sintomatologia, sobre os principais agentes causais de doenças de plantas e sobre suas interações com o hospedeiro. Todos esses

conhecimentos serviram de base para que pudesse chegar a essa seção e compreender a diagnose como um todo.

A partir da sintomatologia, do conhecimento básico acerca dos agentes causais e principalmente, das suas formas de interações com seus respectivos hospedeiros, você procederá à correta diagnose da doença e, conseqüentemente, na condição de engenheiro agrônomo, planejará o manejo correto da doença na cultura, com o objetivo de reduzir perdas de produtividade. Em resumo, diagnosticando a doença e identificando corretamente o agente causal, você poderá evitar que prejuízos maiores ocorram em um determinado cultivo agrícola.

Com isso, a diagnose é caracterizada pela identificação de uma doença e seu agente causal mediante a avaliação dos sintomas e sinais exibidos na superfície da planta hospedeira. Além disso, a observação de sintomas e sinais nas plantas afetadas normalmente é feita pelo próprio produtor, por um técnico ou por um fitopatologista, pois as plantas nesse estado costumam apresentar um desvio do que é esperado para aquela espécie vegetal em seu desenvolvimento normal (REZENDE et al., 2011).

Contudo, é fundamental, antes mesmo da diagnose propriamente dita, identificar se os sintomas exibidos pelas plantas estão sendo causados por um agente biótico (fitopatogênico) ou abiótico (condições adversas do ambiente) (REZENDE et al., 2011). Essa é uma etapa fundamental, pois se tratando de um agente abiótico, a diagnose terá como objetivo identificar o fator externo que está causando o estresse, e o manejo será em função do tipo de estresse que a planta está sofrendo. Todavia, se a causa dos sintomas for um agente biótico, a diagnose deverá ser feita com base no agente causal da doença, por meio de diversas análises, das quais você tomará conhecimento nessa seção, e o manejo visará controlar o patógeno em questão. A partir disso, podemos entender que a diagnose é um dos pré-requisitos básicos para o estabelecimento das medidas corretas de manejo da doença, feitas sempre em função do agente causal.



Exemplificando

Por exemplo, quando a causa dos sintomas for uma deficiência nutricional (agente abiótico), inicialmente procede-se a uma análise, normalmente foliar, com o objetivo de verificar qual nutriente está em falta na planta. Essa constatação pode ser facilmente realizada, de forma mais rápida, pela análise e comparação dos sintomas em chaves ilustrativas de deficiência nutricional. Após a identificação da deficiência nutricional, o manejo normalmente realizado é a suplementação, via adubação equilibrada, com o nutriente que está em falta na nutrição da planta. Já quando os sintomas exibidos pelas plantas são característicos de fungos ou bactérias (agentes bióticos), por exemplo, a constatação (diagnose) do agente causal é feita

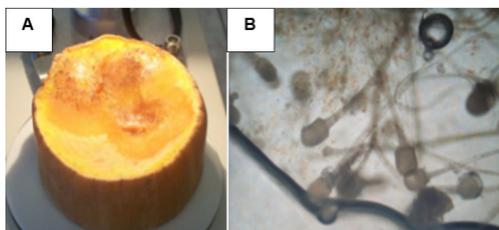
através do isolamento do patógeno, seguido de sua identificação por técnicas morfológicas, sorológicas ou moleculares. Após a identificação, o manejo da doença é feito através de diferentes métodos de controle (como controle físico, cultural, genético, biológico e/ ou químico).

Com isso, o que abordaremos nessa seção será a diagnose voltada para a identificação de agentes bióticos de infecção. Porém, para isso, é necessário considerar se a doença que está incidindo sobre a planta é conhecida (já relatada na literatura e descrita para a cultura) ou desconhecida (uma doença nova na cultura), pois a diagnose é feita por diferentes metodologias para cada caso.

Quando a diagnose identifica uma doença conhecida, o primeiro passo é confrontar os sintomas observados no vegetal com aqueles relatados na literatura e, nesse caso, os sintomas e sinais devem coincidir com os descritos na literatura (REZENDE et al., 2011). Para isso, são utilizados como referências livros-textos, compêndios, manuais, guias de campo e bancos de imagens na internet. Porém, na maioria dos casos, um exame detalhado dos sintomas e uma investigação das características além dos sintomas óbvios, como o exame das estruturas do patógeno, são necessários para um diagnóstico correto (AGRIOS, 2005).

De acordo com Agrios (2005), patógenos como fungos, bactérias, vírus, nematóides, fitoplasmas, espiroplasmas e viróides podem estar presentes na superfície das plantas ou no interior de seus tecidos, indicando que são eles, provavelmente, a causa da doença em uma determinada planta. Por exemplo, quando a suspeita do agente causal for um patógeno fúngico, o procedimento para diagnose e identificação costuma ser simples, pois esses microrganismos geralmente produzem estruturas reprodutivas (como esporos, corpos de frutificação) na superfície de órgãos atacados (REZENDE et al., 2011). Dessa forma, normalmente, o exame do material em microscópio estereoscópico, seguido da coleta das estruturas vegetativas e reprodutivas, e a observação das mesmas em microscópio de luz permitem a identificação do microrganismo e de sua associação com os sintomas (Figura 3.6).

Figura 3.6 | Diagnose de patógenos fúngicos: (A) observação do material doente em microscópio estereoscópico; (B) estruturas fúngicas observadas em microscópio de luz



Fonte: acervo do autor.:

Após a observação das estruturas, elas são comparadas com livros de micologia e chaves de identificação, a fim de constatar se o fungo já foi relatado como fitopatogênico preferencialmente na planta em que está se fazendo a diagnose. Conforme Agrios (2005), se os sintomas da planta e a característica das estruturas reprodutivas e/ou vegetativas correspondem aos listados na literatura para aquele fungo em particular, então, o diagnóstico da doença é, na maioria dos casos, considerado completo.

Porém, quando as estruturas fúngicas não estão facilmente visíveis na superfície do hospedeiro, o material normalmente é colocado em câmara úmida por aproximadamente 24 horas, tempo suficiente para estimular a produção das estruturas reprodutivas do fungo. Já para fungos necrotróficos, é possível ainda isolar o agente causal em meio de cultura e identificá-lo através de métodos culturais, morfológicos ou moleculares.

Quando a suspeita é de infecção bacteriana, o diagnóstico e a identificação baseiam-se principalmente nos sintomas da doença, na presença constante de um grande número de células bacterianas na área afetada e na ausência de quaisquer outros patógenos (AGRIOS, 2005). Para isso, pode-se lançar mão de preparações que permitam a visualização da bactéria em microscópio de luz ou que permitam o seu isolamento em meio de cultura, e a identificação da bactéria pode ser necessária para completar a diagnose, sendo realizada por métodos culturais, bioquímicos, sorológicos e moleculares (REZENDE et al., 2011).

Dessa forma, além dos testes de exsudação bacteriana e do copo (utilizado para bactérias vasculares, como *Ralstonia solanacearum*), muitas vezes é necessário proceder ao isolamento e à observação do crescimento da bactéria em meios de cultura seletivos (Figura 3.7). Após o isolamento, para comprovar que a bactéria observada é mesmo o patógeno que está causando os sintomas de doença na planta, realiza-se a reinoculação do patógeno isolado, em uma planta suscetível, a fim de reproduzir os mesmos sintomas da planta de onde foi isolada e de comparar com aqueles produzidos por espécies já conhecidas de bactérias.

Figura 3.7 | Isolamento de uma fitobactéria em meio de cultura



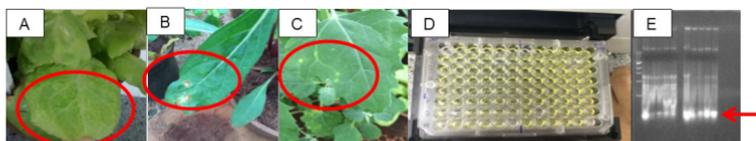
Fonte: acervo do autor.:

Quando a suspeita é de fitoplasmas (não cultivável em meio de cultura) ou espiroplasmas (cultivável em meio de cultura), embora sejam microrganismos procariotos como as bactérias, a demonstração de sua ocorrência em plantas sintomáticas é feita por microscopia eletrônica de transmissão ou por técnicas moleculares, como PCR (*Polymerase chain reaction*), RFLP (*Restriction Fragment Length Polymorphism*) ou sequenciamento da região do genoma correspondente ao gene 16S DNA (REZENDE et al., 2011).

Em caso de doenças causadas por nematóides, a diagnose e a identificação desses agentes são feitas com base nas características morfológicas desses microrganismos, obtidas pelo exame dos mesmos em microscópio de luz. Essa técnica é conhecida como identificação descritiva clássica e consiste em realizar a extração dos nematóides das amostras, obter as preparações microscópicas e examiná-las em microscópio de luz, para comparação das características morfológicas dos microrganismos com aquelas já descritas em chaves específicas de identificação de nematóides (REZENDE et al., 2011). Contudo, para alguns gêneros, como *Meloidogyne* spp. (nematóide das galhas), a identificação morfológica é extremamente difícil de ser realizada, devido à alta semelhança entre as espécies. Para resolver esse problema, técnicas moleculares, como eletroforese de isoenzimas, foram desenvolvidas para fins de diagnose e identificação desses microrganismos.

Já a diagnose de doenças causadas por vírus e viróides tem início com a observação dos sintomas, normalmente distintos daqueles causados por fungos e bactérias, caracterizados principalmente pelo surgimento de cloroses e mosaicos nas folhas (Figura 3.8 A). Porém, nem sempre a observação dos sintomas é suficiente para a diagnose precisa de viroses, podendo ser feita através do teste de transmissão do vírus para espécies hospedeiras ou indicadoras por inoculação mecânica (Figura 3.8 B e C), enxertia ou vetor; por exame do material vegetal em microscópio eletrônico de transmissão com objetivo de observar a morfologia das partículas virais; por testes sorológicos nos casos em que há antissoros específicos disponíveis (como *Enzyme-linked immunosorbent assay* - ELISA) (Figura 3.8 D); e principalmente por diagnose molecular, baseada na detecção/caracterização do ácido nucleico viral, como a hibridização, PCR (Figura 3.8 E), qPCR, entre outras (REZENDE et al., 2011).

Figura 3.8 | Diagnose de fitoviroses: (A) *Lettuce mosaic virus* (LMV) em plantas de alface; (B) expressão dos sintomas em plantas indicadoras do fitovírus LMV, *Gomphrena globosa* com necrose local; (C) *Chenopodium quinoa* com lesões locais de coloração verde clara; (D) teste sorológico ELISA para detecção do vírus LMV; e (E) reação de PCR em gel de agarose para detecção de LMV, setas indicam a presença do fitovírus na amostra



Fonte: acervo do autor.

Entretanto, nem sempre a obtenção de um microrganismo em cultura pura, a partir de uma planta doente, significa que ele seja o agente causal. Além disso, no caso de uma doença nova, os processos descritos acima não permitem uma diagnose segura. Dessa forma, para provar que um determinado microrganismo é realmente o agente causal de uma determinada doença, devem ser realizados os **Postulados de Koch**, de maneira a estabelecer a relação causal entre uma doença e um agente fitopatogênico, que tem como princípios básicos os seguintes enunciados (ALFENAS et al., 2016; REZENDE et al., 2011):

- Associação constante patógeno-hospedeiro, em que um determinado organismo deve estar presente em todas as plantas de uma mesma espécie que apresente o mesmo sintoma;

- Isolamento do patógeno, em que o organismo associado aos sintomas deve ser isolado da planta doente, multiplicado axenicamente e ter suas características descritas;

- Inoculação do patógeno e reprodução dos sintomas, em que a cultura pura do patógeno obtida no postulado anterior deve ser inoculada em plantas sadias da mesma espécie e variedade que apresentou os sintomas iniciais da doença e provocar os mesmos sintomas observados nas plantas inicialmente doentes;

- Reisolamento do patógeno, em que o microrganismo deve ser reisolado da planta submetida à inoculação experimental e suas características devem ser as mesmas observadas no segundo passo.



Refleta

Baseado nos quatro enunciados dos Postulados de Koch, você acredita que é possível realizar a metodologia para comprovar a relação causal entre patógeno e hospedeiro para todos os tipos de doenças? Pense naquelas doenças causadas por patógenos biotróficos (não cultiváveis) que necessitam do tecido do hospedeiro vivo para crescer e se desenvolver.

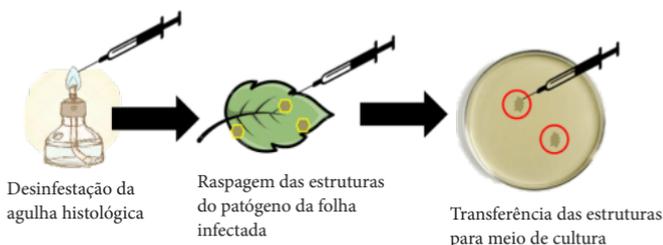
Você notou que, para realizar a diagnose de doenças, quando possível, o agente causal deve ser isolado. Mas de que forma pode ser feito esse isolamento?

Para responder a essa pergunta, inicialmente você deve levar em consideração a escolha da amostra a ser coletada para o isolamento, sempre observando se os patógenos são típicos da parte aérea, do colo da planta, de solo ou de sementes. Além da escolha adequada da amostra, é necessário também separar o microrganismo patogênico de microrganismos epifíticos e saprofitos, comuns sobre as lesões das doenças, através de técnicas que favoreçam

o desenvolvimento do fitopatógeno, como a desinfestação superficial da amostra de que se pretende fazer o isolamento.

Após considerar esses fatores, o isolamento pode ser direto, que consiste na transferência das estruturas do patógeno, como hifas, esporos, rizomorfos e escleródios, diretamente do órgão afetado para o meio de cultura, que tem como vantagem principal a obtenção do microrganismo puro, isento de contaminações por saprófitas associados ao tecido infectado, além de controlar exatamente qual microrganismo está sendo isolado e ser realizado de forma rápida e com baixo custo (ALFENAS et al., 2016) (Figura 3.9).

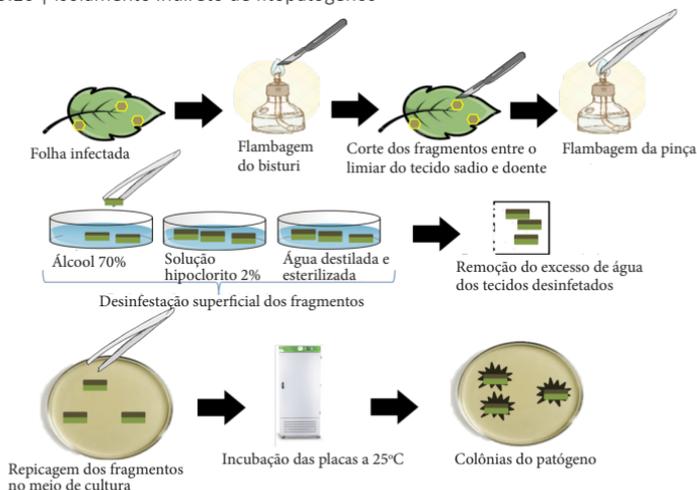
Figura 3.9 | Isolamento direto de fitopatógenos



Fonte: elaborada pelo autor.:

Outra forma de isolamento de patógenos é o indireto, que consiste na transferência de porções de tecido do hospedeiro infectadas para o meio de cultura, previamente desinfestadas superficialmente, para evitar a colonização do meio de cultura por microrganismos saprófitos (ALFENAS et al., 2016) (Figura 3.10).

Figura 3.10 | Isolamento indireto de fitopatógenos



Fonte: elaborada pelo autor.:



Assimile

Isolamento direto: coleta de estruturas do patógeno diretamente da superfície lesionada da planta, que serão transferidas para o meio de cultura.

Isolamento indireto: isolamento do patógeno a partir de fragmentos cortados entre o limiar sadio e doente do tecido vegetal, previamente desinfestados superficialmente e semeados em meio de cultura.

Contudo, muitos agentes fitopatogênicos não são capazes de crescer em meio de cultura, como fungos causadores de oídios, míldios, ferrugens e carvões, além dos vírus, viróides e fitoplasmas. Dessa forma, sua manutenção, isolamento e obtenção do inóculo fica restrita aos seus hospedeiros específicos (REZENDE et al., 2011).

A inoculação de patógenos em plantas, por sua vez, visa o estabelecimento artificial entre um patógeno e seu provável hospedeiro, com o objetivo de confirmar essa possível interação. De acordo com Alfenas, Ferreira e Alfenas (2016), a inoculação de um patógeno em uma planta consiste em quatro fases: obtenção, preparo e deposição do inóculo sobre a superfície do hospedeiro, incubação, colonização dos tecidos pelo patógeno e expressão dos sintomas e sinais.

De maneira geral, fungos e bactérias fitopatogênicas de parte aérea podem ser inoculados via pulverização de uma suspensão de esporos (fungos) ou células (bactérias) na superfície da planta (REZENDE et al., 2011). Recomenda-se que 24 h antes e após a inoculação, as plantas sejam mantidas em câmara úmida, período e condição necessária para que ocorra a abertura dos estômatos, que facilitará a penetração e germinação de esporos, além da penetração das células bacterianas no tecido.

Já para a inoculação de fungos que parasitam raízes, a inoculação é feita mediante cultivo prévio em grãos de trigo, sorgo ou arroz e, após a produção de estruturas reprodutivas e vegetativas, esses grãos são triturados e incorporados ao solo. Para patógenos vasculares, tanto fúngicos quanto bacterianos, o método de inoculação mais utilizado é a imersão das raízes das plantas em uma suspensão de esporos ou células bacterianas.

Os nematóides, por sua vez, são inoculados nas plantas através da infestação do solo com ovos e juvenis da espécie que se deseja inocular (FREITAS; NEVES; OLIVEIRA, 2016). Por fim, para a inoculação de vírus e viróides, as células da planta devem sofrer ferimentos para que as partículas virais possam penetrar em seu interior (REZENDE et al., 2011).

Apesar de o isolamento de fitopatógenos contribuir sobremaneira na diagnose de patógenos, atualmente um dos métodos mais confiáveis e mais

utilizados tem sido as técnicas moleculares, principalmente para aqueles patógenos que não crescem em meios de cultura (como vírus, viróides e patógenos biotróficos). Segundo Rezende et al. (2011), as principais técnicas de biologia molecular utilizadas para fins de diagnose são de natureza imunológica ou são relacionadas à hibridização e amplificação de ácidos nucleicos.

Como imunoenaios podemos citar o teste de ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*), que são kits que têm como princípio a detecção do antígeno viral ou bacteriano (partícula do vírus ou da bactéria) por meio da reação com anticorpos específicos produzidos contra o vírus (ou bactéria) (ZERBINI; ALFENAS-ZERBINI, 2016). Nesse teste, a reação entre o antígeno (partícula do patógeno) e o anticorpo específico ocorre no interior de cavidades de uma placa de poliestireno específica para o teste, e a reação sorológica é detectada por uma reação enzimática. Os testes mais usados são os moleculares, como a PCR, porque são rápidos, relativamente baratos e apresentam resultados muito precisos na diagnose de doenças. Esses testes têm por finalidade detectar o DNA ou RNA do patógeno presente nos tecidos do hospedeiro (REZENDE et al., 2016). Técnicas de PCR e suas variações (como PCR em tempo real) têm como princípio básico a extração dos ácidos nucleicos através de protocolos específicos para cada caso ou patógeno e posterior reação em um equipamento conhecido como termociclador, que condiciona binômios de tempo e temperatura, visando a amplificação de fragmentos de ácidos nucleicos com o uso de iniciadores (*primers*) específicos. A visualização dos resultados ocorre em gel de agarose, por meio da observação da presença ou ausência de bandas específicas e posterior sequenciamento do patógeno e comparação das sequências com bancos de dados na internet, como o NCBI.



Pesquise mais

As técnicas moleculares são atualmente as mais utilizadas na diagnose de doenças, devido ao seu baixo custo, rapidez e precisão na identificação de patógenos. Para compreender melhor como são feitas as etapas de uma extração de DNA de patógenos e como é realizada a PCR, assista ao vídeo:

BIOLOGICALVIDEOSBR. Técnicas de biologia molecular: extração de DNA e PCR. 30 abr. 2014.

Já a microscopia eletrônica de transmissão (MET) é um método mais caro, trabalhoso e que exige mão de obra qualificada, mas que pode ser empregado na diagnose de doenças de plantas, devido ao seu alto poder de resolução, sendo útil principalmente na detecção de patógenos não visualizados em microscópio de luz (como vírus, viróides, bactérias fastidiosas, fitoplasmas e espiroplasmas) (REZENDE et al., 2011). Por exemplo, na diagnose de fitoviroses, fitoplasmas

e espiroplasmas, a MET é útil para verificar a colonização das células da planta hospedeira por esses patógenos, bem como identificá-la por meio da morfologia de suas partículas. Normalmente, a MET é mais utilizada em meios acadêmicos para fins de pesquisas.

Com isso, as abordagens expostas nessa seção sobre a diagnose de doenças de plantas permitem que você compreenda as formas como podem ser feitas a diagnose e identificação de fungos, bactérias, vírus e viróides, nematóides, fitoplasmas e espiroplasmas e quais são as principais técnicas utilizadas para esse fim. Dessa forma, ao se deparar com plantas doentes em um cultivo agrícola, durante sua vida profissional, você saberá como proceder desde a coleta do material no campo até a diagnose e a identificação do agente causal da doença propriamente ditos.

Sem medo de errar

Agora que já aprendeu como é feita a diagnose de doenças, você tem subsídios para resolver a situação-problema proposta no início dessa seção. Vamos iniciar relembando o cenário profissional proposto, em que você foi contratado como engenheiro agrônomo de uma fazenda produtora de hortigranjeiros, responsável pelo fornecimento de produtos hortícolas à CEASA de sua cidade.

Em uma de suas inspeções de rotina, ao analisar talhões com cultivo de batata, você observou que algumas plantas estavam apresentando sintomas de doença, como anéis e/ou pontuações necróticas nas folhas e leve mosaico em folhas apicais, além de plantas com porte reduzido. Além disso, notou, durante essa inspeção, que algumas plantas apresentavam sintomas diferentes, como redução da área foliar e manchas escurecidas de formato ovoide delimitadas às nervuras das folhas, contendo zonas concêntricas em toda a sua extensão e, normalmente, delimitadas por halo clorótico.

Você percebeu que os dois tipos de sintomas são bem distintos e suspeitou de duas doenças diferentes: uma de origem virótica, ficando em dúvida sobre a correta diagnose do patógeno (mosaico Y ou vírus X da batateira) e a outra, de um patógeno fúngico, devido à presença de sinais no centro da lesão. Porém, por causa da incerteza, você não arriscou um diagnóstico baseado apenas nos sintomas, e optou por enviar as amostras para uma clínica especializada em diagnose de doenças de plantas, para que esta emita um laudo confirmando a identidade dos agentes causais e a doença que está ocorrendo no plantio.

Você explica ao produtor como provavelmente seria feita a diagnose das doenças na clínica fitopatológica, tomando como ponto de partida doenças

conhecidas e ainda não relatadas na literatura. Por exemplo, considerando que a doença que você acredita ser causada por um fungo seja nova, você relata ao produtor que, para que ela possa ser identificada e descrita, a diagnose e a descrição deveriam seguir os quatro enunciados dos Postulados de Koch, que são utilizados na identificação de novas doenças. Dessa forma, inicialmente, o fitopatologista responsável pela clínica deverá observar se existe associação constante entre o patógeno e o hospedeiro, analisando se o microrganismo causador da doença está presente em todas as plantas da amostra. O segundo passo será realizar o isolamento do patógeno que está associado aos sintomas, que será multiplicado axenicamente e terá suas características descritas (morfologia da colônia, tamanho dos esporos, cor da colônia etc.). Após a descrição das características, esse patógeno será novamente inoculado em plantas da mesma espécie e em cultivar da qual ele foi obtido, a fim de reproduzir os mesmos sintomas que deram origem à doença nas plantas de onde ele foi isolado. Por fim e como quarto enunciado, o patógeno deverá ser reisolado e ter as mesmas características do microrganismo que foi isolado no segundo passo.

No entanto, se as duas doenças já foram relatadas e descritas, você explica ao produtor que será mais fácil identificar os agentes causais e diagnosticá-los, pois, para isso, poderá ser utilizado como método de identificação a comparação dos sintomas das doenças com a literatura (manuais e guias de campo); no caso da suspeita de doença fúngica, o patógeno poderá ser isolado em meio de cultura, e suas características morfológicas e culturais poderão ser comparadas com chaves de identificação; esse mesmo patógeno fúngico e a doença que você suspeita ser de origem virótica poderão ser identificados também por técnicas moleculares, como PCR, por meio do uso de primers específicos para fungos e vírus, bem como poderão ser visualizados no interior dos tecidos e diagnosticados por microscopia eletrônica de transmissão.

Após explicar esses procedimentos ao produtor e receber as análises da clínica de diagnose, você deverá elaborar um relatório técnico informando quais doenças estão presentes na lavoura desse produtor, identificando se elas já foram relatadas ou se tratam-se de uma nova doença na cultura da batata. É importante que nesse relatório conste também os agentes causais identificados pela clínica de diagnose, bem como as técnicas que foram usadas para o diagnóstico, a fim de manter o histórico da área de plantio e de definir o manejo correto para as doenças em questão. Além disso, você deverá reunir os três relatórios e entregá-los ao produtor rural, para que ele tenha conhecimento de suas atividades mensais.

Diagnose de doenças fúngicas

Descrição da situação-problema

Você é o técnico responsável por realizar a diagnose de doenças em uma clínica de diagnose credenciada no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Sua função é receber as amostras de plantas doentes, realizar a catalogação delas e proceder à diagnose da doença e descrição do agente causal. Você acabou de receber amostras de plantas de trigo, apresentando espigas brancas, principalmente na metade superior. Sobre a ráquis da planta, observou uma lesão preta e brilhante e acima dessa lesão, a espiga estava morta. Nas folhas, notou a ocorrência de manchas elípticas, com o centro acinzentado, contendo as estruturas do patógeno. De que forma você procederia à diagnose dessa doença? Quais técnicas utilizaria para confirmar a identidade do agente causal?

Resolução da situação-problema

Para proceder à diagnose, inicialmente, você deverá comparar os sintomas das plantas com os já relatados para a cultura do trigo na literatura. Após realizar essa comparação, você acredita que é uma doença muito comum em plantios de trigo. Contudo, como se trata de uma análise técnica, é necessário emitir um diagnóstico confiável e seguro, bem como afirmar com precisão o agente causal, para que o produtor proceda ao manejo da doença de maneira eficiente. Pelos sintomas exibidos pela planta, você acredita que o agente causal seja um patógeno fúngico. Você analisa as folhas em microscópio estereoscópico e observa que, no centro das lesões nas folhas e em algumas espigas, é possível visualizar algumas estruturas do patógeno, confirmando a etiologia fúngica do patógeno. Dessa forma, sabendo que se trata de um fungo, para realizar a diagnose e identificação, você inicialmente realiza o isolamento do patógeno, que poderá ser feito de forma direta, pela coleta das estruturas diretamente da superfície da planta para o meio de cultura e também de forma indireta através de cortes entre o limiar do tecido sadio e doente das folhas ou da coleta dos grãos da espiga, previamente desinfestados e depositados sob o meio de cultura. Após o crescimento e o desenvolvimento do patógeno, você deverá observar a morfologia das colônias e comparar com chaves de identificação específicas para espécies fúngicas. A fim de garantir a segurança da identificação e da diagnose do patógeno, poderá usar métodos moleculares, através da extração de DNA do fungo, PCR, sequenciamento e comparação das sequências obtidas com bancos de dados, como o NCBI, e, assim, aferir com certeza a identidade do agente causal. De posse desses resultados, você deverá elaborar um laudo técnico, informando as análises utilizadas na diagnose e a

identificação do agente causal para, posteriormente, o produtor proceder ao manejo adequado, a fim de evitar perdas de produção em seu plantio de trigo.

Faça valer a pena

1. A diagnose é caracterizada pela identificação de uma doença e seu agente causal mediante a avaliação dos sintomas e dos sinais exibidos na superfície da planta hospedeira (REZENDE et al., 2011). Contudo, existe uma etapa anterior à diagnose propriamente dita, que deve ser levada em consideração.

Assinale a alternativa que contém a etapa que deve ser levada em consideração antes de realizar a diagnose de doenças de plantas.

- a) Avaliar a área de plantio e o tipo de cultura cultivada na área.
- b) Avaliar se os sintomas são causados por agentes bióticos ou abióticos.
- c) Avaliar se os sintomas da doença são causados por fungos ou bactérias.
- d) Avaliar se os sintomas da doença são causados por vírus ou nematóides.
- e) Avaliar se os sintomas da doença são causados por deficiência nutricional.

2. Nem sempre a obtenção e um microrganismo em cultura pura (in vitro) significa que ele é o agente causal da doença. Para provar que um determinado microrganismo é realmente o agente causal de uma certa doença, devem ser realizados os Postulados de Koch (ALFENAS et al., 2016; REZENDE et al., 2011).

Os Postulados de Koch apresentam quatro princípios básicos, que devem ser rigorosamente seguidos. Assinale a alternativa que descreve o terceiro princípio.

- a) Isolamento do patógeno em cultura pura.
- b) Associação constante entre patógeno e hospedeiro.
- c) Reprodução dos sintomas em plantas da mesma espécie.
- d) Reisolamento do patógeno.
- e) Inoculação do patógeno e reprodução dos sintomas.

3. O isolamento de fitopatógenos contribui de forma significativa na diagnose de inúmeras doenças de plantas, pois através dele é possível obter o patógeno em cultura pura e observar suas características. Todavia, nem sempre é possível isolar o agente causal da doença.

Assinale a alternativa que contém uma das técnicas mais utilizadas atualmente na diagnose de patógenos de plantas.

- a) Microscopia de luz.
- b) Microscopia eletrônica de transmissão.
- c) Técnicas moleculares como PCR.
- d) Técnicas imunoenzimáticas como o teste de ELISA.
- e) Uso dos Postulados de Koch.

- AGRIOS, G. **Plant Pathology**. 5. ed. San Diego: Academic Press, 2005.
- ALFENAS, A. C.; FERREIRA, F. A.; ALFENAS, R. F. Inoculação de fungos fitopatogênicos. In: ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. (ed.). **Métodos em Fitopatologia**. Viçosa: Editora UFV, 2016, p. 123-143.
- ALFENAS, A. C. et al. Isolamento de fungos fitopatogênicos. In: _____. **Métodos em Fitopatologia**. Viçosa: Editora UFV, 2016, p. 55-93.
- BERGAMIN FILHO, A.; KITAJIMA, E. História da Fitopatologia. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (ed.). **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011, p. 3-17.
- CAVALCANTI, L. S. et al. **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005, p. 81-124.
- DALIO, R. J. D.; PASCHOLATI, S. F. Alterações fisiológicas em plantas doentes. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (ed.). **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2018, p. 453-471.
- FERREIRA, M. A. S.; CARES, J. E.; FERREIRA, P. T. O. Mecanismos de ataque de patógenos em plantas. In: ZAMBOLIM, L.; JESUS JR, W. C.; RODRIGUES, F. A. (ed.). **O essencial da fitopatologia: epidemiologia de doenças de plantas**. Viçosa: UFV, 2014, p. 211-264.
- FREITAS, L. G.; NEVES, W. S.; OLIVEIRA, R. D. L. Métodos em nematologia vegetal. In: ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. (ed.). **Métodos em Fitopatologia**. Viçosa: Editora UFV, 2016, p. 257-296.
- HEATH, M. C. **A generalized concept of host-parasite specificity**. *Phytopathology*, v. 71, p. 1121-1123, 1981.
- INOUE-NAGATA, A. K.; et al. **Doenças do tomateiro**. Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2016. p. 697-732.
- LO, S. C. C.; NICHOLSON, R. L. Compostos fenólicos e a importância nas doenças de plantas. In: PASCHOLATI, S. F. et al. (Ed.). **Interação Planta Patógeno – fisiologia, bioquímica e biologia molecular**. Piracicaba: FEALQ, 2008, p. 285-303.
- PASCHOLATI, S. F. Fisiologia do parasitismo: Como as plantas se defendem dos patógenos. In: BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M. (ed.). **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011, p. 593-636.
- _____. Fisiologia do parasitismo: como os patógenos atacam as plantas? In: _____. **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011, p. 543-591.
- PAXTON, J. D. **Phytoalexins – a working redefinition**. *Phytopathologische Zeitschrift*, v. 101, p. 106-109, 1981.
- PULCINELLI, C. E.; MASSOLA JR., N. S. Doenças do fumo. In: AMORIM, L. et al. **Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2016, p. 413-432.
- REZENDE, M. L. V. et al. Mecanismos de defesa de plantas a patógenos. In: ZAMBOLIM, L.; JESUS JR, W. C.; RODRIGUES, F. A. (ed.). **O essencial da fitopatologia: epidemiologia de doenças de plantas**. Viçosa: UFV, 2014, p. 187-210.

REZENDE, J. A. M. et al. Conceito de doença, sintomatologia e diagnose. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (ed.). **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011, p. 37-58.

SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; STANGARLIN, J. R.; PASCHOLATI, S. F. Mecanismos bioquímicos de defesa vegetal. In: PASCHOLATI, S.F.; LEITE, B.; STANGARLIN, J.R.; CIA, P. (Ed.). **Interação Planta Patógeno – fisiologia, bioquímica e biologia molecular**. Piracicaba: FEALQ, 2008, p. 227-248.

STANGARLIN, J. R. et al. **A defesa vegetal contra fitopatógenos**. Scientia Agraria Paranaensis, v. 10, n. 1, 2011, p. 18-46.

ZERBINI, F. M.; ALFENAS-ZERBINI, P. Métodos em virologia vegetal. In: ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. (ed.). **Métodos em Fitopatologia**. Viçosa: Editora UFV, 2016, p. 297-354.

Unidade 4

Controle de doenças de plantas

Convite ao estudo

Olá, aluno!

Até aqui, você já estudou e conheceu como surgiu a Fitopatologia, os agentes causais de doenças de plantas, quais são os mecanismos de patogenicidade que facilitam o ataque dos patógenos às plantas e quais mecanismos as plantas utilizam para se defender do ataque de patógenos, a interação planta x patógeno e como pode ser feita a diagnose dos agentes causais. Então, para finalizarmos a disciplina de Fitopatologia Geral, abordaremos na última unidade deste livro o manejo e o controle de doenças de plantas.

No Brasil, o cancro cítrico se tornou uma epidemia na citricultura paulista em 1957. Felizmente, a doença e seu respectivo manejo já tinham sido relatados anteriormente por citricultores da Flórida, que adotaram a erradicação de plantas doentes como principal método de controle da doença. Desta forma, produtores das regiões de Presidente Prudente, Bauru, Marília, Araçatuba e São José do Rio Preto adotaram também a erradicação como principal medida de controle do cancro cítrico, destruindo em torno de dois milhões de árvores entre 1957 a 1979, porém mantendo a doença controlada nos pomares (BERGAMIM FILHO; AMORIM; REZENDE, 2011).

Assim, tudo o que você estudou até aqui servirá como base para aprender a manejar doenças de plantas no campo, sendo, portanto, o objetivo prático mais importante dentro da Fitopatologia, por estar diretamente relacionado à redução de perdas e prejuízos ocasionados por patógenos em culturas de importância econômica, tanto para exportação quanto para consumo interno no país.

Assim, as competências desta unidade são conhecer e compreender os diferentes métodos de manejo de doenças, e principalmente saber quando aplicar esses métodos no controle de doenças de plantas. Para iniciarmos esta unidade, vamos tomar como ponto de partida o seguinte cenário profissional:

Você foi contratado, por uma multinacional, para atuar como engenheiro agrônomo responsável por prestar consultoria a produtores rurais na região centro-oeste do Brasil. Esta consultoria está voltada principalmente para o manejo e controle de doenças de plantas causadas por fitopatógenos, principalmente nas culturas da soja, algodão e arroz de sequeiro (terras altas).

Desta forma, você será o responsável por realizar as visitas técnicas a campo, verificar a incidência e severidade de doenças nas lavouras, identificar o agente causal, além de programar e implementar o manejo de acordo com a diagnose da doença.

Conforme você foi realizando as visitas de campo e conhecendo os produtores rurais, observou que praticamente em todas as lavouras visitadas havia a incidência de doenças e constatou que, conseqüentemente, as mesmas já poderiam estar afetando a produtividade das culturas. Para que o produtor não perdesse totalmente sua produção, em todos os casos seria necessária a adoção de medidas de manejo visando ao controle da doença no campo.

Como você é o engenheiro agrônomo responsável pela região centro-oeste e está trabalhando com o manejo de doenças em diferentes culturas da região, de que forma estabeleceria o manejo de doenças, usando como ponto de partida os princípios de Whetzel? Por exemplo, se em uma de suas visitas técnicas você constataste a presença de brusone do arroz (*Pyricularia oryzae*), adotaria medidas de controle baseadas na exclusão, erradicação, imunização, terapia, proteção, evasão ou regulação? No caso de a doença ser causada por um patógeno de solo que sobrevive em restos culturais, seria possível utilizar o controle químico ou genético? Partindo do pressuposto que seja possível a adoção de controle cultural, físico e biológico para uma determinada doença, que metodologias você procederia para realizar esses três tipos de controles de doenças de plantas? De que forma você implementaria o manejo integrado de doenças na cultura da soja?

Ao final desta unidade, você será capaz de responder a esses e outros questionamentos que possam surgir durante a sua vida profissional, pois na unidade quatro você conhecerá os princípios de Whetzel, que incluem medidas de controle baseadas na evasão, exclusão, erradicação, regulação, proteção, imunização e terapia. Além disso, você conhecerá a classificação, os principais grupos químicos, o modo de ação e a formulação de defensivos químicos, e as características genéticas e agrônomicas voltadas para o manejo de doenças de plantas através do uso do controle genético. Para finalizar esta unidade, você conhecerá como é feito o controle cultural, físico e biológico de doenças, além de entender como é feito o manejo integrado de doenças de plantas e sua importância para uma agricultura moderna e sustentável. Para isso, utilizaremos como ponto de partida o cenário profissional supramencionado, em que você é o engenheiro agrônomo responsável pelo estabelecimento do manejo de doenças de plantas de uma multinacional na região centro-oeste do país.

Pronto para começar?

Princípios gerais de controle de doenças

Diálogo aberto

Caro aluno,

Nesta seção abordaremos os princípios de Whetzel, que direcionam as formas como poderão ser realizados o manejo de doenças de plantas. Baseado no conceito desses princípios, você saberá quando utilizar medidas de controle: baseadas na evasão, de maneira a evitar a presença do patógeno ou do ambiente favorável à doença; baseadas na exclusão, para prevenir a entrada de um patógeno em uma área em que ele ainda não está presente; na erradicação, para eliminar o patógeno de um local onde ele já está presente; na proteção, para proteger o hospedeiro antes mesmo da deposição do inóculo; na regulação, que visa regular o ambiente e evitar o desenvolvimento do patógeno; na imunização, que visa tornar a planta imune ou resistente ao patógeno; e na terapia, para restabelecer a sanidade de uma planta já infectada (KIMATI; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011).

Desta forma, ao estudar todos esses princípios, você saberá exatamente em que situações utilizá-los. Por exemplo, quando você não tem disponível cultivares resistentes para uma determinada doença, as medidas de controle baseadas na evasão e na exclusão podem ser muito eficientes para evitar que a doença se estabeleça na cultura, pois as duas visam prevenir a entrada do patógeno na área de plantio. Para que você possa visualizar isso de uma maneira mais prática, iniciaremos a seção 4.1 retomando o cenário profissional inicialmente proposto:

Você foi contratado como engenheiro agrônomo por uma multinacional para atuar como consultor em lavouras de arroz, soja e algodão no centro-oeste brasileiro. Você será o responsável pela avaliação das lavouras e verificação da incidência de doenças no campo, bem como identificar os agentes causais e definir o manejo mais adequado para cada situação.

Em uma de suas primeiras visitas técnicas aos produtores rurais, você foi designado a viajar para o interior do Mato Grosso, para prestar consultoria para um produtor que estava querendo implantar uma lavoura de algodão em sua propriedade. Porém, o mesmo relata que a área em que será realizado o plantio já apresenta histórico de doenças, como a mancha angular (*Xanthomonas citri* subsp. *malvacearum*), mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), murcha de Fusarium (*Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum*), entre outras. Você explica ao produtor que esses e outros patógenos podem

sobreviver em restos culturais e, em alguns casos, até em plantas hospedeiras, podendo ser um agravante em sua área de plantio futuramente.

Como a sua principal função é estabelecer um manejo adequado visando o controle ou a prevenção de doenças, o produtor questiona de que forma poderia implantar sua lavoura sem sofrer com perdas provocadas futuramente por patógenos. Quais princípios de controle poderiam ser utilizados para reduzir o inóculo inicial? De que forma medidas de controle baseadas na exclusão poderiam ser empregadas no manejo dessas doenças? E de que forma medidas de controle baseadas em erradicação teriam sucesso na prevenção das doenças em questão? Como você empregaria o princípio da regulação em uma área como a desse produtor?

Para responder a esses questionamentos, você deverá elaborar um relatório técnico, que deverá conter suas observações sobre a área de plantio, a cultura que se deseja implementar na área, o histórico de doenças da área e que medidas de controle poderiam ser adotadas visando reduzir o inóculo inicial do patógeno e impedir que a doença se agrave na cultura futuramente. Esse relatório deverá ser impresso em duas vias, uma para ficar arquivada na empresa e outra para ser entregue ao produtor.

Para ajudá-lo a resolver essas questões, nesta seção estudaremos os princípios de Whetzel, bem como sua influência no triângulo da doença e abordagem epidemiológica da doença. Você também conhecerá as principais medidas de controle baseadas na evasão, exclusão, erradicação, regulação, proteção, imunização e terapia. Desta forma, você saberá como proceder e quais medidas de controle utilizar quando se deparar com o surgimento de doenças no campo ou mesmo quando pensar em implantar uma determinada cultura em uma área de plantio com histórico de doenças.

Vamos começar?

Não pode faltar

Daremos início, a partir de agora, à quarta e última unidade deste livro, onde você aprenderá como realizar o manejo de doenças de plantas, a fim de evitar perdas de produtividade para as culturas. Nesta seção, abordaremos os Princípios de Whetzel e de que forma eles podem ser utilizados no manejo de doenças, bem como esses princípios atuam no triângulo e na epidemiologia de doenças de plantas.

Podemos considerar que o controle de doenças de plantas é atualmente

o objeto mais prático e importante dentro da Fitopatologia, pois é a partir do controle que se podem manejar doenças e garantir que a produção das culturas não sofra com perdas expressivas ou com epidemias que devastem a produção. Segundo Kimati; Bergamin Filho; Amorim (2011), em torno de 30% da produção agrícola mundial são perdidos anualmente em função de problemas fitossanitários, que, conseqüentemente, resultam em prejuízos na exportação agrícola de inúmeras espécies de interesse econômico. Desta forma, é necessário aprimorar os conhecimentos sobre o manejo de doenças de plantas de forma que se reduzam os danos e prejuízos às culturas, e se aumente a eficiência produtiva das cultivares plantadas.

A máxima eficiência produtiva é o objetivo de todo e qualquer produtor rural. Contudo, a exploração exacerbada de espécies vegetais, aliada à falta ou desconhecimento do manejo adequado dessas culturas, tem aumentado sobremaneira a ocorrência de problemas fitossanitários no campo. De acordo com Kimati; Bergamin Filho; Amorim (2011), tratos culturais como a densidade de plantio, monocultura, adubação, mecanização, irrigação, preparo do solo, entre outras, quando não manejados de forma adequada, frequentemente favorecem a ocorrência de doenças na lavoura. Porém, quando você altera a cultivar a ser plantada ou mesmo as práticas culturais, corre o risco de reduzir a eficiência produtiva do sistema. Dentro disso, surge a importância do controle de doenças a fim de garantir a eficiência produtiva e garantir que a cultura não sofra perdas na produção final.

Normalmente, práticas de controle de doenças de plantas não são realizadas de maneira isolada no campo, mas integradas a fatores que compõem e são importantes no âmbito da produção, como clima, cultivar, adubação, tratos culturais, manejo de plantas daninhas e insetos, irrigação, etc. Assim, para justificar os gastos com o controle de doenças, todos os fatores de produção supramencionados devem ser controlados a fim de evitar a perda da produção e de dinheiro (KIMATI; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011).

Desde os primórdios, a Fitopatologia enfatiza a conotação econômica do controle de doenças de plantas, sendo então definido como a prevenção dos prejuízos causados por uma doença, admitido em graus variáveis (parcial, lucrativo, completo), mas aceito como válido somente quando for lucrativo ao produtor rural (WHETZEL, 1929; WHETZEL et al., 1925).

Seguindo essa linha de pensamento amplamente aceita entre os fitopatologistas, Fawcett e Lee (1926) já consideravam que para serem eficientes no tratamento de doenças, os métodos, obrigatoriamente, deveriam custar menos que os prejuízos ocasionados pela doença. Desta forma, tanto a falta quanto o excesso de medidas de controle trariam prejuízo aos agricultores (ZADOKS; SCHEIN, 1979). A essa visão econômica do controle de doenças,

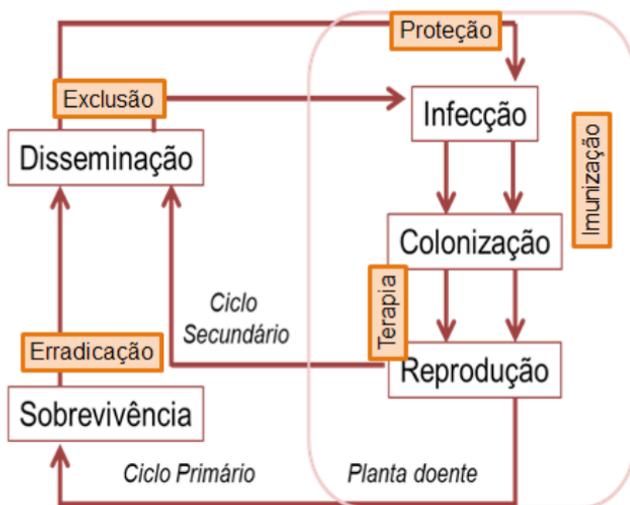
foi posteriormente adicionada a visão biológica da mesma, em que o controle poderá ser considerado como bem-sucedido, quando a quantidade de sintomas não for suficiente para causar danos ou a redução da produção, sendo então definido como a redução da severidade ou da incidência de doenças no campo (AMORIM; BERGAMIN FILHO, 2011). Em resumo, doenças de plantas dificilmente serão controladas de maneira eficiente sem o conhecimento prévio sobre a etiologia, das condições climáticas e culturais que favorecem a manifestação de doenças, das características do ciclo das relações patógeno-hospedeiro e da eficiência dos métodos de controle (KIMATI; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011).

Assim, os princípios de Whetzel surgiram a partir de um esforço de sistematização dos métodos de controle até então conhecidos (KIMATI; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011). Esses métodos foram inicialmente agrupados em cinco princípios biológicos gerais: exclusão, erradicação, proteção, imunização e terapia. Cada um desses princípios atua em uma determinada fase do ciclo das relações patógeno-hospedeiro (Figura 4.1).

Segundo Whetzel et al. (1925) e Whetzel (1929), esses princípios são definidos e interagem no ciclo das relações patógeno-hospedeiro da seguinte forma:

A **exclusão** se refere à prevenção da entrada de um fitopatógeno em uma área livre da presença de patógenos, interferindo na fase de disseminação do patógeno. A **erradicação** se refere à eliminação total de um fitopatógeno de um local em que ele já foi introduzido, interferindo na fase de sobrevivência do patógeno. A **proteção**, por sua vez, é a formação de uma barreira sobre determinadas partes da planta a fim de protegê-la da deposição do inóculo do patógeno e interfere na subfase de deposição ou pré-penetração do inóculo. Já a **imunização** tem como objetivo principal o desenvolvimento de cultivares resistentes ou imunes, que, quando cultivadas em uma área com alta infestação do patógeno, serão capazes de manter a produtividade, interferindo na fase de infecção e colonização da planta pelo patógeno. Por fim, a **terapia** visa restabelecer a sanidade de um hospedeiro que já tenha sido infectado pelo patógeno, interferindo na fase de pós-infecção (Figura 4.1).

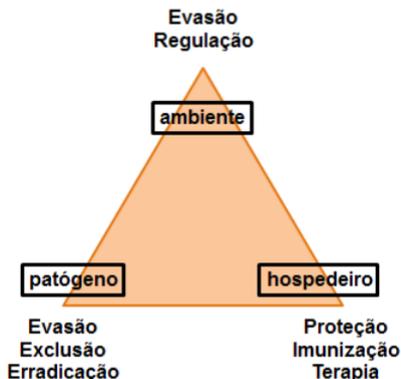
Figura 4.1 | Atuação dos princípios de controle de Whetzel nas fases do ciclo das relações patógeno-hospedeiro



Fonte: elaborada pela autora.

Contudo, esses princípios levavam em consideração apenas a ação do homem sobre o patógeno, que atua através dos princípios de exclusão e erradicação, e do homem sobre o hospedeiro, que atua através dos princípios da proteção, imunização e terapia, desconsiderando o fator ambiente, importantíssimo para o triângulo da doença e manifestação da mesma no campo. Assim, Marchionatto (1949) sugeriu que medidas de controle fossem também baseadas em modificações do ambiente, e que estas obedeceriam aos princípios da **regulação**, que seria a modificação do ambiente para desfavorecer o patógeno e favorecer o hospedeiro (como a regulação da T, UR, luminosidade, reação e propriedades do solo e da composição do ar – modificação de práticas culturais, ambientais e nutricionais), e da **evasão**, que visa prevenir a doença através da fuga do hospedeiro, dirigida contra o patógeno ou contra as condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da doença (como o plantio em épocas ou áreas quando ou onde o inóculo é ineficiente, raro ou ausente, escolha da área geográfica, local e época de plantio, profundidade de semeadura, precocidade de variedades) (Figura 4.2).

Figura 4.2 | Atuação dos princípios gerais de controle no triângulo da doença



Fonte: elaborada pela autora.



Assimile

As medidas de controle baseadas na evasão e regulação atuam na modificação dos fatores ambientais, tornando o ambiente desfavorável ao surgimento da doença. As medidas de controle baseadas na evasão, exclusão e erradicação atuam diretamente sobre o controle do patógeno, impedindo o seu desenvolvimento. Já as medidas baseadas na proteção, imunização e terapia atuam sobre a planta hospedeira, de forma a deixá-la imune ou resistente para quando o inóculo do patógeno se depositar sobre a sua superfície, não tendo, assim, sucesso na infecção e/ou colonização.

Além disso, todos esses princípios fundamentam-se em conhecimentos epidemiológicos da doença, pois atuam no triângulo planta-patógeno-hospedeiro, de maneira a impedir ou retardar o desenvolvimento sequencial dos eventos do ciclo das relações patógeno-hospedeiro (KIMATI; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011). Desta forma, a abordagem epidemiológica quantitativa, leva em consideração a taxa de infecção e a quantidade de inóculo inicial do patógeno no campo.

Baseado nisso, Berger (1977) propôs três estratégias epidemiológicas visando minimizar os prejuízos com doenças de plantas, sendo: 1) eliminar ou reduzir o inóculo inicial do patógeno ou atrasar o seu aparecimento no campo; 2) reduzir a taxa de desenvolvimento da doença; 3) encurtar o

período de exposição da cultura ao patógeno. Analisando essas três estratégias, podemos observar que elas giram em torno de três fatores básicos da epidemiologia, que são o inóculo inicial do patógeno, a taxa média de infecção desse inóculo inicial e o tempo em que o hospedeiro fica exposto ao inóculo do patógeno.

Assim, a epidemiologia quantitativa permite uma melhor compreensão do desempenho das medidas de controle que poderão ser adotadas. Nesse caso, a indicação de medidas de controle mais convenientes está fundamentada no valor da taxa média de infecção pelo patógeno, ou seja, se esses valores forem baixos (baixa taxa média de infecção), a redução do inóculo inicial, feita através de medidas baseadas na exclusão, erradicação, evasão e imunização, poderão ser suficientes para o controle da doença, no entanto, se os valores da taxa média de infecção forem altos, medidas de controle que visem reduzir essa taxa de infecção, como a proteção com defensivos ou a imunização, serão as mais indicadas no controle do desenvolvimento de epidemias (KIMATI; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011).



Refleta

De que forma seria possível reduzir o inóculo inicial do patógeno e consequentemente a taxa média de infecção para evitar o surgimento de epidemias no campo?

Com isso, as medidas de controle baseadas na **evasão** têm como objetivo a fuga em relação ao patógeno e/ou às condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento, prevenindo o surgimento da doença no campo (KIMATI; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011). Desta forma, como medidas de controle baseadas na evasão podemos citar a escolha adequada de áreas geográficas que desfavoreçam a ocorrência do patógeno, escolha do local de plantio dentro de uma área e, principalmente, a modificação de práticas culturais (escolha do tipo de solo, adoção da profundidade adequada de plantio, prevenção de ferimentos nas raízes e colo de mudas), de forma a favorecer o hospedeiro e desfavorecer o patógeno. Além disso, essas práticas afetam diretamente na quantidade de inóculo inicial do patógeno na área de cultivo.



Exemplificando

A região sul e a região nordeste do Brasil são duas regiões com climas completamente distintos: na região sul ocorre a predominância de um clima temperado, enquanto na região nordeste, o clima é árido. Nas duas regiões ocorre o cultivo e produção de uvas destinadas à produção de vinhos, manga e melão. Contudo, na região nordeste, a produção dessas frutas com alta qualidade, devido ao clima árido, ocorre com maior facilidade, pois esse clima impede que ocorram os problemas fitossanitários que os produtores da região sul costumam encontrar em suas plantações, devido justamente ao clima temperado. Sendo assim, a escolha da região geográfica pode ter forte influência nas condições fitossanitárias, como demonstrado para o cultivo de uva, manga e melão, no sul e nordeste brasileiro.

As medidas de controle baseadas na **exclusão** visam a prevenção da entrada e estabelecimento de um determinado patógeno em uma área isenta (KIMATI; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011). As práticas de controle de doença adotadas nesse caso são, normalmente, medidas quarentenárias, descritas por meio de legislações fitossanitárias, bem como a adoção do uso de sementes e mudas saudáveis, inspeção e certificação de produtos que entram no país através dos portos nas fronteiras, eliminação de vetores da área de plantio e implantação de vazios sanitários, para algumas culturas, como a soja por exemplo. Além disso, tais práticas afetam diretamente na quantidade de inóculo inicial do patógeno na área de cultivo.

As medidas de controle baseadas na **erradicação** visam à eliminação completa de um patógeno de uma determinada região, sendo possível apenas para patógenos com gama de hospedeiros restrita e baixa capacidade de disseminação, sendo economicamente viável quando a presença do patógeno a ser erradicado restringe-se a uma área geográfica relativamente pequena (KIMATI; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011). As práticas de controle adotadas nesse caso são, por exemplo, a rotação de culturas, *roguing*, eliminação de hospedeiros alternativos da área de plantio, tratamento de solos e sementes. Além disso, essa é uma das práticas que mais afeta a quantidade de inóculo inicial na área de cultivo, pois elimina o patógeno completamente da área.



Exemplificando

O controle do cancro cítrico no Estado de São Paulo foi conseguido através da erradicação. O patógeno causador da doença, *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*, tem baixa capacidade de disseminação, o que torna essa prática de controle possível de ser realizada. Sendo assim, talhões que apresentassem incidência igual ou superior a 0,5% de plantas infectadas eram completamente eliminados, sendo as plantas arrancadas e queimadas para eliminar o patógeno completamente. Esta medida implica notadamente em erradicar-se o patógeno de um local para evitar sua disseminação para outros locais. Apesar da erradicação ter sido um fato-chave e primordial no controle do cancro cítrico em São Paulo, atualmente essa lei foi revogada e a incidência da doença tem aumentado nos pomares de citros de todo o estado.

As medidas de controle baseadas na **regulação** permitem que o homem atue tanto no controle de doenças abióticas quanto bióticas, pois medidas baseadas nesse princípio estão fundamentadas na alteração de fatores do meio ambiente, e a eficiência de tais medidas depende do grau de influência de um determinado fator ambiental no desencadeamento do processo patológico e/ou epidemiológico, e no grau de possibilidade de controle desse fator (KIMATI; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011). As práticas de controle utilizadas, nesse caso, atuam na modificação de práticas culturais (propriedades do solo e composição do ar) e na modificação do ambiente (temperatura, umidade, luz) e nutrição da planta (adubação). É bastante utilizada na pós-colheita de frutos e hortaliças em geral, através do uso da cadeia de frio e refrigeração dos produtos e cuidados com manuseio e transporte dos produtos para evitar fermentos.

As medidas de controle baseadas na **proteção** visam à prevenção do contato direto do patógeno com o hospedeiro e pode ser facilmente obtida através da aplicação de defensivos químicos, como fungicidas e bactericidas, quando visa diretamente os patógenos, ou de inseticidas e acaricidas, quando o objetivo é o controle dos vetores dos patógenos. Medidas baseadas na proteção é muitas vezes uma medida indispensável dependendo da cultura e cultivar plantada, e é também a medida que mais onera os custos de produção (KIMATI; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011). Assim, as práticas de controle mais comumente adotadas são a pulverização da planta com defensivos químicos, o controle de vetores e o tratamento de sementes. Além disso, a proteção com o tratamento de sementes pode reduzir, em alguns casos, a quantidade de inóculo inicial da área de cultivo. São também amplamente empregadas no controle de doenças de pós-colheita de frutos

e hortaliças através do controle de vetores para evitar ferimentos e transmissão de doenças para os produtos e pela imersão dos frutos em defensivos químicos ou ceras.



Pesquise mais

Doenças de pós-colheita de frutos são normalmente um fator que costuma trazer grandes prejuízos para produtor. O uso de princípios baseados na proteção dos frutos tem sido amplamente empregado nessa área da agricultura. Muitas vezes, para evitar a penetração e infecção de patógenos, os frutos, antes de irem para o varejo, recebem um banho de cera, que pode vir ou não acompanhado de fungicidas. Por exemplo, a cera de carnaúba foi testada para o controle da podridão peduncular, da mancha chocolate e na velocidade de maturação de frutos de mamão em pós-colheita. Para entender melhor como ocorre o efeito fungicida/fungistático da cera de carnaúba no controle de doenças e na velocidade de maturação de frutos em pós-colheita, leia o artigo listado abaixo:

COSTA FILHO, J. H.; COSTA, G. G.; MAIA, L. K. R.; COSTA, J. M.; MEDEIROS, R. V. Efeito da aplicação de cera de carnaúba sobre incidência de doenças pós-colheita em mamão. **Revista Verde**, v.6, p. 41 – 46, 2011. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/685/1025>. Acesso em: 8 dez. 2018.

As medidas de controle baseadas na **imunização** atuam de forma que, na ausência ou no vencimento pelo patógeno das barreiras protetoras de controle utilizadas pelo homem, o patógeno enfrentará, por parte da planta hospedeira, resistência maior ou menor ao seu desenvolvimento, podendo ocorrer antes da penetração, na penetração, durante o processo de doença propriamente dita, na extensão dos tecidos afetados e na produção do inóculo, e mesmo a planta demonstrando resistência, os danos à cultura podem ser pequenos (KIMATI; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011). As práticas de controle comumente adotadas na imunização são o uso de cultivares com resistência horizontal ou vertical, variedade multilinha e premunização química ou biológica. Essas práticas também reduzem a quantidade de inóculo inicial na área de cultivo.



Assimile

A premunização química pode ser adquirida através da imunização com substâncias químicas como, por exemplo, o uso de indutores de resistência. Já a premunização biológica é adquirida através, por exemplo, da inoculação de estirpes mais fracas de um determinado vírus de planta, para controle da estirpe forte do mesmo vírus. Esse tipo de medida de controle é utilizado no Brasil para o controle da triste dos citros, em que inicialmente se inocula a estirpe fraca do vírus *Citrus tristeza virus* (CTV), para deixar a planta preimunizada e evitar a infecção ou reduzir os danos com a estirpe virulenta do mesmo vírus.

Por fim, as medidas de controle baseadas na **terapia** são utilizadas quando se sabe que a planta já está doente, mas busca-se uma “cura”, ou seja, a recuperação de sua saúde mediante a eliminação do patógeno causador da doença, ou ainda, através da melhoria das condições favoráveis para a reação do hospedeiro (KIMATI; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011). As práticas de controle comumente adotadas na terapia são a quimioterapia através do uso de fungicidas sistêmicos e convencionais; a termoterapia, que utiliza tratamentos com água quente ou vapor para eliminar o patógeno de tecidos doentes (Figura 4.3); e a cirurgia, como o corte de partes da planta afetadas pelo patógeno. É uma prática que pode ser empregada no controle de doenças de pós-colheita através da imersão de frutos em água quente ou vapor por poucos segundos ou minutos.

Figura 4.3 | Tratamento térmico de toletes de cana-de-açúcar, a fim de evitar a incidência do raquitismo da soqueira (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*) em canaviais



Fonte: <http://superohm.com.br/wp-content/uploads/2015/11/utt-5.jpg>

Com isso, as abordagens expostas nesta seção permitem que você compreenda como deve tomar uma decisão acerca do controle de uma determinada doença de planta. Com esses conhecimentos sobre os princípios gerais de controle, você saberá exatamente como evitar que o patógeno se dissemine em uma lavoura ou, até mesmo, evitar que ele chegue a ela e cause perdas diretas na produção. Além disso, o conhecimento e compreensão dos princípios gerais de controle servirão como base para a tomada de decisão sobre quando utilizar o controle genético, químico, cultural, físico ou biológico, que serão abordados nas Seções 4.2 e 4.3.

Sem medo de errar

Agora que você já conhece os Princípios Gerais de Controle propostos por Whetzel, e de que forma eles podem ser empregados no controle de doenças de plantas, você tem subsídios para resolver a situação problema proposta no início desta seção.

Relembrando rapidamente o cenário profissional proposto, você foi contratado como engenheiro agrônomo para trabalhar em uma multinacional, atuando principalmente na consultoria direta com produtores de arroz, soja e algodão, na região centro-oeste brasileira. Sua função é realizar a avaliação e monitoramento das lavouras, e verificar a incidência de doenças no campo, identificar os agentes causais e implementar o manejo de doenças quando necessário. Ao visitar uma área em que se pretendia implantar uma lavoura de algodão, no interior do Mato Grosso, o produtor relata para você que essa área já foi cultivada há alguns anos com essa cultura e, na ocasião, apresentava problemas fitossanitários, como a mancha angular (*Xanthomonas citri* subsp. *malvacearum*), mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) e murcha de Fusarium (*Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum*), entre outras.

Você, como engenheiro agrônomo, e pensando na produção em longo prazo da cultura nessa área, acredita que a mesma ainda possa apresentar tais problemas fitossanitários, e então explica ao produtor que esses e outros patógenos podem sobreviver em restos culturais e, em alguns casos, até em plantas hospedeiras, podendo ser um agravante em sua área de plantio futuramente.

Como a sua função é estabelecer e implementar um manejo adequado e que garanta a produtividade da cultura, você explica ao produtor que ele poderá implantar a lavoura de algodão nessa área, desde que siga corretamente, e sem exceção, algumas recomendações básicas. Por exemplo, para reduzir o inóculo inicial poderiam ser utilizados os princípios de controle

baseados na evasão, na exclusão, na erradicação, imunização e até mesmo na proteção, com o tratamento de sementes. As medidas baseadas na exclusão, por exemplo, poderiam ser empregadas no controle dessas doenças através do uso de sementes e mudas sadias, que evitariam que mais inóculo fossem depositados na área de cultivo. O produtor poderia também utilizar medidas de erradicação e terapia. Por exemplo, como medidas de erradicação o produtor poderia realizar a rotação de culturas, com espécies não hospedeiras desses patógenos, eliminação de plantas voluntárias da área de plantio e o tratamento de sementes antes do plantio. Assim, com a rotação e eliminação de plantas voluntárias, o patógeno não teria, durante pelo menos um período de cultivo, um hospedeiro que pudesse infectar, se desenvolver e reproduzir; todas as três medidas afetariam diretamente a fonte de inóculo do patógeno no campo. Além das medidas citadas, que visam à redução do inóculo inicial, o produtor poderia empregar nessa área, também, o princípio da regulação, ou seja, modificando práticas culturais e nutricionais, como a irrigação, adubação, preparo do solo, entre outras, em favor do hospedeiro e de maneira a desfavorecer o patógeno.

Após responder a esses questionamentos, você irá elaborar um relatório técnico contendo suas principais observações sobre as condições da área de plantio, a cultura que se deseja implementar na área, o histórico de doenças da área relatado pelo produtor e as medidas de controle que poderiam ser adotadas visando reduzir o inóculo inicial do patógeno e impedir que a doença se agrave na cultura futuramente. O relatório deverá ser impresso em duas vias, uma para ficar arquivada na empresa e outra para ser entregue ao produtor.

Avançando na prática

Efeito dos princípios gerais de Whetzel no controle de doenças de pós-colheita

Descrição da situação-problema

Você foi contratado como engenheiro agrônomo para monitorar a produção de frutos de um pomar no interior de São Paulo e conduzir um manejo, que se estende desde a lavoura até a chegada do produto ao varejo e ao consumidor, visando evitar perdas em pós colheita desses produtos. Como engenheiro agrônomo, você sabe que muitas vezes o patógeno chega aos frutos quando estes ainda estão sendo produzidos pela planta no campo, e permanece sob a superfície dos mesmos de forma latente, sem causar

infecção, até que os mesmos iniciem seu processo de maturação, quando, então, o patógeno poderá infectá-los e colonizá-los, causando como sintomas principalmente podridões, que inviabilizam o consumo e, conseqüentemente, o comércio dos mesmos. Suponha que você esteja trabalhando com as culturas da laranja, maçã, mamão e pêssego, como poderia ser utilizado, no manejo de doenças de pós-colheita desses frutos, o princípio da proteção? E o princípio da regulação seria adotado de que maneira? De que forma o princípio de controle baseado na terapia poderia ser empregado nesses frutos para o controle de doenças de pós-colheita?

Resolução da situação-problema

Como engenheiro agrônomo, você sabe que normalmente o patógeno chega aos frutos quando estes estão em fase de desenvolvimento no campo e permanece latente na superfície dos mesmos até que os frutos entrem na fase de maturação. Quando iniciam a maturação, o patógeno penetra e coloniza os frutos, causando podridões que inviabilizam o comércio e consumo desses produtos. Para evitar que perdas de pós-colheita ocorram, você pode utilizar três princípios básicos de controle, que são baseados na proteção, regulação e terapia. Por exemplo, o princípio da proteção poderia ser utilizado tanto para laranjas, quanto para maçãs, mamão e pêssegos, através da imersão dos frutos em defensivos químicos ou ceras, que protegeriam externamente os frutos e impediriam o desenvolvimento do patógeno sob os mesmos. Já como regulação, você poderia utilizar a cadeia de frio, através da refrigeração desses frutos desde a colheita até a estocagem dos mesmos no varejo, pois baixas temperaturas reduzem a senescência de frutos, atrasando a maturação, e fazem com que o desenvolvimento do patógeno seja muito lento. Já a terapia poderia ser adotada através da imersão dos frutos em água quente ou exposição dos mesmos a vapores quentes, por poucos segundos, a fim de eliminar o patógeno da superfície dos mesmos.

Faça valer a pena

1. Os princípios de Whetzel surgiram a partir de um esforço de sistematização dos métodos de controle até então conhecidos (KIMATI; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011), sendo inicialmente agrupados em cinco princípios biológicos gerais que atuam em uma determinada fase do ciclo das relações patógeno-hospedeiro.

Assinale a alternativa que contém os cinco princípios de Whetzel:

- a. Exclusão, evasão, proteção, imunização, regulação.
- b. Exclusão, erradicação, proteção, imunização, terapia.
- c. Evasão, regulação, proteção, imunização, terapia,
- d. Evasão, erradicação, proteção, imunização, terapia.
- e. Evasão, regulação, exclusão, proteção, imunização.

2. Cada um dos princípios gerais de controle atua em pelo menos uma das fases do ciclo das relações patógeno-hospedeiro, e em pelo menos um dos três vértices do triângulo da doença, que considera a ação desses princípios de controle sobre o ambiente, sobre o patógeno e sobre o hospedeiro.

Assinale a alternativa que contém as opções de princípios gerais de controle que atuam sobre o patógeno.

- a. Evasão e regulação, apenas.
- b. Evasão e exclusão, apenas.
- c. Evasão, exclusão e erradicação.
- d. Proteção, imunização e erradicação.
- e. Proteção, imunização e terapia.

3. Medidas de controle baseadas nos princípios da evasão, exclusão, erradicação, regulação, proteção, imunização e terapia são normalmente utilizadas como ponto de partida para definir o manejo de doenças de plantas. Alguns desses princípios são extremamente importantes, pois interferem diretamente na redução do inóculo inicial do patógeno na área de cultivo.

Assinale a alternativa que contém apenas medidas de controle que reduzem a quantidade de inóculo inicial do patógeno:

- a. Evasão, exclusão, erradicação, terapia, imunização.
- b. Evasão, erradicação, terapia, regulação, imunização.
- c. Erradicação, exclusão, proteção, terapia, regulação.
- d. Exclusão, erradicação, proteção, imunização, regulação.
- e. Evasão, exclusão, erradicação, proteção e imunização.

Controle de doenças: químico e genético

Diálogo aberto

Olá, aluno!

Nesta seção abordaremos as duas formas de controle mais utilizadas no manejo de doenças de plantas – o controle químico e o controle genético – e como, quando e de que forma podem ser utilizadas e aplicadas no manejo de doenças de plantas.

Assim, você conhecerá desde a classificação dos defensivos até a sua formulação para aplicação sob as plantas, bem como entenderá as características genéticas e agronômicas das resistências qualitativas e quantitativas no controle de doenças de plantas, e como é feito o melhoramento voltado para a resistência de plantas a doenças. Por exemplo, o manejo de doenças em culturas como arroz, soja, trigo, feijão e milho, o controle químico é na maioria das vezes indispensável, devido à grande incidência de patógenos nessas culturas.

Para que você possa compreender essas duas abordagens de uma forma mais prática, iniciaremos a Seção 4.2 retomando o cenário profissional inicialmente proposto:

Ao concluir a graduação, você foi contratado como engenheiro agrônomo para atuar na consultoria de lavouras de arroz, soja e algodão na região centro-oeste do Brasil, sendo o responsável pela avaliação, verificação da incidência de doenças, identificação dos agentes causais e implantação do manejo mais adequado para doenças causadas por fitopatógenos nessas culturas.

Ao realizar uma visita técnica para consultoria em duas lavouras de soja no interior de Goiás, você observa que as plantas estão apresentando incidência de algumas doenças, que se não forem corretamente manejadas, poderão causar graves perdas ao produtor rural. Ao analisar os sintomas da doença nas plantas de soja, você constata que nas plantas da primeira lavoura está ocorrendo a incidência de mancha olho-de-rã (*Cercospora sojina*). Já na segunda lavoura cultivada com essa cultura, as plantas estão com incidência de mancha alva de *Corynespora* (*Corynespora asiicola*). As duas doenças são conhecidas como importantes manchas foliares na cultura da soja e, quando não manejadas adequadamente, chegam a causar redução de 60 e 35%, respectivamente, na produtividade da soja.

Partindo do pressuposto que você é o responsável pelo manejo e controle

de doenças na empresa em que trabalha, qual tipo de controle você recomendaria para evitar o surgimento e/ou o aumento da severidade da mancha olho-de-rã e da mancha alvo de *Corynespora* na cultura da soja? Em quais etapas da produção poderiam ser empregados o controle genético e químico? De que forma o controle genético poderia ser utilizado para o controle das duas doenças?

Após elaborar a sua proposta de controle dessas doenças nas duas áreas produtoras de soja, você deverá emitir um relatório técnico, que deverá conter suas observações sobre a área de plantio, sobre a incidência de doenças na cultura da soja, os sintomas por você observados, e as medidas de controle que devem ser adotadas para que o produtor não sofra com perdas de produtividade. Esse relatório deverá ser impresso em duas vias, uma para ficar arquivada na empresa e outra para ser entregue ao produtor.

Ao final desta seção você terá subsídios para responder a esses questionamentos, pois aprenderá como pode ser realizado o controle químico de doenças e conhecerá a classificação, grupos químicos, modo de ação e formulação de defensivos químicos. Além disso, você compreenderá como o controle genético pode ser utilizado no manejo de doenças de plantas e por que esse tipo de controle é uma das formas mais eficazes utilizadas atualmente no manejo de doenças de plantas.

Então, mãos à obra!

Não pode faltar

Na Seção 4.1 você conheceu os princípios gerais de controle de doenças de plantas, que servirão como base para iniciarmos esta seção, na qual você aprenderá duas das medidas de controle de doenças mais utilizadas na agricultura: o controle químico e o controle genético.

O controle químico de doenças de plantas é, em muitos casos, a única medida eficiente e economicamente viável para se garantir as altas produtividades e a qualidade da produção, sendo praticado com intensidade tanto no Brasil quanto em países economicamente mais desenvolvidos (KIMATI, 2011). Além disso, nas últimas décadas, o uso de fungicidas na agricultura tem se tornado crucial no controle efetivo de doenças de plantas, uma vez que infecções fúngicas levam à redução de produtividade de cultivos em todo o mundo (STEFANELLO et al., 2016).

O controle químico de doenças de plantas é feito por produtos conhecidos como defensivos químicos, dentro dos quais podem estar inclusos

alguns fertilizantes, utilizados no controle de doenças fisiogênicas (manifestadas em decorrência de desequilíbrios nutricionais), inseticidas e acaricidas, utilizados para controlar insetos e ácaros vetores de doenças (principalmente no controle de viroses de plantas), e fungicidas e bactericidas, que são a principal forma de controle de doenças bióticas (KIMATI, 2011). Além disso, cabe ressaltar que o uso de defensivos químicos sempre envolve pelo menos um princípio de controle, podendo atuar pelos princípios da evasão, exclusão, erradicação, proteção, regulação, imunização e/ou terapia.

Os fungicidas e bactericidas representam o grupo que controla a maioria das doenças de plantas e apresentam propriedades químicas e biológicas muito variáveis, podendo envolver vários princípios de controle em função da natureza do produto, da época e metodologia de aplicação e do estágio de desenvolvimento epidemiológico da doença (SILVA JÚNIOR; BEHLAU, 2018). Por exemplo, quando um fungicida/bactericida é aplicado em lesões foliares decorrentes de um determinado patógeno, e ele é capaz de eliminar ou reduzir o inóculo do patógeno já formado, o defensivo está atuando pelo princípio da erradicação; conforme o inóculo do patógeno for sendo reduzido, a disseminação do patógeno também é, e dessa forma o defensivo estará atuando pelo princípio da exclusão; quando o defensivo cobre áreas sadias da planta, ainda antes da deposição do patógeno, o princípio envolvido é o da proteção; já quando o defensivo penetra nos tecidos doentes, este atua pelo princípio da terapia; e quando penetra nos tecidos sadios do hospedeiro, age pelo princípio da imunização.

Assim, os defensivos podem ser classificados da seguinte forma, segundo Silva Júnior; Behlau (2018):

- a) Quanto ao princípio geral de controle: erradicantes, protetores e curativos (imunizantes).
- b) De acordo com a mobilidade na planta: imóveis, sistêmicos e mesostêmico/translaminar.
- c) Quanto ao modo de ação.
- d) Quanto à classe toxicológica.

Para que você compreenda melhor o controle químico e sua importância no controle de doenças de plantas, detalharemos a partir de agora cada uma dessas classificações, os principais grupos químicos, o modo de ação dos defensivos e sua formulação.

Quanto ao **princípio geral de controle**, de acordo com Silva Júnior; Behlau (2018), os defensivos podem ser classificados como:

- **Erradicantes:** atuam diretamente sobre o patógeno, e consequentemente interferem na sua fase de sobrevivência, sendo eficientes no tratamento de solo, de sementes e no tratamento de inverno de plantas de clima temperado que entram em repouso vegetativo;

- **Protetores:** inibem a germinação de esporos ou a multiplicação de bactérias, impedindo a infecção dos tecidos da planta, atuando na fase de pré-penetração e formando uma camada superficial e protetora antes da deposição do inóculo;

- **Curativos e imunizantes:** agem na fase de pós-infecção, e estão relacionados com a inibição da colonização do tecido do hospedeiro pelo patógeno, após a penetração, porém antes da observação dos sintomas. O efeito curativo desses defensivos também pode ter a ação dirigida contra o patógeno após este se estabelecer sobre a planta, agindo na atenuação dos sintomas ou reparação dos danos provocados pelo mesmo, e esses defensivos estão relacionados com os princípios gerais da terapia e imunização.

A classificação de acordo com a **mobilidade na planta**, de acordo com Silva Júnior; Behlau (2018), os defensivos podem ser:

- **Sistêmicos ou móveis:** quando o defensivo consegue penetrar na planta e se translocar pelo sistema vascular, agindo de forma curativa sobre o patógeno e atuando sobre os princípios de proteção, terapia, imunização e erradicação. Além disso, quando esse tipo de defensivo é aplicado sobre as folhas, uma parte do produto fica depositada na parte externa das folhas e a outra parte é absorvida e translocada pelos feixes vasculares em concentrações tóxicas aos patógenos.

- **Não sistêmicos ou imóveis:** defensivos desse grupo não são absorvidos ou translocados, ou seja, permanecem na superfície em que foram depositados, formando uma camada protetora que impede ou previne a infecção da planta pelo patógeno. Além da proteção, alguns também apresentam ação erradicante, atuando sobre a sobrevivência do patógeno.

- **Translaminares ou mesostêmicos:** esses defensivos têm movimentação limitada, ocorrendo apenas a passagem do defensivo de uma face para outra da folha, sem a translocação para outros órgãos da planta, mas sem envolvimento do sistema vascular (xilema e floema). Podem ter ação protetora, curativa e erradicante.

Os defensivos também são classificados quanto ao **modo de ação no patógeno**, e indicam especificamente em que local no patógeno o defensivo irá atuar. Segundo Silva Júnior; Behlau (2018), essa classificação foi proposta pelo Comitê de Ação de Resistência de Fungos a Fungicidas (FRAC), que

elaborou uma lista onde os produtos são divididos em grupos, identificados por letras, que separam os defensivos pelo modo de ação. Dessa forma, cada modo de ação recebe um código único, que é conhecido como código FRAC (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 | Código FRAC e modo de ação de defensivos químicos sobre patógenos

CÓDIGO FRAC	MODO DE AÇÃO NO PATÓGENO
A	Defensivos que atuam na síntese de ácidos nucleicos.
B	Defensivos que atuam no citoesqueleto e proteínas motoras.
C	Defensivos que atuam na respiração do patógeno.
D	Defensivos que atuam na síntese de aminoácidos e proteínas.
E	Defensivos que atuam na transdução de sinais.
F	Defensivos que atuam na síntese de lipídios, ou integridade e funções da membrana.
G	Defensivos que atuam na biossíntese de esteróis na membrana.
H	Defensivos que atuam na biossíntese de parede celular.
P	Defensivos indutores de respostas de defesa em hospedeiros.
M	Defensivos com modo de ação multissítio.
U	Usado para moléculas com modo de ação desconhecido.
BM	Usado para agentes de biocontrole com múltiplos sítios de ação.
NC	Usado para produtos sem classificação (óleos minerais).

Fonte: elaborada pela autora.

Por fim, a classificação quanto à classe toxicológica considera a nocividade do defensivo e seu princípio ativo a organismos não alvo, normalmente realizada com base em testes toxicológicos agudos e crônicos em mamíferos (SILVA JÚNIOR; BEHLAU, 2018). Assim, existem quatro classes toxicológicas, que são diferenciadas por cores em função de sua toxicidade (Figura 4.4).

Figura 4.4 | Classificação de defensivos com base na classe toxicológica dos produtos



Fonte: elaborada pela autora.

Com relação aos grupos químicos, os defensivos agrícolas são moléculas químicas, orgânicas ou inorgânicas, obtidas naturalmente ou sintetizadas e utilizadas para evitar os processos de sobrevivência, disseminação, infecção, colonização e reprodução de fitopatógenos (SILVA JÚNIOR; BEHLAU, 2018). Desta forma, conhecer os grupos químicos de defensivos é essencial para estabelecer estratégias que visem evitar a resistência de patógenos aos princípios ativos, haja vista que cada um dos grupos químicos abaixo listados se caracteriza por um modelo típico de desenvolvimento de resistência.

De acordo com Silva Júnior; Behlau (2018), os principais grupos químicos são:

- **Inibidores da quinona externa (QoIs)**: são produtos de natureza química orgânica e são representados pelas estrobilurinas e outros compostos, como oxazolidinediona, imidazolinanona e dimetilcarbamatos, que agem inibindo o transporte de elétrons do complexo III mitocondrial e apresentam amplo espectro de ação, agindo sobre asco, basídio e oomicetos.

- **Inibidores da desmetilação de esteróis (DMIs)**: são produtos de natureza química orgânica, que apresentam espectro variável de sistemicidade e alto poder antifúngico. Incluem compostos químicos estruturalmente muito diversificados, como os imidazóis, as pirimidinas, as piperazinas e os triazóis.

- **Metil benzimidazol carbamato (MBC)**: são produtos de natureza química orgânica, apresentam amplo espectro de ação e incluem os benzimidazoles e tiofanatos.

- **Inibidores da enzima succinato desidrogenase (SDHI)**: são produtos de natureza química orgânica, atuam no complexo II da respiração, como as carboxamidas, carboxanilidas e anilidas.

- **Ditiocarbamatos e similares**: são produtos de natureza química orgânica, apresentam ação sobre fungos e bactérias, como o tiram e mancozeb.

- **Dicarboximidas**: são produtos de natureza química orgânica, apresentam capacidade de translocação limitada na planta. Exemplos são o captana, folpete e iprodiona.

- **Inibidores de oomicetos**: são produtos de natureza química orgânica, que foram desenvolvidos para o controle de oomicetos (como os míldios da videira e os patógenos da requeima da batata e do tomate), que constituem um grupo de sensibilidade diferenciada a fungicidas de atuação seletiva, ao qual fungicidas sistêmicos não são efetivos. São exemplos o ciamoxanil (acetamida), metalaxil (alaninato), fosetil (fosfanato).

- **Bactericidas:** usados para o controle de bactérias, porém alguns são registrados como bactericida-fungicida, pois tem ação sobre os dois microrganismos. Os principais defensivos são a base de cobre (de natureza química inorgânica, como a calda bordalesa e cobre fixos), antibióticos (como estreptomicina, casugamicina e tetraciclina) e indutores de resistência (como o acibenzolar-S-metil e neonecotinóides imidacloprido e tiametoxam).

Já o modo de ação de defensivos químicos interfere na inibição de processos bioquímicos e fisiológicos das células do patógeno, e tem ação direta sobre estruturas celulares, como parede e membrana celular, e sobre organelas, como mitocôndrias, retículo endoplasmático, ribossomos e núcleo do microrganismo (SILVA JÚNIOR; BEHLAU, 2018) (Tabela 4.2).



Exemplificando

A mancha-alvo (*Corynespora asiicola*) e a mancha olho-de-rã (*Cercospora sojina*) são duas doenças que afetam principalmente a parte aérea de plantas de soja e são de importância econômica para a cultura, pois podem causar perdas de 35 e 60%, respectivamente, se não forem manejadas adequadamente. Normalmente, como medidas de controle são recomendados, principalmente, o uso de cultivares resistentes e o controle químico, via tratamento de sementes e via foliar, no caso da mancha alvo, que podem ser utilizados, por exemplo, os princípios ativos flupiroxade e protriocanazol (GODOY et al., 2016).

Tabela 4.2 | Modo de ação de defensivos químicos na inibição de processos bioquímicos e fisiológicos das células de microrganismos

GRUPO QUÍMICO	MODO DE AÇÃO
MBC	B - Mitose e divisão celular
DMT	G - Biossíntese de esterol da membrana.
PA (Fenilamidas)	A - Síntese de ácidos nucleicos
SDHs; QoIs	C- Respiração
Antibióticos	D - Aminoácidos e síntese de proteínas
Inorgânicos; ditiocarbamatos e similares	M – multi-sítios com atividade protetora

Fonte: elaborada pela autora.



Refleta

Levando em consideração que os grupos químicos de defensivos agrícolas apresentam diferentes modos de ação, você saberia dizer por

que é importante e necessário conhecê-los antes de definir o manejo de uma determinada doença?

Já a formulação dos ingredientes ativos é feita através da mistura com diluentes e adjuvantes inertes ao patógeno, podendo os diluentes ser sólidos ou líquidos, sendo as principais listadas a seguir, de acordo com Silva Júnior; Behlau (2018):

- **Pó Molhável (PM)**: é uma formulação sólida em pó que veicula o ingrediente ativo, disperso em componentes inertes. Alguns aditivos, como os tensoativos, são necessários para promover a umectação do produto em água durante a aplicação e garantir boa cobertura nas plantas. Essa formulação é utilizada para produtos pouco solúveis em solventes orgânicos, como os defensivos à base de cobre, o mancozeb, a captana e o clorotalonil.

- **Concentrado Emulsionável (CE)**: é uma formulação líquida em que o ingrediente ativo é solubilizado em solvente orgânico apolar. Faz-se necessário também a adição de aditivos para a obtenção de uma boa emulsão e para homogeneizar o produto em mistura com água. É uma formulação utilizada para alguns triazóis (como ciproconazol e difenoconazol) e a estrobilurina piraclostrobina.

- **Suspensão Concentrada (SC)**: é uma formulação líquida em que o ingrediente ativo, praticamente insolúvel no solvente, é moído durante o processo de produção e disperso no diluente. São utilizados nessa formulação agentes dispersantes, umectantes e espessantes. São formulados em SC alguns triazóis, carbendazim, captana, iprodiona, clorotalonil e alguns produtos à base de cobre.

- **Granulado Dispersível (GD)**: é uma formulação em grânulos que contém o ingrediente ativo concentrado. Para essa formulação é necessária a adição de agentes dispersantes para obtenção de uma boa dispersão no momento da mistura do produto com a água. Produtos formulados em GD são as estrobilurinas azoxistrobina e trifloxistrobina, o mancozebe e o cobre.

Já o controle genético de doenças de plantas, através do emprego de cultivares resistentes, é considerado um dos métodos mais eficazes de controle por ser aplicável em largas áreas e por possuir baixo impacto ambiental quando comparado ao uso de agrotóxicos em grande escala (CAMARGO, 2011).



Exemplificando

Para exemplificar a eficiência do uso de cultivares resistentes, tomemos como exemplo o surgimento da raça Ug99 de *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. A ferrugem do trigo é conhecida desde o período mítico, onde era atribuída ao castigo divino dos Deuses. Com o passar dos anos, descobriu-se que a doença era causada pelo fungo *P. graminis* f. sp. *tritici*. Em 1999, uma nova raça mais agressiva desse patógeno, a Ug99, foi detectada em cultivos de trigo na Uganda, de onde se espalhou pela costa oeste da África. Entre 2007 e 2009, o patógeno já tinha sido disseminado pelo Iêmen, Oriente Médio e Irã, regiões onde o trigo é amplamente cultivado. Como a área de expansão do patógeno foi imensa, o controle químico não foi viável, pois aumentava consideravelmente os custos de produção, e a solução encontrada para reduzir as perdas com a manifestação da doença foi o emprego de cultivares resistentes em toda a região.

Como vimos, a resistência de plantas a doenças pode ser qualitativa ou quantitativa. Segundo Camargo (2011), a resistência qualitativa é controlada por genes R, envolvidos no reconhecimento do patógeno, e a resistência quantitativa é controlada por genes que atuam em etapas posteriores ao reconhecimento do patógeno.



Assimile

Resistência qualitativa: é sinônimo de resistência vertical e raça-específica, controlada por genes R que atuam no reconhecimento do patógeno, é pouco durável e monogênica, efetiva somente a determinadas raças do patógeno (CAMARGO, 2011; VANDERPLANK, 1968).

Resistência quantitativa: é sinônimo de resistência horizontal e raça não-específica, controlada por genes de efeito menor que atuam após o reconhecimento do patógeno, é durável e poligênica, efetiva contra várias raças do patógeno (CAMARGO, 2011b; VANDERPLANK, 1968).

Essas duas abordagens são muito importantes, pois constituem a base para programas de melhoramento voltados para a obtenção e uso de genes de resistência no controle de doenças de plantas (CAMARGO, 2011). Dessa forma, o melhorista deve conhecer e entender cada um dos tipos de resistência e a doença a qual se pretende lançar uma cultivar resistente, a fim de melhorar uma planta que tenha uma resistência efetiva e duradoura.

Assim, número de genes é um fator importante no melhoramento da planta. Os genes possuem efeito marcante no fenótipo da planta, ou seja, se houver o reconhecimento do patógeno pelos genes da planta, não haverá manifestação da doença e vice-versa (CAMARGO, 2011). Quando ocorre o reconhecimento do patógeno pela planta, vários genes atuam em conjunto, gerando uma cascata de defesa, onde ocorre a expressão de vários genes de defesa, e a expressão de um gene regula a expressão de outros genes.

Outro fator a ser considerado é a durabilidade da resistência, pois embora a resistência qualitativa seja mais fácil de ser identificada e obtida, ela é mais fácil de ser vencida por raças agressivas do patógeno, enquanto a resistência quantitativa é mais durável porque está além da capacidade microevolutiva do patógeno em ser vencida (CAMARGO, 2011).

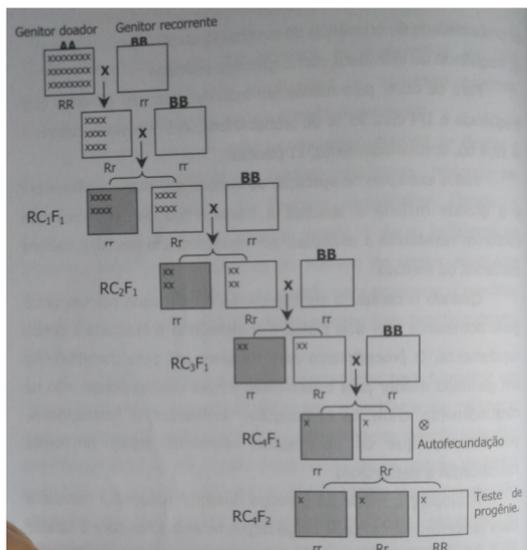
A especificidade está relacionada às diferentes raças do patógeno, que são definidas como variantes dentro de uma mesma espécie de patógeno, sendo virulenta em uma cultivar se tiver a capacidade de causar doença, e avirulenta, se não for capaz de causar doença em uma determinada cultivar (resistência qualitativa). Já para a resistência quantitativa, o termo raças não é muito empregado, pois nesse caso os patógenos, sendo de uma mesma espécie, irão diferir quanto à agressividade a cultivar hospedeira, podendo haver variantes mais agressivas que outras (CAMARGO, 2011). Sendo assim, a especificidade de um patógeno ao seu hospedeiro pode definir se o mesmo é virulento, ou seja, tem capacidade de causar doença, ou não virulento, quando não tem a capacidade de causar doença para cultivares que estão sendo selecionadas com base na resistência qualitativa. Já para cultivares selecionadas com base na resistência quantitativa, a especificidade do patógeno ao hospedeiro definirá o quão mais agressivo ele é àquela cultivar do que outras variantes da mesma espécie que ele.

Já os efeitos da resistência na epidemia estão diretamente relacionados com o tipo de resistência que a cultivar apresenta. De acordo com Camargo (2011), a resistência qualitativa, efetiva apenas contra algumas raças do patógeno, atua na redução da quantidade de inóculo inicial no campo, com o objetivo de atrasar o início da epidemia, e a resistência quantitativa, efetiva contra várias raças do patógeno, afeta a taxa de velocidade da doença, atuando diretamente nos componentes epidemiológicos (redução do tamanho das lesões, redução do número de esporos por lesão e do aumento do período latente do patógeno). Dessa forma, o melhoramento visando à resistência de plantas a doenças sempre considera o tipo de resistência para escolher o método de seleção mais adequado e também a forma de reprodução do hospedeiro.

Normalmente, para a obtenção de características qualitativas, o método

de retrocruzamento é o mais utilizado, em que uma cultivar doadora (genitor doador) do gene de resistência (R) é cruzada com uma suscetível (genitor recorrente), e o híbrido resultante é novamente cruzado com o genitor recorrente, de onde são selecionadas plantas resistentes, que serão novamente cruzadas com o genitor recorrente até a obtenção de plantas que tenham as características agrônômicas originais do genitor recorrente e a presença do gene R do genitor doador (CAMARGO, 2011) (Figura 4.5).

Figura 4.5 | Representação esquemática do retrocruzamento para transferência de genes de interesse (os genótipos em cinza são descartados durante as etapas de seleção)



Fonte: Carvalho *et al.* (2008, p. 96)

Essa resistência é a mais utilizada pelos melhoristas, porque é mais fácil de trabalhar, permitindo uma distinção mais fácil entre plantas doentes e não doentes e por ser feita com métodos relativamente mais simples de seleção, porém, não é tão durável quanto a resistência quantitativa, pois a capacidade microevolutiva do patógeno vence rapidamente o gene de resistência selecionado.

Já para a obtenção da resistência quantitativa, o melhoramento da planta é feito através de métodos que permitem o acúmulo gradual dos alelos favoráveis nos vários genes que controlam a característica desejada, levando várias gerações para se obter a cultivar resistente e necessitando sempre aliar ao melhoramento, técnicas como a patometria para a quantificação de doenças (CAMARGO, 2011). Apesar de ser mais trabalhosa, ter maior custo

e ser mais difícil de diferenciar uma planta resistente de uma não resistente, é uma resistência que, quando obtida, costuma ser mais durável, pois envolve vários genes que vão além da capacidade microevolutiva do patógeno em suplantá-los.



Pesquise mais

Para que você compreenda melhor a resistência genética a doenças de plantas, leia o artigo listado abaixo, que aborda desde como ocorre a interação planta-patógeno até as bases genéticas da resistência, abordando a resistência vertical e horizontal no contexto do melhoramento genético, bem como algumas estratégias anti-resistência que podem ser utilizadas para evitar a quebra de resistência das cultivares. MATIELLO, R. R.; BARBIERI, R. L.; CARVALHO, F. I. F. Resistência das plantas a moléstias fúngicas. **Ciência Rural**, v. 27, n.1, p.161-168, 1997. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v27n1/a28v27n1.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2018.

Desta forma, as abordagens expostas nesta seção sobre o controle químico e genético de doenças de plantas permitem que você compreenda a forma como podem ser utilizados no controle de fitopatógenos, e em que situações podem ser empregados, de maneira que os custos de produção compensem a aplicação de um defensivo ou a compra de uma semente híbrida, por exemplo. Além disso, deve-se sempre considerar os impactos ambientais que as medidas de controle poderão gerar e optar, sempre que possível, por aquela que ofereça menores danos ao mesmo. Com isso, ao se deparar com extensas áreas de produção que tenham histórico de doenças, você saberá que talvez a melhor alternativa para o controle das mesmas seja o uso de cultivares resistentes, quando disponíveis no mercado. Caso estas não estejam disponíveis, conhecendo o modo de ação e classificação de defensivos e levando em consideração a doença em questão, você saberá se deve usar um defensivo sistêmico, não sistêmico, translaminar ou mesosistêmico. Além desses dois métodos de controle, na Seção 4.3 você aprenderá quando aplicar, em conjunto com as medidas estudadas nesta seção, o controle físico, cultural e biológico.

Sem medo de errar

Agora que você já estudou o controle químico e genético de doenças de

plantas, você tem subsídios para resolver a situação-problema proposta no início desta seção. Relembrando rapidamente o cenário profissional, você foi contratado como engenheiro agrônomo para prestar consultoria em lavouras de arroz, soja e algodão na região centro-oeste do Brasil. Nesse processo, você está responsável pela avaliação e verificação da incidência de doenças, identificação dos agentes causais e, quando necessário, a implantação do manejo mais adequado para doenças.

Você realizou uma visita técnica em duas áreas cultivadas com soja no interior de Goiás, e observou que as plantas apresentavam incidência de doenças. Ao analisar os sintomas da doença nas plantas de soja da primeira lavoura, você constata a incidência de mancha olho-de-rã (*Cercospora sojina*). Já na segunda lavoura os sintomas nas plantas indicam a presença de mancha-alvo de *Corynespora* (*Corynespora asiicola*), duas manchas foliares de importância para a cultura, e que quando não manejadas adequadamente, causam perdas severas para o produtor. Dessa forma, você sendo o responsável pelo manejo e controle de doenças e representante dessa empresa, como a lavoura já está implantada, você poderá sugerir ao produtor a adoção do controle químico, por meio do uso de fungicidas registrados para as doenças e para a cultura da soja, a fim de evitar o aumento da severidade, uma vez que as doenças estão presentes nas lavouras desse produtor rural. Ao implantar a cultura nessas lavouras na próxima safra, já que a área tem histórico das doenças, o produtor poderia adotar inicialmente o controle genético, por meio do plantio de cultivares resistentes aos dois patógenos nessas áreas. Dessa forma, o produtor poderia ter menos problemas com a incidência da doença num estágio mais avançado de desenvolvimento da cultura, já que estas se manifestam sobre a folha, podendo inclusive, reduzir ou nem realizar a aplicação de defensivos recomendados especificamente para esses dois patógenos. Após a cultura se desenvolver na lavoura, já no estágio vegetativo, poderia se utilizar o controle químico, através do uso de fungicidas protetores ou sistêmicos registrados para a cultura e patógenos em questão.

Após elaborar a sua proposta de manejo para as duas doenças nas áreas cultivadas com soja por esse produtor rural, você deverá emitir um relatório técnico, que necessitará conter suas observações sobre a área de plantio, sobre a incidência das doenças na cultura, os sintomas observados nas plantas, e as medidas de controle que podem ser adotadas a curto e a longo prazo pelo produtor. Esse relatório deverá ser impresso em duas vias, uma para ficar arquivada na empresa e outra para ser entregue ao produtor.

Controle químico de oomicetos

Descrição da situação-problema

Você foi contratado para prestar consultoria em uma vinícola que produz as próprias uvas, no interior do Rio Grande do Sul. Ao visitar a área cultivada com as videiras, você notou que algumas plantas estavam apresentando sintomas de míldio (*Plasmopora viticola*). Os sintomas estavam se manifestando principalmente sobre as folhas, onde iniciavam por um encharcamento do mesófilo foliar, que é conhecido como mancha de óleo. Em folhas que apresentavam um estágio mais avançado da doença, na face inferior da folha, sob a mancha de óleo, é possível observar uma eflorescência branca, densa, de aspecto cotonoso, constituída pelas estruturas do oomiceto. Na face superior da folha, surgem manchas amareladas, que com o passar do tempo, coalescem e acabam necrosando. Você sabe que se não realizar o controle da doença, ela pode evoluir ainda mais e tomar os cachos de uva, prejudicando ainda mais a produção da cultura. De que forma você poderia estabelecer o manejo dessa doença, para que ela não cause perdas na produtividade? Sabendo que o controle de oomicetos é mais difícil que dos fungos verdadeiros, qual grupo químico e quais defensivos você recomendaria para o controle dessa doença na videira?

Resolução da situação-problema

Para evitar perdas na produtividade e manejar a doença que já está em um estágio bem avançado de desenvolvimento pelos sintomas que você observou, você recomenda que o produtor adote o controle químico como medida de controle para o míldio da videira. Porém, sabendo que os oomicetos, como o míldio da videira (*Plasmopara viticola*), constituem um grupo importante e de sensibilidade diferenciada a fungicidas de atuação seletiva, como os fungicidas sistêmicos, não sendo, dessa forma, afetados pelos principais fungicidas sistêmicos conhecidos. Dessa forma, para o manejo específico dessa doença e patógeno, você indica que o produtor aplique defensivos específicos do grupo químico inibidores de oomicetos, que foram desenvolvidos especificamente para o controle de oomicetos, podendo utilizar, por exemplo, os fungicidas ciamoxanil (acetamida), metalaxil (alaninato), fosetil (fosfanato).

1. O controle químico é muitas vezes a única medida eficiente e economicamente viável para se garantir as altas produtividades e a qualidade da produção, e é feito através de produtos conhecidos como defensivos químicos, como os fungicidas (KIMATI, 2011).

Quanto ao princípio geral de controle, os fungicidas podem ser classificados em:

- a. Erradicantes, protetores, sistêmicos.
- b. Erradicantes, protetores e curativos (imunizantes).
- c. Protetores, imóveis, mesostêmicos.
- d. Imóveis, sistêmicos, translaminares.
- e. Erradicantes, imóveis, curativos (imunizantes).

2. O melhoramento visando a resistência de plantas a doenças deve levar em consideração, além do método de seleção, fatores como número de genes, durabilidade da resistência, especificidade, tipo de resistência que se pretende obter, e os efeitos que essa resistência terá sobre uma possível epidemia no campo.

Com relação aos efeitos da resistência na epidemia, é possível afirmar que:

- a. A resistência qualitativa afeta a taxa de velocidade da doença no campo.
- b. A resistência quantitativa afeta a quantidade de inóculo inicial do patógeno.
- c. A resistência quantitativa não é efetiva em condições de epidemia no campo.
- d. A resistência qualitativa atua na redução da quantidade de inóculo inicial no campo.
- e. A resistência quantitativa atua na redução da quantidade de inóculo inicial no campo.

3. Com relação aos grupos químicos, os defensivos agrícolas são moléculas químicas, orgânicas ou inorgânicas, obtidas naturalmente ou sintetizadas e utilizadas para evitar os processos de sobrevivência, disseminação, infecção, colonização e reprodução de fitopatógenos (SILVA JÚNIOR; BEHLAU, 2018).

Os defensivos químicos oxazolidinediona; imidazolinanona; dimetilcarbamatos, pertencem a qual grupo químico?

- a. Inibidores da desmetilação de esteróis (DMIs).
- b. Metil benzimidazol carbamato (MBC).
- c. Inibidores da quinona externa (QoIs).
- d. Inibidores da enzima succinato desidrogenase (SDHI).
- e. Inibidores de oomicetos.

Controle de doenças: cultural, físico e biológico

Diálogo aberto

Olá, aluno!

Para finalizarmos a Unidade 4 e a disciplina de Fitopatologia Geral, nesta seção abordaremos os métodos de controle cultural, físico e biológico, e como eles podem ser utilizados no manejo de doenças de plantas, bem como pode ser realizado o manejo integrado de doenças visando maximizar o controle de fitopatógenos de maneira a reduzir os custos de produção para o produtor rural.

Vamos tomar como exemplo o uso da rotação de culturas no manejo de doenças: Segundo Bedendo, Massola Jr., Amorim (2011), a monocultura costuma aumentar o inóculo de patógenos necrotróficos na área de cultivo com o passar do tempo, pois essa prática acaba mantendo um substrato ideal para esses patógenos, tanto pela presença da planta viva quanto pelos restos culturais que ficam no solo após a colheita. Desta forma, a adoção da rotação de culturas resulta na eliminação do substrato do utilizado pelo patógeno, pelo menos em uma safra de cultivo, desfavorecendo a manutenção e/ou o aumento do seu inóculo. Além de ser uma prática viável e desejável no manejo de doenças, é uma prática de fácil implantação, fornece bons resultados ao produtor e reduz tanto os gastos com defensivos, como os efeitos desses produtos no meio ambiente.

Para que você possa compreender essas abordagens de uma forma mais prática, iniciaremos essa seção retomando o cenário profissional inicialmente proposto: você foi contratado por uma multinacional para atuar como engenheiro agrônomo prestando consultoria no manejo de doenças nas culturas de arroz, algodão e soja, na região centro-oeste do Brasil.

Ao visitar uma área no interior do Mato Grosso do Sul, cultivada com arroz de sequeiro (terras altas), você observa que as plantas estão apresentando manchas foliares, que se caracterizam inicialmente por pequenas pontuações de coloração castanha, que evoluem para manchas elípticas, com extremidades agudas. Você também observa que essas manchas aumentam no sentido das nervuras das folhas, apresentando centro acinzentado e bordos marrom-avermelhados, circundadas por um halo amarelado. Ao comparar os sintomas com seu guia de campo, você não tem dúvidas de que a doença que está se manifestando na cultura se trata de brusone (*Pyricularia oryzae*), causada por um fungo hemibiotrófico, que sobrevive em restos culturais na

ausência da cultura no campo e considerada a doença mais importante do arroz no Brasil, principalmente em cultivos de sequeiro, principal forma de cultivo no centro-oeste do país. Com base nessas informações, quais os métodos de controle culturais você recomendaria para o manejo da brusone em arroz de terras altas, e de que forma você utilizaria esses métodos para manejar essa doença? Quais estratégias de controle você recomendaria para implantar um manejo integrado de doenças nessa lavoura?

Após elaborar a sua proposta de manejo da brusone na lavoura de arroz de terras altas, você deverá emitir um relatório técnico, que deverá conter suas observações sobre a área de plantio, sobre a incidência da doença na cultura, os sintomas observados e as medidas de controle que devem ser adotadas para que o produtor não sofra com perdas de produtividade. Esse relatório deverá ser impresso em duas vias, uma para ser entregue ao produtor com as orientações de manejo que ele deverá seguir, e outra para ser anexada aos relatórios realizados por você sobre a cultura do algodão e da soja, para apresentar ao seu supervisor como comprovação das consultorias do mês e para ficar arquivado na empresa.

Ao finalizarmos esta seção e, conseqüentemente a quarta e última unidade deste livro e da disciplina de Fitopatologia, você compreenderá como e quando aplicar os métodos de controle cultural, físico e biológico no manejo de doenças de plantas, entendendo como esse manejo pode ser realizado, de forma isolada em uma determinada cultura, ou de maneira integrada, visando à redução de custos de produção, menores danos ao meio ambiente e maior lucratividade ao produtor rural, por meio da adoção de métodos que levam ao desenvolvimento de uma agricultura moderna e sustentável.

Mãos à obra!

Não pode faltar

Nas seções anteriores você conheceu os princípios gerais de controle e como o controle genético e químico podem ser utilizados no manejo de doenças de plantas. Para finalizarmos esta unidade e a disciplina de Fitopatologia Geral, nesta seção você tomará conhecimento sobre os controles cultural, físico e biológico, e como pode ser realizado o manejo integrado de doenças no campo de forma a reduzir os custos de produção e danos ao meio ambiente, e maximizar o controle e a produtividade de culturas agrícolas.

No **controle cultural** são utilizadas inúmeras práticas culturais, que visam minimizar o efeito de doenças sobre a produção de plantas cultivadas (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). Essas práticas normalmente

são utilizadas de forma combinada e podem atuar sobre o hospedeiro, favorecendo-o, ou sobre o patógeno, impedindo seu desenvolvimento. As principais práticas são:

- **Rotação de culturas:** a rotação de culturas consiste no cultivo alternado de espécies vegetais em uma área de cultivo, com culturas que possuem sistemas radiculares diferentes, como, por exemplo, gramíneas e leguminosas, de maneira que cada espécie deixa um efeito residual positivo para o solo e para a cultura posterior (GONÇALVES et al., 2007) (Figura 4.6). Além disso, é fundamental que se utilize na rotação espécies vegetais não hospedeiras do patógeno alvo de controle na lavoura.

Figura 4.6 | Ensaios de rotação de culturas



Fonte: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPQSO-2009-09/27612/1/circotec45.pdf>

Essa prática atua no controle de doenças, prejudicando a sobrevivência de patógenos durante a ausência do hospedeiro principal no campo e, conseqüentemente, a multiplicação de estruturas infectivas do microrganismo através da eliminação do substrato utilizado pelo patógeno (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011).

- **Uso de sementes, mudas e órgãos de propagação vegetativa sadios:** é recomendado que esses materiais apresentem padrão fitossanitário confiável, pois o plantio de materiais portadores de agentes causais de doenças pode inviabilizar o investimento feito por um produtor rural (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). Além disso, a qualidade sanitária de sementes, mudas e órgãos de propagação vegetativa devem sempre ser observados antes da implantação de uma lavoura, pois os mesmos podem servir como fonte de inóculo primário em uma determinada área de cultivo.

- **Realização de roguing:** essa prática consiste na eliminação de plantas doentes ou partes de plantas doentes da própria cultura, que resulta na

redução do inóculo e de sua dispersão na cultura (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011).

- **Eliminação de plantas voluntárias e hospedeiros alternativos:** as plantas voluntárias são plantas da própria cultura que permanecem no campo após a colheita e os hospedeiros alternativos são representados por espécies cultivadas, plantas daninhas e plantas silvestres (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). A eliminação de plantas voluntárias e hospedeiros alternativos garante a parada de desenvolvimento do patógeno na ausência do hospedeiro principal, sendo duas práticas que visam à erradicação do patógeno da área de cultivo.

- **Preparo do solo:** operações de aração e gradagem contribuem para o controle de doenças, pois eliminam patógenos saprofiticos que sobrevivem em restos culturais ou na matéria orgânica do solo (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). Práticas como aração e gradagem acabam por expor as estruturas do patógeno à radiação solar, tendendo a reduzir a população do mesmo no solo.

- **Eliminação de restos de cultura e incorporação da matéria orgânica ao solo:** o material orgânico estimula e favorece o desenvolvimento do patógeno, sendo responsável pela sobrevivência e multiplicação do patógeno (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). Essas práticas também podem ser feitas por aração ou gradagem e desfavorecem o patógeno, reduzindo o inóculo do mesmo na área e favorecendo a atividade de microrganismos antagonicos (Figura 4.7).

Figura 4.7 | Aração do solo para incorporação dos restos culturais ao solo



Fonte: iStock.



Vocabulário

Microrganismos antagonísticos: todo e qualquer microrganismo benéfico que tenha a capacidade de suprimir doenças ou fitopatógenos específicos, podendo ser utilizados no controle biológico de doenças de plantas.

- **Manejo da época de plantio:** a época de semeadura deve obedecer às recomendações técnicas da cultura, contudo, para alguns patossistemas, é interessante antecipar ou retardar a época de semeadura a fim de minimizar o efeito e a incidência de doenças (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). Com isso, busca-se prevenir que o período mais favorável ao desenvolvimento do fungo coincida com o estágio fenológico mais suscetível da planta no campo.

- **Densidade de plantio:** da mesma forma que a época de plantio, deve-se também respeitar a densidade de plantio de uma determinada cultura, bem como os espaçamentos entre linhas e entre plantas, de acordo com as especificações para cada cultura (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011), pois o plantio de sementes em uma densidade acima da recomendada pode criar um microclima favorável ao desenvolvimento de fitopatógenos na cultura.

- **Manejo da irrigação e drenagem:** o excesso ou a falta de água no solo normalmente predispõe o hospedeiro ao ataque do patógeno, pois o excesso de água reduz o oxigênio no ambiente edáfico, que consequentemente prejudica o desenvolvimento do sistema radicular e a absorção de nutrientes, e a condição de déficit hídrico altera a disponibilidade de água para a planta e na obtenção de nutrientes (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). Além disso, a água é um importante agente dispersante de estruturas de patógenos no ambiente, além de promover a germinação e penetração de esporos fúngicos nas células da planta hospedeira. Dessa forma, o controle da irrigação por aspersão é crucial para evitar a liberação e dispersão do inóculo na área de cultivo (Figura 4.8A). Em alguns casos, quando da ausência do hospedeiro no campo, inundar a área de plantio pode reduzir a incidência de patógenos de solo, como alguns fungos, bactérias e nematóides fitopatogênicos, devido à condição de anaerobiose imposta por essa prática (Figura 4.8B).

Figura 4.8 | Manejo da irrigação de plantas cultivadas. Irrigação por aspersão (A); inundação do solo na ausência do hospedeiro principal (B)



Fonte: iStock.

- **Nutrição mineral:** o desequilíbrio nutricional da planta, associado à deficiência ou ao excesso de macro ou micronutrientes, favorece o aparecimento de doenças por reduzir o desenvolvimento normal da planta e diminuir sua resistência ao agente patogênico (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011).



Exemplificando

O nitrogênio tem papel fundamental na manifestação de doenças. Por exemplo, a brusone do arroz (*Pyricularia oryzae*), a ferrugem do trigo (*Puccinia* sp.), o oídio do trigo (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*) e a queima bacteriana do fumo (*Pseudomonas tabaci*) são doenças favorecidas pela aplicação em excesso de nitrogênio. Isso acontece, de acordo com Huber; Thompson (2005), porque o excesso de nitrogênio intensifica o processo vegetativo da planta, facilitando o desenvolvimento de patógenos e, normalmente, os patógenos foliares são os mais favorecidos por níveis mais elevados de nitrogênio na planta, que proporcionam maior desenvolvimento e tecidos mais tenros e suculentos, facilitando a penetração do patógeno.

- **pH do solo:** a variação de pH que confere ao solo diferentes graus de acidez ou alcalinidade pode ter efeito tanto sobre o patógeno quanto sobre o hospedeiro, podendo interferir na absorção de nutrientes pela planta, predispondo-a ao ataque de patógenos, e podendo também favorecer ou desfavorecer a sobrevivência e o desenvolvimento de microrganismos fitopatogênicos no solo (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). Desta forma, algumas doenças de plantas, como, por exemplo, a sarna da batata

(*Streptomyces scabies*), costuma ser mais agressiva em solos mais alcalinos, e o conhecimento do pH do solo e sua correção podem controlar ou reduzir a incidência de determinadas doenças no campo.

- **Poda de limpeza:** consiste na eliminação do excesso de ramos em árvores frutíferas de clima tropical, que não passam pela poda de inverno, com o objetivo de eliminar as condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de patógenos (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). Esta poda remove o excesso de ramos e consequentemente evita a formação de um microclima ideal ao desenvolvimento de patógenos, pois propicia o arejamento entre galhos e entre plantas (Figura 4.9).

Figura 4.9 | Poda de limpeza em árvores frutíferas



Fonte: iStock.

- **Uso de barreiras físicas:** tem por finalidade reduzir o acesso de vetores de patógenos ao interior da cultura (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). É uma prática usada principalmente na produção de hortaliças e frutas, e objetiva reduzir a entrada e disseminação de patógenos transmitidos por vetores, como vírus, viróides, bactérias e fitoplasmas.

O controle físico, por sua vez, utiliza fatores físicos, como temperatura e radiações, para controlar doenças de plantas (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). Normalmente esses métodos reduzem o inóculo inicial, param o crescimento e desenvolvimento do patógeno e retardam a senescência do fruto ou hortaliça, e normalmente são aplicados em pós-colheita de frutos e hortaliças.



Assimile

Como já mencionado, a temperatura e radiação são os dois principais fatores físicos utilizados no controle de doenças de plantas e atuam das seguintes formas:

- **Temperaturas baixas:** reduz o desenvolvimento do patógeno e senescência do hospedeiro.
- **Temperaturas altas:** reduz o inóculo inicial.
- **Uso de radiação:** por eliminação de comprimentos de onda; uso de radiação ultravioleta e uso de radiação ionizante.

Assim, os métodos físicos mais utilizados no controle de doenças de frutos e hortaliças em pós-colheita são:

- **Refrigeração de produtos armazenados:** normalmente, quanto maior a temperatura menor será a vida útil de frutos e hortaliças, pois altas temperaturas costumam acelerar o desenvolvimento e a reprodução de microrganismos fitopatogênicos, além de acelerar também a senescência dos produtos, e o armazenamento desses produtos sob refrigeração evita tais problemas (LUENGO et al., 2007) (Figura 4.10). Contudo, as baixas temperaturas não eliminam completamente o patógeno, mas param suas atividades, impedindo o seu desenvolvimento, motivo pelo qual os produtos devem permanecer refrigerados desde a colheita até o momento da venda.

Figura 4.10 | Câmara fria para armazenamento de frutos e hortaliças



Fonte: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/86808/1/00081040.pdf>

- **Tratamento térmico de frutas, hortaliças e órgãos de propagação:** o tratamento térmico de frutos, hortaliças e órgãos de propagação pode ser realizado de duas formas: via tratamento com ar quente e via tratamento por imersão do produto em água quente. Embora os dois métodos tenham a finalidade de controlar patógenos em pós-colheita, os dois atuam de maneiras diferentes, em que o tratamento com ar quente tem por objetivo a remoção da umidade da superfície e acelerar a cicatrização de ferimentos pré-existentes nos tecidos, exigindo um período de tempo mais prolongado, enquanto que o tratamento por imersão em água quente tem por objetivo a redução do inóculo superficial e infecções latentes superficiais, sendo

um tratamento mais rápido, que dura apenas alguns minutos (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011).



Exemplificando

Como exemplo de tratamento com ar quente, pode-se citar a manutenção da batata-doce em temperaturas entre 28 – 32 °C durante duas semanas, visando à cicatrização de ferimentos e controle da infecção por *Rhizopus* sp. Já como exemplo de tratamento por imersão em água quente, o controle da antracnose em mamão pode ser realizado pela imersão dos frutos em água a 49 °C por 20 minutos. Órgãos de propagação, como, por exemplo, o tratamento térmico de gemas de cana-de-açúcar para o controle do raquitismo da soqueira é feito por imersão das gemas em água a 52 °C por 30 minutos (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011).

- **Solarização do solo:** esse método é baseado no uso de energia solar, em que, antes do plantio, o solo previamente úmido é coberto por um filme plástico transparente por no mínimo um mês, no verão (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). Sendo assim, a temperatura no solo aumenta consideravelmente, e acaba eliminando os patógenos presentes na área.



Refleta

Considerando que a solarização do solo é um método bastante trabalhoso, pois é necessário umidificar o solo e cobri-lo completamente com um filme plástico por um determinado período de tempo, você acha que esse método é viável a grandes extensões de terras, como um cultivo de soja ou trigo, por exemplo?

- **Eliminação de determinados comprimentos de onda:** é possível controlar algumas doenças de plantas eliminando alguns comprimentos de onda que favorecem o desenvolvimento de patógenos, por exemplo, através do uso de filmes plásticos para cobertura de casas de vegetação, especialmente desenvolvidos para esse fim, e que absorvem apenas determinados comprimentos de onda (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011).

- **Uso de radiação ultravioleta germicida:** apesar de ser uma radiação pouco penetrante, a Radiação Ultravioleta (UV) tem alto poder germicida,

sendo utilizada na desinfestação de superfícies, podendo reduzir o inóculo de patógenos presentes em produtos de pós-colheita (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). Contudo, embora efetiva no controle de patógenos, o efeito germicida fica limitado apenas à superfície do órgão tratado, não tendo efeito sobre infecções já estabelecidas, por exemplo.

- **Uso de radiação ionizante:** essa técnica emprega raios gama visando à preservação de alimentos processados e produtos agrícolas, com o objetivo de reduzir ou eliminar completamente patógenos que possam deteriorar o produto em questão (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). Diferente da radiação UV, os raios gama penetram o produto, tendo ação sobre a superfície e interior do mesmo, resultando na morte de microrganismos patogênicos.

O **controle biológico**, por sua vez, consiste na redução do inóculo ou das atividades do patógeno realizada por um ou mais microrganismos benéficos (COOK; BAKER, 1983). O controle biológico pode também proporcionar um equilíbrio no ambiente e proteger a planta hospedeira durante a presença do patógeno para que a mesma não sofra com sua ação (SANTOS; VARAVALLO, 2011). Com isso, a adoção do controle biológico de doenças de plantas seria uma medida alternativa ao uso indiscriminado de defensivos químicos, e tem sido bem empregado no manejo integrado de doenças de plantas. Contudo, embora ainda sejam poucos os produtos de base biológica registrados para o controle de doenças de plantas, o controle biológico de doenças de plantas é uma área promissora, haja vista o crescente interesse da população na preservação dos recursos naturais e meio ambiente.

Assim, os princípios do controle biológico se baseiam principalmente na antibiose, competição por espaço e nutrientes, parasitismo, indução de defesas do hospedeiro e premunização (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011), que estão detalhados abaixo:

- **Antibiose:** é a interação entre microrganismos, na qual indivíduos de uma população secretam metabólitos que inibem ou impedem o desenvolvimento de indivíduos de uma população de outra espécie (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). Essa interação normalmente é observada quando são usadas bactérias benéficas ou algumas espécies de fungos, como o *Trichoderma* spp. no controle de doenças de plantas, que secretam antibióticos, que inibem o crescimento e desenvolvimento do patógeno (Figura 4.11).

Figura 4.11 | Antibiose *in vitro* de uma bactéria endofítica ao fungo *Pyricularia oryzae*



Fonte: acervo da autora.

- **Competição:** implica na capacidade de crescimento do agente de controle biológico de maneira mais eficiente que o agente patogênico no local de infecção (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). Desta forma, o agente de controle biológico utiliza os mesmos sítios de infecção e colonização do agente fitopatogênico, e compete com ele por espaço e nutrientes.

- **Parasitismo:** o parasitismo designa a relação nutricional entre dois microrganismos, em que o microrganismo parasita obtém parte ou todo o seu alimento do outro microrganismo, que se torna o seu hospedeiro (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). Desta forma, alguns fungos como *Trichoderma* spp., por exemplo, são capazes de colonizar fungos fitopatogênicos e degradar suas paredes celulares, inativando-os.



Pesquise mais

O uso do controle biológico no manejo de doenças de plantas tem sido objeto de estudo em diversas interações patógeno x hospedeiro. Para entender melhor como ocorre o parasitismo de *Trichoderma* spp., leia o artigo intitulado “Eficiência de isolados de *Trichoderma* spp. no controle de patógenos de solo em meloeiro amarelo”, que trata de um experimento desenvolvido com quatro isolados de *Trichoderma* spp. para avaliar a colonização da rizosfera de meloeiro em condições controladas e a eficiência no controle de patógenos de solo em condições de campo.

GAVA, C. A. T.; MENEZES, M. E. L. Eficiência de isolados de *Trichoderma* spp. no controle de patógenos de solo em meloeiro amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 633-640, 2012.

- **Indução de resistência:** refere-se à ativação de mecanismos latentes de resistência da planta hospedeira por meio de agentes de controle biológico, que pode ocorrer de maneira localizada ou sistêmica (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011). Normalmente os microrganismos de controle biológico ativam enzimas e genes de defesa da planta, mantendo-a protegida contra o ataque de fitopatógenos.

- **Premunização:** consiste na proteção de uma planta contra um vírus pela colonização antecipada dessa planta por uma estirpe fraca do mesmo vírus (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011).

Por fim, o **Manejo Integrado de Doenças** (MID) é análogo ao Manejo Integrado de Pragas (MIP), mas específico para a área da fitopatologia, e resulta no uso de todas as técnicas disponíveis dentro de um programa unificado, de maneira que a população de microrganismos nocivos seja mantida abaixo do limiar de dano econômico para a cultura, e a fim de minimizar os efeitos deletérios ao meio ambiente (NAS, 1969). Segundo Bedendo; Massola Jr.; Amorim (2011), o manejo integrado envolve três ações principais, onde deve-se inicialmente determinar como o ciclo vital de um patógeno precisa ser modificado a fim de mantê-lo em níveis abaixo do limiar de dano econômico; combinar o conhecimento biológico com a tecnologia disponível para alcançar a modificação necessária; e desenvolver métodos de controle adaptados às tecnologias disponíveis e compatíveis com aspectos econômicos e ecológicos-sociais. Sendo assim, o MID aborda o controle de doenças como um manejo que busca integrar inúmeras práticas de controle, de maneira a reduzir os custos de produção, preservar o meio ambiente e obter o controle efetivo da doença no campo de forma econômica e ecologicamente correta.

As abordagens expostas nesta seção sobre o controle cultural, físico, biológico e o manejo integrado de doenças de plantas permitem que você conheça as inúmeras formas que uma doença pode ser manejada no campo, e quais estratégias você, como futuro profissional, poderá adotar no manejo integrado de doenças. Com isso, quando você se deparar com uma determinada cultura apresentando incidência de doenças, você saberá quais caminhos e opções de manejo adotar, a fim de controlar a doença para evitar perdas de produtividade sem deixar de levar em consideração os efeitos que o possível controle adotado causará no meio ambiente.

Agora que você já aprendeu sobre o controle cultural, físico biológico e sobre o manejo integrado de doenças de plantas, você tem subsídios para resolver a situação-problema proposta no início desta seção. Relembrando o cenário profissional, você foi contratado como engenheiro agrônomo para prestar consultoria em lavouras de arroz, soja e algodão na região centro-oeste do Brasil, ficando responsável pela avaliação e verificação da incidência de doenças, identificação dos agentes causais e, quando necessário, pela recomendação e implementação do manejo adequado para doenças.

Ao visitar uma área cultivada com arroz de sequeiro no interior do Mato Grosso do Sul, você observa que as plantas estão apresentando manchas foliares na forma de pequenas pontuações de coloração castanha, que evoluem para manchas elípticas e com extremidades agudas, que aumentam no sentido das nervuras e apresentando centro acinzentado com bordos marrom-avermelhados, circundadas por um halo amarelado. Pelos sintomas observados e pela comparação dos mesmos com seu guia de campo, você constata que a doença é a brusone do arroz, causada pelo patógeno fúngico hemibiotrófico *Pyricularia oryzae*.

Sabendo que esse patógeno é um fungo hemibiotrófico, que sobrevive em restos culturais na ausência da cultura no campo, você poderia recomendar para o manejo da doença métodos de controle culturais, como o preparo do solo com aração profunda e incorporação da matéria orgânica ao solo, visando remover os restos culturais da superfície do solo para impedir a sobrevivência do patógeno; uso de sementes saudáveis e certificadas, visando evitar a introdução do patógeno na área; eliminar plantas voluntárias e hospedeiros alternativos da área de plantio, que servem como fonte de inóculo para a manifestação da doença; realizar o plantio na época recomendada e respeitar a densidade de plantio indicada para a cultura, para favorecer o hospedeiro e desfavorecer o patógeno; realizar corretamente a adubação da cultura, evitando o excesso ou a falta de nitrogênio, pois esse elemento predispõe a planta ao ataque do patógeno.

Como a brusone é a principal doença da cultura do arroz de terras altas no Brasil, você poderia utilizar o manejo integrado para controle da doença, integrando o controle cultural, desde o preparo do solo (aração, gradagem, remoção de restos culturais) até o plantio e nutrição adequada da planta; o controle genético, com a adoção e plantio de cultivares resistentes à doença; e o controle biológico e químico em condições de alta severidade da doença no campo.

Após elaborar a sua proposta de manejo da brusone do arroz, você deverá emitir um relatório técnico, que deverá conter suas observações sobre a área

de plantio, sobre a incidência da doença na cultura, os sintomas observados nas plantas no campo e as medidas de controle que devem ser adotadas para que o produtor não sofra com perdas de produtividade. O relatório deverá ser impresso em duas vias, uma para ser entregue ao produtor com as orientações de manejo que ele deverá seguir, e outra para ser anexada aos relatórios realizados por você sobre a cultura do algodão e da soja, para apresentar ao seu supervisor como comprovação das consultorias do mês e para ficar arquivado na empresa.

Avançando na prática

Manejo da mancha bacteriana em tomateiro

Descrição da situação-problema

Você foi contratado como engenheiro agrônomo para conduzir uma produção de tomate. Você será o responsável por todo o processo produtivo, desde o preparo do solo e plantio até a colheita. Antes da implantação da cultura no campo, o produtor relata a você que um dos maiores problemas da cultura nessa área costuma ser a incidência de mancha bacteriana (*Xanthomonas vesicatoria*) e que o controle químico com produtos à base de cobre não está sendo efetivo contra a doença. Essa doença apresenta como sintomas lesões necróticas de cor marrom nas folhas, nas hastes e frutos. Essas lesões apresentam aspecto encharcado, que se tornam necróticas e podem ser acompanhadas de clorose. Quando coalescem nas folhas, essas manchas apresentam um aspecto de queima, reduzindo a área fotossintética e expondo os frutos ao sol. As lesões nos frutos se iniciam com lesões acidentadas, que se tornam necróticas e escuras, de aspecto rugoso. Normalmente, ao se manifestarem sobre as folhas, a doença incide também sobre os frutos, depreciando o produto final e impossibilitando sua comercialização. Quais métodos culturais você poderia utilizar durante a implantação da cultura para remover a fonte de inóculo da área? De que forma a aplicação de agentes de controle biológico poderiam minimizar a severidade da doença?

Resolução da situação-problema

A mancha bacteriana é uma das principais doenças do cultivo de tomateiro no Brasil. A redução da área fotossintética que expõe os frutos ao sol, bem como o surgimento de manchas nos frutos resultam na depreciação do produto final, impossibilitando sua comercialização. Para prevenir o surgimento dessa doença na área, que já tem histórico de aparecimento da doença,

você poderia utilizar métodos de controle cultural, visando remover as fontes de inóculo da área, como a remoção de restos culturais e plantas voluntárias e hospedeiros alternativos da área de plantio, uso de sementes e mudas saudáveis, realizar rotação de culturas na área e manejar corretamente a irrigação, pois a água é uma das principais formas de disseminação da bactéria. Quando a cultura já estiver instalada no campo e você notar o surgimento de sintomas, poderá adotar o controle biológico com o uso de agentes de biocontrole, que poderão minimizar a severidade da doença pela ação da antibiose, competição por espaço e nutrientes e, principalmente, pela indução de resistência sistêmica, com a ativação de mecanismos latentes de resistência, como genes e enzimas de defesa da planta.

Faça valer a pena

1. No controle cultural são utilizadas inúmeras práticas que visam minimizar o efeito de doenças sobre a produção de plantas cultivadas (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011), sendo normalmente utilizadas de forma combinada, atuando para favorecer o hospedeiro e desfavorecer o patógeno.

Assinale a alternativa que apresenta três práticas utilizadas no controle cultural de doenças de plantas.

- a) Rotação de culturas, radiação ultravioleta, roquiung.
- b) Roguing; radiação ionizante; preparo do solo.
- c) Rotação de culturas, roquiung, densidade de plantio.
- d) Radiação ionizante, radiação ultravioleta, pH do solo.
- e) Preparo do solo, radiação ultravioleta, pH do solo.

2. O controle físico utiliza a temperatura e radiações para controlar doenças de plantas, visando à redução do inóculo inicial, parada do crescimento e desenvolvimento do patógeno e atraso na senescência de frutos ou hortaliças (BEDENDO; MASSOLA JR.; AMORIM, 2011).

Assinale a alternativa que contém as duas formas que podem ser realizados o tratamento térmico de frutas, hortaliças e órgãos de propagação:

- a) Refrigeração de produtos armazenados e tratamento com ar quente.
- b) Tratamento com ar quente e tratamento por imersão em água quente.
- c) Câmara fria e tratamento por imersão em água quente.
- d) Solarização e tratamento por imersão com água quente.
- e) Refrigeração de produtos armazenados e câmara fria.

3. O controle biológico de doenças de plantas consiste na redução do inóculo ou na parada das atividades do patógeno, realizada por um ou mais microrganismos benéficos (COOK; BAKER, 1983) que proporcionam um equilíbrio no ambiente e protegem a planta da ação de patógenos.

O princípio do controle biológico que se caracteriza pela interação entre microrganismos, na qual indivíduos de uma população secretam metabólitos que inibem ou impedem o desenvolvimento de indivíduos de outra população, é:

- a) Parasitismo.
- b) Indução de resistência.
- c) Competição.
- d) Premunização.
- e) Antibiose.

Referências

- AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Fenologia, patometria e quantificação de danos. In: BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M. (ed.). **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p.517-542.
- BEDENDO, I. P.; MASSOLA JR., N. S.; AMORIM, L. Controles cultural, físico e biológico de doenças de plantas. In: BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M. (ed.). **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p.367-388.
- BERGAMIM FILHO, A.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M. Importância das doenças de plantas. In: BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M. (ed.). **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p.19-36.
- BERGER, R. D. Application of epidemiological principles to achieve plant disease control. **Annual Review of Phytopathology**, v. 15, p. 165-183, 1977.
- CAMARGO, L. E. A. Controle genético. In: BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M. (ed.). **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p.325-341.
- CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; MARCHIORO, V. S.; SILVA, S. A. **Condução de populações no melhoramento genético de plantas**. Pelotas: UFPel Ed. Universitária, 2008, 288p.
- COOK, R. J.; BAKER, K. F. **The nature and practice of biological control of plant pathogens**. Saint Paul: APS Press, 1983.
- FAWCETT, H. S.; LEE, H. A. **Citrus diseases and their control**. New York: McGraw-Hill, 1926.
- GODOY, C. V.; ALMEIDA, A. M. R.; COSTAMILAN, L. M.; MEYER, M. C.; DIAS, W. P.; SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; HENNING, A. A.; YORINORI, J. T.; FERREIRA, L. P.; SILVA, J. F. V. Doenças da soja. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (eds.). **Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2016. p. 657-676.
- GONÇALVES, S. L.; GAUDENCIO, C. A.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R.; GARCIA, A. **Rotação de culturas**. Circular técnica. Londrina: EMBRAPA, 2007, 10 p.
- HUBER, D.M.; THOMPSON, I.A. Nitrogen and plant disease. In: **Simpósio sobre relações entre nutrição mineral e incidência de doenças de plantas**, 2005, Piracicaba. Resumos... Piracicaba: Potafós, 2005.
- KIMATI, H. BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Princípios gerais de controle. In: BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M. (ed.). **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p. 307-323.
- KIMATI, H. Controle químico. In: BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.

(ed.). **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2011. p.343-365.

LUENGO, R. F. A.; HENZ, G. P.; MORETTI, C. L.; CALBO, A. G. **Pós-colheita de hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 100 p.

MARCHIONATTO, J. B. Directivas en la lucha contra las enfermedades de las plantas. **Revista Argentina de Agronomía**, v. 16, p. 29-32, 1949.

NAS (National Academy of Science). **Insect pest management and control**. Washington: National Academy of Science, 1969.

SANTOS, T. T.; VARAVALLO, M. A. Aplicação de microrganismos endofíticos na agricultura e na produção de substâncias de interesse econômico. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 32, n. 2, p. 199-212, 2011.

SILVA JÚNIOR, G. J.; BEHLAU, F. Controle químico. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (ed.). **Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos**. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2018. p. 239-260.

STEFANELLO, M. T.; MARQUES, L. N.; PINTO, F. F.; RAMOS, J. P.; CADORE, P. C.; BALARDIN, R. S. Dinâmica do controle químico de *Phakopsora pachyrhizi* em plantas de soja submetidas a diferentes regimes hídricos. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.83, p.1-6, 2016.

WHETZEL, H. H. The terminology of phytopathology. **Proceedings of the International Congress of Plant Sciences**, v. 2, p.1204-1215, 1929.

WHETZEL, H. H.; HESLER, L. R.; GREGORY, C. T.; RANKIN, W. H. **Laboratory Outlines in Plant Pathology**. Philadelphia: W. B. Saunders, 1925.

VANDERPLANK, J. E. **Disease resistance in plants**. New York: Academic Press, 1968.

ZADOKS, J. C.; SCHEIN, R. D. **Epidemiology and plant disease management**. Oxford: Oxford University Press, 1979.

ISBN 978-85-522-1397-0



9 788552 213970 >