RAPP | Revisão Anual de Patologia de Plantas

doi: 10.31976/0104-038321v300001

SEÇÃO 1

IMPACTO DAS DOENÇAS DE PLANTAS NA SEGURANÇA ALIMENTAR E NUTRICIONAL GLOBAL: TEMA ESTRATÉGICO PARA O BRASIL

Gilmar Paulo Henz[1]

RESUMO

As doenças de plantas exercem um impacto significativo na segurança alimentar e nutricional global e sua ocorrência tem potencial para desestabilizar economias e criar desafios políticos, além de impactar a saúde e o bem-estar das populações. As doenças afetam os componentes principais da segurança alimentar (disponibilidade, acesso, utilização, estabilidade), principalmente em regiões menos desenvolvidas e/ou com populações vulneráveis. A ocorrência de doenças das plantas é exacerbada por fatores como o aumento do comércio global, a uniformidade genética das hospedeiras e as mudanças climáticas e tem como consequências a redução da produção de alimentos, o aumento dos preços e maior dependência de insumos agrícolas, como defensivos. O Brasil, como grande produtor e exportador de alimentos, tem papel fundamental na segurança alimentar global. As perspectivas futuras para mitigar o efeito negativo das doenças envolvem a contínua busca por soluções inovadoras por meio do investimento em pesquisa e o fortalecimento da colaboração global no monitoramento de doenças e na promoção de práticas agrícolas sustentáveis para enfrentar esse desafio complexo.

PALAVRAS-CHAVE: sanidade vegetal, doenças emergentes, perdas, epidemiologia

ABSTRACT

Impact of plant diseases on global food and nutritional security: a strategic theme for Brazil

Plant diseases have a significant impact on global food and nutritional security, and their occurrence has the potential to destabilize economies and create political challenges, as well as affect the health and well-being of populations. Diseases impact the key components of food security (availability, access, utilization, stability), particularly in less developed regions and/or vulnerable populations. The occurrence of plant diseases is exacerbated by

[1]Embrapa Sede, Supervisão de Inteligência Estratégica, Assessoria de Estratégia-AEST, Brasília-DF

factors such as increased global trade, the genetic uniformity of hosts, and climate change, leading to reduced food production, higher prices, and greater dependence on agricultural inputs like pesticides. Brazil, as a major producer and exporter of food, plays a crucial role in global food security. Future prospects for mitigating the negative effects of diseases involve the ongoing pursuit of innovative solutions through investment in research and strengthening global collaboration in disease monitoring and promoting sustainable agricultural practices to tackle this complex challenge.
KEYWORDS: plant health, emerging diseases, crop losses, epidemiology

INTRODUÇÃO

Uma das primeiras lições que um fitopatologista aprende sobre a importância das doenças de plantas é sobre as consequências econômicas e sociais das grandes epidemias já registradas na história. Muito embora as doenças tenham sido percebidas e descritas desde os primórdios da agricultura, a fitopatologia como ciência somente evoluiu a partir do desenvolvimento da microbiologia no século XIX, considerada a "era moderna" da patologia vegetal por Whetzel (YUEN et al. 2020). A devastadora epidemia da requeima da batata causada por *Phytophthora infestans* na Irlanda em 1845 é muito conhecida e citada porque tem registros históricos detalhados de sua ocorrência e das dramáticas consequências políticas, econômicas e sociais.

Entretanto, muitas outras doenças também são igualmente relevantes pelo seu efeito potencial em culturas agrícolas de grande importância econômica, como é o caso da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), a sigatoka negra da bananeira (*Mycosphaerella fijiensis*), a ferrugem da cana de açúcar (*Puccinia melanocephala*), a ferrugem do café (*Hemileia vastatrix*), a mancha parda do arroz (*Bipolaris oryzae*), o cancro cítrico (*Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*), o *greening* ou HLB (*Candidatus* Liberibacter spp.), entre outras. Nos tempos atuais, as doenças de plantas estão sendo tratadas como relevantes para todas as espécies vegetais, considerando-se os serviços ecossistêmicos, como a produção de oxigênio e a captura de carbono, até a manutenção de parques e jardins urbanos para o lazer e bem estar humano.

Esta breve introdução serve para contextualizar as doenças de plantas como um fator relevante para a segurança alimentar e nutricional, um tema altamente complexo e que envolve questões de geopolítica das cadeias agroalimentares globais e a capacidade da humanidade produzir alimentos suficientes no futuro.

Segurança Alimentar e Nutricional (SAN)

Os termos "segurança alimentar" e "segurança dos alimentos" (em inglês "*food security*" e "*food safety*", respectivamente) representam conceitos bem distintos, muito embora possam parecer semelhantes em Português. A segurança alimentar e nutricional (SAN) pode ser definida como o direito de todos os cidadãos de terem acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais, com base em práticas alimentares saudáveis, respeitando-se as especificidades culturais de cada região (FAO 1996).

Já a segurança dos alimentos refere-se especificamente à garantia da qualidade e segurança dos alimentos consumidos, o que inclui medidas para prevenir a contaminação de alimentos por patógenos, toxinas, produtos químicos e outros contaminantes que podem prejudicar a saúde humana. A segurança dos alimentos é um aspecto crítico da produção de alimentos e envolve desde a produção até a distribuição e consumo dos alimentos.

Segundo a FAO (1996), "*a segurança alimentar existe quando todas as pessoas, em todos os momentos, têm acesso físico, social e econômico a alimentos suficientes, seguros e nutritivos que atendam às suas necessidades alimentares e preferências alimentares para uma vida ativa e saudável*". Essa definição sugere estágios ou etapas sucessivas pelas quais a segurança alimentar pode ser alcançada em um determinado local geográfico, em um contexto socioeconômico específico e também envolve uma dimensão temporal, pois indica que a se-

gurança alimentar deve ser alcançada “em todos os momentos”.

De acordo com a FAO (1996), os principais componentes da segurança alimentar e nutricional são:

- Disponibilidade: a disponibilidade de alimentos suficientes e nutritivos é um componente fundamental da segurança alimentar e inclui a produção, estoque e distribuição de alimentos em nível nacional, regional e local. Os principais indicadores são produção de alimentos *per capita*, suprimento de calorias *per capita* e variabilidade do fornecimento de alimentos;
- Acesso: o acesso físico e econômico aos alimentos envolve a capacidade das pessoas de adquirir alimentos suficientes para uma dieta saudável, seja por meio de produção própria, compra ou outras formas de obtenção. Os principais indicadores são níveis de pobreza e desigualdade de renda, preços dos alimentos e acesso físico e econômico aos alimentos;
- Utilização: inclui aspectos como preparo, diversidade da dieta e absorção de nutrientes. Indicadores: diversidade da dieta, estado nutricional da população, acesso a água potável e saneamento básico;
- Estabilidade: manter a estabilidade do abastecimento de alimentos ao longo do tempo, evitando-se flutuações e interrupções. Indicadores: estoques de alimentos, flutuações na produção e nos preços, ocorrência de choques e desastres que afetam a oferta de alimentos.

Com base neste conceito, a FAO criou quatro categorias para caracterizar a situação da segurança alimentar (Tabela 1).

Além destes quatro eixos principais, CLAPP et al. (2022) propõem acrescentar mais dois componentes ao conceito de segurança alimentar: capacidade de atuação ou autonomia (“*agency*”, em inglês) e sustentabilidade. O primeiro refere-se à capacidade dos indivíduos e comunidades de tomar decisões autônomas sobre sua alimentação e nutrição, tendo acesso a opções saudáveis e sustentáveis. Em termos de segurança alimentar, este componente enfatiza a importância da autonomia e da participação ativa dos indivíduos e comunidades na cadeia alimentar, desde a produção até o consumo, garantindo que todos tenham os meios para obter uma alimentação adequada e de sua preferência.

Já a sustentabilidade refere-se à capacidade de produzir e consumir alimentos de maneira que se proteja e preserve os recursos naturais, promova práticas agrícolas e de produção responsáveis, e garanta a disponibilidade de alimentos para as gerações presentes e futuras, incluindo a gestão eficiente do solo, água e biodiversidade, a redução do desperdício de alimentos, e a adoção de práticas agrícolas que minimizem impactos ambientais negativos. A sustentabilidade também abrange a equidade social e econômica, assegurando que o sistema alimentar seja justo e acessível a todos, sem exploração ou exclusão (CLAPP et al. 2022).

Desde 2017, a FAO publica anualmente um relatório sobre a situação da segurança alimentar e nutricional no mundo, denominado de “*The State of Food Security and Nutrition in the World*”. Cada edição apresenta análises e dados atualizados sobre a segurança alimentar e nutricional global, incluindo informações sobre a prevalência da fome, desnutrição e obesidade, bem como políticas e práticas que afetam o acesso a alimentos saudáveis e nutritivos

Tabela 1. Categorias de segurança alimentar de acordo com a FAO (1996).

Categorias de Segurança Alimentar	Descrição
Segurança Alimentar	Todas as pessoas têm acesso regular e permanente a alimentos nutritivos e seguros que atendem às suas necessidades e preferências alimentares para uma vida ativa e saudável
Insegurança Alimentar Moderada	As pessoas enfrentam incertezas sobre sua capacidade de adquirir alimentos suficientes e de qualidade, devido a variações sazonais, flutuações de preços e eventos imprevistos, como perda de emprego ou doença
Insegurança Alimentar Grave	As pessoas enfrentam falta de acesso regular e permanente a alimentos suficientes e de qualidade para uma vida ativa e saudável, o que pode resultar em desnutrição, doenças relacionadas à falta de nutrientes e até mesmo morte
Insegurança Alimentar Aguda	As pessoas enfrentam uma grave escassez de alimentos devido a desastres naturais, conflitos ou outras crises humanitárias, o que pode causar grave desnutrição, fome e morte

em diferentes partes do mundo. Além disso, cada edição do relatório também inclui uma seção especial com um tema central focado nas questões dominantes de segurança alimentar e nutrição naquele ano específico (FAO 2024).

De acordo com o último relatório (FAO 2024), o mundo ainda está longe de alcançar as metas do ODS 2 - Fome Zero, com a prevalência global de subnutrição permanecendo quase no mesmo nível por três anos consecutivos, após ter aumentado acentuadamente devido à pandemia de COVID-19. A fome continua a aumentar na África, mas permaneceu relativamente inalterada na Ásia, enquanto houve redução notável na América Latina e Caribe. Em 2023, estima-se que 28,9 por cento da população global – 2,33 bilhões de pessoas – estavam em situação de insegurança alimentar moderada ou severa.

Os desafios e incertezas contemporâneos

Na atualidade, os sistemas agroalimentares globais são altamente dependentes de algumas poucas culturas agrícolas consideradas como *commodities*, produtos agrícolas que são cultivados em grande escala e comercializados em mercados globais. Estes produtos são amplamente utilizados em todo o mundo e incluem grãos e cereais, como trigo, milho, arroz, aveia, cevada e sorgo; oleaginosas, como soja, óleo de palma, colza (canola), amendoim e girassol; café, açúcar e cacau. A comercialização de *commodities* agrícolas desempenha um papel crucial na economia global, uma vez que estas são essenciais para a alimentação humana e a manufatura de uma ampla gama de outros produtos, além de seu valor econômico.

De acordo com a FAO (2022), a produção agrícola global cresceu 54% entre 2000 e 2021, sendo os cereais (milho, arroz, trigo, cevada, sorgo) as culturas mais importantes, correspondendo a 32% do total; plantas açucareiras (cana de açúcar e beterraba), 22%; hortaliças (tomate, pepino, berinjela, cebola, brássicas), 12%; oleaginosas (óleo de palma, soja, semente de algodão, colza, coco), 12%; frutas (banana, melancia, maçã, laranja, uva), 10%; e 9% para raízes e tubérculos (batata, mandioca, batata-doce, inhame, cará). Como pode ser observado, a alimentação humana depende de um número reduzido de culturas agrícolas, considerando-se ainda que a produção de carnes, lácteos e ovos depende do cultivo de pastagens e forrageiras, além de soja e milho utilizadas como insumo básico de rações animais.

A segurança alimentar global é constantemente desafiada por eventos de difícil previsão e com graves consequências (“cisnes negros”), como pandemias, desastres naturais e guerras, por exemplo. A Rússia e a Ucrânia eram responsáveis por cerca de 40% do trigo consumido na África antes do início do conflito, em 2022. Em 2019, a Ucrânia respondeu por 42% das exportações globais de óleo de girassol, 16% do milho, 10% da cevada e 9% do trigo. Os maiores importadores de produtos agrícolas ucranianos eram Egito, Indonésia, Bangladesh, Turquia e Iêmen (BBC NEWS BRASIL 2023). O recente conflito entre Israel e Hamas teve grandes consequências na logística mundial, com notáveis interrupções tanto nas operações portuárias quanto no tráfego aéreo da região, além de causar aumento no preço do petróleo no mercado mundial, com repercussões imediatas nos custos de fertilizantes, diesel e fretes, com grande impacto na agricultura global.

A importância das culturas agrícolas que não se enquadram no conceito de *commodities* para a segurança alimentar é subestimada e até mesmo negligenciada. Grande parte da humanidade (população estimada em 2023: Índia, 1,428 bilhão de pessoas; China, 1,425 bilhão; África, 1,340 bilhão) depende muito dessas culturas agrícolas. Entretanto, ainda persiste um grande desbalanço no investimento em pesquisa e desenvolvimento para culturas agrícolas de importância local ou regional em comparação com as *commodities*, com alto risco da ocorrência de problemas em sua produção, inclusive pela incidência de pragas e doenças.

Neste contexto, as doenças de plantas podem representar uma ameaça de grandes proporções para populações vulneráveis de regiões que dependem da agricultura local e de subsistência, como ocorre em vastas áreas da África, Ásia e América Latina. As principais culturas agrícolas de importância para a segurança alimentar na África incluem milho, mandioca, arroz, sorgo, milheto, amendoim, feijões, bananas, hortaliças e outras plantas tradicionais menos conhecidas fora do continente. Na Ásia, leguminosas, como grão de bico e lentilha, e vários tipos de hortaliças e frutas são de grande importância para a segurança alimentar porque estão adaptadas às condições locais, incluindo-se cerca de

⅓ da população indiana que segue dieta vegetariana por motivos religiosos.

A participação brasileira na segurança alimentar

O economista Celso Furtado descreveu os principais ciclos econômicos do Brasil como pau-brasil (1500-1530), cana de açúcar (séc. XVII e XVIII), ouro (séc. XVII e XVIII), café (séc. XIX) e borracha (1890-1920). Destes ciclos, somente o do ouro não está relacionado à plantas ou agricultura. Do ponto de vista econômico, a dependência da exportação de poucas *commodities* representa uma alta vulnerabilidade à volatilidade dos mercados internacionais e instabilidade macroeconômica. A concentração da produção brasileira em poucas culturas agrícolas de exportação representa um grande risco porque exige medidas sanitárias eficientes e monitoramento constante para evitar a introdução de novos patógenos e pragas.

Na atualidade, o agronegócio é um dos principais motores da economia do País, representando cerca de 25% do PIB nacional. Os principais produtos agrícolas exportados pelo Brasil são soja, milho, café, açúcar, suco de laranja, carne bovina, carne de frango, algodão, suco de laranja, celulose e tabaco (JANK et al. 2023). Estas *commodities* representaram 29,96% (2022) e 30,71% (2023) do total das exportações brasileiras, enquanto todos os demais produtos agrícolas responderam por 5,85% em 2022 e 6,43% em 2023 (MAPA 2023). Destes dez produtos, apenas três (algodão, celulose e tabaco) não são alimentos (Tabela 2).

No primeiro semestre de 2024, o agronegócio brasileiro exportou a quantia recorde de US$ 82,39 bilhões, o segundo maior da nossa história. Somados, esses setores foram responsáveis por 82,8% das vendas externas do agronegócio brasileiro, sendo a soja o principal produto, com cerca de 40,7% do total, seguido pelo milho, açúcar, carnes bovina e de frango, café, e suco de laranja.

O Brasil é um produtor líquido de alimentos, ou seja, produz mais do que consome e exporta o excedente. Entretanto, a grande dependência da exportação de poucos produtos é um grande risco para a agricultura brasileira. Apesar de ser um grande produtor e exportador agrícola, o País também depende de importações para suprir seu mercado interno em alguns produtos, como trigo, malte e cevada para a fabricação de cervejas, azeite de oliva e óleo de dendê. Além disso, a produção interna de algumas frutas e hortaliças não é suficiente para atender a demanda nacional, seja por questões climáticas, sazonais ou de competitividade no mercado internacional.

A segurança alimentar no Brasil melhorou substancialmente após a década de 1970, com a expansão da fronteira agrícola e a modernização da agricultura. Com exceção de alguns produtos, como trigo e feijão, o País é praticamente autossuficiente na produção dos principais alimentos. Além disso, o abastecimento interno também é beneficiado pela produção de excedentes de *commodities* e de carnes. A produção de soja e milho no Brasil desempenha um papel crucial na produção e exportação de

Tabela 2 - Volume (milhões de toneladas) e valor (US$ bilhões) das principais commodities agrícolas exportadas pelo Brasil (MAPA 2023; JANK et al. 2023).

Produto	Volume (milhões de ton.)		Valor (bilhões de USD)	
	2022	2023	2022	2023
Soja	77,7	86,1	43,3	46,2
Milho	45,0	48,9	10,2	11,4
Café*	2,1*	2,2*	6,7	7,4
Açúcar	27,7	29,8	8,4	9,2
Carne bovina	2,4	2,5	8,2	8,6
Carne de frango	4,1	4,2	7,7	8,1
Suco de laranja	1,0	1,1	2,3	2,5
Valor Total			335	350

* Café: milhões de sacas de 60 kg.

carnes porque são essenciais na formulação de rações para a alimentação animal, especialmente para aves, suínos e bovinos.

Por outro lado, os agricultores familiares desempenham um papel fundamental na segurança alimentar do País, produzindo uma variedade de produtos essenciais para a dieta da população, principalmente produtos tradicionais e regionais. Os agricultores familiares também se dedicam à produção de café e à criação de animais, como vacas leiteiras, suínos, caprinos e aves, que fornecem diversas fontes de proteína, como carnes, ovos e leite. De um modo geral, tendem a manter cultivos agrícolas mais diversificados, como frutas e hortaliças.

Assim, o papel do Brasil na segurança alimentar global é relevante, embora muito concentrado na produção de soja, milho, açúcar, café, suco de laranja e carnes, o que torna o País vulnerável às oscilações e volatilidade dos mercados internacionais, bem como sujeito aos efeitos negativos das mudanças climáticas na produção, inclusive na incidência de doenças.

Impacto das doenças de plantas na segurança alimentar global

O impacto das doenças das plantas na segurança alimentar global é muito significativo, considerando-se as perdas substanciais na produção agrícola e o seu efeito direto na disponibilidade e no acesso das populações aos alimentos. As doenças desestabilizam os mercados globais, resultando em escassez, volatilidade de preços e aumento da dependência de importações. Além disso, podem comprometer a qualidade dos alimentos, tornando-os inadequados para o consumo ou diminuindo seu valor nutricional.

Muito embora seja reconhecido que as doenças de plantas afetam o desempenho agronômico das lavouras, causando redução da produtividade e da qualidade do produto colhido, a extensão dos impactos nas cadeias agroalimentares e na segurança alimentar são mais implícitos do que explícitos. Segundo SAVARY (2020), a falta de visibilidade da relevância das doenças de plantas para a segurança alimentar deriva de falhas na quantificação das perdas e pelo fato de seus impactos serem generalizados e abrangentes, já que afetam toda a cadeia alimentar e todos os componentes da segurança alimentar.

O manejo adequado das doenças de plantas tem um papel fundamental na manutenção da produção agrícola e na segurança alimentar global. Por esta razão, a ONU declarou o ano de 2020 como o "Ano Internacional da Sanidade Vegetal", considerando-se a necessidade premente do aumento da produção de alimentos em face do crescimento da população mundial e as perdas causadas por pragas e doenças nas principais culturas agrícolas.

Alguns dos principais impactos das doenças de plantas na segurança alimentar incluem (a) redução da produção de alimentos causando perdas significativas em culturas essenciais, como arroz, trigo e milho; (b) aumento dos preços dos alimentos, tornando os alimentos menos acessíveis, especialmente para as populações mais vulneráveis; (c) maior dependência de insumos agrícolas, como pesticidas e fertilizantes; (d) ameaça à biodiversidade por meio da disseminação de doenças em novas áreas devido às mudanças climáticas; (e) impacto desproporcional das doenças de plantas em comunidades vulneráveis porque dependem da agricultura para sua subsistência.

Atualmente, a ocorrência de doenças das plantas é exacerbada por fatores como o comércio global, a uniformidade genética das hospedeiras e as mudanças climáticas (WILLOCQUET et al. 2022). Esses fatores criam condições favoráveis para a disseminação e estabelecimento de doenças das plantas, aumentando o risco para a segurança alimentar e nutricional. Além disso, as doenças das plantas também podem ter efeitos devastadores no meio ambiente. Por exemplo, a perda de certas espécies de plantas devido a enfermidades pode perturbar ecossistemas e levar ao declínio de polinizadores ou outros organismos benéficos que desempenham um papel crucial na produção agrícola. Portanto, abordar e mitigar as doenças das plantas é estratégico para preservar a disponibilidade e o acesso aos alimentos.

A publicação do artigo de revisão "*Plant disease: a threat to global security*" no "*Annual Review of Phytopathology*" é um marco temporal relevante neste tema por estabelecer conexão clara de como a fitopatologia é uma ciência relevante para a agricultura, em particular para aquelas culturas agrícolas importantes como alimentos (STRANGE & SCOTT 2005). Neste artigo, são listadas quatorze culturas agrícolas (soja, milho, arroz, trigo, cevada, centeio, aveia, sorgo, mandioca, inhame, batata, bata-

ta-doce, milheto, *Eragrotis tef*) consideradas como fundamentais para a segurança alimentar global e suas principais doenças. É chamada a atenção para aquelas culturas que são menos conhecidas ou cultivadas em áreas menores, mas que desempenham um papel fundamental na segurança alimentar e nutrição em regiões específicas, como Ásia e África.

Nas últimas duas décadas, vários artigos científicos, revisões, editoriais e livros foram publicados relacionando diretamente o impacto das doenças de plantas na segurança alimentar e nutricional, com distintos enfoques acadêmicos. Os artigos de STRANGE & SCOTT (2005) e FLOOD (2010) destacam a importância e a contribuição significativa de algumas culturas agrícolas para a alimentação mundial e o potencial efeito negativo das doenças na sua disponibilidade. A partir de 2010, os artigos começaram a explorar outras vertentes do tema, como a ameaça potencial de pandemias ocasionadas por doenças emergentes e suas implicações biológicas e econômicas (VURRO et al. 2010; FONES et al. 2020); a análise das perdas e o efeito nos componentes da segurança alimentar (ESKER et al. 2012; SAVARY et al. 2012; SAVARY et al. 2017); a aplicação de modelos matemáticos para prever os possíveis impactos de doenças na segurança alimentar global (SAVARY & WILLOCQUET 2020), além de possíveis estratégias globais para mitigar o problema (NELSON 2020; RISTAINO et al. 2021).

Os impactos das mudanças climáticas na incidência de doenças em sistemas agrícolas e ecossistemas naturais também é outra área de grande interesse da pesquisa na atualidade, principalmente com sua conexão com a segurança alimentar.

As contribuições de Serge Savary

O epidemiologista francês Serge Savary é provavelmente o pesquisador que mais tem estudado a relação entre doenças de plantas e segurança alimentar global nos últimos anos, com uma extensa lista de contribuições relevantes e inovadoras (ver referências bibliográficas). Seu trabalho como fitopatologista inclui artigos em epidemiologia, com o desenvolvimento de modelagem de doenças; quantificação e modelagem de perdas causadas por doenças em culturas agrícolas; análise do impacto de doenças na segurança alimentar global; ampliação do escopo dos componentes de segurança alimentar; manejo integrado de pragas e doenças; o papel da pesquisa agrícola internacional no enfrentamento dos efeitos das mudanças globais e climáticas nas doenças das plantas em países em desenvolvimento, entre outros.

Atualmente, Serge Savary tem um papel significativo na liderança do GPHA, um grande grupo formado por cientistas voluntários de todo mundo com o objetivo comum de avaliar o estado da sanidade vegetal nas diversas ecorregiões do mundo e os impactos das doenças de plantas nos serviços ecossistêmicos. Além disso, atua também como Editor Chefe do periódico *Food Security*, onde contribui com sua expertise em fitopatologia e segurança alimentar.

Um dos trabalhos pioneiros do Dr. Savary e de colaboradores trata da quantificação e modelagem de perdas qualitativas e quantitativas causadas por doenças e as perdas econômicas (SAVARY et al. 2006). A partir da discussão sobre os conceitos e dimensões de perdas causadas por doenças de plantas, iniciada com a cultura do arroz, alimento essencial para milhões de pessoas na Ásia, uma série de estudos foram publicados relacionando epidemias com segurança alimentar, alguns destes citados ao longo desta revisão.

Em um destes artigos que trata diretamente do assunto em tela, SAVARY et al. (2012) discutem a questão das estimativas de perdas causadas por doenças e suas implicações para a produção global de alimentos e segurança alimentar, tratando da necessidade premente de novos conceitos e métodos para a priorização de pesquisas. A avaliação de perdas é o primeiro passo necessário para o desenvolvimento de ferramentas de gestão que beneficiarão as sociedades, os ambientes, os consumidores e os agricultores de forma mais eficaz. São discutidos conceitos relacionados à avaliação de perdas e detalhados alguns componentes metodológicos para a sua implementação e incorporação em uma perspectiva sistêmica, que vai muito além do caminho convencional de observação, experimentação e modelagem.

Em um artigo publicado no periódico *Food Security*, Savary e uma equipe de 19 co autores ressaltam a importância dos patógenos de plantas como potenciais responsáveis pela redução do desempenho do potencial genético das culturas agrícolas, com impactos na sustentabilidade dos sistemas sob os pontos de vista ecológico, agronômico, social e econômico, e como estes afetam a seguran-

ça alimentar (SAVARY et al. 2017). Para tanto, é proposta uma estrutura matricial dos componentes de segurança alimentar (disponibilidade, acesso, estabilidade, utilização) *versus* os atributos de situações da produção, como tipo epidemiológico da doença, natureza da cultura afetada (alimentar, não alimentar), estrutura da propriedade rural (subsistência, comercial) e estrutura do mercado (pouco organizado/local, organizado/globalizado) e assim avaliar os impactos de epidemias de doenças crônicas, agudas e emergentes na segurança alimentar.

Como as doenças afetam os componentes da SAN

As doenças de plantas afetam direta ou indiretamente os quatro componentes da segurança alimentar e nutricional (disponibilidade, acesso, estabilidade, utilização), descritos anteriormente (VAN DER GRAAFF & KHOURY 2010; SAVARY 2020). O efeito mais visível e palpável das enfermidades é na disponibilidade dos alimentos, considerando-se que as doenças podem causar reduções drásticas na produtividade das culturas agrícolas e até mesmo a perda total de colheitas. Patógenos nativos e/ou endógenos, e ainda a introdução, o estabelecimento e dispersão de novos patógenos, podem resultar em doenças emergentes e a consequente redução da produção primária de culturas alimentares. A conexão entre a produção, importação de alimentos por meio do comércio internacional e formação de estoques reguladores por alguns países cuja produção local é insuficiente é um fator crítico da segurança alimentar.

Além do impacto direto das doenças de plantas na produção agrícola e, consequentemente, na disponibilidade de alimentos, existem vários outros fatores relacionados aos outros componentes da segurança alimentar. O acesso aos alimentos, por exemplo, depende da existência de estruturas físicas que permitam o transporte, como rodovias, ferrovias e portos, e do estabelecimento e estruturação de cadeias de suprimentos. O acesso aos alimentos para grande parte da população mundial depende da renda de seu trabalho e em países menos desenvolvidos, grande parte da renda familiar é gasta em alimentos (SAVARY 2020). A estabilidade depende da preservação da capacidade produtiva das culturas agrícolas e da continuidade das cadeias de suprimento de alimentos. Já na questão da utilização, os alimentos devem ser seguros do ponto de vista microbiológico e nutritivos, fornecendo a quantidade diária necessária de calorias, vitaminas e minerais. Para proteger a saúde da população, os governos impõem limites máximos de resíduos de pesticidas e de micotoxinas nos alimentos. A implementação destas medidas tem efeitos diretos no comércio nacional e internacional dos alimentos (VAN DER GRAAFF & KHOURY 2010; SAVARY 2020).

RISTAINO et al. (2021) apresentaram exemplos de como doenças podem afetar os quatro componentes essenciais da segurança alimentar (disponibilidade, acesso, utilização e estabilidade) descrevendo suas consequências agronômicas, econômicas e sociais (Tabela 3). O estudo é interessante por exemplificar desde danos diretos à produção até aspectos mais sutis e menos percebidos, como o caso de micotoxinas (utilização) e da ferrugem do cafeeiro (estabilidade).

SAVARY et al. (2017) aprofundaram a discussão de como as doenças de plantas podem afetar os componentes da segurança alimentar por meio da expansão dos conceitos e do escopo dos quatro componentes sugeridos pela FAO. Os autores consideraram seis componentes da segurança alimentar (produção, estoques, acesso físico, acesso econômico, estabilidade, valor nutricional), e apresentam os respectivos impactos de seis doenças nestes componentes (requeima - *Phytophthora infestans* em batata; ferrugem do colmo - *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* em trigo; giberela - *Fusarium graminearum* em milho; falso carvão - *Ustilaginoidea virens* em arroz; mancha parda - *Cochliobolus miyabeanus* em arroz; ferrugem - *Hemileia vastratrix* em cafeeiro). Considerando-se o número de componentes e a possibilidade de interações, é proposto um sistema de modelagem para avaliar o funcionamento das cadeias agroalimentares expostas aos riscos da ocorrência de doenças.

Exemplos brasileiros

Existem vários exemplos de como a ocorrência de doenças em algumas culturas agrícolas podem impactar os quatro componentes da segurança alimentar no Brasil. Além das principais culturas de exportação, como soja, milho, café e cana de açúcar, perdas ocasionadas por patógenos em outras plantas utilizadas como alimentos ou ingredientes para processamento podem ter graves consequências econômicas e sociais em nosso País.

Tabela 3. Impacto de doenças de plantas emergentes nos componentes da segurança alimentar global (RISTAINO et al. 2021).

Componente	Definição	Exemplo de doença de plantas	Consequências
Disponibilidade	Existência de alimento em determinado local e período de tempo	*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raça Tropical 4 (TR4)	O cultivo de bananas do Grupo Cavendish, uma fonte elementar de alimentos para pequenos produtores, está ameaçado pela raça TR4 de *F. oxysporum* f. sp. *cubense* que migrou do sudeste asiático para Moçambique. A doença pode eliminar a produção de banana em certas regiões do mundo
Acesso	Habilidade de um indivíduo ou grupo de conseguir acesso ao alimento	Mosaico da mandioca causado pelo vírus CMV na África (EACMV-IUG2)	Uma estirpe de CMV causou grandes perdas e plantações de mandioca foram abandonadas na África subsaariana. Foram relatadas falta de alimentos e mortes por fome em Uganda devido à dependência da cultura da mandioca
Utilização	Habilidade de usar e obter nutrição de alimentos (inclui valor nutricional e assimilação de nutrientes)	Micotoxinas em milho causadas por *Aspergillus flavus* e espécies de *Fusarium*	Cerca de 87% dos moinhos de milho da região leste do Quênia apresentaram acima do limite legal de fumosina. O consumo de subprodutos à base de milho contaminado com fumosinas afeta seu valor nutricional, além de ser carcinogênico
Estabilidade	Ausência de flutuação significativa na disponibilidade, acesso e utilização	Ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*)	A produtividade do café foi reduzida entre 16% e 31% nas Américas Central e do Sul. O baixo preço do café e a falta de insumos adequados, como fungicidas e variedades resistentes, exacerbaram os efeitos da doença. Pequenos produtores perderam renda para adquirir alimentos e a estabilidade do produto na região foi ameaçada

Disponibilidade

O impacto do *greening* dos citros (HLB) sobre a disponibilidade de suco concentrado de laranja no Brasil tem sido extremamente significativo. Esta doença, causada pela bactéria *Candidatus* Liberibacter, afeta gravemente as laranjeiras, ocasionando frutos deformados e amargos que reduzem tanto a qualidade quanto o volume de suco produzido. Com o avanço do HLB, as plantações de laranja no Brasil, o maior produtor e exportador de suco concentrado de laranja do mundo, têm sofrido grandes perdas. As áreas afetadas têm diminuído a produção, com aumento nos custos de controle da doença, resultando em uma oferta reduzida do produto. Esse cenário tem impulsionado o aumento dos preços no mercado global, criando desafios para a indústria de alimentos e bebidas, que enfrenta uma oferta mais limitada e custos mais altos. A crise do *greening* também levou a uma maior volatilidade nos preços e à necessidade de buscar soluções alternativas para manter a estabilidade no fornecimento de suco de laranja.

Acesso

Assim como ocorre na África, onde a mandioca é um elemento fundamental na dieta de milhões de pessoas, esta planta de origem brasileira também é importante na nossa alimentação, sendo consumida em todo o País nas mais diversas formas e preparos. Em 2023, foi noticiado na imprensa brasileira que 66 aldeias indígenas com cerca de 10 mil pessoas no município de Oiapoque, extremo norte do Amapá, estavam em situação de insegurança alimentar e vulnerabilidade social devido a uma doença que devastou 80% das lavouras de mandioca, com a qual produzem farinha, tapioca, goma e tucupi, sendo as principais fontes de renda e base da alimentação desses povos. Em 2024, o agente causal da "vassoura de bruxa da mandioca" foi identificado como *Rhizoctonia theobromae* (*Ceratobasidium theobromae*) pelo Ministério da Agricultura, sendo o primeiro registro desta praga quarentenária no País (MAPA 2024a).

Utilização

Globalmente, estima-se que 25% a 50% dos produtos agrícolas estão contaminados de alguma maneira com micotoxinas. No Brasil, o risco de contaminação por micotoxinas em produtos agrícolas é uma preocupação constante devido às condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento de fungos produtores dessas toxinas, como umidade e temperaturas elevadas. As micotoxinas, substâncias tóxicas produzidas por fungos como *Aspergillus, Penicillium* e *Fusarium*, podem contaminar uma ampla variedade de culturas, incluindo milho, trigo, cevada, café, cacau e amendoim. A presença dessas toxinas não só afeta a qualidade e a segurança dos alimentos, mas também pode representar riscos significativos à saúde humana e animal, causando doenças e até mesmo câncer. Além disso, a contaminação por micotoxinas pode resultar em perdas econômicas substanciais para os agricultores devido à redução do valor comercial das colheitas afetadas e à necessidade de implementar medidas de controle e prevenção. As exportações brasileiras de produtos agrícolas também podem ser impactadas, pois os níveis de micotoxinas são rigorosamente regulados pelos mercados internacionais, podendo levar à rejeição de cargas contaminadas.

Estabilidade

A introdução da "vassoura-de-bruxa" (*Moniliophthora perniciosa*) na Bahia em 1989 teve impactos econômicos e sociais devastadores, especialmente na região cacaueira. A produção de cacau caiu drasticamente, com a Bahia, que era a maior produtora do Brasil e uma das maiores do mundo, reduzindo sua produção para menos da metade. As perdas econômicas somaram bilhões de reais, levando muitos produtores à falência e forçando o Brasil a importar cacau. Os custos de produção aumentaram devido à necessidade de medidas intensivas de controle da doença. Socialmente, houve desemprego em massa e migração de trabalhadores rurais para áreas urbanas, contribuindo para o crescimento da pobreza urbana. A economia local das cidades e vilarejos dependentes da produção de cacau foi severamente afetada, resultando em declínio econômico geral e alterações na estrutura social das comunidades cacaueiras.

As doenças de plantas também podem impactar significativamente os novos componentes propostos para o conceito de segurança alimentar, a capacidade de atuação ou autonomia e a sustentabilidade (CLAPP et al. 2022). Os principais efeitos das doenças de plantas no componente "autonomia" incluem a diminuição da capacidade dos agricultores de exercer escolhas conscientes e fundamentadas sobre suas práticas de cultivo. A ocorrência de doenças pode levar a uma dependência maior de insumos químicos, limitando a adoção de práticas agrícolas sustentáveis e o empoderamento das comunidades locais. Além disso, os agricultores, especialmente os de menor escala, podem ter dificuldades em acessar informações e recursos para controlar essas doenças, o que reduz sua autonomia e capacidade de adaptação. Essa situação pode resultar em uma diminuição da diversidade cultural e do conhecimento local sobre manejo, prejudicando ainda mais a segurança alimentar e a resiliência dos sistemas agrícolas.

Este e outros exemplos demonstram que as doenças de plantas exercem um impacto substancial na geopolítica dos alimentos e na segurança alimentar global. Epidemias causadas por doenças têm o poder de desestabilizar economias e criar desafios políticos que vão além das fronteiras geográficas e afetam diversas esferas econômicas e sociais, muito além da agricultura. Os mesmos efeitos também podem ser aplicados para situações de comunidades e microrregiões, onde as populações estão muito mais vulneráveis e sem recursos para a solução dos problemas.

Epidemias de doenças de plantas no Brasil

De um modo geral, existe uma escassez de publicações sobre a história da fitopatologia no Brasil e, consequentemente, faltam estudos mais aprofundados sobre o histórico das epidemias de doenças em culturas agrícolas e seus impactos econômicos, sociais e ambientais (COSTA 1975; CUPERTINO 1993; BERGAMIN & KIMATI 1995; MOURA 2010). Existem muitos relatos de primeira ocorrência de diversas doenças, muitas vezes na forma de resumos ou notas científicas, com problemas ou dúvidas na identificação do agente causador, dificultando o reconhecimento adequado da relevância da doença e de seus impactos.

A falta de fitopatologistas treinados e de laboratórios foi durante muito tempo um sério entrave para o reconhecimento dos agentes causais de

doenças e, consequentemente, da aplicação de medidas efetivas de manejo e controle. A partir da década de 1970, com a expansão da fronteira agrícola e o desenvolvimento da agricultura brasileira, houve um progresso notável na pesquisa e no ensino de Fitopatologia, com a criação de vários programas de pós-graduação. A situação atual, de grande produtor agrícola global, é um reflexo da eficiência do ensino e da pesquisa na área. Entretanto, a ameaça de epidemias e novas doenças é constante devido às mudanças climáticas e a grande concentração de monocultivos no Brasil.

As epidemias mais importantes e devastadoras relatadas no Brasil estão listadas em ordem cronológica na Tabela 4. Nesta relação, as principais culturas mencionadas são os citros (oito doenças), e cana de açúcar e soja, com três doenças cada; as demais são café, dendê, seringueira, cacau, milho, sorgo e banana (BERGAMIN & KIMATI 1995; CAMARGO 2014). Grande parte dos registros de epidemias de doenças de plantas são em produtos de exportação de grande importância à época, como por exemplo, o mal das folhas da seringueira em 1934 no Pará; a tristeza dos citros em 1938 e o cancro cítrico em 1957 em São Paulo; a ferrugem do cafeeiro em 1970 em São Paulo; a vassoura de bruxa em cacaueiro em 1989 na Bahia; a ferrugem da soja em 2000 no Paraná e o *greening* dos citros em 2004 em São Paulo (Tabela 4).

As epidemias mais recentes, como a ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), a vassoura-de-bruxa do cacaueiro (*Moniliophthora perniciosa*) e o *greening* (HLB) dos citros (*Candidatus* Liberibacter spp.), por exemplo, estão melhor documentadas em termos dos efeitos sobre a produção e seus impactos sociais, econômicos e ambientais. Atualmente, o HLB voltou a ser um grave problema no estado de São Paulo por uma série de fatores, como disseminação e falta de controle do psilídeo vetor da bactéria, desafios na erradicação de plantas doentes, falta de adesão às campanhas de controle, efetividade das ações de fiscalização, entre outras.

Certamente devem existir outras epidemias importantes no passado não relatadas ou reconhecidas como sendo doenças a causa das perdas, especialmente aquelas em culturas agrícolas de menor expressão econômica. Um bom exemplo é o relato da produção e exportação de trigo no Rio Grande do Sul entre 1804 e 1808, iniciada por imigrantes açorianos. A partir de 1811 a ferrugem inviabilizou a produção, em 1822 a exportação caiu pela metade, e em 1823 os agricultores não tinham mais sementes disponíveis, dependendo da importação do cereal (VITAL 2018).

O resgate histórico da ocorrência de epidemias em plantas é crucial por várias razões que impactam tanto a agricultura quanto a segurança alimentar e a biodiversidade. O estudo das epidemias passadas permite entender como as doenças de plantas se disseminam e quais fatores contribuem para sua severidade, incluindo a reação de resistência de diferentes cultivares e a influência de condições ambientais e práticas agrícolas na ocorrência de epidemias. O conhecimento acumulado sobre patógenos específicos e suas interações com as plantas hospedeiras ajuda a formular métodos de controle mais eficazes e sustentáveis, reduzindo a dependência de defensivos químicos, assim como servir de alerta para a possibilidade de ocorrência de novas epidemias no futuro.

Devido ao grande impacto econômico, social e ambiental das doenças de plantas, a documentação adequada das epidemias permite a formulação de políticas públicas e estratégias de mitigação para proteger a agricultura e os meios de subsistência dos agricultores, especialmente em regiões vulneráveis.

A Amazônia

A região amazônica pode ilustrar bem as questões relacionadas à incidência de doenças e de segurança alimentar em culturas agrícolas de importância regional. Nesta região, a agricultura e o abastecimento de alimentos continuam sendo um desafio constante considerando-se a extensão territorial, a diversidade geográfica e populacional e as demais particularidades do bioma. As populações locais dependem muito da sua própria capacidade de cultivar espécies adaptadas à região, de alimentos tradicionais, além da pesca, caça e coleta. Cerca de 60% da Amazônia situa-se no território brasileiro, com fronteiras com Colômbia, Venezuela, Peru, Bolívia, Suriname, Guiana e Guiana Francesa, um grande problema em termos de quarentena considerando-se os fluxos migratórios, garimpo ilegal, tráfico de drogas e o comércio irregular de mercadorias. Já existem dois casos comprovados da introdução de pragas e doenças na região, como *Fusarium oxyspo-*

Tabela 4 - Relação cronológica da ocorrência de epidemias de doenças de plantas no Brasil (BERGAMIN FILHO & KIMATI 1995; CAMARGO 2014).

Ano	Nome Comum da Epidemia	Agente Causal	Planta Hospedeira
1915	Mal-do-Panamá	*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*	Bananeira
1922	Mosaico da cana-de-açúcar	Sugarcane mosaic virus (SCMV)	Cana-de-açúcar
1934	Mal das folhas da seringueira	*Pseudocercospora ulei*	Seringueira
1938	Tristeza dos citros	Citrus tristeza virus (CTV)	Citros
1957	Cancro cítrico	*Xanthomonas citri* subsp. *citri*	Citros
1970	Ferrugem do cafeeiro	*Hemileia vastatrix*	Cafeeiro
1981	Carvão da cana-de-açúcar	*Ustilago scitaminea*	Cana-de-açúcar
1983	Amarelecimento fatal do dendezeiro	Etiologia indeterminada	Dendezeiro
1986	Ferrugem marrom da cana-de-açúcar	*Puccinia melanocephala*	Cana-de-açúcar
1987	Clorose variegada dos citros	Citrus variegated chlorosis (CVC)	Citros
1989	Vassoura-de-bruxa do cacaueiro	*Moniliophthora perniciosa*	Cacaueiro
1990	Enfezamento do milho	Fitoplasma	Milho
1991	Nematóide do cisto da soja	*Heterodera glycines*	Soja
1992	Pinta preta dos citros	*Guignardia citricarpa*	Citros
1993	Cancro da haste da soja	*Diaporthe aspalathi*	Soja
1995	Doença açucarada do sorgo	Sugarcane mosaic virus (SCMV)	Sorgo
1996	Cancro cítrico (após 1996)	*Xanthomonas citri* subsp. *citri*	Citros
1998	Sigatoka negra	*Mycosphaerella fijiensis*	Bananeira
1999	Morte súbita dos citros	Complexo de causas	Citros
2000	Ferrugem da soja	*Phakopsora pachyrhizi*	Soja
2004	*Greening* dos citros (HLB)	*Candidatus* Liberibacter spp.	Citros
2009	Ferrugem alaranjada da cana	*Puccinia kuehnii*	Cana-de-açúcar

rum em bananeira e a mosca-da-carambola (*Bactrocera carambolae*) (EMBRAPA 2023).

O trabalho de HALFELD-VIEIRA et al. (2022) sobre as ameaças da introdução de pragas quarentenárias em Roraima, estado que tem fronteiras com a Venezuela e a Guiana, ilustra de forma inequívoca a vulnerabilidade da agricultura na região. Os autores ressaltam que "*no estado de Roraima, as pragas quarentenárias já introduzidas causam considerável prejuízo à agricultura local, muitas vezes impactando pequenos produtores cuja única fonte de renda é a atividade agrícola*". É exatamente o problema dos indígenas do Amapá, que dependem da cultura da mandioca e estão sendo assistidos emergencialmente com cestas básicas por tempo indeterminado até que haja uma solução técnica para reduzir os impactos negativos da doença e seja possível novamente retomar a produção.

A constante ameaça das pragas quarentenárias

Pragas quarentenárias são organismos de importância econômica potencial para determinada área geográfica onde ainda não estão presentes, ou, quando presentes, não se encontram amplamente distribuídas. Estas pragas incluem insetos, ácaros, nematóides, fungos, bactérias, fitoplasmas, vírus, viroides, plantas infestantes e parasitas. De modo geral, a introdução de pragas quarentenárias em uma região pode causar graves impactos sociais, ecológicos e econômicos. Entre os potenciais problemas decorrentes estão redução na produção; perda de mercados ou aumento dos custos de exportação devido à imposição de barreiras fitossanitárias (domésticas e internacionais); aumento dos gastos com

medidas de controle; impacto sobre os programas de manejo integrado; contaminação ambiental e de alimentos pelo aumento na aplicação de agrotóxicos; desemprego pela eliminação ou diminuição de certos cultivos agrícolas em uma região; comprometimento de fontes de alimentos importantes para a população; perda de biodiversidade; e gastos com programas de controle oficial ou medidas de contenção (EMBRAPA 2023).

PAINI et al. (2016) executaram uma análise do risco da introdução de 1.300 pragas e patógenos de plantas em 124 países considerando a distribuição global de pragas, o fluxo de comércio internacional e a produção agrícola de cada país para determinar o potencial de invasão e o impacto das espécies invasivas. Os países da África subsaariana foram considerados os mais vulneráveis, e a China e os Estados Unidos como os países que representam maior ameaça sanitária global devido ao grande número de pragas e patógenos já registrados em seus territórios e ao grande volume do seu comércio internacional agrícola. Os autores ressaltam a importância da cooperação internacional para retardar a disseminação de pragas.

A lista de pragas quarentenárias no Brasil é estabelecida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) desde 2007. Esta lista conta com 12 espécies presentes em território nacional e mais de 500 espécies ou gêneros considerados como pragas ausentes, sendo a última atualização feita em 2020 (MAPA 2024b). Dessas, dezenas já foram reportadas em outros países da América do Sul e na região do Caribe, com grande probabilidade de entrada no Brasil. Cada praga apresenta riscos diferenciados, conforme suas características como forma de reprodução, sobrevivência, capacidade de dispersão, entre outras, e por estas razões são necessárias ações controle específicas (EMBRAPA 2023).

Alguns exemplos do efeito devastador da introdução de patógenos quarentenários causadores de doenças em plantas no Brasil são a vassoura-de-bruxa (*Moniliophthora perniciosa*) do cacaueiro, identificada em 1989 na Bahia; a ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) da soja, que causou 70% de perdas na produção em 2001; e o HLB ou *greening* dos citros (*Candidatus* Liberibacter spp.), registrado em 2004 e que atualmente voltou a ser um grave problema (EMBRAPA 2023).

O risco das doenças emergentes

As doenças de plantas influenciam muitos aspectos da segurança alimentar e uma gestão eficaz resultará tanto em uma melhoria na produção de culturas quanto na saúde humana. Ao contrário das doenças endêmicas que são conhecidas e controladas de forma corriqueira, as doenças emergentes representam um alto risco para a produtividade das lavouras. Neste contexto, é importante avaliar os impactos dessas doenças na produção de alimentos e na segurança alimentar, entender por que os patógenos de plantas emergem e recomendar uma agenda de pesquisa integrada que possa ser implementada por agências globais de ciência e desenvolvimento para ajudar na prevenção e no estabelecimento de estratégias de mitigação quando ocorrem surtos epidêmicos.

Até 2004, o conceito de doenças infecciosas emergentes (em inglês, *EID - Emerging Infectious Diseases*) era tradicionalmente utilizado para doenças humanas, animais de criação e de vida selvagem (ANDERSON et al. 2004). Neste artigo, os autores aplicaram os mesmos princípios do conceito de doenças emergentes para plantas considerando seu impacto negativo no bem estar das sociedades pelas perdas econômicas e na agricultura e também as consequências para a conservação da biodiversidade. São apresentadas listas de doenças emergentes em três grandes grupos de plantas, como alimentos globais básicos (trigo, batata, arroz e milho), culturas comerciais ("*cash crops*") e plantas selvagens. São apresentados e discutidos alguns exemplos de doenças consideradas como ameaças à agricultura e à biodiversidade, a origem e hospedeiro original do patógeno; plantas hospedeiras; registro temporal e geográfico da doença; fatores essenciais para a emergência da doença e seus impactos econômicos e sociais. Com base na análise de informações de doenças emergentes (período de 1996 a 2002) da plataforma ProMED foi possível identificar as causas mais significativas da emergência das enfermidades. Os autores identificaram como principais fatores causais a "*poluição de patógenos*", termo definido como *o movimento antropogênico de patógenos fora de seu círculo específico de hospedeiras ou área geográfica natural*, devido principalmente ao aumento do comércio global e viagens aéreas internacionais; mudanças climáticas e a ocorrência de eventos extremos; e mudanças nos sistemas agríco-

las, como intensificação, diversificação e globalização da produção agrícola.

SAVARY et al. (2011) propuseram um sistema de tipologia das enfermidades de plantas em um artigo sobre enfrentamento dos efeitos das mudanças climáticas nas doenças de plantas em países em desenvolvimento. Com base nos princípios de saúde pública, as doenças foram categorizadas em *crônicas, agudas* e *emergentes*, sendo *crônica* uma enfermidade que ocorre sistematicamente em grandes áreas, causando perdas regulares no desempenho dos sistemas agrícolas, incluindo redução na produtividade; *aguda*, enfermidade que ocorre irregularmente tanto temporal como espacialmente e que quando irrompe causa disrupção massiva no desempenho dos sistemas; e *emergente*, enfermidade cuja abrangência está se expandindo para novas áreas.

São consideradas como *emergentes* aquelas doenças de plantas que se enquadram nas seguintes condições: 1) aumentaram em incidência, no alcance geográfico ou na variedade de hospedeiros; 2) alteraram a patogênese; 3) evoluíram recentemente; ou 4) foram descobertas ou recém-reconhecidas (ANDERSON et al. 2004). Surtos de doenças de plantas emergentes afetam a segurança alimentar, a segurança nacional e a saúde humana, com sérias implicações econômicas para a agricultura. Estima-se que, nas próximas décadas, as doenças de plantas emergentes se tornarão mais frequentes e graves como consequência de alterações nas distribuições geográficas de pragas e patógenos em resposta às mudanças climáticas e ao aumento do comércio global.

Existem dois estudos que tratam dos impactos das mudanças climáticas nas doenças de plantas causadas por fungos e vírus. BEBBER & GURR (2015) demonstraram que as mudanças climáticas provocaram uma alteração global na distribuição de patógenos de plantas, sendo que os fungos são o grupo mais presente e que representa maior ameaça à segurança alimentar. Os autores indicam alguns pontos de ação e a necessidade de apoio à pesquisa e treinamento nos seguintes temas: (a) biologia do patógeno; (b) novos fungicidas; (c) detecção e monitoramento de patógenos; (d) melhoramento genético; (e) maior conscientização acerca da importância de doenças de plantas.

A rápida disseminação e agravamento das doenças virais em plantas em escala global foi abordada no artigo de JONES (2021). Diversos fatores contribuem para a expansão dessas doenças, como (i) o aumento do comércio internacional de plantas e produtos vegetais por empresas multinacionais; (ii) o surgimento acelerado de novas doenças virais devido ao deslocamento de plantas cultivadas para países ou continentes distantes, onde são cultivadas como monoculturas; e (iii) a crescente dificuldade no controle de pandemias e epidemias virais em plantas, resultante da instabilidade climática causada pelo aquecimento global.

As doenças emergentes impactam de forma diferenciada regiões menos desenvolvidas, por sua limitada capacidade de reação e também por falhas em sistemas de previsão. Para países africanos, a ocorrência de doenças emergentes impacta profundamente os sistemas agrícolas, representando uma ameaça à segurança alimentar e às economias dos países. VURRO et al. (2010) discutem quatro problemas sanitários para culturas consideradas como básicas no continente: "Cassava mosaic virus" em mandioca; a planta parasita *Striga hermonthica* em milho; a murcha bacteriana da bananeira, causada por *Xanthomonas*; e a raça *Ug99* de *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* em trigo. Muito embora a diagnose e as medidas de controle destas doenças tenham melhorado muito nas últimas décadas, as perdas e as consequências socioeconômicas continuam sendo subestimadas.

Em um artigo mais recente, SILESHI & GEBEYEHU (2021) listaram onze enfermidades das principais plantas alimentares do continente africano que, potencialmente, poderiam causar perdas na produção de mais de US$ 1,4 bilhão anualmente, com implicações nos sistemas alimentares locais e no preço de alimentos globalmente. Os principais fatores de risco envolvendo a ocorrência de doenças emergentes foram a evolução de patotipos hipervirulentos, a introdução de novas espécies invasoras, a intensificação e simplificação de agroecossistemas, as mudanças climáticas e as políticas de biossegurança. Recomendam maior ênfase em medidas de biossegurança, a diversificação dos ecossistemas agrícolas e manejo de vetores e hospedeiras alternativas como possíveis medidas para reduzir o impacto das doenças emergentes nos sistemas alimentares e economias locais.

Em 2019, a Academia Nacional de Ciências, Engenharia e Medicina estadunidense publicou uma

ambiciosa agenda de pesquisa agrícola no horizonte de 2030 que enfatiza a necessidade de tecnologias inovadoras para a detecção precoce e rápida e prevenção de doenças de plantas (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES 2019). Em 2020, a APS Press, a editora vinculada à *American Phytopathological Society* (APS) lançou um livro sobre as doenças de plantas emergentes e a segurança alimentar global, dividido em três seções, nas quais são abordados o contexto global atual, são apresentados seis estudos de caso do impacto de doenças emergentes e discutidos propostas da aplicação de métodos quantitativos para modelar a disseminação de patógenos (RISTAINO & RECORDS 2020).

Iniciativas globais em sanidade vegetal

Existem diversas iniciativas globais para mitigar os efeitos negativos das doenças emergentes e das epidemias em plantas na segurança alimentar global, coordenadas por organismos internacionais, sociedades científicas e grupos de cientistas.

A Convenção Internacional para a Proteção de Plantas ("*International Plant Protection Convention* - IPPC", em inglês) é um tratado internacional estabelecido para prevenir a introdução e dispersão de pragas e patógenos que representam riscos significativos para a agricultura global. A convenção foca especialmente em pragas e patógenos "quarentenários", ou seja, aqueles que são considerados de grande preocupação e que têm o potencial de causar danos econômicos significativos se introduzidos em novas áreas. Essas pragas e doenças podem incluir insetos, ácaros, nematóides, fungos, bactérias e vírus que atacam plantas cultivadas e selvagens. A IPPC tem uma estrutura para a cooperação internacional no controle e monitoramento de pragas e doenças de plantas, que inclui a troca de informações sobre o status fitossanitário, a elaboração de padrões e diretrizes para medidas fitossanitárias, e o estabelecimento de procedimentos para a certificação fitossanitária de produtos vegetais para o comércio internacional. A convenção conta com a participação de uma ampla gama de países ao redor do mundo. Cada país signatário compromete-se a implementar medidas para cumprir as disposições da IPPC em seu território, a fim de proteger sua agricultura e ecossistemas naturais (IPPC 2023).

No Brasil, os tratamentos fitossanitários quarentenários são determinados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e realizados por empresas credenciadas, com o objetivo de assegurar que os vegetais, partes de vegetais e seus produtos, bem como embalagens e suportes de madeira, encontram-se livres de pragas (MAPA 2024a; MAPA 2024b).

Um dos grandes desafios globais no enfrentamento das perdas causadas por pragas e patógenos é a falta de informações compartilhadas sobre a incidência e o consequente retardamento das respostas de forma coordenada. Uma interessante proposta para enfrentar este problema é o estabelecimento de um sistema global de vigilância ("*Global Surveillance System* - GSS", em inglês) para aplicar e adaptar práticas de biossegurança e de trabalho em redes, especialmente para auxiliar países menos desenvolvidos e com menor capacidade técnica de responder aos surtos de pragas e doenças emergentes (CARJAVAL-YEPES et al. 2019).

A capacidade de vigilância de doenças de plantas dos países pode ser agrupada em dois tipos básicos dependendo da infraestrutura existente: específica/ativa e geral/passiva. A primeira consiste em ter uma infraestrutura de laboratórios, pontos de inspeção de fronteiras, aduanas, inspeção de sementes e outros serviços de fitopatologia orientados para a prevenção da introdução e disseminação de pragas e doenças específicas. Já a vigilância geral ou passiva visa detectar e diagnosticar todas as pragas e doenças, não apenas aquelas regulamentadas pelo IPPC, e geralmente é realizada por uma rede de laboratórios de universidades, instituições públicas e empresas privadas que recebem amostras coletadas por extensionistas e outros profissionais a campo (CARVAJAL-YEPES et al. 2019; IPPC 2023).

O modelo de atuação em redes foi sugerido para todos os países por ocasião da Assembleia Geral da ONU em 2020, quando foi lançado o "Ano Internacional da Patologia de Plantas" para reforçar a importância do tema para a segurança alimentar global. Em 2023, o IPPC lançou um guia para o desenvolvimento de planos nacionais e regionais de contingência genéricos ou específicos para conter surtos de pragas quarentenárias com alta probabilidade de introdução como uma forma de fortalecer os sistemas de alerta de surtos epidêmicos e de resposta (IPPC 2023).

O CGIAR ("*Consultative Group on International Agricultural Research*") é uma organização glo-

bal que visa promover a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável por meio da pesquisa agrícola internacional colaborativa. Esta organização lançou a iniciativa "*Plant Health*" em 2022 com vistas a proteger as economias baseadas na agricultura de países de baixa e média renda da África, Ásia e América Latina contra surtos devastadores de pragas agrícolas e doenças. Ao concentrar esforços nessas regiões específicas, a iniciativa busca mitigar os impactos negativos que surtos de pragas e doenças podem ter nas comunidades agrícolas, na segurança alimentar e nas economias locais. Tais metas podem ser alcançadas por meio de várias estratégias, como o desenvolvimento e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis, a implementação de sistemas eficazes de vigilância e controle de pragas, e o fornecimento de recursos e capacitação para os agricultores nessas regiões. Essa iniciativa representa um esforço significativo para fortalecer a resiliência das comunidades agrícolas em países em desenvolvimento diante de desafios relacionados à saúde das plantas (CGIAR 2023).

A "*International Society for Plant Pathology* - ISPP", criada em 1968, tem sido muito ativa em organizar diversas iniciativas para enfrentar os desafios da patologia de plantas e da segurança alimentar global (ISPP 2023). No 7º Congresso Internacional de Patologia de Plantas, realizado em Edimburgo, Reino Unido, em 1998, foi realizada uma sessão especial sobre o papel da fitopatologia na segurança alimentar global, no qual o Dr. Norman Borlaug, vencedor do prêmio Nobel em 1970, lançou um desafio para os fitopatologistas. Neste mesmo ano, a ISPP formou uma força tarefa ("*ISSP Task Force on Global Food Security"*) para responder aos desafios identificados no congresso e o tema foi abordado nos congressos seguintes, realizados em Christchurch, Nova Zelândia (2003); Torino, Itália (2008); Pequim, China (2013); Boston, EUA (2018); e Lyon, França (2023).

No 11º Congresso Internacional de Patologia de Plantas realizado em 2018 em Boston, EUA, o nome do grupo foi alterado para "*ISSP Commission on Global Food Security*". Foram realizadas três sessões voltadas ao tema segurança alimentar, como doenças de plantas que ameaçam a segurança alimentar global, doenças emergentes e tecnologias inovadoras para monitorar doenças emergentes. O tema do 23º Congresso da ISPP realizado em agosto de 2023 em Lyon, França, foi "*ONE HEALTH for all plants, crops and trees*", reforçando a importância da fitopatologia para todas as espécies de plantas dentro do conceito de Saúde Única.

O "Global Plant Health Assessment - GPHA" é formado por um grupo de cientistas voluntários que reúnem e coletam dados e informações publicados em periódicos científicos sobre sanidade vegetal e o impacto de doenças nos serviços ecossistêmicos (GPHA, 2023). O Brasil participa do grupo por meio do Centro de Citricultura do IAC, a Universidade Federal de Viçosa e a Biotrigo Genética. A formação do grupo foi uma iniciativa da ISPP por ocasião das atividades relacionadas à comemoração do Ano Internacional da Saúde das Plantas, celebrado em 2020, com apoio da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD). Os estudos deste grupo têm como objetivo avaliar o estado da sanidade vegetal nas diversas ecorregiões do mundo e os impactos das doenças de plantas nos serviços ecossistêmicos e estão disponibilizados no sítio eletrônico da ISSP (WILLOCQUET et al. 2022; GPHA 2023; ISSP 2023) e também publicados recentemente na *Plant Disease* (SAVARY & GPHA 2023).

O GPHA considera os serviços ecossistêmicos gerados por esses sistemas de plantas e as consequências das doenças das plantas nos serviços de suprimento (alimentos, combustível, fibra, madeira), regulação (por exemplo, clima local, armazenamento de carbono, purificação da água, conservação do solo) e serviços culturais (por exemplo, recreativos, espirituais, valores históricos e papéis inspiradores e artísticos). A avaliação da saúde das plantas traz uma série de questões sobre as relações especiais entre os seres humanos e as plantas (doentes). As consequências das doenças nas plantas são multidimensionais e podem ter impacto significativo na produção de alimentos e, portanto, na segurança alimentar. O GPHA também destaca uma série de desafios, preocupações e possíveis linhas de pesquisa que incluem os sistemas florestais, invasões biológicas, manejo de doenças por métodos químicos e o papel de florestas urbanas (WILLOCQUET et al. 2022; GPHA 2023).

Os principais fatores que contribuem para a deterioração da saúde das plantas, conforme destacado na Avaliação Global da Saúde das Plantas (GPHA), incluem:

- Doenças infecciosas: as doenças causadas por patógenos, como vírus, bactérias, fungos, oo-

micetos e nematóides, são um dos principais desafios para a saúde das plantas;
- Mudanças climáticas: as mudanças climáticas afetam diretamente a saúde das plantas, alterando padrões de temperatura, precipitação e composição atmosférica, que podem favorecer a dispersão e a multiplicação de patógenos, exacerbando as doenças das plantas;
- Introdução de patógenos: introdução de patógenos, muitas vezes resultando em pandemias, agravadas pelo aumento das trocas globais e pela conectividade humana;
- Práticas agrícolas e de gestão: práticas de gestão agrícola, como o monocultivo e o uso excessivo de fertilizantes e pesticidas, podem reduzir a diversidade genética e biológica, tornando os sistemas agrícolas mais vulneráveis a doenças;
- Estresse abiótico: fatores abióticos, como seca, inundações e ondas de calor, podem debilitar as plantas, tornando-as mais suscetíveis a doenças;
- Interferências humanas: a urbanização, a expansão das infraestruturas e outras atividades humanas podem desestabilizar os ecossistemas naturais, aumentando a vulnerabilidade das plantas a doenças;
- Uso de pesticidas: o uso inadequado ou excessivo de pesticidas pode levar ao desenvolvimento de resistência dos patógenos, à contaminação ambiental e a problemas de saúde humana.

Esses fatores interagem de maneira complexa, contribuindo para a deterioração da saúde das plantas em várias partes do mundo. A GPHA enfatiza a necessidade de abordagens integradas e sustentáveis para melhorar a saúde das plantas e garantir a segurança alimentar global.

Outra iniciativa interessante é a proposta de um grupo de cientistas de uma agenda integrada de pesquisa que poderia mitigar futuras pandemias de doenças de plantas por meio da adoção da "Ciência da Convergência", a integração de conhecimentos, métodos e experiências de diferentes disciplinas para formar novas abordagens e assim catalisar descobertas científicas e inovações (RISTAINO et al. 2021). A proposta recomenda várias novas tecnologias e abordagens para monitorar e mitigar as doenças de plantas emergentes:
- Vigilância global e monitoramento de doenças: implementação de sistemas globais de monitoramento para detectar e relatar surtos de doenças de plantas e uso de dados de satélite e drones;
- Modelagem de risco e previsão de disseminação: utilização de modelos epidemiológicos para prever o risco de surtos de doenças e aplicação de análise de redes dinâmicas para estudar os principais *drivers* da movimentação de patógenos com o comércio internacional;
- Desenvolvimento de sensores para detecção de doenças: desenvolvimento de sensores moleculares para detecção rápida de patógenos e avanços na tecnologia de sensores *wearable* e *wireless* permitem a detecção contínua e remota de doenças, facilitando a vigilância em tempo real;
- Mineração de dados e análise de *big data*: utilização de tecnologias de mineração de dados para monitorar e mapear doenças em plantas e uso de dados históricos e arquivos para produzir relatórios de base sobre surtos de doenças, auxiliando o entendimento de padrões de disseminação e identificação de linhagens de patógenos;
- Serviços de extensão e assessoria digital para pequenos produtores: expansão de clínicas de doenças de plantas e serviços de vigilância digital para identificar e responder a surtos de doenças em tempo real;
- Rastreamento genômico e bioinformática: uso de sequenciamento de nova geração e análise genômica para rastrear a movimentação de patógenos e identificar linhagens de doenças e de ferramentas de bioinformática para elucidar a origem e a evolução de patógenos.

Os desafios globais da Fitopatologia

JEGER et al. (2021) discutiram os desafios multidisciplinares enfrentados pela fitopatologia no contexto da segurança alimentar e dos desafios ambientais, incluindo os seguintes temas:
- Manejo de doenças: a necessidade de estratégias de manejo de doenças mais eficazes, incluindo a agricultura de precisão, o uso de produtos químicos de proteção de plantas, a exploração da diversidade genética dos hos-

pedeiros e o desenvolvimento de novas técnicas de controle biológico;
- Desenvolvimento e uso de novos produtos químicos: o desafio de desenvolver e usar produtos químicos de proteção de plantas que tenham impacto mínimo no meio ambiente e na saúde, mas que sejam eficazes e duráveis;
- Exploração da diversidade genética dos hospedeiros: o desafio de melhor explorar a diversidade genética das plantas hospedeiras para desenvolver resistência a doenças, incluindo o uso de genética molecular e biotecnologia;
- Controle biológico e interações microbianas: a compreensão e o uso de interações microbianas benéficas para o controle de doenças, incluindo a manipulação do microbioma vegetal;
- Tecnologias de vigilância e detecção: o aprimoramento das tecnologias de vigilância e detecção para identificar e diagnosticar doenças, especialmente aquelas associadas a patógenos novos ou emergentes;
- Invasão de patógenos exóticos e reemergentes: o desafio de lidar com a introdução e disseminação de patógenos exóticos e a reemergência de patógenos existentes, o que requer uma melhor compreensão dos mecanismos de dispersão e sobrevivência dos patógenos;
- Impactos das mudanças climáticas: a necessidade de prever e mitigar os impactos das mudanças climáticas nas doenças das plantas, tanto em sistemas agrícolas quanto em ecossistemas naturais;
- Interações com outras disciplinas: a necessidade de uma maior integração da fitopatologia com outras ciências agrícolas e ecológicas, bem como com políticas e regulamentações nacionais e globais;
- Decisão de risco e análise de doença: o entendimento das atitudes de risco dos tomadores de decisão e como isso se relaciona com a efetividade dos sistemas de previsão de doenças;
- Engajamento social e participação dos *stakeholders*: a importância do engajamento social e da participação dos *stakeholders* na gestão e na tomada de decisões sobre a saúde das plantas.

Os principais desafios para a Fitopatologia para a próxima década foram identificados por meio de uma consulta aos associados da APS e publicados na *Phytopathology* (WANG et al. 2024). As áreas identificadas serão temas de publicações futuras no periódico e incluem 17 linhas de pesquisa, desde os efeitos das mudanças climáticas sobre as doenças até as aplicações de inteligência artificial em epidemiologia e manejo de doenças.

De um modo geral, nota-se que esses desafios exigem uma abordagem colaborativa e integrada que envolva múltiplas disciplinas, incluindo a biologia, a ecologia, a genética, a química, as ciências agrícolas e as ciências sociais, para garantir a segurança alimentar e proteger o meio ambiente.

Estratégias para a agricultura brasileira

O Brasil enfrenta alguns desafios para manter sua posição atual de grande produtor global de alimentos e garantir a segurança alimentar doméstica, incluindo o risco potencial da ocorrência de doenças e epidemias. As estratégias devem considerar o fortalecimento da defesa fitossanitária nacional, investimentos em pesquisa e inovação, e apoio a outros setores agrícolas além do agronegócio e da exportação de *commodities*, como a agricultura familiar.

A vastidão do território brasileiro, com extensas fronteiras, diversidade de ecossistemas e distâncias continentais, representa um desafio para a defesa fitossanitária, pois facilita a introdução e disseminação de novos patógenos de plantas através de material vegetal, sementes e embalagens contaminadas. A rápida mobilização de equipes de diagnóstico e ações de erradicação é dificultada pelas distâncias e infraestrutura precária em algumas regiões, exigindo esforços redobrados de vigilância, fiscalização e cooperação entre estados e municípios para prevenir e conter a introdução de pragas exóticas que possam afetar a produção agrícola e a biodiversidade do país.

A detecção precoce e a resposta rápida são cruciais, demandando investimentos em monitoramento e planos de contingência. Além disso, é necessário ter uma regulamentação fitossanitária robusta e harmonizada com padrões internacionais, aumentar a conscientização de produtores e viajantes sobre as ameaças de patógenos exóticos. O investimento em pesquisa e inovação para desenvol-

ver métodos de detecção e manejo, assim como a cooperação internacional com outros países e organizações, são essenciais para fortalecer a proteção fitossanitária do Brasil e mitigar os riscos associados à introdução de novos patógenos.

As doenças de plantas são uma constante ameaça à agricultura brasileira e, além de causar grandes impactos econômicos, afetam diretamente a segurança alimentar e nutricional. Alguns dos principais efeitos são (a) redução significativa na produtividade das culturas e diminuição da qualidade dos produtos; (b) aumento nos custos de produção, com maior consumo de defensivos agrícolas, tratos culturais adicionais e até mesmo expansão da área plantada; (c) prejuízos às exportações de *commodities* agrícolas pela ocorrência de problemas fitossanitários, que podem gerar restrições e barreiras comerciais; (d) inviabilização do cultivo de determinadas espécies em algumas regiões; (e) impactos sociais pela redução da produção e da renda agrícola causada por doenças, que afetam negativamente os meios de subsistência de milhões de agricultores e trabalhadores rurais no Brasil, com consequências sociais e econômicas mais amplas.

Para que o Brasil continue sendo um grande produtor de alimentos, é essencial que o país enfrente e supere diversos desafios, como a desigualdade e a pobreza, o desmatamento e as mudanças climáticas, além da concentração das exportações em poucos produtos. Aumentar a produtividade agrícola sem expandir a fronteira agrícola, aproveitando áreas degradadas, é fundamental para evitar a ocupação de novas áreas ainda preservadas em todos os biomas. Investimentos em tecnologia e inovação, como a agricultura de precisão e práticas sustentáveis, também são cruciais para melhorar a eficiência e a resiliência do setor.

Além disso, é importante diversificar a produção, promovendo o cultivo de frutas, hortaliças e outras espécies, e assim aumentar a oferta de alimentos no mercado doméstico e ampliar a pauta de exportações. A agricultura familiar deve ser fortalecida pelo seu papel significativo na produção de alimentos no Brasil. A melhoria da logística e da infraestrutura, bem como a redução de barreiras comerciais, são necessárias para garantir que os produtos brasileiros cheguem aos mercados internacionais de forma competitiva e sustentável.

Especificamente para a área de Fitopatologia, a participação brasileira nas iniciativas globais de sanidade vegetal, como IPPC e GPHA, por exemplo, é da mais alta importância, assim como a cooperação com grupos de pesquisa internacionais que estudam temas inovadores, como algumas das linhas de pesquisa citadas anteriormente (BEBBER & GURR 2015; RISTAINO et al. 2021; JEGER et al. 2021; WANG et al. 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

À medida que avançamos para o futuro, é crucial reconhecer que as ameaças à sanidade vegetal apresentam desafios multifacetados com implicações que vão além das lavouras e dos campos agrícolas. A interconexão entre sanidade vegetal, a saúde humana e a prosperidade global é cada vez mais evidente. Nesse contexto, esforços dedicados à proteção das plantas contra patógenos e pragas emergentes e endêmicas representam um pilar fundamental para melhorar a segurança alimentar, a qualidade dos alimentos e a vida da humanidade.

A atual situação geopolítica global dificulta a cooperação científica, prejudicando o avanço em direção a um mundo mais justo e desenvolvido. No entanto, é essencial notar que as doenças de plantas não se limitam por fronteiras políticas ou geográficas. Países frequentemente evitam compartilhar informações sobre doenças de plantas devido a preocupações comerciais, destacando-se a necessidade urgente de promover a cooperação internacional e o compartilhamento de dados, mesmo em momentos desafiadores.

Como bem destacou Serge Savary, sem plantas não há oxigênio. Além da segurança alimentar, as questões relacionadas à sanidade vegetal também são de extrema relevância para o meio ambiente e para a própria sobrevivência da humanidade.

Diante dos desafios geopolíticos, é vital reconhecer que a saúde das plantas demanda uma abordagem global coordenada. A Ciência e os cientistas desempenham um papel crucial nesse processo, fornecendo evidências para embasar políticas e práticas, além de impulsionar a inovação necessária para enfrentar os desafios emergentes na sanidade vegetal e na segurança alimentar global.

Para o Brasil, o tema é da mais alta relevância considerando-se o papel crucial da agricultura na segurança alimentar global e também no abasteci-

mento do mercado interno. Assim, a Fitopatologia como ciência não apenas contribui para aumentar a produtividade agrícola, mas também para garantir a sustentabilidade dos sistemas de produção no Brasil, um dos maiores produtores agrícolas do mundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson PK, Cunningham AA, Patel NG, Morales FJ, Epstein PR, Daszak P (2004). Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. Trends in Ecology & Evolution 19: 535-544.

BBC NEWS BRASIL (2023). Guerra na Ucrânia: por que o mundo precisa dos grãos vendidos pelo país? Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/internacional-62272076. Acesso em: 10/07/2023.

Bebber DP & Gurr SJ (2015). Crop-destroying fungal and oomycete pathogens challenge food security. Fungal Genetics and Biology 74: 62-64.

Bergamin Filho A & Kimati H (1995). Importância das doenças de plantas. In: Bergamin Filho A, Kimati H, Amorim L. (Eds.). Manual de Fitopatologia – vol. 1. São Paulo: Editora Agronômica Ceres. p.13-33.

Camargo M (2014). Importância, perdas e conceito de doenças de plantas. Jaboticabal: UNESP, 8p. Disponível em: https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidade/MARGARETECAMARGO/importanciaperdasconceito2014a.pdf. Acesso em: 04/07/2024.

Carvajal-Yepes M, Cardwell K, Nelson A, Garret K, Giovani B, Sauders DGO, Kamoun S, Legg J, Verdier V, Lessel J, Neher RA, Day R, Paedey P, Gullino MI, Records A, Bextine B, Leach JE, Staiger JE, Tohme J (2019). A global surveillance system for crop diseases. Science 364: 1237-1239.

CGIAR (2023). Consultative Group on International Agriculture Research. CGIAR Plant Health Initiative formally launched on the International Day of Plant Health. Disponível em: https://www.cimmyt.org/news/cgiar-plant-health-initiative-formally-launched-on-the-international-day-of-plant-health/. Acesso em: 15/12/2023.

Clapp J, Moseley WG, Burlingame B, Termine P (2022). Viewpoint: The case for a six-dimension food security framework. Food Policy 106: 1-10.

Costa AS (1975). História da Fitopatologia no Brasil. Summa Phytopathologica 1:155-163.

Cupertino FP (1993). História da fitopatologia brasileira. Revisão Anual de Patologia de Plantas, Passo Fundo, 1:1-31.

EMBRAPA (2023). Pragas quarentenárias. Disponível em: https://www.embrapa.br/tema-pragas-quarentenarias/sobre-o-tema. Acesso em: 05/12/2023.

Esker PD, Savary S, McRoberts N (2012). Crop loss analysis and global food supply: focusing now on required harvests. CAB Reviews 7: 1-14. (https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20127052)

FAO (1996). A Declaração de Roma sobre Segurança Alimentar Mundial e Plano de Ação. Roma: FAO, 1996. Disponível em: http://www.fao.org/3/w3613e/w3613e00.htm. Acesso em: 03/07/2023.

FAO (2022). Agricultural production statistics. Roma: FAO, 2022. Disponível em: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/58971ed8-c831-4ee6-ab0a-e47ea66a7e6a/content. Acesso em: 05/01/2024.

FAO (2024). FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2024. Financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms. Roma: FAO, 2024. Disponível em: https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd1254en. Acesso em: 23/07/2024.

Flood J (2010). The importance of plant health to food security. Food Security 2: 215-231.

Fones HN, Bebber DP, Chaloner TM, Kay WT, Steinberg G, Gurr SJ (2020). Threats to global food security from emerging fungal and oomycete crop pathogens. Nature Food 1: 332-342.

GPHA (2023). Global Plant Health Assessment. Disponível em: https://www.ipes-food.org. Acesso em: 25/11/2023.

Halfeld-Vieira BA, Schurt DA, Barbosa RNT, Nechet KL (2022). Threats and challenges in the control of quarantine pathogens in the state of Roraima, Brazil. Revista Agro@mbiente On-line 16. https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v16i0.7292.

IPPC (2023). International Plant Protection Convention. Emerging Preparedeness - A Guide for Developing Contingency Plans for Outbreaks of Quarentine Pests. Disponível em: https://www.ippc.int/en/publications/92049/. Acesso em: 22/11/2023.

ISPP (2023). International Society for Plant Pathology. Disponível em: https://www.isppweb.org/. Acesso em: 12/11/2023.

Jank MS, Gilio L, Campos MA, Cardoso VM, Costa CC (2024). O futuro do comércio global do agronegócio e a inserção do Brasil. Disponível em: https://agro.insper.edu.br/storage/papers/September2023/6LmClm4S2RviSot9SKsw.pdf. Acesso em: 15/09/2024.

Jeger M, Beresford R, Bock C et al. (2021). Global challenges facing plant pathology: multidisciplinary approaches to meet the food security and environmental challenges in the mid-twenty-first century. CABI Agric. Biosci. 2: 1-18.

Jones RAC (2021). Global plant virus disease pandemics and epidemics. Plants 10: 1-42.

MAPA (2023). Projeções do Agronegócio – 2022/23 a 2032-33. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2022-2023-a-2032-2033.pdf. Acesso em: 06/09/2024.

MAPA (2024a). Prevenção, controle e erradicação de pragas presentes. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/sanidade-vegetal/campanha-e-programas. Acesso em: 15/10/2024.

MAPA (2024b). MAPA atualiza lista de pragas quarentenárias ausentes. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-atualiza-lista-de-pragas-quarentenarias-ausentes. Acesso em: 04/07/2024.

Moura RM (2010). Pioneer reports of plant bacterial diseases. Anais da Academia Pernambucana da Ciência Agronômica 7:105-118.

National Academy Of Sciences (2019). Science Breakthroughs to Advance Food and Agricultural Research by 2030. Washington: National Academies Press, 242p. DOI 10.17226/25059.

Nelson R (2020). International plant pathology: past and future contributions to global food security. Phytopathology 110: 245-253.

Paini DR, Sheppard AW, Cook, DC, De Barro PJ, Worner SP, Thomas MB (2016). Global threat to agriculture from invasive species. PNAS 113: 7575-7579.

Ristaino JB, Anderson PK, Beber DP, Brauman KA, Cunniffe NJ, Fedoroff NV, Finegold C, Garret KA, Gilligan CA, Jones CM, Martin MD, MacDonald GK, Neenan P, Records A, Schmale DG, Tateosian L, Wei Q (2021). The persistent threat of emerging plant disease pandemics to global food security. PNAS 118: 1-9.

Ristaino JB & Records A (2020). Emerging plant diseases and global food security. St. Paul: APS Press, 305p.

Savary S (2020). Plant health and food security. Journal of Plant Pathology 102: 605-607.

Savary S, Bregaglio S, Willocquet L, Gustafson D et al. (2017). Crop health and its global impacts on the components of food security. Food Security 9: 311-327.

Savary S, Ficke A, Aubertot JN, Hollier C (2012). Crop losses due to diseases and their implications for global food production losses and food security. Food Security 4: 519-537. DOI: 10.1007/s12571-012-0200-5.

Savary S & GPHA (2023). A Global assessment of the state of plant health. Plant Disease 107: 3649-3665.

Savary S, Nelson A, Sparks AH, Willocquet L, Duveiller E et al. (2011). International agricultural research tackling the effects of global and climate changes on plant diseases in the developing world. Plant Disease 95: 1204-1216.

Savary S, Teng PS, Willocquet L, Nutter Jr. FW (2006). Quantification and modeling of crop losses: a review of purposes. Annual Review of Phytopathology 44: 89-112.

Savary S, Willocquet L (2020). Modeling the impact of crop diseases on global food security. Annual Review of Phytopathology 58: 313-341.

Savary S, Willocquet L, Pethybridge SJ, Esker P, McRoberts N, Nelson A (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. Nature Ecology & Evolution 3: 430-439.

Sileshi GW & Gebeyehu S (2021). Emerging infectious diseases threatening food security and economies in Africa. Global Food Security 28. (https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100479).

Strange RN & Scott PR (2005). Plant disease: a threat to global food security. Annual Review of Phytopathology 43: 83-116.

Van Der Graaff NA & Khoury W (2010). Biosecurity in the movement of commodities as a component of global food security. In: Strange RN & Gullino ML (Eds.). The Role of Plant Pathology in Food Safety and Food Security. Springer. p.25-39. DOI 10.1007/978-1-4020-8932-9.

Vital N (2018). Agradeça aos agrotóxicos por estar vivo. Rio de Janeiro: Editora Record, 251p.

Vurro M, Bonciani B, Vannacci G (2010). Emerging infectious diseases of crop plants in developing countries: impact on agriculture and socio-economic consequences. Food Security 2: 113-132.

Wang N, Sundin GW, De La Fuente L, Cubero J, Tatineni S, Brewer MT, Zeng Q, Bock CH, Cunniffe NJ, Wang C, Candresse T, Chappell T, Coleman JJ, Munkvold G (2024). Key challenges in Plant Pathology in the next decade. Phytopathology 114: 837-842.

Willocquet L, Singh M, Sah S, Bove L, Savary S, Yuen J (2022). Global Plant Health Assessment. ISPP/OECD, 194p.

Yuen J, Djurle A, Collinge DB (2020). History of plant pathology. In: Tronsmo AM, Collinge DB, Djurle A, Munk L, Yuen, J, Tronsmo A (Eds.). Plant Pathology and Plant Diseases. CABI: Wallingford. p.11-18.