Mudancas climaticas: ...
2008 LV-PP-2011.10355
CNPMA-7655-2

Raquel Ghini
Emília Hamada

Editores Técnicos

Mudanças Climáticas

Impactos sobre doenças de plantas no Brasil

1 10355

Embrapa

Mudanças Climáticas
Impactos sobre doenças de plantas no Brasil

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Mudanças Climáticas
Impactos sobre doenças de plantas no Brasil

Raquel Ghini
Emília Hamada

Editores Técnicos

Embrapa Informação Tecnológica
Brasília, DF
2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Informação Tecnológica
Parque Estação Biológica (PqEB)
Av. W3 Norte (final)
70770-901 Brasília, DF
Fone: (61) 3340-9999
Fax: (61) 3340-2753
vendas@sct.embrapa.br
www.sct.embrapa.br/liv

Embrapa Meio Ambiente
Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho
Caixa Postal 69
13820-000 Jaguariúna, SP
Fone: (19) 3311-2700
Fax: (19) 3311-2640
sac@cnpma.embrapa.br
www.cnpma.embrapa.br

Coordenação editorial
Fernando do Amaral Pereira
Mayara Rosa Carneiro
Lucilene Maria de Andrade

Revisão de texto
Maria Cristina Ramos Jubé

Normalização bibliográfica
Rosa Maria e Barros

Projeto gráfico, editoração eletrônica e tratamento das ilustrações
RV Comunicação Integrada Ltda.

Capa e fotos da capa
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

1ª edição
1ª impressão (2008): 2.000 exemplares

Todos os direitos reservados
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Informação Tecnológica

Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil / editores técnicos, Raquel Ghini, Emília Hamada. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2008.
331 p.

ISBN 978-85-7383-427-7

1. Clima. 2. Controle químico. 3. Doença de planta. 4. Meio ambiente. I. Ghini, Raquel. II. Hamada, Emília. III. Embrapa Meio Ambiente.

CDD. 551.523

© Embrapa, 2008

Autores

Ailton Reis
Engenheiro agrônomo, Doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Hortaliças, Gama, DF
ailton@cnph.embrapa.br

Álvaro Sanguino
Engenheiro agrônomo, Doutor em Fitopatologia, pesquisador aposentado do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), Piracicaba, SP

Anne Sitarama Prabhu
Botânico, Doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, GO
prabhu@cnpaf.embrapa.br

Carlos Alberto Lopes
Engenheiro agrônomo, Ph.D. em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Hortaliças, Gama, DF
clopes@cnph.embrapa.br

Carlos André Gaspar dos Santos
Engenheiro florestal, Mestre em Proteção de Plantas, pesquisador da Veracel Celulose S.A., Eunápolis, BA
carlos.santos@veracel.com.br

Edson Ampélio Pozza
Engenheiro agrônomo, Doutor em Fitopatologia, professor da Universidade Federal de Lavras (Ufla), Lavras, MG
eapozza@ufla.br

Edson Luiz Furtado
Engenheiro agrônomo, Doutor em Fitopatologia, professor da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Botucatu, SP
elfurtado@fca.unesp.br

Elizabeth de Oliveira
Bióloga, Doutora em Fitopatologia, pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG
beth@cnpms.embrapa.br

Emília Hamada
Engenheira agrícola, Doutora em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP
emilia@cnpma.embrapa.br

Erlei Melo Reis
Engenheiro agrônomo, Ph.D. em Fitopatologia, professor da Universidade de Passo Fundo (FAMV), Passo Fundo, RS
erleireis@tpo.com.br

Fernando Tavares Fernandes
Engenheiro agrônomo, M.Sc. em Fitopatologia, pesquisador aposentado da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Jose Antonio Marengo Orsini
Meteorologista, Ph.D. em Meteorologia, pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe)/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Cachoeira Paulista, SP
marengo@cptec.inpe.br

José Clério Rezende Pereira
Engenheiro agrônomo, Doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM
jclerio@cpaa.embrapa.br

Kátia Regiane Brunelli
Engenheira agrônoma, Doutora em Fitopatologia, engenheira agrônoma da Sakata Seed Sudamerica, Bragança Paulista, SP
katia.brunelli@sakata.com.br

Luadir Gasparotto
Engenheiro agrônomo, Doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM
gasparotto@cpaa.embrapa.br

Marcelo Augusto Boechat Morandi
Engenheiro agrônomo, Doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP
mmorandi@cnpma.embrapa.br

Marcelo de Carvalho Alves
Engenheiro agrônomo, Doutor em Fitotecnia, Pós-doutorando da Ufla, Lavras, MG
marcelocarvalhoalves@gmail.com

Marcus Vinicius Masson
Engenheiro florestal, Mestrando da Unesp em Proteção de Plantas, Botucatu, SP
marcus.masson@yahoo.com.br

Maria Aparecida Pessôa da Cruz Centurion
Engenheira agrônoma, Doutora em Fitopatologia, professora da Unesp, Jaboticabal, SP
cidinha@fcav.unesp.br

Mário Massayuki Inomoto
Engenheiro agrônomo, Doutor em Entomologia, Professor da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq), Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP
mminomot@esalq.usp.br

Marta Cristina de Filippi
Engenheira agrônoma, Ph.D. em Fitopatologia e Microbiologia, pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, GO
cristina@cnpaf.embrapa.br

Natalino Yassushi Shimoyama
Engenheiro agrônomo, gerente-geral da Associação Brasileira da Batata (Abba), Itapetininga, SP
abbabatata@uol.com.br

Nicésio Filadelfo Janssen de Almeida Pinto
Engenheiro agrônomo, Doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG
nicesio@cnpms.embrapa.br

Pedro Takao Yamamoto
Engenheiro agrônomo, Doutor em Produção Vegetal, pesquisador do Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus), Araraquara, SP
ptyamamoto@fundecitrus.com.br

Raquel Ghini
Engenheira agrônoma, Doutora em Fitopatologia, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP
raquel@cnpma.embrapa.br

Renata Ribeiro do Valle Gonçalves
Engenheira cartógrafa, mestranda da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri), Campinas, SP
renaribeiro@yahoo.com.br

Ricardo Gioria
Engenheiro agrônomo, Doutor em Fitopatologia, engenheiro agrônomo da Sakata Seed Sudamerica, Bragança Paulista, SP
ricardo.gioria@sakata.com.br

Ricardo Trezzi Casa
Engenheiro agrônomo, Doutor em Fitopatologia, professor da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS
a2rtc@cav.udesc.br

Romulo Fujito Kobori
Engenheiro agrônomo, Doutor em Proteção de Plantas, gerente da Sakata Seed Sudamerica, Bragança Paulista, SP
romulo.kobori@sakata.com.br

Rock Seille Carlos Christiano
Engenheiro agrônomo, Doutor em Fitopatologia, Pós-doutorando da University of Georgia, USA
rockseille@gmail.com

Sandra Maria Zoldan
Engenheira agrônoma, Doutoranda em Fitopatologia da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS
sandramzoldan@ibest.com.br

Silvando Carlos da Silva
Engenheiro agrícola, Mestre em Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, GO
silvando@cnpaf.embrapa.br

Wagner Bettiol
Engenheiro agrônomo, Doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP
bettiol@cnpma.embrapa.br

Waldir Cintra de Jesus Junior
Engenheiro agrônomo, Doutor em Fitopatologia, professor da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes), Alegre, ES
wcintra@yahoo.com

Apresentação

As doenças de plantas constituem uma das principais causas de perdas nas lavouras agrícolas. Diversas epidemias causadas por fitopatógenos marcaram a história da humanidade, resultando em fome, mortes, imigração, além dos prejuízos diretos. Os métodos de controle, quando disponíveis, representam aumento nos custos de produção e podem resultar em graves impactos ambientais. Para evitar tais prejuízos, é necessário o desenvolvimento de soluções eficientes e viáveis antes do surgimento dos problemas no campo.

As mudanças climáticas representam uma séria ameaça à produção agrícola, pois podem alterar a incidência das doenças de plantas e resultar em impactos negativos à agricultura, seja empresarial ou familiar. Com a alteração do clima, doenças menos importantes podem assumir um papel significativo. Assim sendo, o livro *Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil* é oportuno e estratégico para a sustentabilidade da agricultura brasileira.

A equipe interdisciplinar que elaborou a obra, pertencente às áreas de Fitopatologia e Geoprocessamento, desenvolveu uma metodologia para a abordagem do problema, tentando minimizar as incertezas intrínsecas ao tema. Mapas obtidos a partir de dados climáticos dos cenários futuros do Brasil, disponibilizados pelo terceiro relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC), foram gerados e distribuídos para renomados fitopatologistas de diversas instituições, públicas e privadas, com a finalidade de discutir as alterações na incidência de problemas fitossanitários de importantes culturas do País. Os primeiros capítulos descrevem a metodologia adotada e a caracterização do clima futuro do Brasil. Essa abordagem e os mapas apresentados são úteis para outras áreas do conhecimento influenciadas pelo clima e por outros setores, além da pesquisa, pois podem ser usados para a análise dos impactos das mudanças climáticas. O corpo do livro é dividido por culturas, com capítulos sobre doenças de hortaliças (batata, tomate, pimentão e melão), de grãos (arroz, cereais de inverno, milho e soja) e outras de fundamental importância para o País (bananeira, cana-de-açúcar, cafeeiro, citros, seringueira e eucalipto). Também foram discutidos os impactos potenciais sobre a incidência de fitonematóides, sobre o controle biológico e químico de doenças de plantas, assuntos que carecem de informações nas literaturas nacional e internacional.

A obra siginifica um avanço nos trabalhos sobre os impactos das mudanças climáticas na agricultura e certamente direcionará a pesquisa sobre o assunto no País.

Cláudio Aparecido Spadotto
Chefe-Geral da Embrapa Meio Ambiente

Preface

Large tracts of savannah, wetlands and rainforest vegetation cover much of Brazil. Over half of its 8.5 million sq km land area is forested and around 30 % is agricultural land. Brazil is a major producer and exporter of agricultural commodities including sugar, citrus, cereals and grains as well as other significant agricultural and forestry products. The dependency of agricultural and natural ecosystems on climate is evident from all too common occurrences of famine and food shortages often instigated by severe events such as droughts and floods. Assessing the vulnerability of major agricultural crops to a changing climate is a necessary first step towards developing mitigation and adaptation strategies. This book defining potential impacts of climate change on diseases of economically important crops in Brazil is a timely and worthwhile publication.

Plant diseases cause significant loss in yield and quality of primary production in natural and managed systems all around the globe. Their economic impact stems from losses in production and quality, the cost of applying disease management practices, and the economic penalty suffered from growing less profitable alternative crops. Many agricultural systems are resilient and impacts of climate change may be lessened through management interventions. Impacts on native ecosystems, on the other hand, may lead to irreversible loss of biodiversity and ecosystem function but these impacts are hard to measure. For instance, a shift in the mean temperature or rainfall may only have a marginal impact in the short term, but the effects will magnify at extremes. These effects due to changes in the physical climate will interact with changes in plant and community structure and function brought about by rising CO_2 levels.

Recently, examples linking long term pathogen abundance or disease severity to climate or atmospheric pollutants have emerged. For instance, wheat stripe rust in China has clear association with the Southern Oscillation Index and severe rust epidemics co-oscillate with the Western Atlantic teleconnection pattern. A poleward shift in the geographical range of some pests and pathogens has occurred during the last century. Other studies have demonstrated that impacts will be different for different host-pathogen systems and generalisation is not feasible or warranted. Consequently, climate change may reduce, increase or have no effect on some diseases, but our ability to predict impacts is compromised by a paucity of knowledge on individual host-pathogen systems. Therefore targeted and comprehensive

regional/national impact assessments, such as the ones collated in this book, are vital to formulating adaptation and mitigation strategies.

This book is the result of a team of experts carefully considering potential impact of climate change on plant diseases of economic significance to Brazil. In addition to assessing the impacts on diseases of national significance, this book has laid the groundwork by summarising potential climate change scenarios for Brazil and discussed the methodological issues associated with impact assessment. So far, national and regional impact assessments for pests and diseases are only available for a limited number of countries including the United Kingdom, New Zealand, Australia, Finland and parts of Canada. This book serves as a timely benchmark for plant diseases affecting Brazilian agriculture and should help develop policies and strategies to adapt plant disease management to a changing climate. It is refreshing to see chapters on potential impact on nematodes and biological control agents. I congratulate the editors and all authors for this timely and comprehensive treatise on this important topic that is often ignored by the international plant pathology community. If this book only helps to raise awareness among the global plant pathology and plant protection communities, it would serve a very useful purpose.

Sukumar Chakraborty
CSIRO Plant Industry
Queensland Bioscience Precinct
306 Carmody Road, QLD 4067
Australia

Sumário

15 Capítulo 1

Proposta metodológica para discussão dos impactos das mudanças climáticas globais sobre doenças de plantas

25 Capítulo 2

Cenários climáticos futuros para o Brasil

75 Capítulo 3

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças da batata no Brasil

93 Capítulo 4

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do tomate no Brasil

119 Capítulo 5

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do pimentão no Brasil

129 Capítulo 6

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do melão no Brasil

141 Capítulo 7

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do arroz no Brasil

159 Capítulo 8

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças de cereais de inverno no Sul do Brasil

175 Capítulo 9

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do milho no Brasil

191 Capítulo 10
Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças e o desenvolvimento da soja no Brasil

201 Capítulo 11
Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças da bananeira no Brasil

207 Capítulo 12
Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças da cana-de-açúcar no Brasil

215 Capítulo 13
Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças fúngicas do cafeeiro no Brasil

235 Capítulo 14
Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as principais doenças de citros no Estado de São Paulo

257 Capítulo 15
Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças da seringueira no Estado de São Paulo

273 Capítulo 16
Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a ferrugem-do-eucalipto no Estado de São Paulo

287 Capítulo 17
Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a incidência de fitonematóides no Brasil

299 Capítulo 18
Impacto potencial das mudanças climáticas sobre o controle biológico de doenças de plantas

323 Capítulo 19
Impacto potencial das mudanças climáticas sobre o controle químico de doenças de plantas

Capítulo 1

Proposta metodológica para discussão dos impactos das mudanças climáticas globais sobre doenças de plantas

Raquel Ghini
Emília Hamada

Alterações no clima ocorridas nas últimas décadas têm despertado as atenções de diferentes segmentos da sociedade, especialmente com relação às suas causas e conseqüências. O clima descreve a média das condições atmosféricas de uma região, ou seja, é a "média do tempo", em que tempo é a descrição instantânea dessas condições (PITTOCK et al., 1978). Dados obtidos a partir de amostras de bolhas de ar capturadas nas geleiras da Antártica e retiradas em diferentes profundidades demonstram uma alta correlação entre mudanças na temperatura do planeta e na concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, durante os últimos 650 mil anos. A concentração de CO_2 não excedeu 300 ppm em volume durante esse período (SIEGENTHALER et al., 2005). A partir da Revolução Industrial (final do século XVIII), as atividades antrópicas, aliadas aos eventos naturais, estão alterando a composição de gases da atmosfera. De 1760 até 1960, os níveis de concentração de CO_2 atmosférico aumentaram de 280 ppm para 317 ppm, isto é, 40 ppm em 200 anos. Nos últimos 45 anos, de 1960 até 2005, as concentrações de CO_2 aumentaram de 317 ppm para 379 ppm, um acréscimo de 62 ppm (MARENGO; SOARES, 2003; IPCC, 2007). Esse aumento corresponde ao aumento no uso de combustível fóssil e mudança do uso da terra e agricultura durante o período. A concentração de CH_4 aumentou de 700 ppb na era pré-industrial (1000-1750) para 1745 ppb em 1998; o N_2O, de 270 para 314 ppb e os CFCs (clorofluorcarbonos), que não existiam na atmosfera, atingiram elevadas concentrações. As projeções são para que o CO_2 atinja 540 ppm a 970 ppm, por volta de 2100, representando um aumento de 75 % a 350 % em relação ao período anterior à Revolução Industrial (IPCC, 2001).

Como conseqüência, a temperatura da superfície do planeta aumentou, aproximadamente, 0,2 °C por década nas últimas três décadas, e 0,8 °C no século passado (HANSEN et al., 2006). O fenômeno tem se acelerado, com o registro das maiores temperaturas médias anuais do planeta nos anos de 1998 e 2005. Mudança climática, definida como o processo de mudança do clima devido às atividades antrópicas, difere da variabilidade climática, que é o processo de variação do clima condicionado por fatores naturais existentes no planeta e suas interações (TUCCI; BRAGA, 2003). As informações apresentadas no quarto relatório (AR4) do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) demonstram que há um grau de certeza muito alto (90 %) de que a atividade humana é a responsável pelas alterações (IPCC, 2007). As projeções do IPCC (2001) são de um aquecimento entre 1,4 °C a 5,8 °C até o final do século XXI. Além disso, observam-se indícios de aumento na freqüência e intensidade de eventos climáticos extremos, alteração no regime de chuvas, perturbações nas correntes marítimas, derretimento de geleiras e elevação do nível dos oceanos.

A importância do ambiente para a ocorrência de doenças de plantas é conhecida há séculos. O clássico triângulo de doença estabelece as condições para a ocorrência de doenças, isto é, há a necessidade de ocorrer interação entre o hospedeiro suscetível e o patógeno virulento em ambiente favorável (Fig. 1). O ambiente pode ter efeitos diretos e indiretos sobre a planta hospedeira, assim como sobre o patógeno e a interação entre eles. Além desses, o ambiente pode afetar outros componentes importantes para a ocorrência de doença, como agentes de controle biológico, vetores e outros.



Fig. 1. Triângulo de doença: interação entre os elementos fundamentais que determinam a ocorrência de uma doença de planta.

A vulnerabilidade da agricultura brasileira com relação à ocorrência de doenças de plantas, entre outros aspectos, é um assunto estratégico para o País (BERGAMIN et al., 1995; NEVES, 2005). As mudanças climáticas certamente alterarão o atual cenário dos problemas fitossanitários da agricultura brasileira (MUDANÇA do clima, 2005a, 2005b). Uma revisão de literatura sobre tais relações foi apresentada por Ghini (2005). Modificações na importância relativa das doenças das culturas podem ocorrer em algumas décadas. Os impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes podem ser positivos, negativos ou neutros, pois as mudanças climáticas podem diminuir, aumentar ou não ter efeito sobre os diferentes problemas fitossanitários, em cada região.

Em outros países, as discussões já foram iniciadas. Na Austrália, Chakraborty et al. (1998) realizaram um workshop para avaliar os efeitos das mudanças climáticas globais sobre doenças de plantas cultivadas. A alteração prevista para o país é de aumento de temperatura entre 1 °C a 3 °C até o ano de 2100. O documento gerado apresenta uma avaliação sobre os possíveis efeitos dessa alteração climática nas doenças de trigo e outros cereais, cana-de-açúcar, espécies frutíferas, uva, hortaliças e espécies florestais. Os impactos gerados incluem alteração da distribuição geográfica e perdas ocasionadas pelas doenças. Prevê-se que a resistência genética de algumas cultivares seja perdida mais rapidamente devido à acelerada

multiplicação e disseminação de determinados patógenos. O aumento da concentração de CO_2 atmosférico e da radiação UV-B favorece a multiplicação dos patógenos, o que cria condição para o desenvolvimento de sérias epidemias. Uma das principais metas alcançadas no evento foi a conscientização dos fitopatologistas australianos sobre a importância do problema. As incertezas sobre as mudanças climáticas que efetivamente ocorrerão e a escassez de conhecimentos detalhados sobre os efeitos do ambiente na ocorrência de doença foram alguns dos problemas encontrados, pois limitam a previsão dos impactos potenciais nas doenças de plantas.

Discussão semelhante foi realizada por Clifford et al. (1996), para as condições do Reino Unido. As principais mudanças climáticas previstas incluem o aumento da temperatura média, aumento da concentração de CO_2, alteração da distribuição espacial e temporal de chuvas, mudanças na evapotranspiração no verão e aumento da incidência de eventos climáticos extremos. Para a discussão, foram considerados os efeitos da elevação da temperatura média em 2 °C e do aumento ou redução de 10 % da precipitação média anual. Segundo os autores, os efeitos das mudanças climáticas sobre as doenças de culturas, como espécies forrageiras, batata, beterraba açucareira, cereais, uva e outras espécies frutíferas, devem ser avaliados, para evitar perdas.

Lonsdale e Gibbs (1996, 2002) analisaram os efeitos das mudanças climáticas sobre doenças de espécies florestais no Reino Unido. Para tanto, os efeitos foram divididos em efeitos diretos sobre o patógeno, incluindo sua distribuição geográfica, reprodução, dispersão e sobrevivência; efeitos diretos sobre a planta hospedeira, em que foram discutidos os estresses durante a estação de crescimento e alteração das temperaturas do inverno; e efeitos sobre a interação entre árvores ou patógenos e outros organismos, como insetos vetores e micorrizas.

Para a região de Ontário, no Canadá, Boland et al. (2004) discutiram os efeitos das mudanças climáticas sobre aspectos epidemiológicos de doenças de plantas cultivadas e florestas. Os autores concluíram que programas de melhoramento genético devem adaptar as prioridades às novas condições. Haverá oportunidades para a introdução de diferentes culturas e cultivares, mas deve ser instalado um mecanismo eficaz para evitar a entrada e detectar a presença de patógenos exóticos.

Após a realização de um simpósio, intitulado *Climate change: challenges and solutions for California agricultural landscapes*, Cavagnaro et al. (2006) publicaram um relatório com os principais impactos das mudanças climáticas e as recomendações para mitigação e adaptação dos cultivos afetados. O motivo dessa iniciativa foi a importância da agricultura para a região. O governo do

Estado despendeu cerca de U$ 65 milhões, de 1998 até 2002, para o controle do mal-de-pierce-das-videiras, causado por *Xylella fastidiosa*, por exemplo. Garrett et al. (2006) apresentam um esquema sobre os efeitos potenciais das mudanças climáticas e como esses podem ser estudados (Fig. 2). Tal esquema é interessante para organizar e definir iniciativas de pesquisa no tema.

No Brasil, poucas iniciativas foram realizadas a esse respeito. O projeto intitulado *Avaliação da distribuição espacial de doenças de plantas com base nas condições climáticas atuais e estimativas de mudanças climáticas globais* vem sendo conduzido na Embrapa Meio Ambiente e, para cumprir seus objetivos, foram confeccionados mapas de variáveis climáticas do Brasil para o clima atual e futuro. O Sistema de Informações Geográficas (SIG) Idrisi 32, software desenvolvido pela Universidade de Clark, EUA, foi utilizado para a elaboração dos mapas. As informações de entrada do banco de dados do SIG foram de temperatura média, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação, umidade relativa e radiação solar médias mensais das condições climáticas presentes e futuras para o Brasil, na resolução espacial de 0,5° x 0,5° de latitude e longitude. As atuais normais climatológicas (médias do período de 1961 a 1990) e as projeções futuras foram obtidas do IPCC-DDC (http://www.ipcc-data.org/). Consideraram-se dois cenários futuros, A2 e B2, projetados para as décadas de 2020 (entre 2010 e 2039), 2050 (entre 2040 e 2069) e 2080 (entre 2070 e 2099). Os mapas finais foram constituídos pela média aritmética dos seis modelos disponíveis (CCSR/NIES, CGCM2, CSIRO-Mk2, ECHAM4, GFDL-R30 e HadCM3). Dessa forma os resultados refletem as tendências previstas pelos diferentes grupos que desenvolveram tais modelos. Detalhes da metodologia de obtenção desses mapas e a interpretação dos seus resultados serão apresentados no Capítulo 2.

Nos estudos dos efeitos das alterações climáticas sobre as doenças de plantas, os modelos climáticos globais disponibilizados pelo IPCC são pouco utilizados. Na maior parte dos trabalhos, os autores simplificam a metodologia de análise assumindo um valor constante de temperatura ou precipitação a ser somado aos valores médios atuais, independentemente da época do ano e da região geográfica estudada, como Boag et al. (1991) para o estudo do efeito das mudanças climáticas em nematóides fitopatogênicos, *Xiphinema* e *Longidorus*, na Europa; Luo et al. (1995) para simulações com brusone do arroz em países asiáticos; Brasier e Scott (1994) e Brasier (1996) para a ocorrência de *Phytophthora cinnamomi* em carvalho (*Quercus* spp.) no continente europeu; fitopatógenos na Finlândia por Carter et al. (1996) e no Reino Unido, por Clifford et al. (1996). Os modelos climáticos globais mostram que tal premissa não é verdadeira, pois estão previstas alterações sazonais e espaciais. Hamada et al. (2006) compararam mapas do clima futuro obtidos pelos dois métodos: com um aumento na temperatura

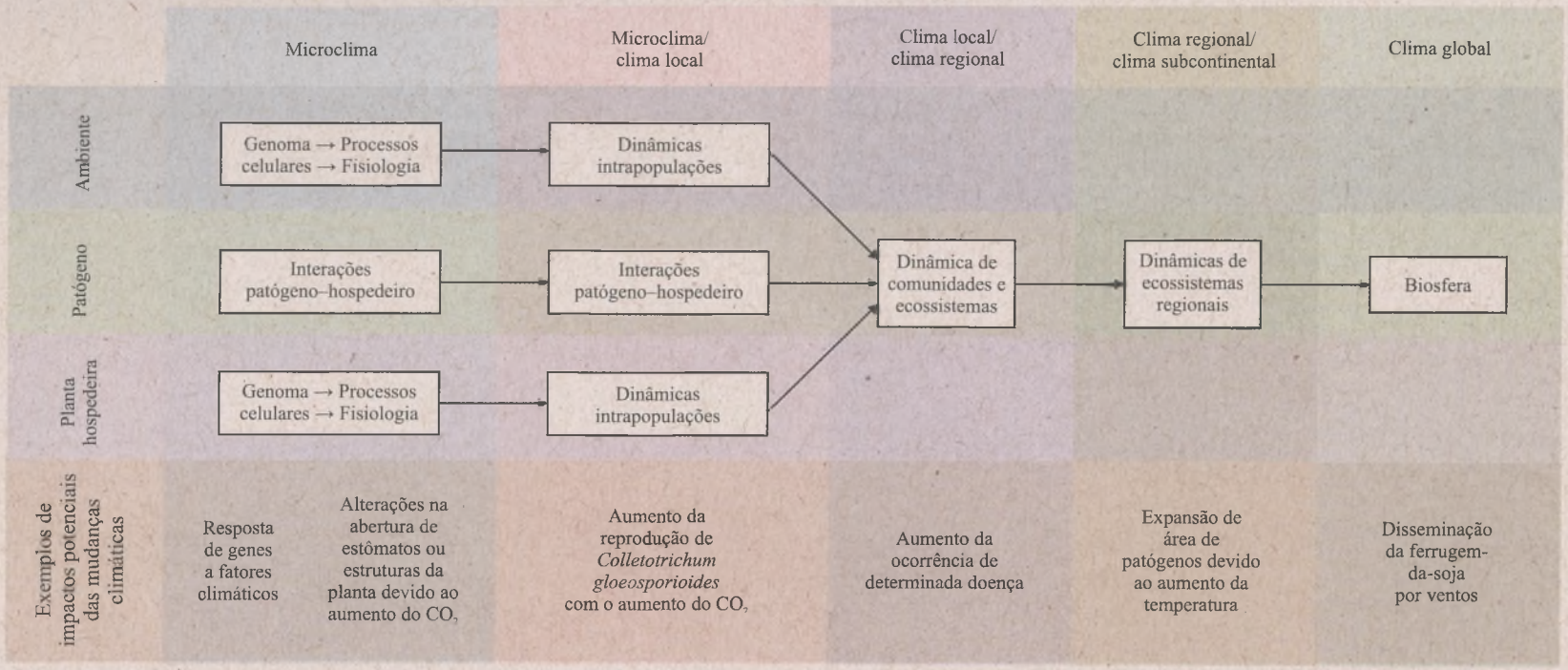


Fig. 2. Exemplos de impactos potenciais das mudanças climáticas e necessidade de pesquisa com escalas biológicas (adaptado de GARRETT et al., 2006).

média utilizando um valor constante para todo o Brasil e o outro método que considera aumentos na temperatura variando espacialmente, na forma de grade. A distribuição espacial do número provável de gerações do bicho-mineiro-do-cafeeiro (*Leucoptera coffeella*) foi obtida utilizando o modelo proposto por Parra (1985). Os mapas obtidos pelos dois métodos foram diferentes, apresentando melhor precisão nos resultados quando foi adotado o aumento na temperatura média global que varia espacialmente, obtido nos modelos disponibilizados pelo IPCC.

Os modelos, entretanto, apresentam diversas limitações. A baixa resolução temporal e espacial dos modelos climáticos globais, nos quais as avaliações são baseadas, torna difícil conciliar os cenários previstos com os modelos de respostas biológicas, como o crescimento de plantas ou epidemias de doenças, que requerem informações diárias ou até mesmo horárias. Um dos grandes desafios é adaptar as exigências dos modelos de processos biológicos às disponibilidades dos modelos climáticos globais, com abordagens de longo prazo (SCHERM; BRUGGEN, 1994; SCHERM, 2004).

O presente livro apresenta discussões sobre os possíveis impactos das mudanças climáticas globais sobre doenças de importantes culturas do Brasil. Para tanto, aos autores foram enviados mapas do Brasil com médias mensais de temperatura (°C) e precipitação (mm/dia) das condições climáticas atuais e futuras (cenários A2 e B2, projetados para as décadas de 2020, 2050 e 2080), obtidos durante a fase inicial de desenvolvimento do projeto. Também foram disponibilizados mapas das médias mensais das seguintes variáveis: temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), umidade relativa (%) e radiação solar (W/m^2). Os capítulos foram redigidos com a finalidade de relacionar os mapas com as informações disponíveis na literatura para cada patossistema e a partir da experiência dos autores com os problemas fitossanitários da planta. As culturas selecionadas compreendem as mais importantes do agronegócio brasileiro. As doenças abióticas, associadas à ocorrência de valores extremos de variáveis ambientais, de modo geral, não foram discutidas, apesar da expectativa de aumento de incidência (BOLAND et al., 2004).

Este livro não esgota o assunto, pelo contrário, abre novas discussões estratégicas para a mitigação ou adaptação dos sistemas de cultivo frente aos impactos das mudanças climáticas globais sobre as doenças de importantes culturas para o País.

Referências

BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**: princípios e conceitos. 3. ed. São Paulo: Ceres, 1995. v. 1, 919 p.

BOAG, B.; CRAWFORD, J. W.; NEILSON, R. The effect of potential climatic changes on the geographical distribution of the plant-parasitic nematodes *Xiphinema* and *Longidorus* in Europe. **Nematologica,** Leiden, v. 37, p. 312-323, 1991.

BOLAND, G. J.; MELZER, M. S.; HOPKIN, V.; NASSUTH, A. climate change and plant diseases in Ontario. **Canadian Journal of Plant Pathology**, Ottawa, v. 26, p. 335-350, 2004.

BRASIER, C. M. *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. **Annales des Sciences Forestières,** Paris, v. 53, p. 347-358, 1996.

BRASIER, C. M.; SCOTT, J. K. European oak declines and global warming: a theoretical assessment with special reference to the activity of *Phytophthora cinnamomi*. **Bulletin OEPP/EPPO Bulletin,** Paris, v. 24, p. 221-232, 1994.

CARTER, T. R.; SAARIKKO, R. A.; NIEMI, K. J. Assessing the risks and uncertainties of regional crop potential under a changing climate in Finland. **Agricultural and Food Science in Finland,** Jokioinen, v. 5, n. 3, p. 329-350, 1996.

CAVAGNARO, T.; JACKSON, L.; SCOW, K. **Climate change**: challenges and solutions for California agriculture landscapes. California Climate Change Center. (CEC-500-2005-189-SF) Disponível em: http://www.energy.ca.gov/ 2005publications/CEC-500-2005-189/CEC-500-2005-189-SF.PDF. Acesso em: 25 abr. 2006.

CHAKRABORTY, S.; MURRAY, G. M.; MAGAREY, P. A.; YONOW, T.; O'BRIEN, R. G.; CROFT, B. J.; BARBETTI, M. J.; SIVASITHAMPARAM, K.; OLD, K. M.; DUDZINSKI, M. J.; SUTHERST, R. W.; PENROSE, L. J.; ARCHER, C.; EMMETT, R. W. Potential impact of climate change on plant diseases of economic significance to Australia. **Australian Plant Pathology,** Collingwood, v. 27, p. 15-35, 1998.

CLIFFORD, B. C.; DAVIES, A.; GRIFFITH, G. UK climate change models to predict crop disease and pest threats. **Aspects of Applied Biology,** Wellesbourne, v. 45, p. 269-276, 1996.

GARRETT, K. A.; DENDY, S. P.; FRANK, E. E.; ROUSE, M. N.; TRAVERS, S. E. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 4, p. 489-509, 2006.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

HAMADA, E; GHINI, R.; GONÇALVES, R. R. V. Efeito da mudança climática sobre problemas fitossanitários de plantas: metodologias de elaboração de mapas. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 3, n. 2, p. 73-85, 2006.

HANSEN, J.; SATO, M.; RUEDY, R.; LO, K.; LEA, D.W.; MEDINA-ELIZADE, M. Global temperature change. **PNAS**, Washington, v. 103, p. 14288-14293, 2006.

IPCC. **Climate Change 2001**: the scientific basis IPCC WG I, TAR. New York: Cambridge University Press, 2001. 881 p.

IPCC. **Climate change 2007**: the physical science basis - Summary for policymakers. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. 18p. (IPCC Assessment Report, 4). Disponível em: <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2007.

LONSDALE, D.; GIBBS, J. N. Effects of climate change on fungal diseases of trees. In: FRANKLAND,
J. C.; MAGAN, N.; GADD, G. M. (Ed.). **Fungi and environmental change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. p. 1-19.

LONSDALE, D.; GIBBS, J. N. Effects of climate change on fungal diseases of trees. In: BROADMEADOW, M. (Ed.) **Climate change: impacts on UK forests.** Edinburgh: Forestry Commission, 2002. p. 83-97. (Bulletin, 125).

LUO, Y.; TEBEEST, D. O.; TENG, P. S.; FABELLAR, N. G. Simulation studies on risk analysis of rice leaf blast epidemics associated with global climate change in several Asian countries. **Journal of Biogeography,** Oxford, v. 22, p. 673-678, 1995.

MARENGO, J.; SOARES, W. **Impacto das modificações da mudança climática - Síntese do Terceiro Relatório do IPCC** : condições climáticas e recursos hídricos no Norte do Brasil. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos/FBMC-ANA, 2003. p. 209-233. (Clima e Recursos Hídricos, 9).

MUDANÇA DO CLIMA: volume I: Negociações internacionais sobre a mudança do clima: vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima. Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2005a. 250 p. (Cadernos NAE, 3).

MUDANÇA DO CLIMA: volume II: Mercado de carbono. Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2005b. 500 p. (Cadernos NAE, 4).

NEVES, E. M. Suscetibilidade da economia brasileira: o papel da fitopatologia. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 31, p. 116-118, 2005. Suplemento.

PARRA, J. R. P. Biologia comparada de *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville, 1842) (Lepidoptera, Lyonetiidae) visando ao seu zoneamento ecológico no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 45-76, 1985.

PITTOCK, A. B.; FRAKES, L. A.; JESSEN, D.; PETERSON, J. A.; ZILLMAN, J. W. **Climate change and variability:** a southern perspective. Cambridge: University Press, 1978. 455 p.

SCHERM, H. Climate change: can we predict the impacts on plant pathology and pest management? **Canadian Journal of Plant Pathology**, Ottawa, v. 26, n. 3, p. 367-273, 2004.

SCHERM, H.; BRUGGEN, A. H. C. van. Global warming and nonlinear growth: how important are changes in average temperature? **Phytopathology**, St. Paul, v. 84, n. 12, p. 1380-1384, 1994.

SIEGENTHALER, U.; STOCKER, T. F.; MONNIN, E.; LÜTHI, D.; SCHWANDER, J.; STAUFFER, B.; RAYNAUD, D.; BARNOLA, J. M.; FISCHER, H.; MASSON-DELMOTTE, V.; JOUZEL, J. Stable carbon cycle–climate relationship during the late Pleistocene. **Science**, Washington, v. 310, p. 1313-1317, 2005.

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. **Clima e recursos hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, 2003. 348 p.

Capítulo 2

Cenários climáticos futuros para o Brasil

Emília Hamada
Renata Ribeiro do Valle Gonçalves
Jose Antonio Marengo Orsini
Raquel Ghini

Mudança climática e gases de efeito estufa

A mudança climática é um processo decorrente do efeito acumulativo contínuo das emissões excessivas de gases de efeito estufa e de aerossóis, provenientes da intensificação de algumas atividades humanas.

A concentração dos gases de efeito estufa vem aumentando consideravelmente nos últimos 150 anos e tem sido a principal causa do aquecimento incomum no planeta nesse período (BARROS, 2005). Dentre os gases de efeito estufa, o dióxido de carbono é o mais importante gás de origem antropogênica e sua concentração aumentou de 280 ppm, no período pré-industrial, a 379 ppm em 2005 (IPCC, 2007). Como resultado desse aumento, durante o século XX, houve um aumento na temperatura média do planeta de 0,6 °C ± 0,2 °C (IPCC, 2001). Segundo o IPCC (2007), onze dos últimos doze anos (1995–2006) estão classificados entre os anos mais quentes, considerando os dados registrados de temperatura desde 1850. E a previsão para as duas próximas décadas é de aquecimento de cerca de 0,2 °C, por década.

No Brasil, a temperatura média aumentou aproximadamente 0,75 °C até o final do século XX, considerando a normal climatológica (1961–1990) de 24,9 °C (MARENGO et al., 2007). Hulme e Scheard (1999) observaram que esse aquecimento ocorreu em todas as estações do ano, mas foi mais pronunciado no período de junho a agosto.

Esse aquecimento global do planeta implica em mudanças, não somente na variabilidade dos valores de temperatura, mas também no ritmo esperado de outras variáveis climáticas como a precipitação, os ventos e a umidade.

As mudanças climáticas tornam os países em desenvolvimento, de um modo geral, os mais vulneráveis pelos seus possíveis impactos (IPCC, 2001; NOBRE, 2005). No caso do Brasil, o País se mostra especialmente vulnerável ao aquecimento global quando são analisados os impactos sobre seus ecossistemas e sua agricultura (NOBRE et al., 2005).

Cenários climáticos futuros

Os cenários climáticos são representações sobre o clima futuro, descrevendo como se modificará o clima do planeta em decorrência de uma determinada alteração da composição da atmosfera, resultante das atividades humanas (CAMILLONI; BIDEGAIN; 2005). Essas representações do clima

futuro são baseadas em um conjunto de suposições, que incluem tendências futuras de demanda energética, emissões de gases de efeito estufa, mudanças no uso do solo e aproximações nas leis que regem o comportamento do sistema climático sobre grandes períodos de tempo.

Os modelos climáticos são ferramentas para projeções de futuras mudanças do clima, como conseqüência de futuros cenários de forçantes climáticas, causados por gases de efeito estufa e aerossóis (MARENGO; SOARES, 2003). Diversos grupos de pesquisa, em diferentes países, trabalham com modelos climáticos globais de características similares. Segundo Marengo (2001), esses são modelos de clima de alta qualidade, em que os processos atmosféricos, oceânicos e terrestres são representados da melhor forma possível, dado o conhecimento científico atual e os meios computacionais existentes. Os resultados desses modelos estão disponíveis no Data Distribution Centre (DDC) do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC), sigla em inglês, em sua página da internet (http:/www.ipcc-data.org/).

O IPCC propõe agrupar os cenários em quatro famílias ou conjuntos narrativos (storylines), definidas no Special Report on Emissions Scenarios (SRES) (IPCC, 2000). Essas famílias de cenários (A1, B1, A2 e B2) consideram diferentes projeções de emissões de gases de efeito estufa, relacionando aspectos de desenvolvimento social, econômico e tecnológico, crescimento populacional, preocupação com o meio ambiente e diferenças regionais. Assim, segundo Hulme e Scheard (1999), as mudanças na emissão de carbono por fontes industriais/produção de energia em 2100 variarão entre um decréscimo de 4 % no cenário B1 até um aumento de cerca de 320 % no cenário A2, em relação às estimativas para o ano 2000; também a concentração em dióxido de carbono na atmosfera aumentará em 2100 para 550 ppmv no cenário B1 e para 830 ppmv no cenário A2, e em 1999 esse valor era de 370 ppmv, aproximadamente.

Na Fig. 1 é apresentado um diagrama esquemático dos cenários definidos no SRES, que ilustra o estabelecimento dos cenários a partir das principais forças condutoras das emissões de gases de efeito estufa. Cada família de cenário é baseada em uma especificação comum de algumas das principais forças condutoras. Cada família de cenário combina dois conjuntos ou dimensões de tendências divergentes: uma que varia entre desenvolvimentos com prioridades em valores econômicos ou ambientais e outra que vai desde um aumento na homogeneização global à manutenção das condições heterogêneas entre regiões. A descrição de cada família de cenários, com ênfase em suas principais características e dinâmicas, está apresentada na Tabela 1.

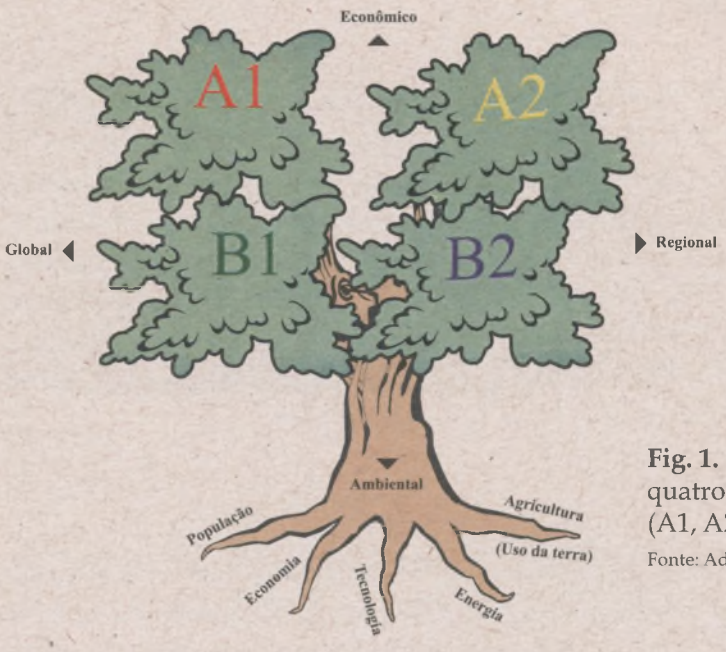


Fig. 1. Ilustração esquemática das quatro famílias de cenários SRES (A1, A2, B1 e B2).
Fonte: Adaptado de IPCC (2005).

Tabela 1. Principais características (linhas narrativas) das famílias de cenários de mudanças climáticas SRES (Special Report on Emissions Scenarios).

A1 – Descreve um mundo com rápido crescimento econômico, baixa taxa de crescimento populacional e rápida introdução de novas e mais eficientes tecnologias. As principais características incluem a convergência entre as regiões, o desenvolvimento das capacidades e o aumento das interações culturais e sociais, com importante redução nas diferenças regionais da renda per capta. Considera direções alternativas de mudança tecnológica no sistema de energia.
A2 – Descreve um mundo futuro muito heterogêneo, com preservação das identidades locais e da tradição. Os padrões de fertilidade entre regiões convergem muito lentamente, o que resulta em alto crescimento populacional. O desenvolvimento econômico é principalmente orientado regionalmente e o crescimento econômico per capta e a mudança tecnológica são mais fragmentados e mais lentos, comparados às outras famílias de cenário.
B1 – Descreve um mundo convergente com baixo crescimento populacional, porém com rápidas mudanças nas estruturas econômicas, com redução na utilização de material e a introdução de tecnologias limpas e eficientes na utilização de recursos. A ênfase é nas soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, incluindo a melhoria na eqüidade, porém sem iniciativas climáticas adicionais.
B2 – Descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. É um mundo com moderado crescimento populacional, níveis intermediários de desenvolvimento econômico e mudança tecnológica menos rápida e mais diversa do que o B1 e o A1. É orientado para a proteção do meio ambiente e a eqüidade social, mas com foco nos níveis local e regional.

Fonte: Adaptado de IPCC (2000).

Clima no Brasil

Neste estudo foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas (SIG) Idrisi 32, software desenvolvido pela Universidade de Clark, EUA. Os dados das variáveis climáticas foram inseridos no banco de dados do SIG, adotando-se o sistema de coordenadas geográficas latitude e longitude, com resolução espacial de 0,5° x 0,5°. As variáveis são médias mensais de temperatura (°C), precipitação (mm/dia), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), radiação solar (W/m^2) e umidade relativa (%). Pela sua importância, são discutidas com maior detalhamento somente as duas primeiras variáveis.

Cenário atual

Considera-se como cenário atual os dados de 30 anos (1961–1990), disponíveis em IPCC (2006). Na Fig. 2 são apresentados os mapas de temperatura média agrupados nas estações do ano (outono: março a maio; inverno: junho a agosto; primavera: setembro a novembro; verão: dezembro a fevereiro). As temperaturas médias para todo o País foram de 24,9 °C nos meses de outono, 23,5 °C no inverno, 25,5 °C na primavera e 25,6 °C no verão. A temperatura média mensal nesse período para todo o País teve os mais altos valores em outubro e novembro, com médias de 25,7 °C, e o menor valor em julho, com 23,2 °C.

Comparando-se as regiões do País, as maiores e menores temperaturas médias durante o ano ocorreram, respectivamente, nas regiões Norte (variando de 25,6 °C a 26,9 °C) e Sul (variando de 14,5 °C a 23,6 °C), exceto no mês de janeiro, quando a maior temperatura ocorreu na região Nordeste (26,1 °C). As menores temperaturas médias para todas as regiões ocorreram no mês de julho, enquanto que as maiores temperaturas ocorreram para a região Norte em outubro e para o Sul em fevereiro.

Na Fig. 3 são apresentados os mapas de precipitação pluvial média diária agrupados nas estações do ano. As precipitações médias para todo o País foram nos meses de outono de 6,1 mm/dia, inverno de 2,3 mm/dia, primavera de 3,9 mm/dia e verão de 7,2 mm/dia. A precipitação média diária no período (1961–1990) para todo o País foi maior no verão, no mês de fevereiro, com 7,7 mm/dia, e menor no inverno, em agosto, com 1,9 mm/dia.

A precipitação não acompanha a variabilidade regional da temperatura média, com valores máximos e mínimos variando durante os meses do ano, apresentando o contraste típico entre as regiões do País. A maior precipitação

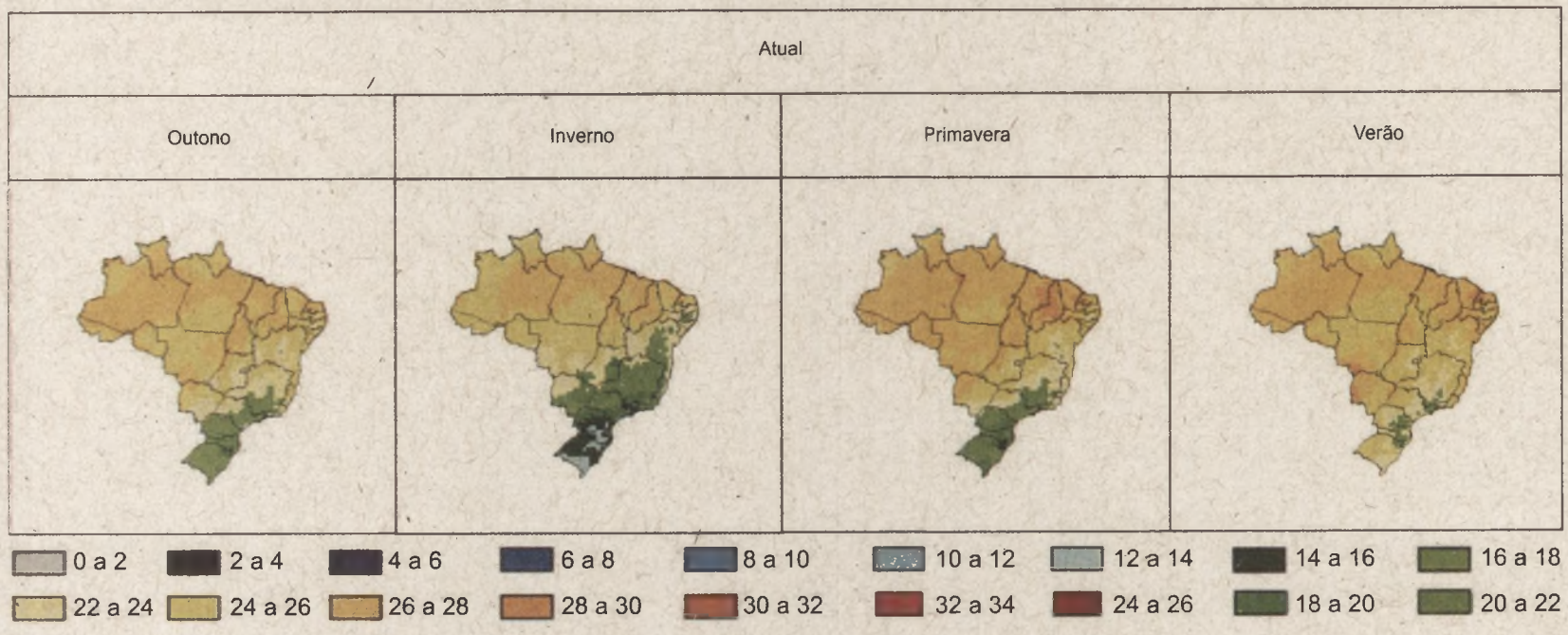


Fig. 2. Temperatura média (°C) do Brasil, período de 1961–1990, nas estações do ano.

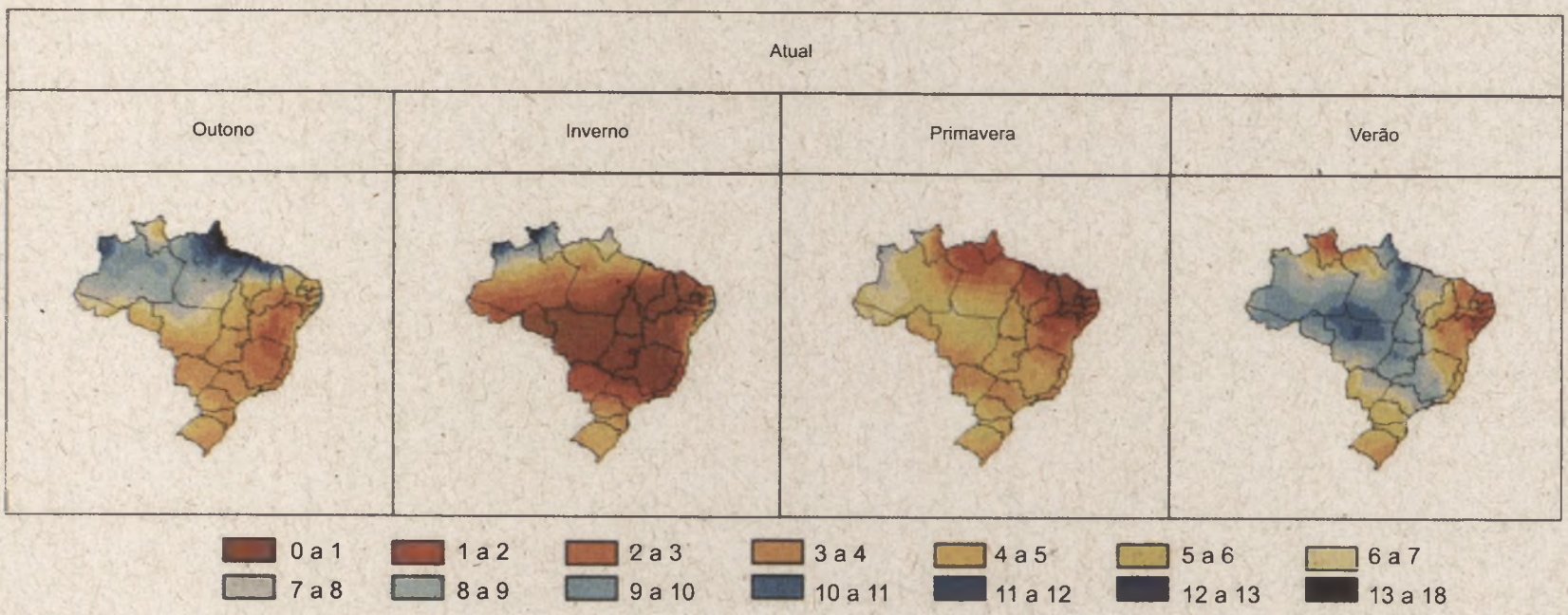


Fig. 3. Precipitação média diária (mm/dia) do Brasil, período de 1961-1990, nas estações do ano.

média diária durante o ano ocorreu na região Norte, com 9,4 mm/dia em março e a menor no Centro-Oeste, com 0,4 mm/dia em julho. Destaca-se o Nordeste que é a parte do País onde ocorrem, com maior freqüência, os menores índices de precipitação durante os meses do ano (agosto a janeiro). As menores precipitações do País, em junho e julho, ocorrem no Centro-Oeste; em fevereiro e março na região Sul; e em abril e maio no Sudeste. O Norte destaca-se com a maior freqüência de maiores precipitações nos meses do ano (fevereiro a junho). Nos outros meses, as maiores precipitações ocorrem no Sul nos meses de junho a outubro e no Centro-Oeste nos meses de novembro, dezembro e janeiro.

Cenário futuro

Foram escolhidos dois cenários para o Brasil, A2 (mais pessimista) e B2 (mais otimista), para as décadas centradas em 2020 (2010–2039), 2050 (2040–2069) e 2080 (2070–2099). Os mapas dos cenários futuros são resultantes da média das respostas de seis modelos climáticos globais de previsões futuras: CCSR/NIES, CGCM2, CSIRO-Mk2, ECHAM4, GFDL-R30 e HadCM3, disponibilizados em IPCC (2006). Nas Tabelas 2 e 3 são apresentadas as instituições que desenvolveram os modelos e os respectivos acrônimos.

As informações climáticas estão disponíveis em IPCC (2006) com resolução espacial ou tamanho da grade específica para cada modelo, conforme pode ser observado na Tabela 4. A disponibilidade das variáveis climáticas pelos modelos também pode diferenciar, pois nem todos disponibilizam dados dos mesmos elementos meteorológicos (Tabela 4). Das seis variáveis consideradas no estudo, temperatura média, precipitação e radiação solar são disponibilizadas por todos os modelos.

Tabela 2. Instituições e modelos climáticos utilizados.

Instituição responsável	País	Modelo
Center for Climate System Research / National Institute for Environmental Studies	Japão	CCSR/NIES
Canadian Center for Climate Modelling and Analysis	Canadá	CGCM2
Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization	Austrália	CSIRO-Mk2
Max Planck Institute für Meteorologie	Alemanha	ECHAM4
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	EUA	GFDL-R30
Hadley Centre for Climate Prediction and Research	Inglaterra	HadCM3

Fonte: Adaptado de IPCC (2006) e Marengo (2006).

Tabela 3. Acrônimos dos modelos climáticos globais.

Modelo	Acrônimo
CCSR/NIES	Centre for Climate Research Studies Model
CGCM2	Canadian Global Coupled Model version 2
CSIRO-Mk2	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization GCM mark 2
ECHAM4	European Centre Hamburg Model version 4
GFDL-R30	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, R-30 resolution model
HadCM3	Hadley Centre Coupled Model version 3

Fonte: Adaptado de IPCC (2006).

Tabela 4. Características dos modelos: resolução espacial e variáveis climáticas disponíveis.

Modelo	Resolução	TM	TMax	TMin	RS	Precip	UR
CCSR/NIES	5,625 X 5,625	X	X	X	X	X	-
CGCM2	3,75 X 3,75	X	X	X	X	X	-
CSIRO-Mk2	5,625 X 3,214	X	X	X	X	X	-
ECHAM4	2,8125 X 2,8125	X	-	-	X	X	-
GFDL-R30	3,75 X 2,25	X	-	-	X	X	-
HadCM3	3,75 X 2,5	X	X	X	X	X	X

Observações: Resolução espacial (graus X graus de latitude-longitude); TM = Temperatura média mensal (°C); TMax = Temperatura máxima média mensal (°C); TMin = Temperatura mínima média mensal (°C); RS = Radiação solar média mensal (W/m^2); Precip = Precipitação média mensal (mm/dia); UR = Umidade relativa média mensal (%).
Fonte: Adaptado de IPCC (2006).

Devido ao fato dos dados obtidos em IPCC (2006) estarem, originalmente, em formato de grade de diferentes resoluções espaciais, esses dados foram interpolados pelo método do Inverso do Quadrado da Distância, de forma a todos possuírem a resolução de 0,5° x 0,5° de latitude e longitude (a mesma dos dados do clima presente). Esse procedimento de padronização, embora possa ser uma fonte de erro, é uma etapa indispensável a fim de permitir as operações no SIG e pode ser considerado aceitável, uma vez que os modelos climáticos globais apresentam incertezas das previsões futuras, associadas aos processos físicos representados. Essa técnica de *downscaling* reamostra espacialmente os dados brutos do modelo climático global para a resolução desejada e também foi aplicada por Bouwer et al. (2004).

Temperatura média

Os dados de temperatura média, baseados nos modelos de mudanças climáticas, são apresentados na Fig. 4. Na Tabela 5 esses resultados estão apresentados por região do País e meses do ano, e na Tabela 6 são apresentadas as anomalias, ou seja, as diferenças entre as temperaturas médias do período de 1961 a 1990 e as temperaturas obtidas em cada modelo. Os resultados indicam para o País, em geral, aumentos na temperatura média mensal nas décadas futuras (2020, 2050 e 2080 - A2 e B2) (Fig. 4), com exceção da região Centro-Oeste, para os meses de fevereiro a junho de 2020, cenários A2 e B2 (Tabela 6). Já no outono (março a maio), a previsão é de uma pequena redução da temperatura média. Esses aumentos ao longo dos meses do ano, no entanto, mantêm o comportamento sazonal da temperatura média similar ao do clima atual. As diferenças entre os cenários A2 e B2 vão aumentando com o tempo, confirmando para o A2 um cenário mais pessimista, ou seja, os incrementos de temperatura média no cenário A2 serão maiores que os observados no cenário B2 (Fig. 5).

As maiores temperaturas médias, considerando todo o País, ocorrerão no mês de outubro e as menores em junho (Fig. 4 e Tabela 5). Em 2080-A2, por exemplo, a maior temperatura média ocorrerá em outubro (31,2 °C) e a menor em junho (26,8 °C), com média anual de 28,8 °C, significando no ano uma anomalia positiva ou um aumento comparado ao clima atual de 4,0 °C. Estima-se ainda que em 2080-A2 as maiores temperaturas médias ocorrerão na região Norte, variando de 29,1 °C a 33,7 °C, para todos os meses do ano; enquanto as menores temperaturas médias ocorrerão de março a novembro na região Sul, variando de 17,4 °C a 26,5 °C, e em dezembro e janeiro na região Sudeste (26,9 °C, em média).

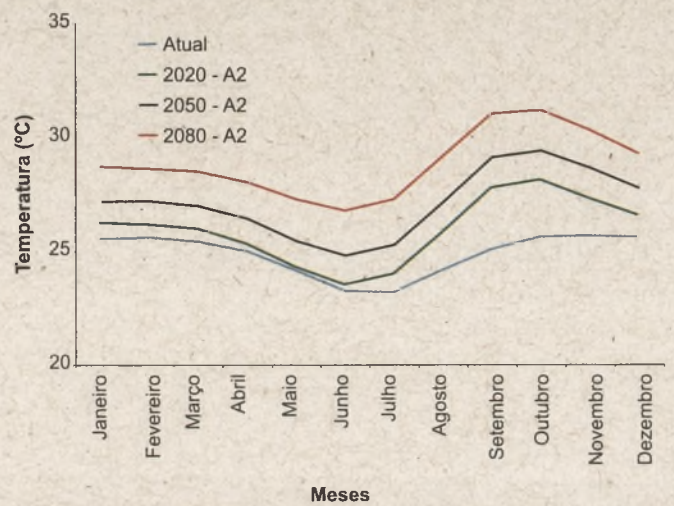


Fig. 4. Temperatura média do Brasil ao longo dos meses do ano para o clima presente (1961-1990) e futuro (2020, 2050 e 2080) do cenário A2.

Tabela 5. Temperatura média mensal (°C), para as regiões e para o País, no período de 1961 a 1990 (atual) e nos anos de 2020, 2050 e 2080 – cenários A2 e B2.

Região	Mês	Atual	2020		2050		2080	
			A2	B2	A2	B2	A2	B2
Norte	janeiro	26,0	26,6	26,6	27,6	27,4	29,2	28,2
	fevereiro	26,0	26,7	26,7	27,8	27,5	29,2	28,3
	março	26,1	26,7	26,8	27,7	27,5	29,3	28,3
	abril	26,2	26,5	26,5	27,6	27,3	29,2	28,2
	maio	26,0	26,0	26,0	27,2	26,9	29,1	28,0
	junho	25,6	25,8	25,9	27,3	26,8	29,4	28,2
	julho	25,6	26,9	27,0	28,4	28,0	30,6	29,4
	agosto	26,2	28,9	29,0	30,5	30,1	32,7	31,3
	setembro	26,8	30,2	30,2	31,7	31,4	33,7	32,4
	outubro	26,9	29,8	29,7	31,1	30,9	33,0	31,8
	novembro	26,7	28,3	28,3	29,7	29,4	31,4	30,2
	dezembro	26,3	27,0	27,1	28,3	27,9	29,9	28,7
Nordeste	janeiro	26,1	26,6	26,6	27,5	27,2	29,0	28,1
	fevereiro	25,9	26,4	26,5	27,4	27,1	28,9	27,8
	março	25,8	26,5	26,6	27,5	27,2	29,0	28,0
	abril	25,5	26,3	26,5	27,4	27,1	29,0	28,0
	maio	25,0	25,8	25,9	26,9	26,6	28,4	27,5
	junho	24,3	25,0	25,0	26,0	25,8	27,6	26,6
	julho	24,1	24,6	24,6	25,6	25,4	27,2	26,3
	agosto	24,8	25,3	25,2	26,2	26,1	27,9	26,8
	setembro	25,9	26,8	26,8	27,8	27,6	29,5	28,4
	outubro	26,5	28,1	28,1	29,1	29,0	30,8	29,7
	novembro	26,5	28,0	28,1	29,1	29,0	30,8	29,7
	dezembro	26,4	27,2	27,3	28,3	28,0	29,9	28,8
Centro-Oeste	janeiro	25,7	25,9	25,8	26,8	26,4	28,3	27,3
	fevereiro	25,8	25,7	25,8	26,7	26,4	28,2	27,2
	março	25,7	25,6	25,7	26,6	26,3	28,3	27,2
	abril	25,4	24,9	24,9	26,0	25,5	27,8	26,6
	maio	24,1	23,5	23,5	24,6	24,3	26,8	25,4
	junho	22,7	22,4	22,4	23,7	23,3	25,9	24,6
	julho	22,8	22,9	22,9	24,2	24,0	26,4	25,1
	agosto	24,4	25,6	25,6	27,0	26,7	29,2	27,7
	setembro	25,5	28,7	28,7	30,2	29,9	32,4	30,9
	outubro	26,2	29,0	29,0	30,4	30,4	32,3	31,1
	novembro	26,0	27,5	27,6	29,0	28,7	30,7	29,5
	dezembro	25,8	26,4	26,5	27,5	27,0	29,0	27,9
Sudeste	janeiro	24,1	24,7	24,7	25,6	25,2	26,8	25,9
	fevereiro	24,5	24,7	24,7	25,6	25,2	26,8	25,9
	março	24,1	24,1	24,2	25,1	24,7	26,6	25,5
	abril	22,6	22,8	22,9	23,8	23,4	25,4	24,3
	maio	20,8	21,0	21,1	22,0	21,8	23,7	22,6

Continua...

Tabela 5. Continuação.

Região	Mês	Atual	2020		2050		2080	
			A2	B2	A2	B2	A2	B2
Sudeste	junho	19,3	19,5	19,5	20,5	20,3	22,3	21,3
	julho	19,0	19,2	19,2	20,3	20,1	22,0	21,0
	agosto	20,4	20,6	20,7	21,7	21,5	23,5	22,4
	setembro	21,7	23,2	23,1	24,4	24,1	26,2	24,9
	outubro	22,8	24,6	24,6	25,8	25,7	27,4	26,4
	novembro	23,3	24,4	24,5	25,7	25,4	27,3	26,1
	dezembro	23,4	24,6	24,7	25,6	25,2	26,9	25,9
Sul	janeiro	23,6	26,6	26,7	27,4	27,2	28,8	27,9
	fevereiro	23,6	25,9	26,0	26,9	26,7	28,4	27,4
	março	22,2	24,2	24,3	25,2	24,9	26,5	25,8
	abril	19,4	21,2	21,2	22,2	22,2	23,4	22,6
	maio	16,5	17,8	17,8	18,7	18,5	20,1	19,2
	junho	14,3	15,5	15,4	16,3	16,3	17,7	16,9
	julho	14,4	15,3	15,2	16,3	16,1	17,4	16,6
	agosto	15,5	17,5	17,4	18,4	18,2	19,7	18,8
	setembro	16,8	20,2	20,3	21,1	21,1	22,6	21,5
	outubro	19,0	21,8	22,0	23,1	22,8	24,3	23,1
	novembro	20,8	23,9	23,9	24,9	24,7	26,3	25,2
	dezembro	22,5	25,7	25,8	26,8	26,5	27,9	27,0
Brasil								
	janeiro	25,5	26,3	26,2	27,2	26,9	28,7	27,7
	fevereiro	25,6	26,2	26,2	27,2	26,9	28,6	27,6
	março	25,4	26,0	26,0	27,0	26,7	28,5	27,6
	abril	25,0	25,3	25,4	26,4	26,1	28,0	27,0
	maio	24,2	24,3	24,3	25,4	25,1	27,3	26,2
	junho	23,3	23,5	23,6	24,8	24,4	26,8	25,6
	julho	23,2	24,0	24,0	25,3	25,0	27,3	26,1
	agosto	24,2	25,8	25,9	27,1	26,9	29,2	27,9
	setembro	25,1	27,8	27,8	29,1	28,8	31,0	29,8
	outubro	25,6	28,1	28,1	29,4	29,3	31,2	30,0
	novembro	25,7	27,3	27,4	28,6	28,4	30,3	29,2
	dezembro	25,6	26,6	26,7	27,7	27,3	29,3	28,1

Fonte: Adaptado de IPCC (2006) e Marengo (2006).

Tabela 6. Anomalias de temperatura média (°C), comparadas ao período de 1961 a 1990, para as regiões e o País, para os meses dos anos de 2020, 2050 e 2080 – cenários A2 e B2.

Região	Mês	2020		2050		2080	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2
Norte	janeiro	0,7	0,6	1,7	1,4	3,3	2,2
	fevereiro	0,7	0,7	1,8	1,5	3,2	2,2
	março	0,7	0,7	1,7	1,4	3,2	2,3

Continua...

Tabela 6. Continuação.

Região	Mês	2020		2050		2080	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2
Norte	abril	0,3	0,3	1,4	1,1	3,0	2,0
	maio	0,0	0,0	1,2	0,9	3,1	2,0
	junho	0,3	0,3	1,7	1,2	3,9	2,6
	julho	1,3	1,4	2,8	2,4	5,1	3,8
	agosto	2,7	2,8	4,2	3,9	6,4	5,1
	setembro	3,5	3,5	4,9	4,6	7,0	5,6
	outubro	2,8	2,8	4,1	4,0	6,1	4,9
	novembro	1,6	1,7	3,0	2,7	4,7	3,6
	dezembro	0,7	0,8	2,0	1,6	3,6	2,4
Nordeste	janeiro	0,5	0,5	1,4	1,1	3,0	2,0
	fevereiro	0,5	0,6	1,4	1,2	2,9	1,9
	março	0,7	0,7	1,7	1,4	3,1	2,2
	abril	0,8	0,9	1,9	1,6	3,5	2,4
	maio	0,8	0,9	1,9	1,6	3,4	2,5
	junho	0,6	0,7	1,7	1,4	3,2	2,3
	julho	0,6	0,6	1,5	1,3	3,1	2,2
	agosto	0,5	0,5	1,4	1,3	3,1	2,1
	setembro	0,9	0,8	1,9	1,7	3,5	2,5
	outubro	1,6	1,6	2,6	2,5	4,3	3,3
	novembro	1,5	1,6	2,6	2,5	4,3	3,2
	dezembro	0,9	0,9	2,0	1,6	3,5	2,4
Centro-Oeste	janeiro	0,2	0,1	1,1	0,7	2,6	1,6
	fevereiro	-0,1	-0,1	0,9	0,5	2,4	1,4
	março	-0,1	0,0	0,9	0,6	2,6	1,5
	abril	-0,5	-0,5	0,6	0,2	2,5	1,2
	maio	-0,6	-0,6	0,5	0,3	2,7	1,4
	junho	-0,3	-0,3	1,0	0,6	3,2	1,9
	julho	0,1	0,1	1,4	1,2	3,6	2,3
	agosto	1,2	1,2	2,6	2,3	4,8	3,3
	setembro	3,2	3,2	4,7	4,4	6,9	5,4
	outubro	2,8	2,8	4,2	4,2	6,1	4,9
	novembro	1,5	1,7	3,0	2,7	4,7	3,5
	dezembro	0,6	0,7	1,7	1,2	3,2	2,1
Sul	janeiro	3,0	3,1	3,8	3,6	5,3	4,3
	fevereiro	2,3	2,4	3,3	3,1	4,8	3,8
	março	2,0	2,1	3,0	2,7	4,3	3,5
	abril	1,8	1,8	2,8	2,8	4,0	3,2
	maio	1,3	1,3	2,2	2,0	3,6	2,6
	junho	1,2	1,1	2,0	2,0	3,4	2,6
	julho	0,8	0,7	1,8	1,6	3,0	2,1
	agosto	1,9	1,9	2,8	2,6	4,1	3,3
	setembro	3,3	3,5	4,3	4,3	5,8	4,7

Continua...

Tabela 6. Continuação.

Região	Mês	2020		2050		2080	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2
Sul	outubro	2,8	3,0	4,1	3,9	5,3	4,1
	novembro	3,1	3,1	4,1	3,9	5,5	4,4
	dezembro	3,2	3,3	4,3	4,0	5,4	4,5
Brasil	janeiro	0,7	0,7	1,7	1,4	3,2	2,2
	fevereiro	0,6	0,6	1,6	1,3	3,0	2,0
	março	0,6	0,6	1,6	1,3	3,1	2,1
	abril	0,3	0,4	1,4	1,1	3,0	2,0
	maio	0,1	0,2	1,3	1,0	3,1	2,0
	junho	0,3	0,3	1,5	1,2	3,5	2,3
	julho	0,8	0,8	2,1	1,8	4,1	2,9
	agosto	1,7	1,7	3,0	2,7	5,0	3,7
	setembro	2,7	2,7	4,0	3,8	6,0	4,7
	outubro	2,5	2,5	3,8	3,7	5,5	4,4
	novembro	1,6	1,7	2,9	2,7	4,6	3,5
	dezembro	0,9	1,0	2,1	1,7	3,6	2,5

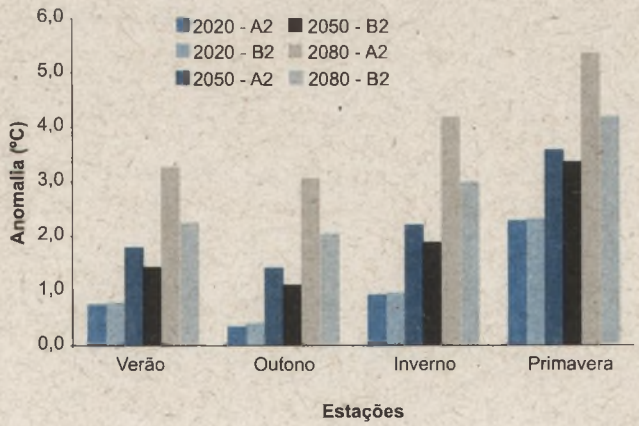


Fig. 5. Anomalias de temperatura média, comparadas ao período de 1961 a 1990, para as estações do ano e décadas de 2020, 2050 e 2080, cenários A2 e B2.

Em geral, as maiores anomalias ocorrerão na primavera (setembro a novembro), enquanto as menores no outono (março a maio); por exemplo, em 2080-A2, a anomalia estimada na primavera é de 5,4 °C (Fig. 5 e 6 e Tabela 7), enquanto no outono será de 3,1 °C. Considerando os dois cenários B2 e A2, respectivamente, a anomalia estimada variará em 2020 de 0,3 °C a 2,3 °C; em 2050 de 1,1 °C a 3,6 °C; e em 2080 de 2,0 °C a 5,4 °C.

Os acréscimos na temperatura média não serão uniformes para todo o País (Fig. 7), com considerável variação regional, conforme Marengo et al. (2007). Em termos gerais, nos meses de verão e outono, a região Sul

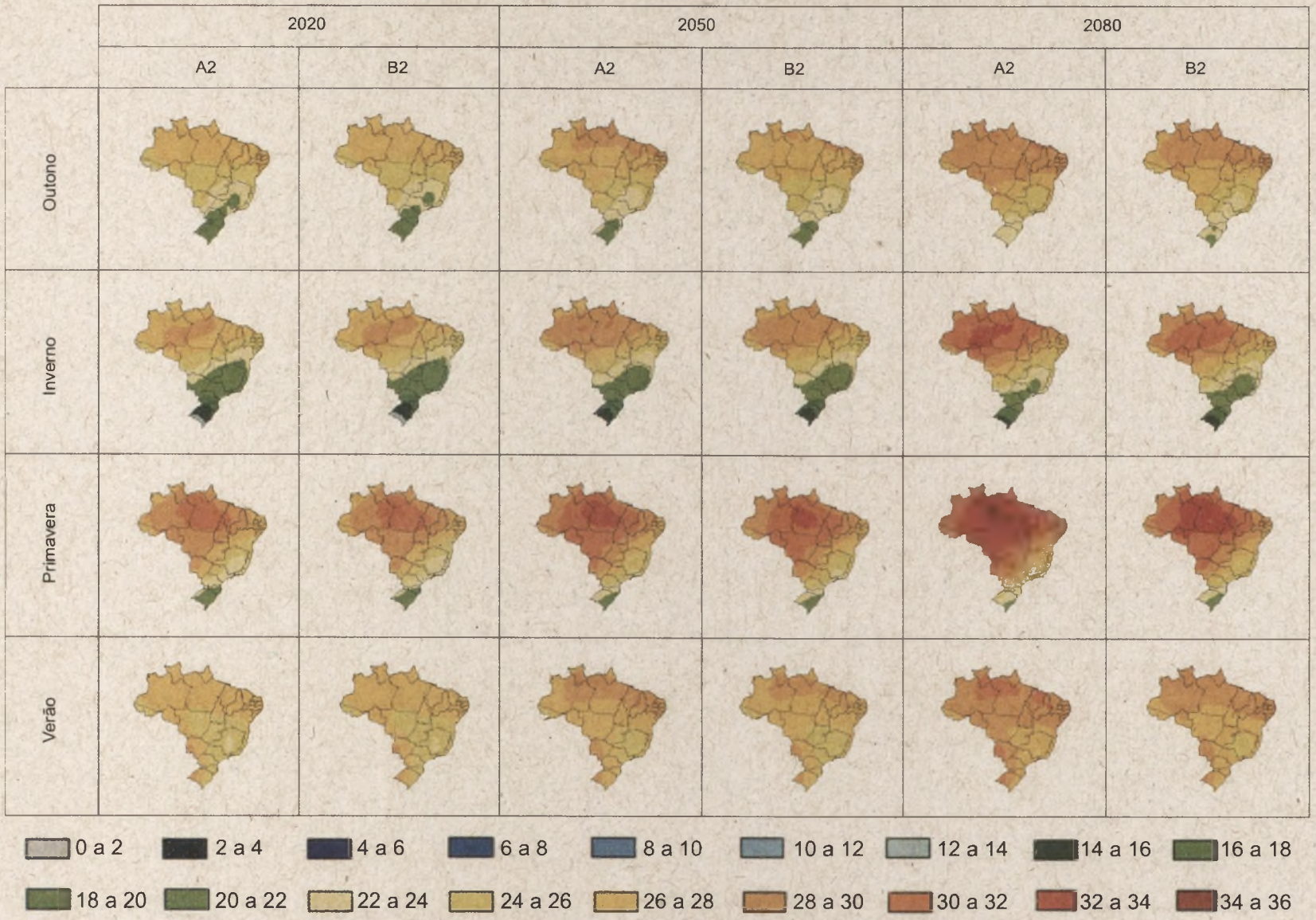


Fig. 6. Temperatura média (°C) de outono, inverno, primavera e verão para os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

Tabela 7. Anomalias de temperatura média do ar (°C), comparadas ao período de 1961 a 1990, para as regiões e o País, para as estações dos anos de 2020, 2050 e 2080 – cenários A2 e B2.

Região	Estação	Mês	2020		2050		2080	
			A2	B2	A2	B2	A2	B2
Norte	verão	dez. - fev.	0,7	0,7	1,8	1,5	3,3	2,3
	outono	mar. - mai.	0,3	0,4	1,4	1,1	3,1	2,1
	inverno	jun. - ago.	1,4	1,5	2,9	2,5	5,1	3,8
	primavera	set. - nov.	2,6	2,6	4,0	3,8	5,9	4,7
Nordeste	verão	dez. - fev.	0,6	0,6	1,6	1,3	3,1	2,1
	outono	mar. - mai.	0,8	0,8	1,8	1,5	3,3	2,4
	inverno	jun. - ago.	0,6	0,6	1,5	1,3	3,2	2,2
	primavera	set. - nov.	1,3	1,4	2,4	2,2	4,0	3,0
Centro-Oeste	verão	dez. - fev.	0,2	0,2	1,3	0,8	2,8	1,7
	outono	mar. - mai.	-0,4	-0,4	0,7	0,4	2,6	1,4
	inverno	jun. - ago.	0,3	0,3	1,6	1,4	3,9	2,5
	primavera	set. - nov.	2,5	2,6	4,0	3,8	5,9	4,6
Sudeste	verão	dez. - fev.	0,6	0,7	1,6	1,2	2,9	1,9
	outono	mar. - mai.	0,1	0,2	1,1	0,8	2,7	1,6
	inverno	jun. - ago.	0,2	0,2	1,3	1,1	3,1	2,0
	primavera	set. - nov.	1,5	1,5	2,7	2,5	4,3	3,2
Sul	verão	dez. - fev.	2,9	2,9	3,8	3,6	5,1	4,2
	outono	mar. - mai.	1,7	1,7	2,6	2,5	4,0	3,1
	inverno	jun. - ago.	1,3	1,2	2,2	2,1	3,5	2,7
	primavera	set. - nov.	3,1	3,2	4,2	4,0	5,5	4,4
Brasil	verão	dez. - fev.	0,7	0,8	1,8	1,4	3,3	2,2
	outono	mar. - mai.	0,3	0,4	1,4	1,1	3,1	2,0
	inverno	jun. - ago.	0,9	1,0	2,2	1,9	4,2	3,0
	primavera	set. - nov.	2,3	2,3	3,6	3,4	5,4	4,2

apresentará as maiores anomalias na temperatura média, comparativamente às outras regiões; as maiores anomalias no inverno ocorrerão na região Norte e na primavera serão nas regiões Norte e Centro-Oeste. As menores anomalias previstas ocorrerão nos meses de outono e inverno nas regiões Centro-Oeste e Sudeste. Serão observados valores mais elevados de anomalias de temperatura média anual (Fig. 8) na Floresta Amazônica e menores nos estados do Sudeste, junto da costa Atlântica, concordando com os resultados obtidos por Hulme e Sheard (1999).

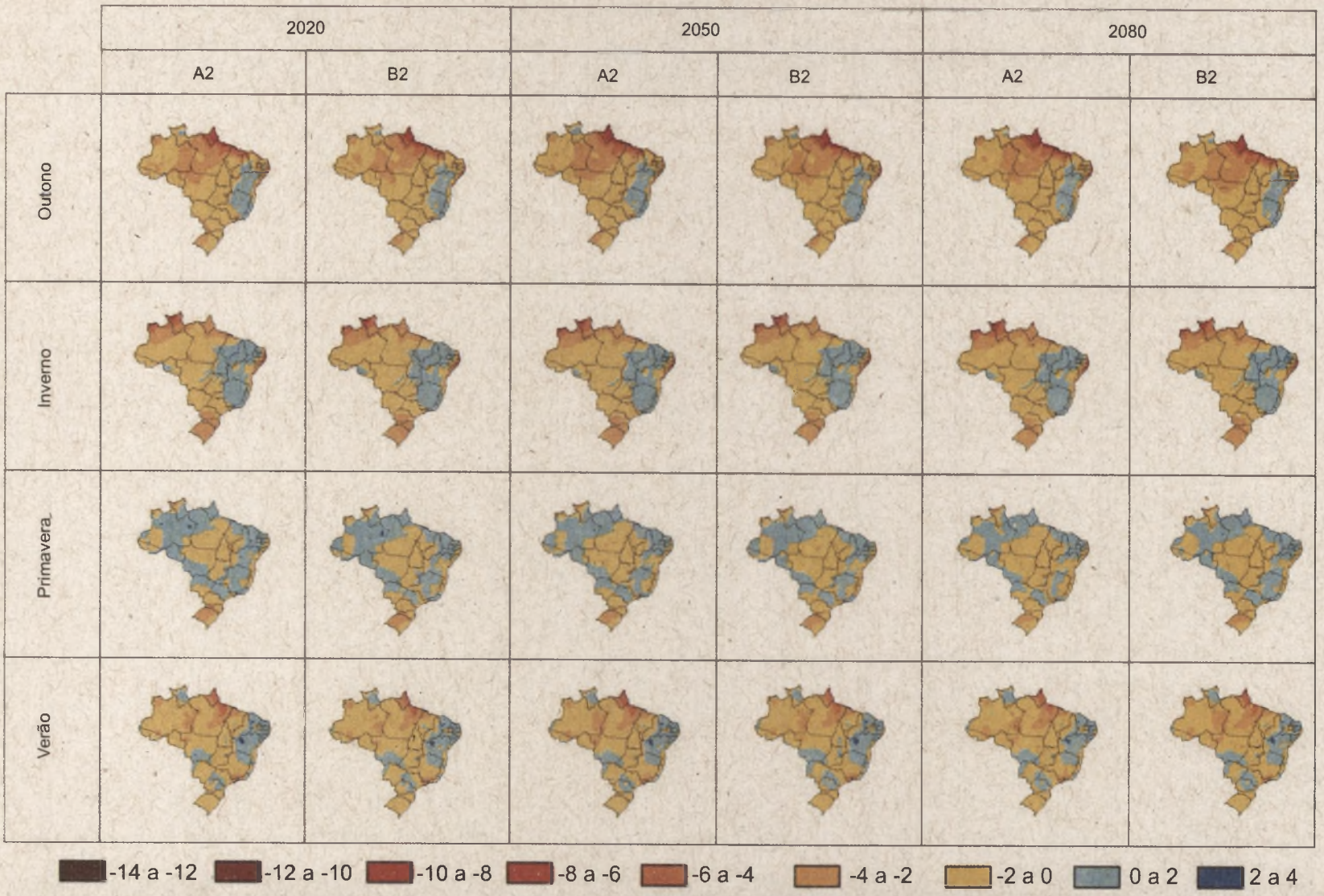


Fig. 7. Anomalias de temperatura média (°C), comparadas ao período de 1961 a 1990, de outono, inverno, primavera e verão para os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

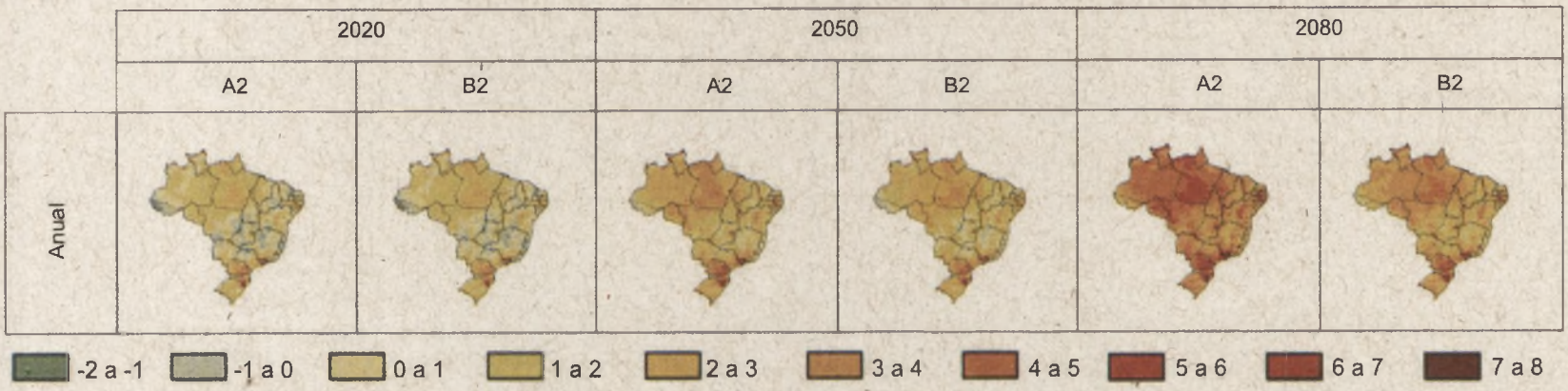


Fig. 8. Anomalias de temperatura média anual (°C), comparadas ao período de 1961 a 1990, para os cenários A2 e B2 e décadas de 2020, 2050 e 2080.

Precipitação

Na Fig. 9 são apresentadas as previsões das precipitações pluviais médias diárias ao longo dos meses do ano no futuro (2020, 2050 e 2080-A2) e no presente (1961-1990). Na Tabela 8, as precipitações são apresentadas por região do País e para o País, ao longo dos meses do ano; e nas Tabelas 9, 10 e 11 são apresentadas as anomalias, comparadas ao período de 1961 a 1990, agrupadas nas estações do ano por média mensal e acumuladas, respectivamente. De uma forma geral, as estimativas no futuro indicam uma diminuição nos totais mensais de precipitações em relação ao clima atual, exceto entre os meses de outubro a dezembro, quando a diferença entre o clima atual e o futuro é pequena. As previsões de 2020, 2050 e 2080 (A2 e B2) apresentam pequenas diferenças entre elas, ao contrário do observado na temperatura média. Isso pode ser comprovado também na Fig. 10, que apresenta as anomalias estimadas das precipitações, demonstrando também pouca diferença entre os cenários A2 e B2, com pequenos aumentos ao longo do tempo.

Estima-se, segundo a média dos modelos climáticos globais, que as maiores precipitações médias diárias ocorrerão no mês de fevereiro e as menores em agosto, para todos os anos (2020, 2050 e 2080-A2 e B2); por exemplo, em 2080-A2, a precipitação em fevereiro será de 6,4 mm/dia e em agosto de 1,1 mm/dia, com média de 3,9 mm/dia no ano, resultando em aproximadamente -1,0 mm/dia de anomalia para o País. Considerando as estações do ano, as precipitações médias de outono no Brasil serão de 4,5 mm/dia; no inverno de 1,3 mm/dia; na primavera de 3,6 mm/dia; e no verão de 6,3 mm/dia, indicando que as maiores precipitações ocorrerão nos meses de verão (40 % das chuvas) e de outono (29 %) (Fig. 11).

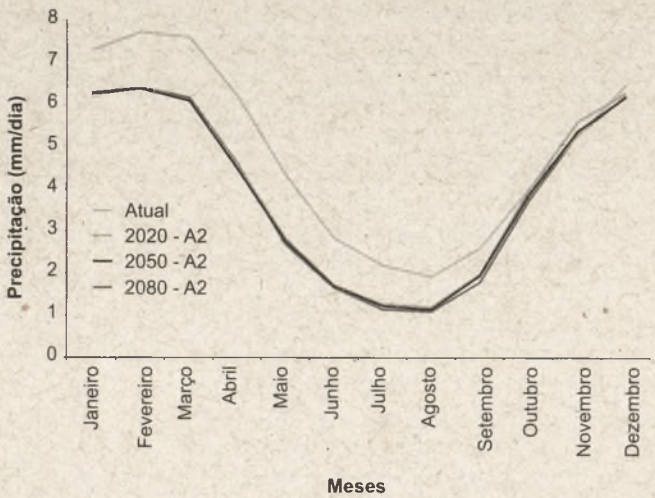


Fig. 9. Precipitação média diária do Brasil ao longo dos meses do ano para o clima presente (1961-1990) e futuro (2020, 2050 e 2080) do cenário A2.

Tabela 8. Precipitação média mensal (mm/dia), para as regiões e para o País, no período de 1961 a 1990 (atual) e nos anos de 2020, 2050 e 2080 – cenários A2 e B2.

Região	Brasil	Atual	2020		2050		2080	
			A2	B2	A2	B2	A2	B2
Norte	janeiro	8,25	6,28	6,55	6,37	6,50	6,41	6,27
	fevereiro	9,20	7,02	6,87	6,88	6,92	7,00	6,81
	março	9,43	7,31	7,31	7,27	7,38	7,40	7,24
	abril	8,70	6,42	6,46	6,40	6,54	6,43	6,36
	maio	6,74	4,42	4,37	4,29	4,24	4,13	4,05
	junho	4,49	2,62	2,64	2,50	2,56	2,40	2,36
	julho	3,35	1,85	1,82	1,73	1,73	1,57	1,70
	agosto	2,78	1,73	1,73	1,63	1,67	1,56	1,58
	setembro	3,32	2,63	2,75	2,62	2,50	2,38	2,49
	outubro	4,49	4,66	4,72	4,50	4,49	4,36	4,36
	novembro	5,60	6,28	6,29	6,02	6,08	5,96	6,08
	dezembro	6,80	6,52	6,55	6,45	6,52	6,35	6,34
Nordeste	janeiro	4,39	4,74	4,88	4,72	4,83	4,58	4,46
	fevereiro	5,51	5,00	4,96	5,09	5,10	4,91	5,02
	março	6,07	5,05	4,98	4,90	4,84	4,92	4,89
	abril	5,38	3,79	3,58	3,41	3,69	3,52	3,61
	maio	2,81	2,31	2,19	2,38	2,21	2,20	2,24
	junho	1,76	1,56	1,54	1,59	1,56	1,52	1,46
	julho	1,42	1,17	1,15	1,16	1,11	1,11	1,17
	agosto	0,78	0,85	0,83	0,80	0,80	0,74	0,80
	setembro	0,82	0,75	0,74	0,70	0,65	0,64	0,75
	outubro	1,52	1,46	1,40	1,39	1,32	1,24	1,34
	novembro	2,53	2,71	2,52	2,46	2,51	2,33	2,61
	dezembro	3,41	4,01	3,94	3,79	3,95	3,87	3,84
Centro-Oeste	janeiro	8,66	8,04	8,13	8,05	8,46	8,17	8,13
	fevereiro	8,51	7,63	7,71	7,72	7,88	7,63	7,64
	março	7,74	6,14	6,22	6,27	6,42	6,35	6,19
	abril	4,33	3,11	3,22	2,98	3,17	3,36	3,04
	maio	2,00	0,93	0,94	0,87	0,98	0,88	0,85
	junho	0,66	0,37	0,38	0,37	0,42	0,42	0,41
	julho	0,44	0,25	0,24	0,25	0,23	0,26	0,24
	agosto	0,86	0,36	0,30	0,32	0,34	0,32	0,31
	setembro	2,22	1,63	1,57	1,55	1,40	1,41	1,49
	outubro	4,83	4,90	4,75	4,76	4,36	4,53	4,53
	novembro	6,88	7,07	7,07	6,76	7,16	6,54	6,85
	dezembro	8,60	8,37	8,38	8,23	8,58	8,28	8,32
Sudeste	janeiro	7,36	6,02	6,20	6,10	6,35	6,26	6,39
	fevereiro	5,64	5,48	5,60	5,42	5,74	5,51	5,68
	março	4,70	4,66	4,36	4,63	4,72	4,42	4,46
	abril	2,55	2,45	2,54	2,42	2,50	2,52	2,47
	maio	1,49	1,31	1,38	1,28	1,31	1,24	1,31
	junho	0,87	0,97	1,02	1,06	1,00	1,02	1,00

Continua...

Tabela 8. Continuação.

Região	Brasil	Atual	2020		2050		2080	
			A2	B2	A2	B2	A2	B2
Sudeste	julho	0,81	0,90	0,89	0,92	0,94	0,90	0,89
	agosto	0,81	0,92	0,94	0,95	0,94	0,88	0,91
	setembro	1,76	1,75	1,66	1,64	1,52	1,49	1,61
	outubro	4,02	4,20	4,14	4,10	3,84	3,96	4,15
	novembro	6,02	6,33	6,15	6,15	6,50	6,09	6,45
	dezembro	7,55	6,94	6,94	6,78	7,00	7,06	7,17
Sul	janeiro	4,82	4,56	4,47	4,89	4,70	4,73	4,70
	fevereiro	5,38	4,43	4,42	4,46	4,46	4,60	4,57
	março	4,37	3,37	3,42	3,62	3,48	3,93	3,79
	abril	3,87	2,44	2,52	2,67	2,46	2,77	2,78
	maio	3,99	1,70	1,65	1,72	1,85	1,92	1,81
	junho	4,09	1,30	1,30	1,38	1,38	1,70	1,59
	julho	3,78	1,14	1,11	1,28	1,19	1,34	1,34
	agosto	3,82	1,31	1,28	1,37	1,39	1,41	1,36
	setembro	4,72	2,19	2,12	2,34	2,17	2,34	2,35
	outubro	4,86	3,20	3,15	3,31	3,26	3,56	3,44
	novembro	4,37	3,51	3,50	3,75	3,69	4,05	3,83
	dezembro	4,73	4,02	4,04	4,22	4,15	4,34	4,32
Brasil	janeiro	7,29	6,19	6,36	6,26	6,43	6,28	6,20
	fevereiro	7,72	6,41	6,37	6,38	6,46	6,40	6,36
	março	7,60	6,09	6,07	6,09	6,15	6,16	6,05
	abril	6,22	4,57	4,59	4,48	4,62	4,61	4,52
	maio	4,33	2,82	2,78	2,76	2,74	2,67	2,64
	junho	2,83	1,71	1,72	1,68	1,71	1,65	1,62
	julho	2,19	1,26	1,24	1,22	1,20	1,14	1,20
	agosto	1,91	1,19	1,17	1,13	1,15	1,09	1,11
	setembro	2,59	1,97	1,99	1,94	1,82	1,78	1,88
	outubro	4,00	3,97	3,95	3,86	3,73	3,73	3,76
	novembro	5,25	5,59	5,55	5,37	5,52	5,30	5,48
	dezembro	6,47	6,29	6,30	6,19	6,34	6,21	6,21

Tabela 9. Anomalias de precipitação média diária (mm/dia), comparadas às do período de 1961 a 1990, para as regiões e para o País, nos meses dos anos de 2020, 2050 e 2080 – cenários A2 e B2.

Região	Mês	2020		2050		2080	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2
Norte	janeiro	-1,98	-1,71	-1,89	-1,76	-1,85	-1,99
	fevereiro	-2,18	-2,32	-2,32	-2,28	-2,19	-2,38
	março	-2,12	-2,12	-2,16	-2,06	-2,03	-2,19

Continua...

Tabela 9. Continuação.

Região	Mês	2020		2050		2080	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2
Norte	abril	-2,28	-2,24	-2,30	-2,16	-2,27	-2,34
	maio	-2,32	-2,38	-2,46	-2,51	-2,61	-2,69
	junho	-1,87	-1,85	-1,99	-1,93	-2,09	-2,13
	julho	-1,50	-1,53	-1,62	-1,62	-1,77	-1,65
	agosto	-1,05	-1,06	-1,15	-1,12	-1,22	-1,20
	setembro	-0,70	-0,58	-0,70	-0,82	-0,95	-0,83
	outubro	+0,18	+0,23	+0,02	0,00	-0,13	-0,13
	novembro	+0,69	+0,69	+0,42	+0,48	+0,36	+0,48
	dezembro	-0,28	-0,24	-0,34	-0,28	-0,44	-0,46
Nordeste	janeiro	+0,35	+0,49	+0,33	+0,45	+0,19	+0,07
	fevereiro	-0,51	-0,55	-0,42	-0,41	-0,60	-0,49
	março	-1,02	-1,09	-1,17	-1,23	-1,15	-1,18
	abril	-1,59	-1,80	-1,98	-1,69	-1,87	-1,78
	maio	-0,49	-0,61	-0,43	-0,60	-0,61	-0,57
	junho	-0,21	-0,23	-0,17	-0,21	-0,25	-0,30
	julho	-0,24	-0,27	-0,26	-0,30	-0,31	-0,25
	agosto	+0,08	+0,05	+0,02	+0,03	-0,04	+0,02
	setembro	-0,07	-0,08	-0,11	-0,16	-0,18	-0,07
	outubro	-0,06	-0,12	-0,13	-0,20	-0,28	-0,19
	novembro	+0,18	-0,01	-0,07	-0,02	-0,20	+0,08
	dezembro	+0,60	+0,54	+0,38	+0,55	+0,46	+0,43
Centro-Oeste	janeiro	-0,62	-0,53	-0,60	-0,20	-0,49	-0,53
	fevereiro	-0,88	-0,80	-0,78	-0,63	-0,88	-0,87
	março	-1,60	-1,52	-1,47	-1,32	-1,39	-1,54
	abril	-1,22	-1,12	-1,35	-1,17	-0,97	-1,29
	maio	-1,06	-1,06	-1,12	-1,01	-1,12	-1,15
	junho	-0,29	-0,28	-0,28	-0,24	-0,24	-0,25
	julho	-0,20	-0,20	-0,19	-0,21	-0,19	-0,20
	agosto	-0,50	-0,56	-0,54	-0,53	-0,55	-0,55
	setembro	-0,59	-0,65	-0,67	-0,82	-0,81	-0,73
	outubro	+0,07	-0,08	-0,07	-0,47	-0,30	-0,30
	novembro	+0,19	+0,20	-0,12	+0,28	-0,34	-0,03
	dezembro	-0,23	-0,21	-0,37	-0,02	-0,31	-0,28
Sudeste	janeiro	-1,34	-1,16	-1,26	-1,00	-1,09	-0,97
	fevereiro	-0,16	-0,04	-0,22	+0,10	-0,13	+0,04
	março	-0,04	-0,34	-0,07	+0,02	-0,28	-0,24
	abril	-0,10	-0,01	-0,13	-0,05	-0,02	-0,08
	maio	-0,18	-0,11	-0,21	-0,18	-0,26	-0,18
	junho	+0,10	+0,14	+0,19	+0,13	+0,15	+0,13
	julho	+0,09	+0,08	+0,11	+0,13	+0,09	+0,09
	agosto	+0,12	+0,13	+0,15	+0,14	+0,08	+0,10
	setembro	-0,01	-0,10	-0,13	-0,24	-0,27	-0,16

Continua...

Tabela 9. Continuação.

Região	Mês	2020		2050		2080	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2
Sudeste	outubro	+0,18	+0,12	+0,08	-0,18	-0,06	+0,13
	novembro	+0,31	+0,13	+0,13	+0,48	+0,07	+0,44
	dezembro	-0,61	-0,61	-0,77	-0,55	-0,49	-0,38
Sul	janeiro	-0,26	-0,35	-0,07	-0,12	-0,09	-0,12
	fevereiro	-0,95	-0,96	-0,93	-0,92	-0,78	-0,81
	março	-1,00	-0,95	-0,75	-0,90	-0,44	-0,58
	abril	-1,43	-1,35	-1,19	-1,41	-1,10	-1,08
	maio	-2,29	-2,34	-2,27	-2,14	-2,07	-2,18
	junho	-2,80	-2,80	-2,71	-2,72	-2,40	-2,50
	julho	-2,64	-2,67	-2,50	-2,59	-2,44	-2,44
	agosto	-2,51	-2,54	-2,45	-2,43	-2,41	-2,46
	setembro	-2,53	-2,60	-2,38	-2,55	-2,38	-2,37
	outubro	-1,66	-1,71	-1,55	-1,60	-1,30	-1,42
	novembro	-0,86	-0,87	-0,62	-0,68	-0,32	-0,54
	dezembro	-0,71	-0,69	-0,51	-0,58	-0,39	-0,41
Brasil	janeiro	-1,10	-0,92	-1,03	-0,86	-1,00	-1,09
	fevereiro	-1,31	-1,35	-1,34	-1,26	-1,32	-1,36
	março	-1,51	-1,53	-1,51	-1,45	-1,44	-1,55
	abril	-1,65	-1,63	-1,73	-1,59	-1,61	-1,69
	maio	-1,51	-1,55	-1,57	-1,59	-1,66	-1,70
	junho	-1,11	-1,10	-1,15	-1,12	-1,18	-1,21
	julho	-0,93	-0,95	-0,97	-0,99	-1,05	-0,98
	agosto	-0,72	-0,74	-0,78	-0,76	-0,82	-0,80
	setembro	-0,62	-0,60	-0,65	-0,77	-0,81	-0,71
	outubro	-0,03	-0,05	-0,14	-0,27	-0,27	-0,24
	novembro	+0,34	+0,29	+0,12	+0,26	+0,04	+0,23
	dezembro	-0,18	-0,17	-0,28	-0,13	-0,26	-0,25

Tabela 10. Anomalias de precipitação média diária (mm/dia), comparadas às do período de 1961 a 1990, para as regiões e para o País, nas estações dos anos de 2020, 2050 e 2080 – cenários A2 e B2.

Região	Estação	Mês	2020		2050		2080	
			A2	B2	A2	B2	A2	B2
Norte	verão	dez. - fev.	-1,48	-1,42	-1,52	-1,44	-1,49	-1,61
	outono	mar. - maio	-2,24	-2,24	-2,30	-2,24	-2,30	-2,41
	inverno	jun. - ago.	-1,47	-1,48	-1,58	-1,55	-1,70	-1,66
	primavera	set. - nov.	+0,05	+0,12	-0,09	-0,11	-0,24	-0,16
Nordeste	verão	dez. - fev.	+0,15	+0,16	+0,10	+0,19	+0,02	0,00
	outono	mar. - maio	-1,04	-1,17	-1,19	-1,17	-1,21	-1,17
	inverno	jun. - ago.	-0,12	-0,15	-0,14	-0,16	-0,20	-0,18
	primavera	set. - nov.	+0,02	-0,07	-0,11	-0,13	-0,22	-0,06

Continua...

Tabela 10. Continuação.

Região	Estação	Mês	2020		2050		2080	
			A2	B2	A2	B2	A2	B2
Centro-Oeste	verão	dez. - fev.	-0,58	-0,52	-0,58	-0,28	-0,56	-0,56
	outono	mar. - maio	-1,29	-1,23	-1,31	-1,17	-1,16	-1,33
	inverno	jun. - ago.	-0,33	-0,35	-0,34	-0,33	-0,32	-0,33
	primavera	set. - nov.	-0,11	-0,18	-0,29	-0,34	-0,48	-0,35
Sudeste	verão	dez. - fev.	-0,70	-0,60	-0,75	-0,49	-0,57	-0,44
	outono	mar. - maio	-0,11	-0,15	-0,14	-0,07	-0,19	-0,17
	inverno	jun. - ago.	+0,10	+0,12	+0,15	+0,13	+0,11	+0,11
	primavera	set. - nov.	+0,16	+0,05	+0,03	+0,02	-0,09	+0,14
Sul	verão	dez. - fev.	-0,64	-0,67	-0,45	-0,54	-0,42	-0,45
	outono	mar. - maio	-1,57	-1,55	-1,40	-1,48	-1,20	-1,28
	inverno	jun. - ago.	-2,65	-2,67	-2,55	-2,58	-2,41	-2,47
	primavera	set. - nov.	-1,68	-1,73	-1,52	-1,61	-1,33	-1,44
Brasil	verão	dez. - fev.	-0,86	-0,82	-0,88	-0,75	-0,86	-0,90
	outono	mar. - maio	-1,55	-1,57	-1,60	-1,54	-1,57	-1,64
	inverno	jun. - ago.	-0,92	-0,93	-0,96	-0,96	-1,02	-1,00
	primavera	set. - nov.	-0,10	-0,12	-0,22	-0,26	-0,35	-0,24

Tabela 11. Anomalias de precipitação média diária (mm/dia) acumulada nas estações do ano, comparadas ao período de 1961 a 1990, para as regiões e para o País, dos anos de 2020, 2050 e 2080 – cenários A2 e B2.

Região	Estação	Mês	2020		2050		2080	
			A2	B2	A2	B2	A2	B2
Norte	verão	dez. - fev.	-4,44	-4,27	-4,55	-4,31	-4,48	-4,83
	outono	mar. - maio	-6,72	-6,73	-6,91	-6,73	-6,91	-7,22
	inverno	jun. - ago.	-4,42	-4,43	-4,75	-4,66	-5,09	-4,97
	primavera	set. - nov.	0,16	0,35	-0,26	-0,34	-0,71	-0,48
Nordeste	verão	dez. - fev.	0,45	0,48	0,29	0,58	0,06	0,01
	outono	mar. - maio	-3,11	-3,51	-3,57	-3,52	-3,62	-3,52
	inverno	jun. - ago.	-0,37	-0,44	-0,41	-0,48	-0,59	-0,53
	primavera	set. - nov.	0,05	-0,21	-0,32	-0,39	-0,66	-0,17
Centro-Oeste	verão	dez. - fev.	-1,73	-1,55	-1,75	-0,84	-1,68	-1,68
	outono	mar. - maio	-3,88	-3,69	-3,94	-3,50	-3,48	-3,98
	inverno	jun. - ago.	-0,99	-1,04	-1,01	-0,98	-0,97	-1,00
	primavera	set. - nov.	-0,33	-0,53	-0,86	-1,01	-1,45	-1,05
Sudeste	verão	dez. - fev.	-2,11	-1,81	-2,24	-1,46	-1,72	-1,31
	outono	mar. - maio	-0,32	-0,46	-0,41	-0,21	-0,56	-0,50

Continua...

Tabela 11. Continuação.

Região	Estação	Mês	2020		2050		2080	
			A2	B2	A2	B2	A2	B2
Sudeste	inverno	jun. - ago.	0,30	0,36	0,45	0,40	0,32	0,32
	primavera	set. - nov.	0,48	0,15	0,08	0,06	-0,27	0,41
Sul	verão	dez. - fev.	-1,92	-2,00	-1,36	-1,62	-1,27	-1,34
	outono	mar. - maio	-4,72	-4,64	-4,21	-4,44	-3,61	-3,84
	inverno	jun. - ago.	-7,95	-8,01	-7,66	-7,73	-7,24	-7,40
	primavera	set. - nov.	-5,05	-5,18	-4,55	-4,82	-4,00	-4,33
Brasil	verão	dez. - fev.	-2,59	-2,45	-2,65	-2,25	-2,58	-2,70
	outono	mar. - maio	-4,66	-4,71	-4,81	-4,63	-4,70	-4,93
	inverno	jun. - ago.	-2,77	-2,80	-2,89	-2,87	-3,05	-3,00
	primavera	set. - nov.	-0,31	-0,36	-0,67	-0,77	-1,04	-0,73

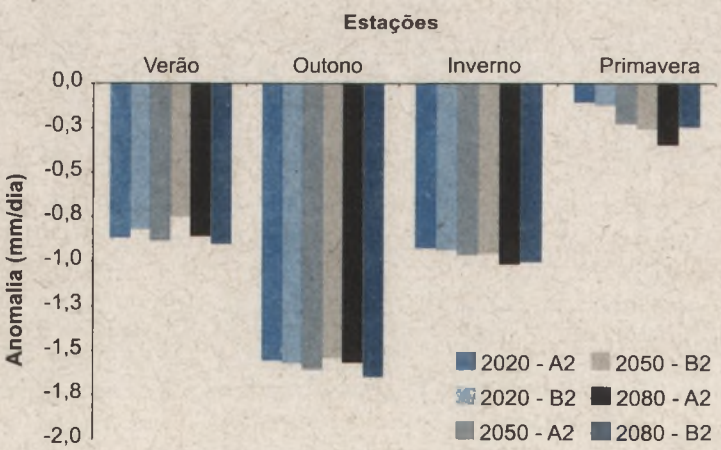


Fig. 10. Anomalias de precipitação média diária, comparadas ao período de 1961 a 1990, para as estações do ano e décadas de 2020, 2050 e 2080, cenários A2 e B2.

Regionalmente, as maiores e menores precipitações ocorrerão no futuro no Centro-Oeste, respectivamente nos meses de dezembro e julho. Em 2080-A2, por exemplo, no Centro-Oeste, em julho, a precipitação estimada será de 0,3 mm/dia e em dezembro de 8,3 mm/dia.

As anomalias (diferenças entre a precipitação no futuro em relação ao clima presente) não serão uniformes para todo o País e também variarão conforme as estações do ano (Fig. 12). Em média, será esperado um predomínio de áreas com anomalias negativas da precipitação (Fig. 13). As maiores anomalias negativas da precipitação, considerando o País, ocorrerão no outono e as menores, na primavera. Os resultados indicam, para a região

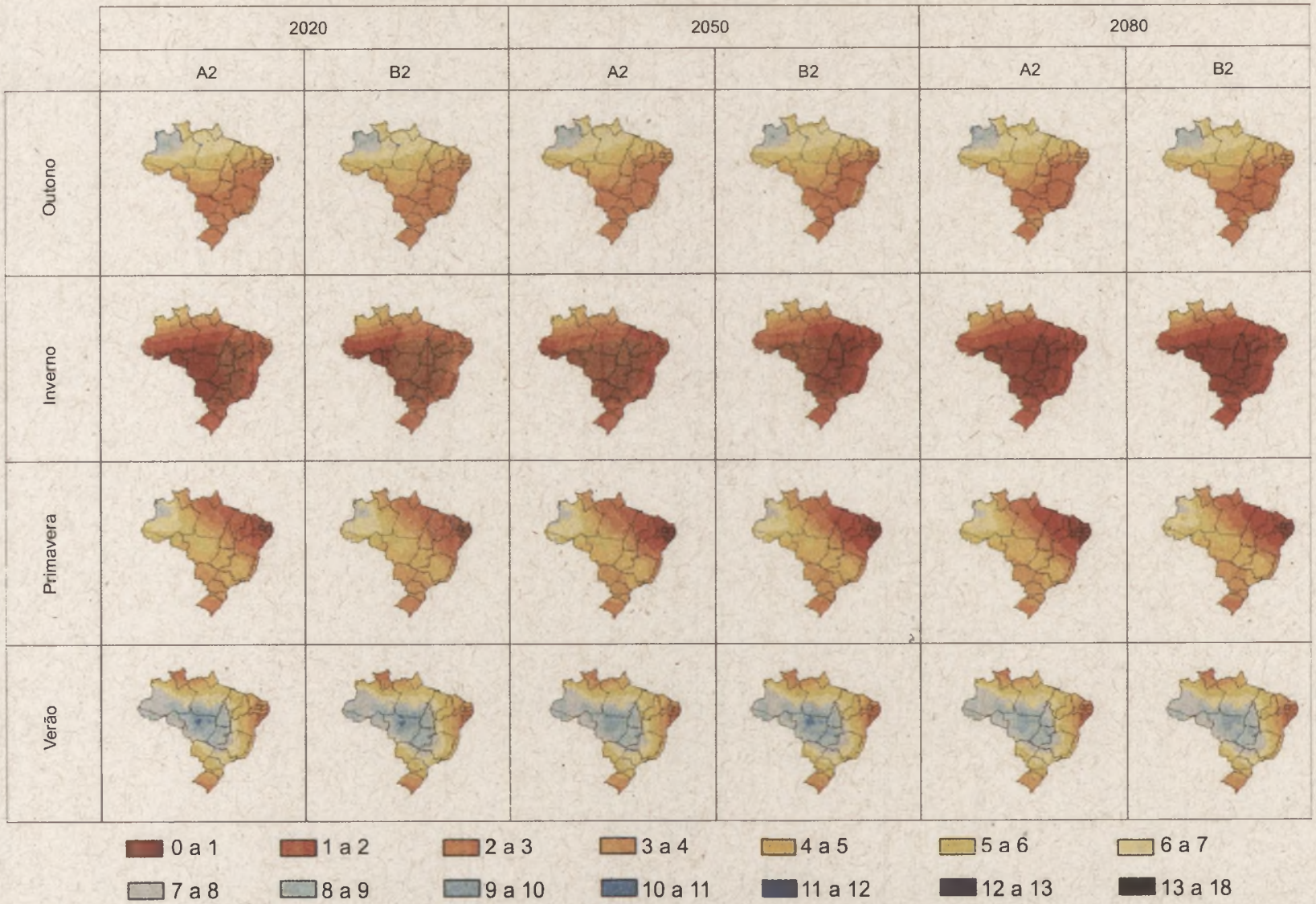


Fig. 11. Precipitação média diária (mm/dia) de outono, inverno, primavera e verão para os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

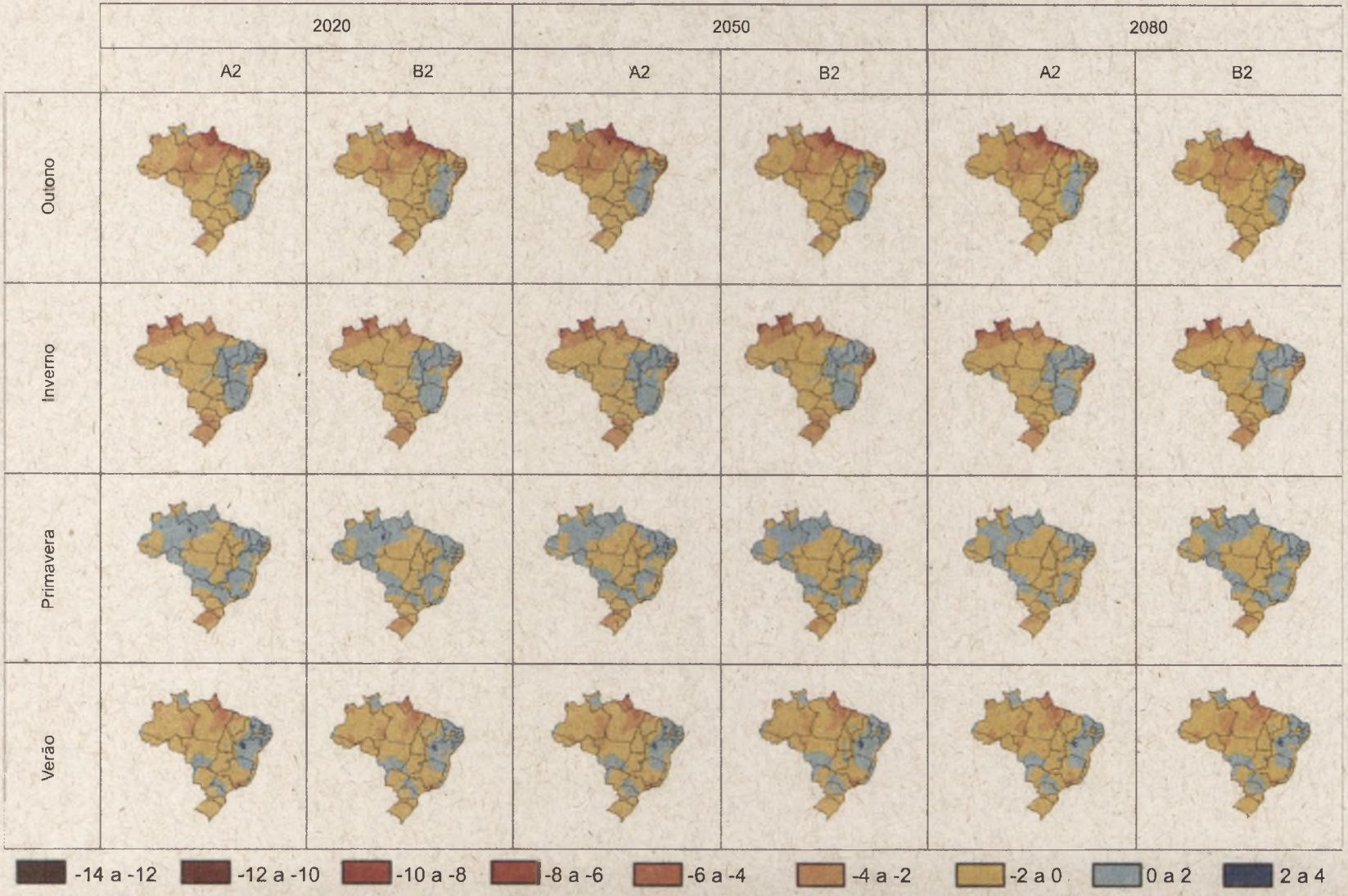


Fig. 12. Anomalias de precipitação média diária (mm/dia), comparadas ao período de 1961 a 1990, de outono, inverno, primavera e verão para os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

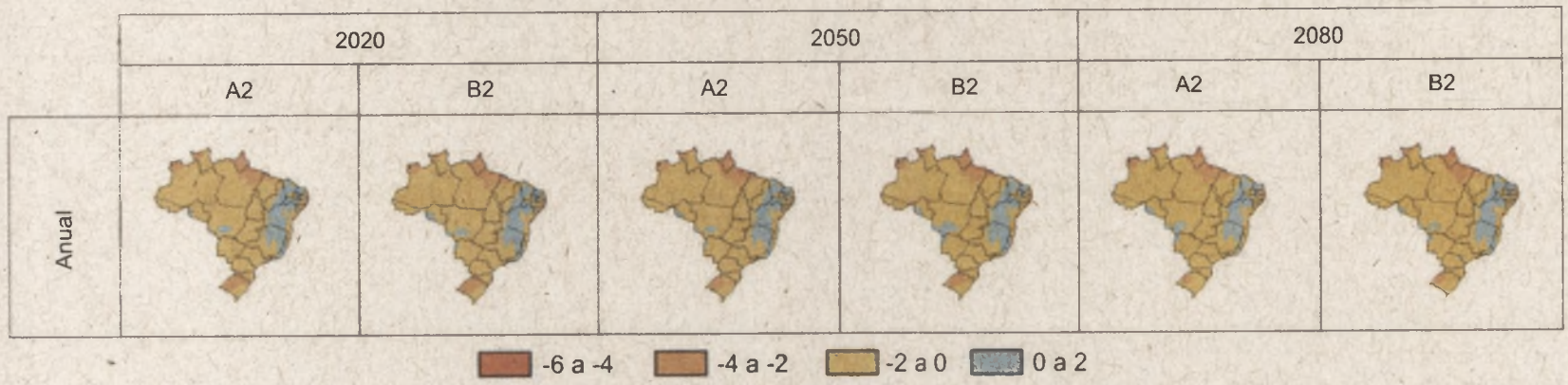


Fig. 13. Anomalias de precipitação média diária (mm/dia) para todo o ano, comparadas ao período de 1961 a 1990, para os cenários A2 e B2 e décadas de 2020, 2050 e 2080.

Norte, anomalias positivas de cerca de 0,1 mm/dia na primavera, enquanto nas outras estações as anomalias na região são negativas. No Nordeste, as anomalias positivas na ordem de 0,2 mm/dia ocorrerão no futuro (2020, 2050, 2080-A2 e B2), com maior ocorrência no verão. No Sudeste, as anomalias positivas da ordem de 0,2 mm/dia ocorrerão no inverno e na primavera. Já nas regiões Sul e Centro-Oeste, não são previstas anomalias positivas; exceto nos estados do Paraná e Mato Grosso, com aumento da precipitação no verão. Esse resultado não é concordante com o obtido por Hulme e Sheard (1999), que estimam que os estados do Sul se tornarão mais úmidos. Já Marengo et al. (2007) observaram na Amazônia e Nordeste uma maior probabilidade de redução de chuva, e no Sul, Sudeste e Centro-Oeste, mudanças não perceptíveis ou um certo aumento até finais do século XXI.

Nobre (2005) destaca, no entanto, que ao contrário dos padrões de temperatura, em que todas as projeções indicam aquecimento, diferentes modelos climáticos mostram diferenças significativas de padrões pluviométricos, às vezes com projeções quase que diametralmente opostas. Assim, como os mapas neste estudo foram obtidos de médias de 6 modelos climáticos e as projeções dos modelos climáticos para precipitação não apresentam o mesmo padrão de tendência, isso pode explicar as pequenas diferenças observadas nos cenários futuros.

Nas Fig. 14 a 31 estão apresentadas as variáveis médias mensais de temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), radiação solar (W/m^2) e umidade relativa (%).

Considerações finais

Quando se analisa a distribuição geográfica de temperatura média e precipitação no Brasil no cenário climático futuro, pode-se observar mudança na sua distribuição, com comportamento diferenciado nas diversas regiões do País e ao longo dos meses do ano.

A estimativa dos modelos climáticos globais é que, em geral, a temperatura média aumentará no País. Os acréscimos na temperatura média, porém, não serão uniformes para todo o País.

Ao contrário, a estimativa dos modelos prevê que a precipitação diminuirá no País, variando entre as regiões e entre os meses do ano. De modo geral, as projeções das precipitações são mais incertas do que as da temperatura, porque a variabilidade decadal complexa é inerente aos padrões de precipitações (CAVAGNARO et al., 2006).

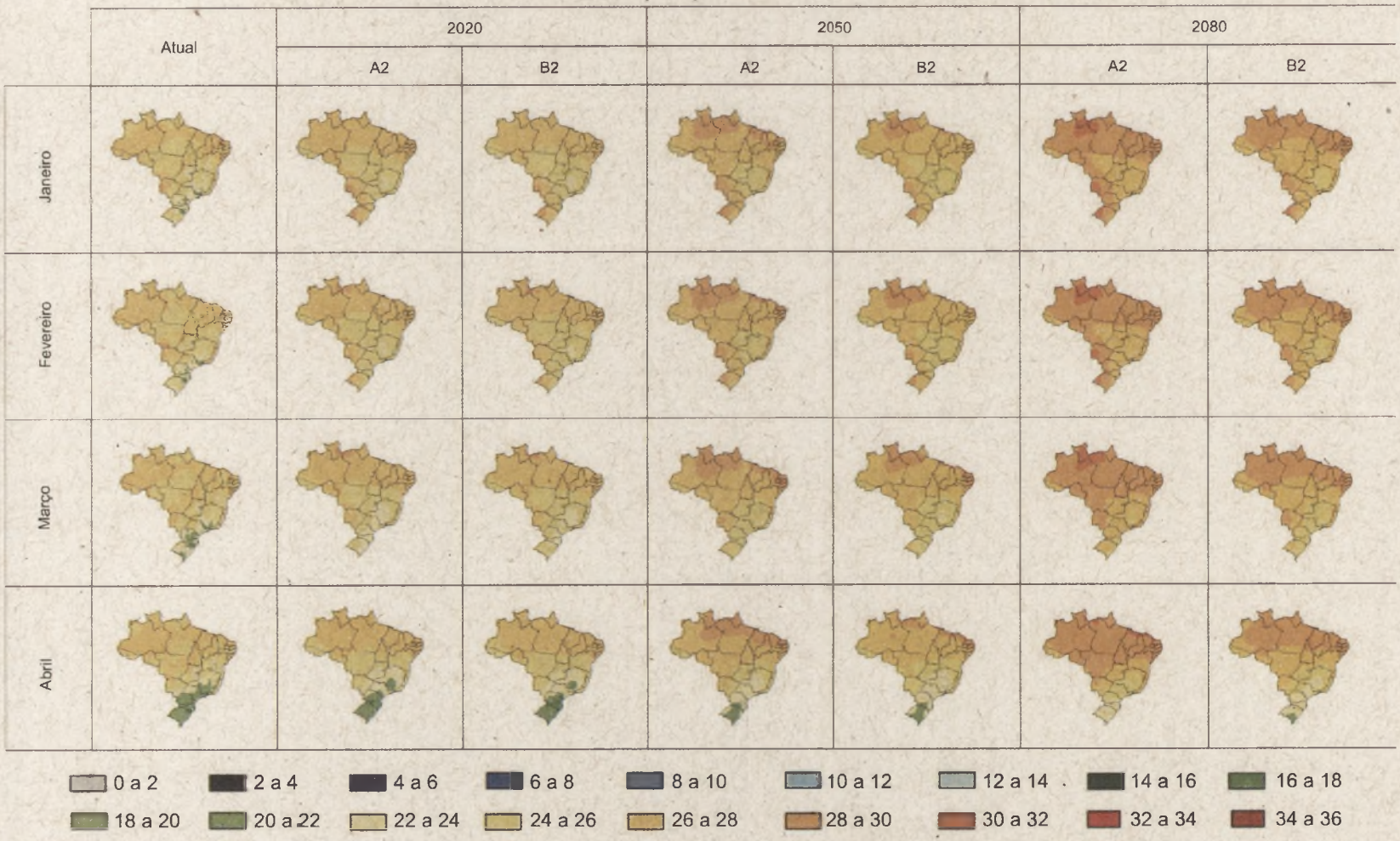


Fig. 14. Temperatura média (°C) de janeiro, fevereiro, março e abril para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

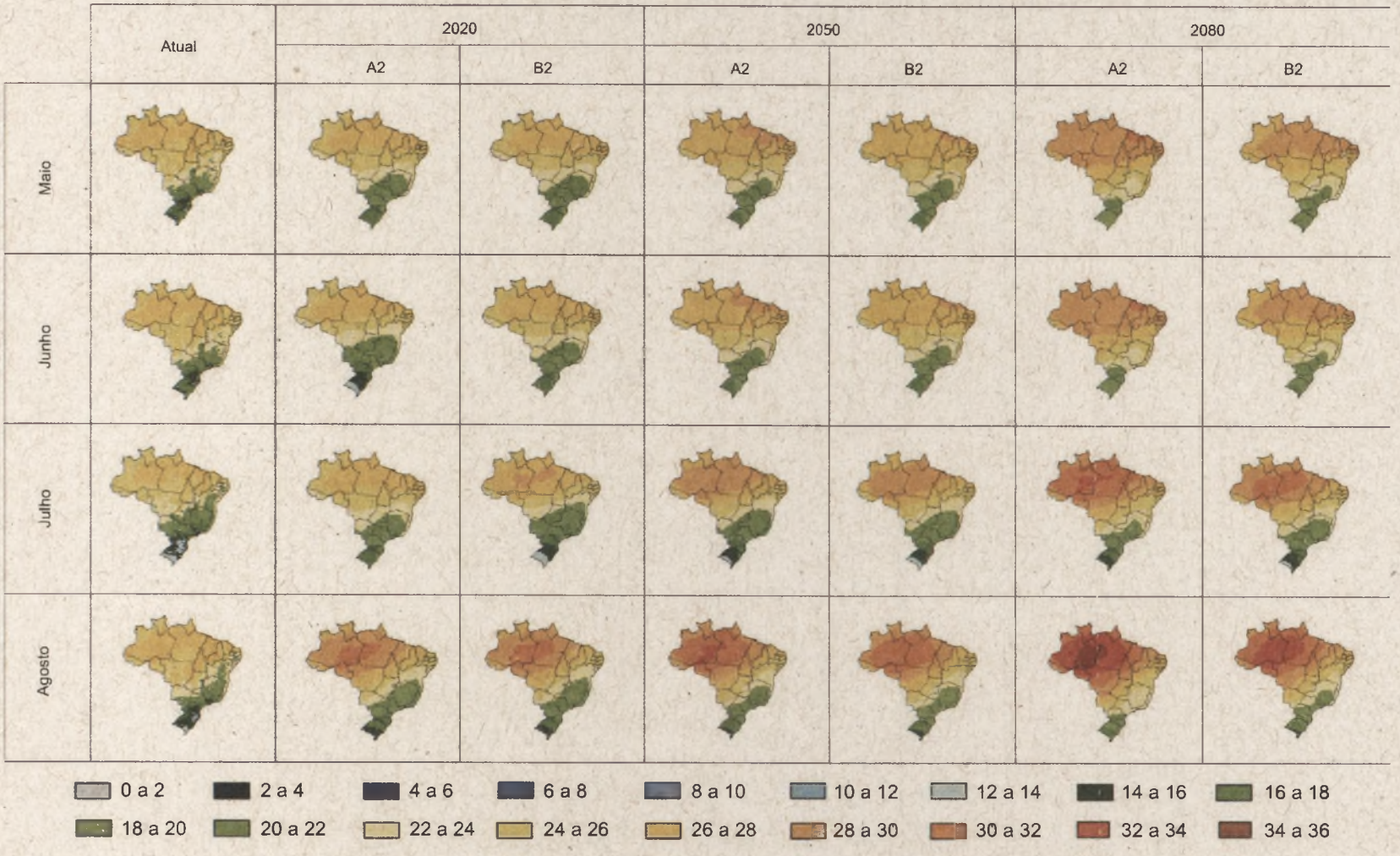


Fig. 15. Temperatura média (°C) de maio, junho, julho e agosto para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

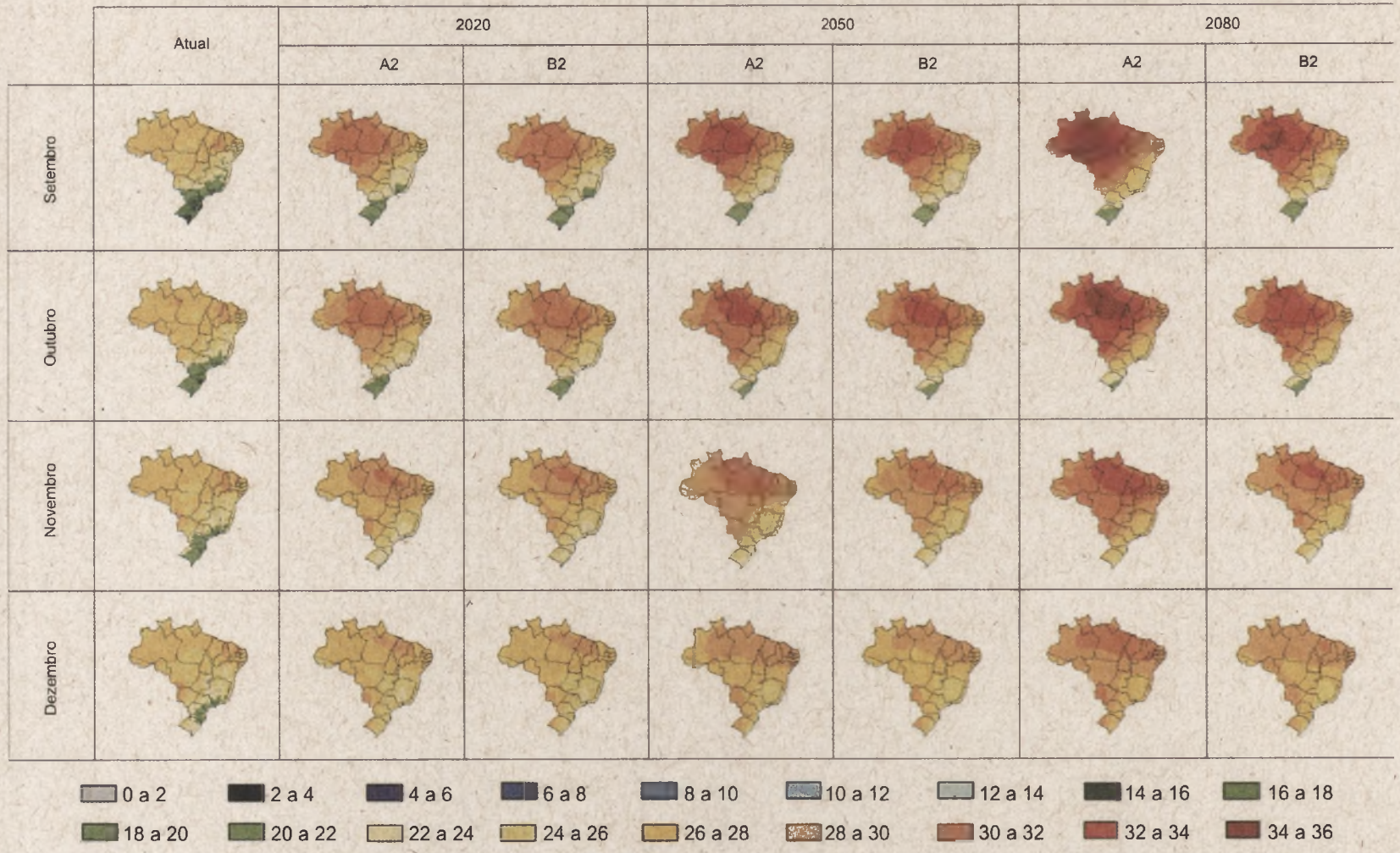


Fig. 16. Temperatura média (°C) de setembro, outubro, novembro e dezembro para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

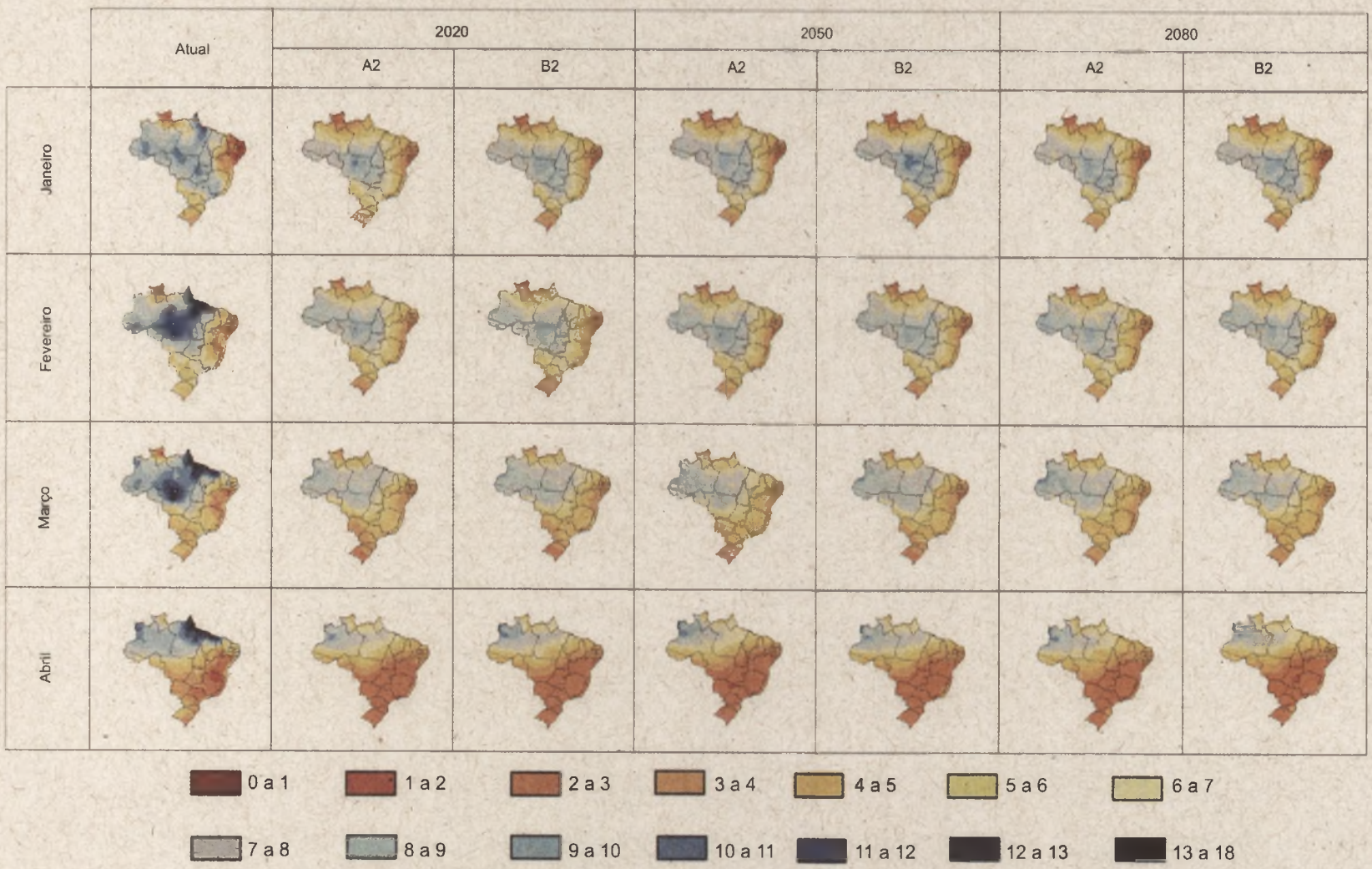


Fig. 17. Precipitação média diária (mm/dia) de janeiro, fevereiro, março e abril para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

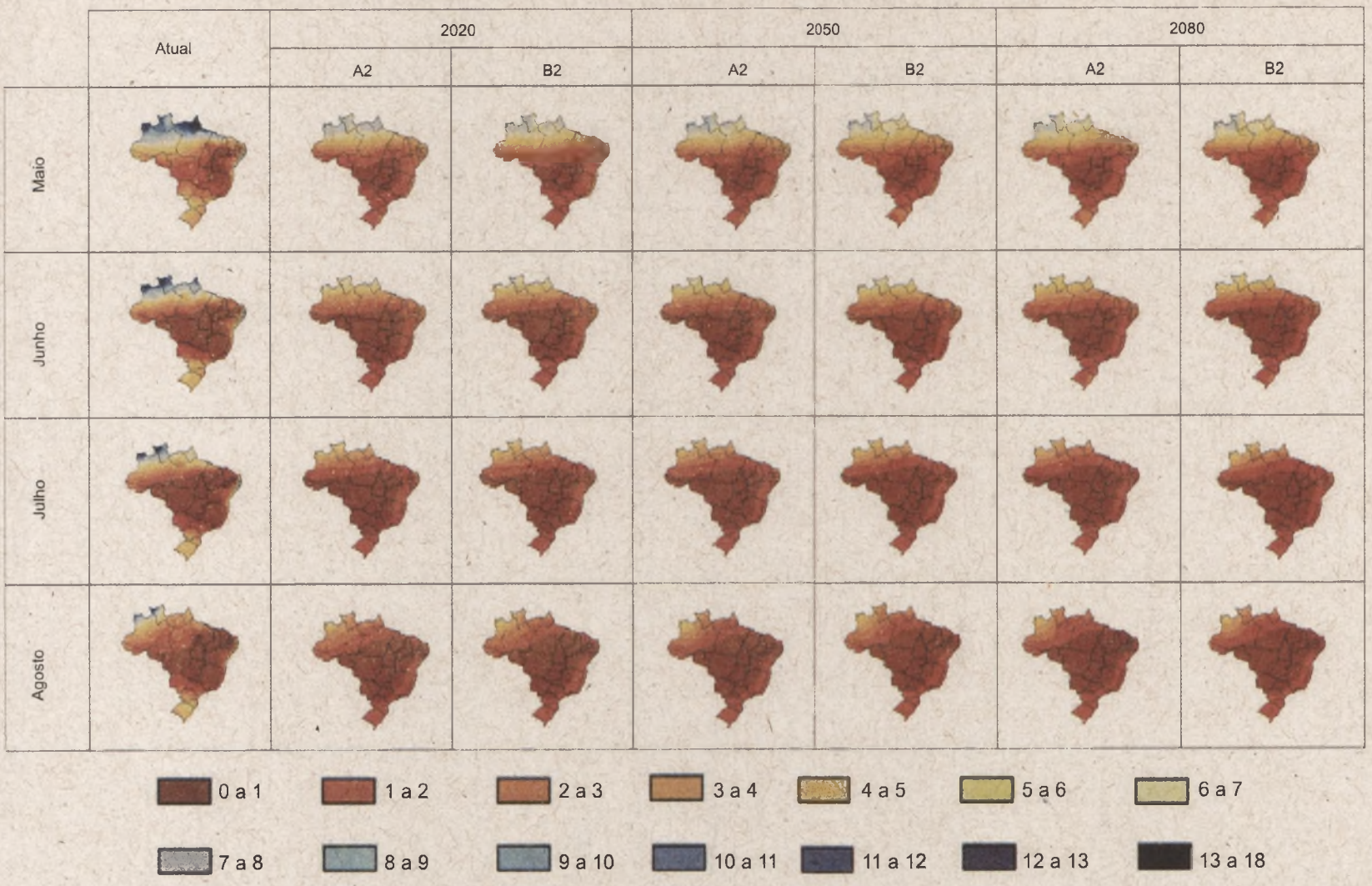


Fig. 18. Precipitação média diária (mm/dia) de maio, junho, julho e agosto para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

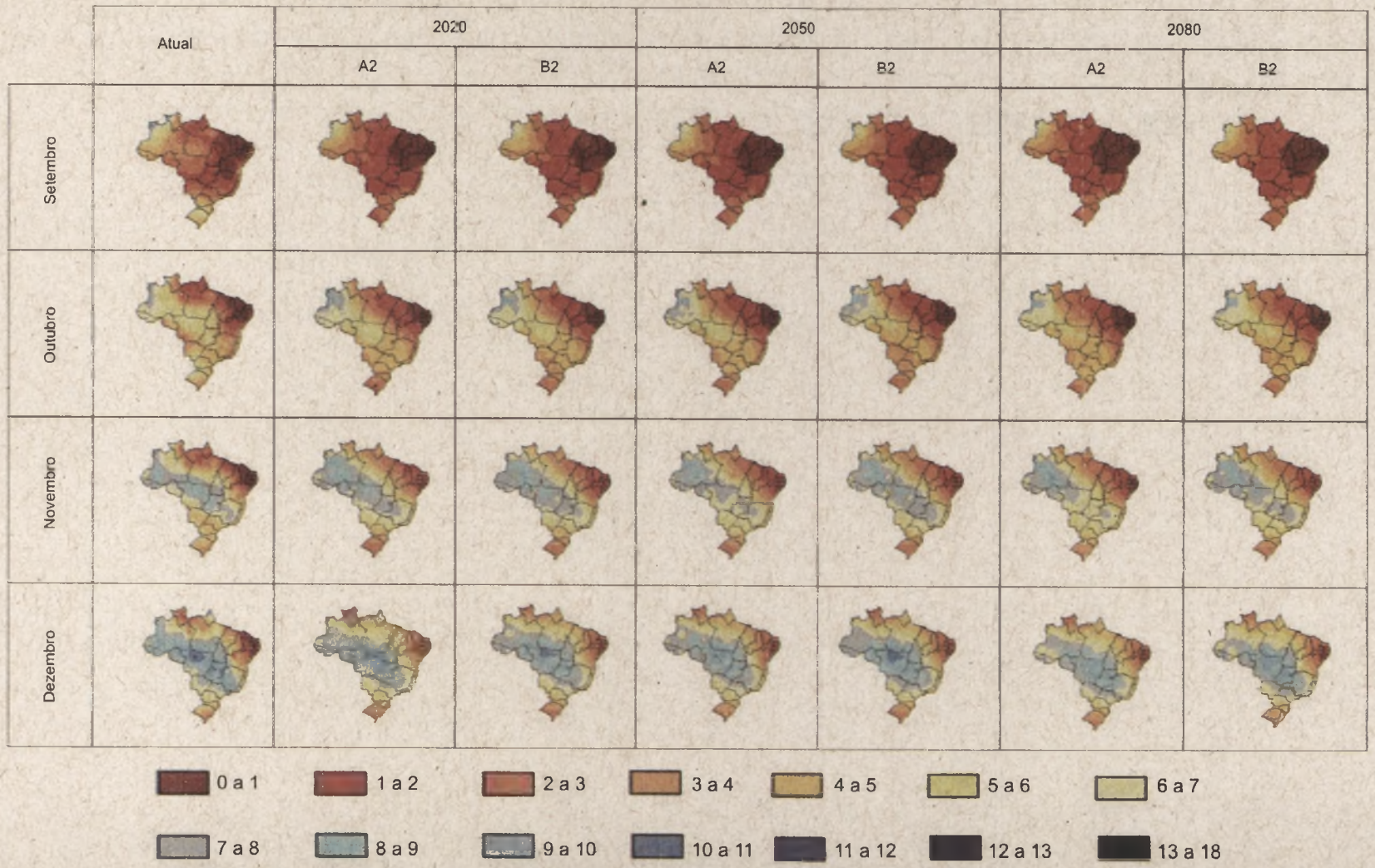


Fig. 19. Precipitação média diária (mm/dia) de setembro, outubro, novembro e dezembro para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

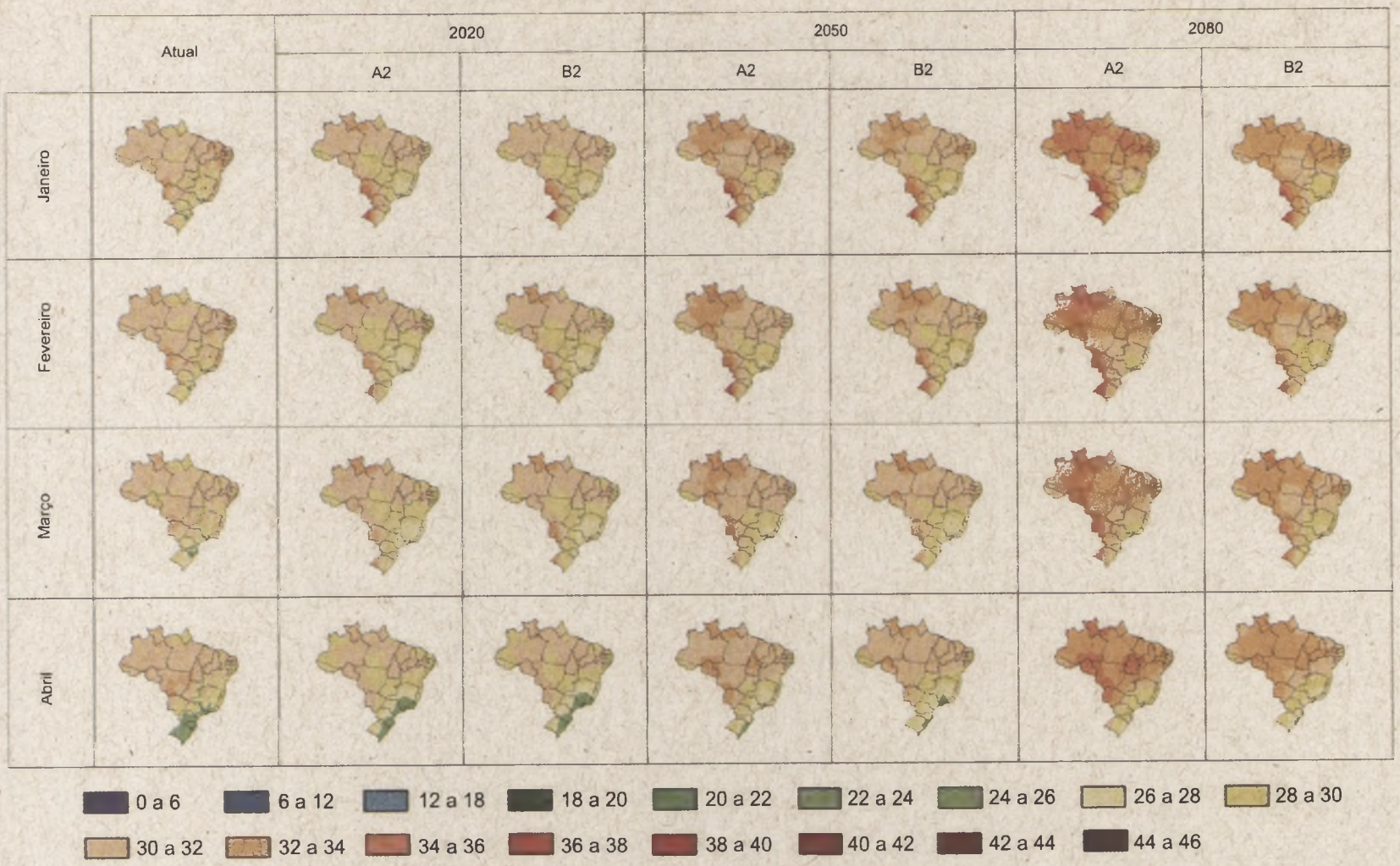


Fig. 20. Temperatura máxima (°C) de janeiro, fevereiro, março e abril para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

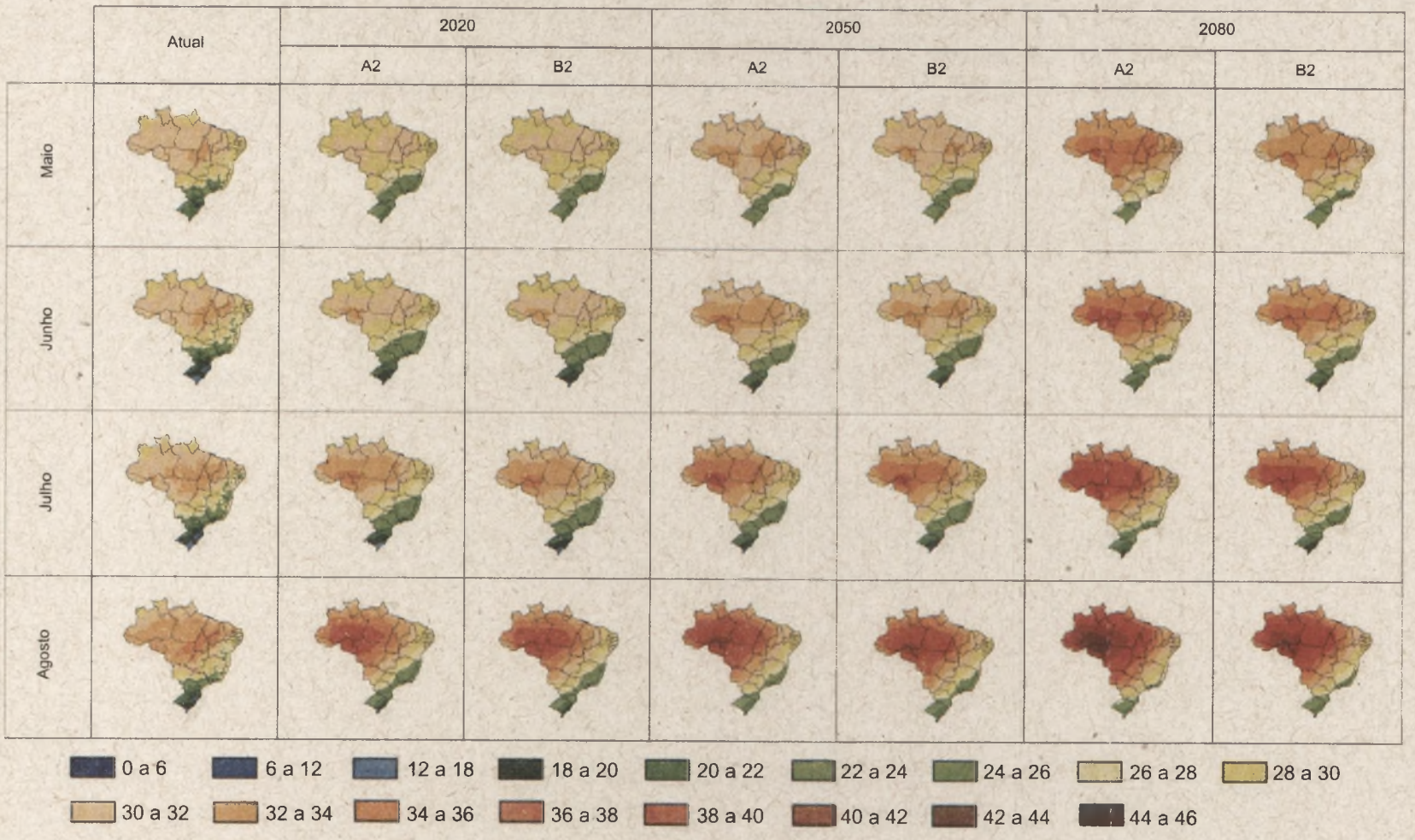


Fig. 21. Temperatura máxima (°C) de maio, junho, julho e agosto para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

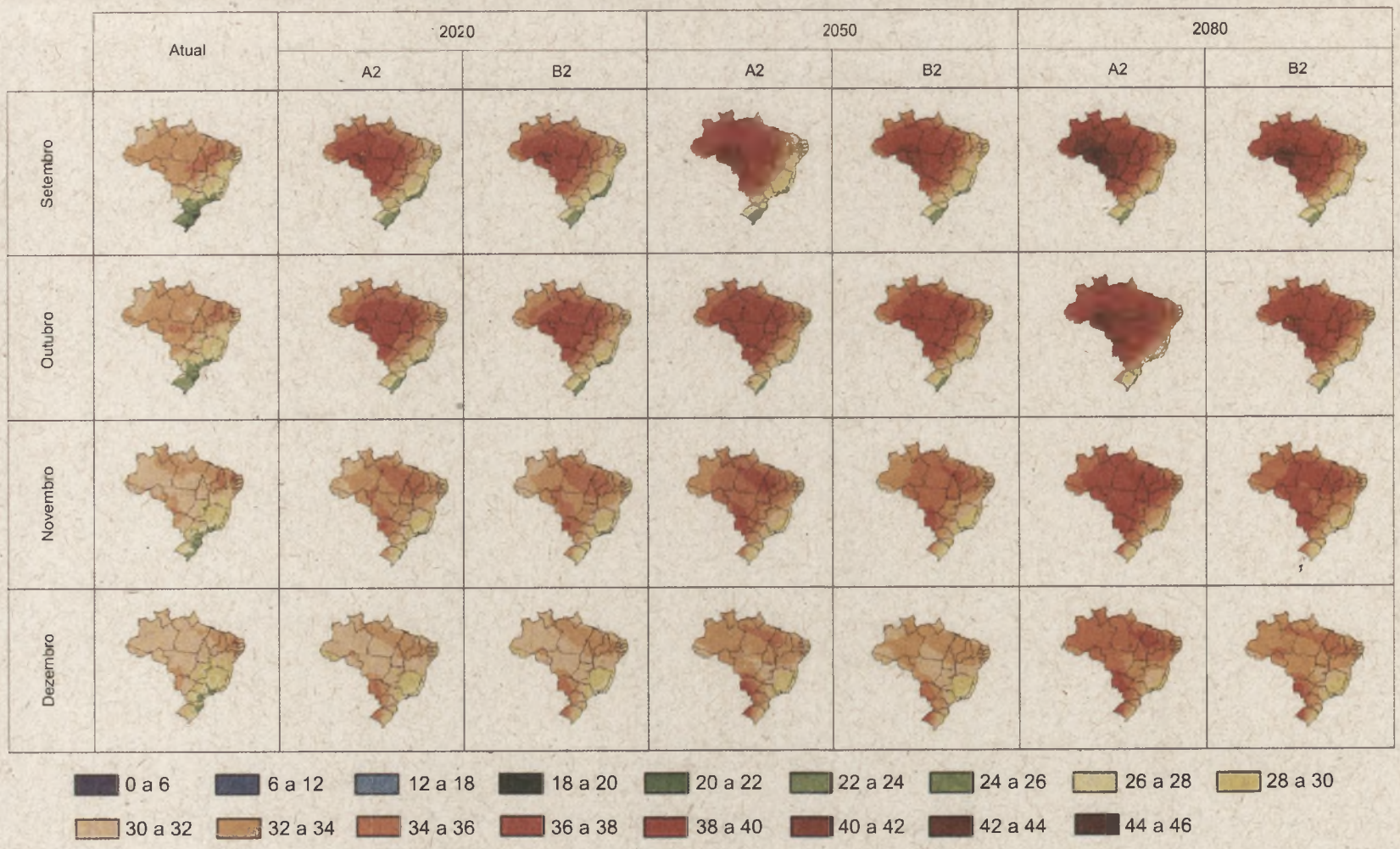


Fig. 22. Temperatura máxima (°C) de setembro, outubro, novembro e dezembro para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

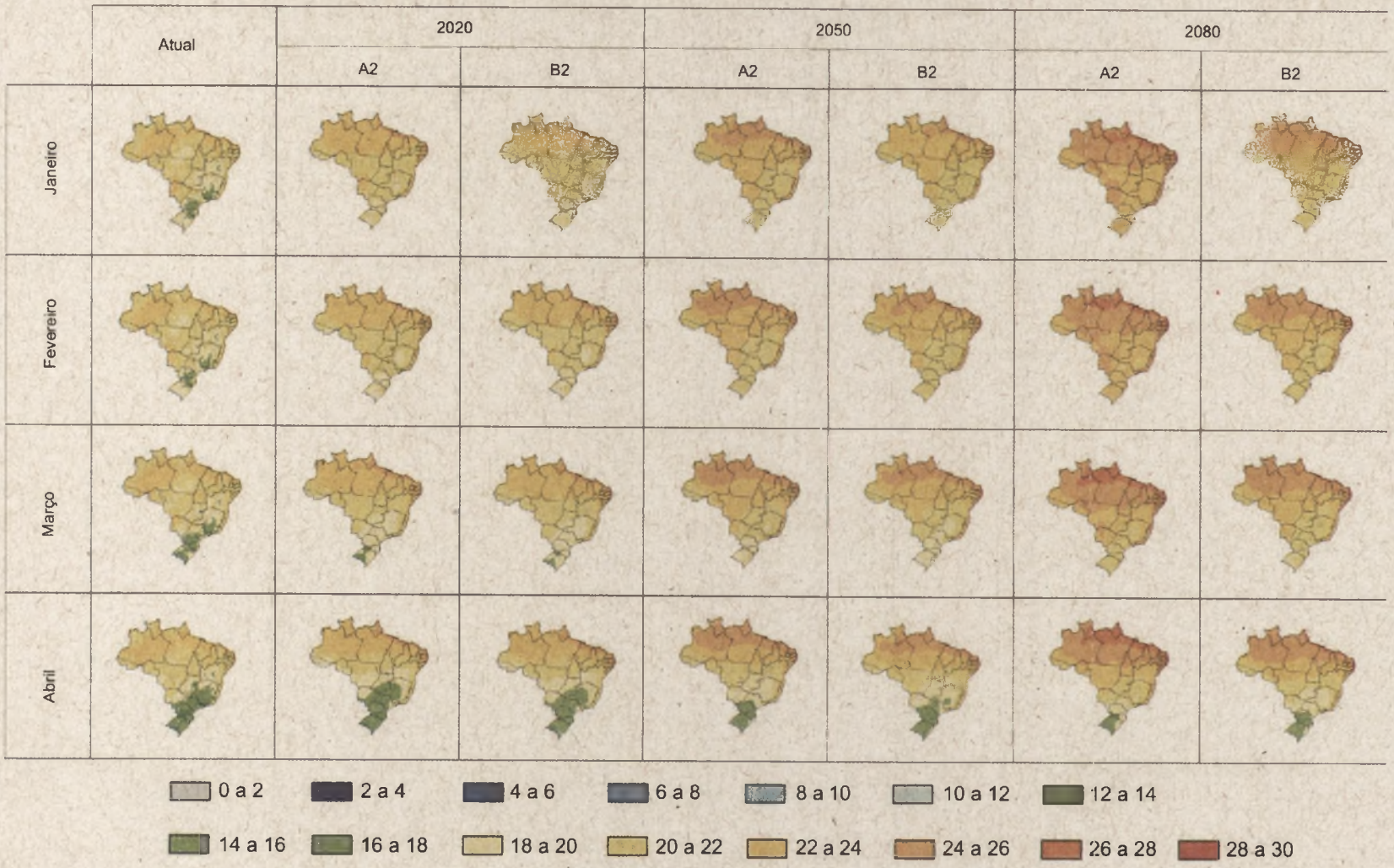


Fig. 23. Temperatura mínima (°C) de janeiro, fevereiro, março e abril para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

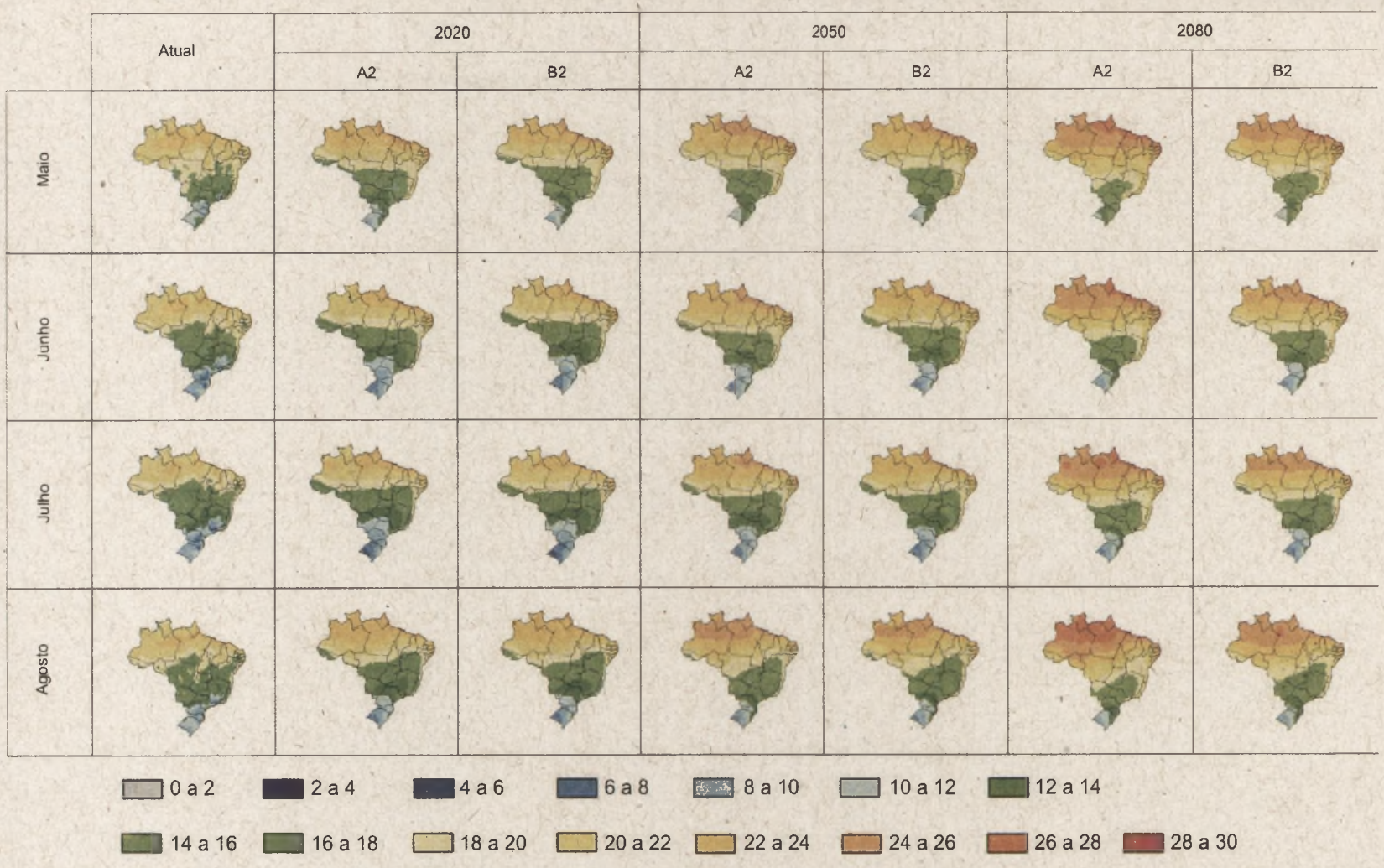


Fig. 24. Temperatura mínima (°C) de maio, junho, julho e agosto para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

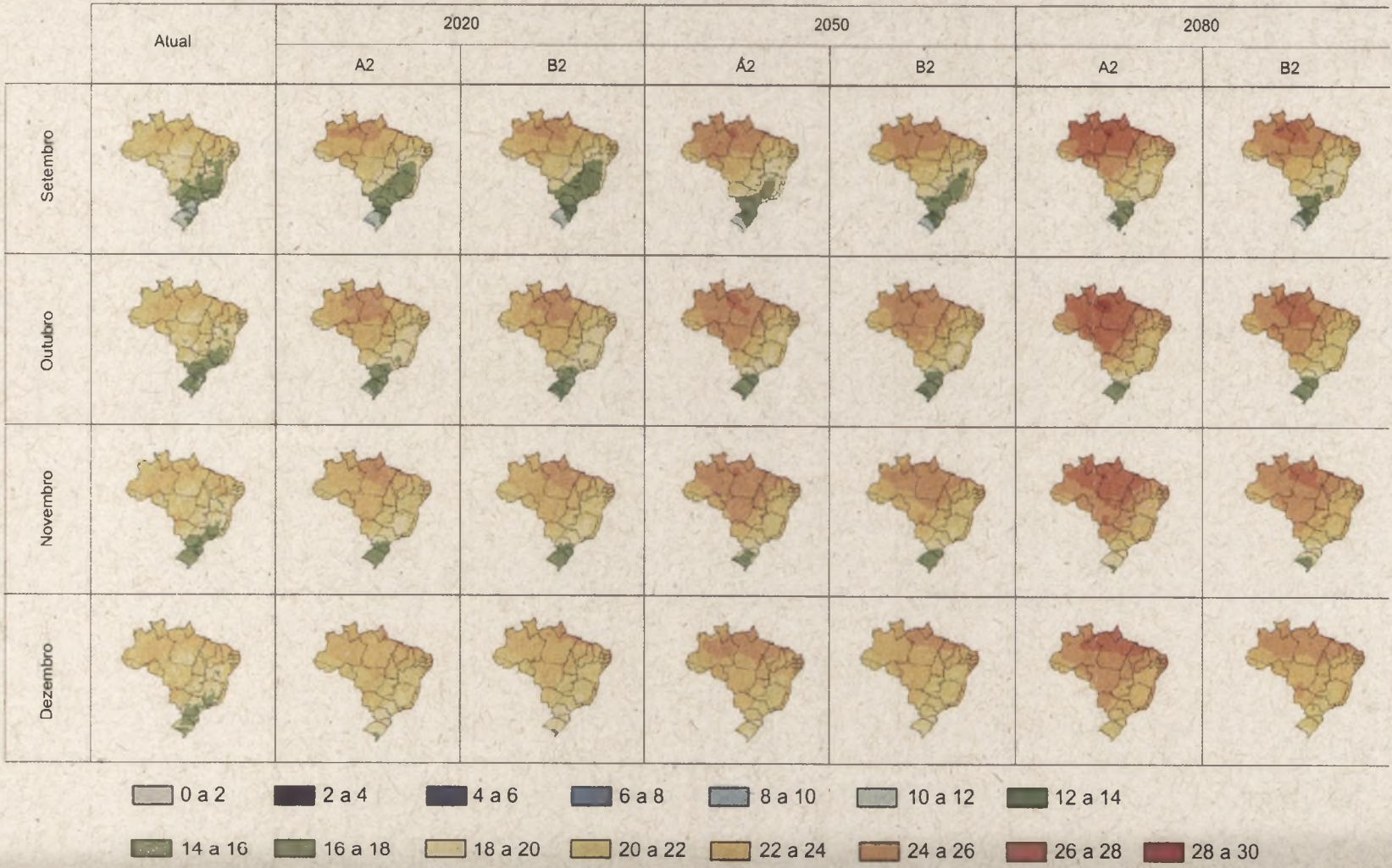


Fig. 25. Temperatura mínima (°C) de setembro, outubro, novembro e dezembro para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

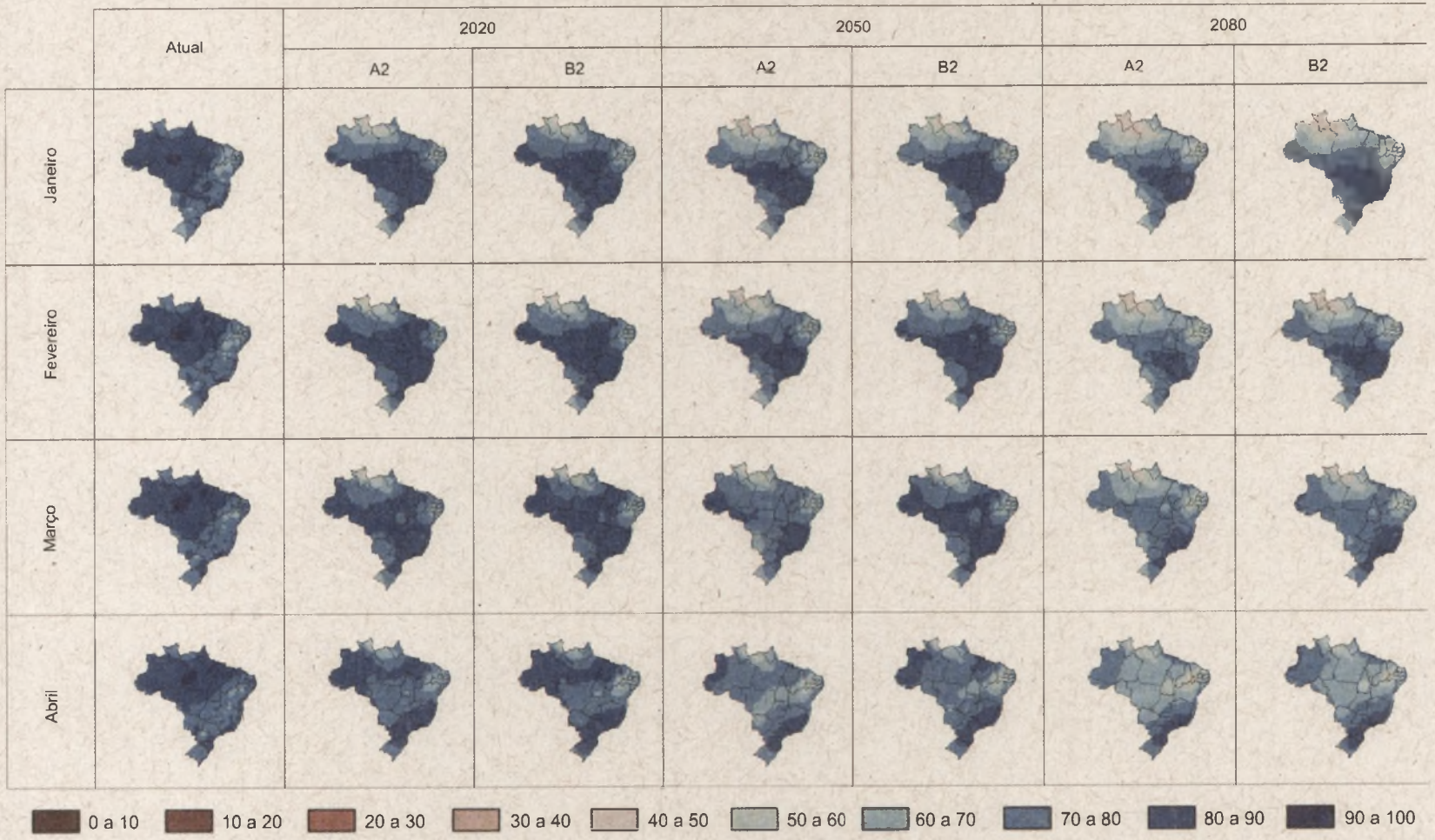


Fig. 26. Umidade relativa (%) de janeiro, fevereiro, março e abril para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

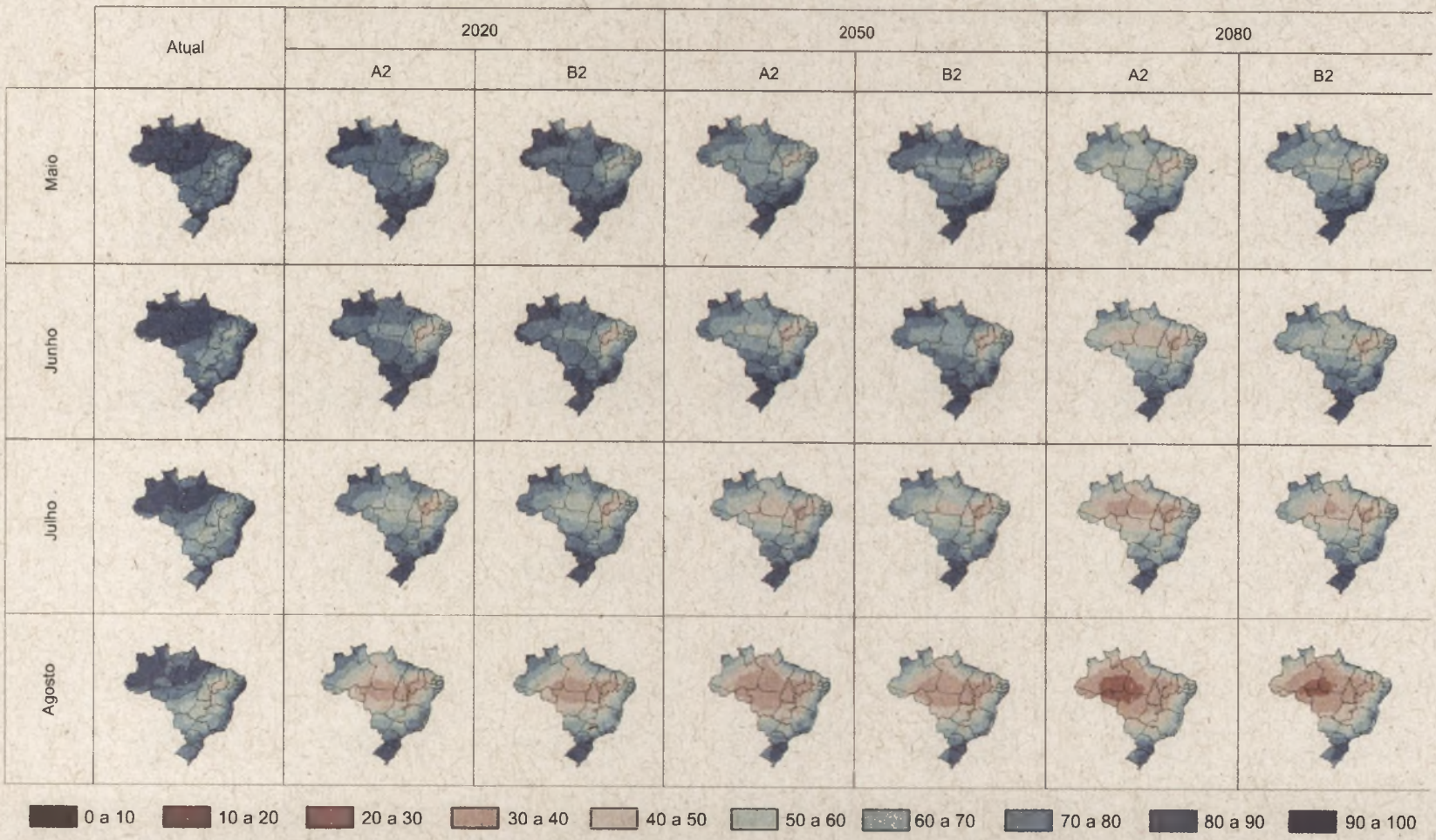


Fig. 27. Umidade relativa (%) de maio, junho, julho e agosto para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

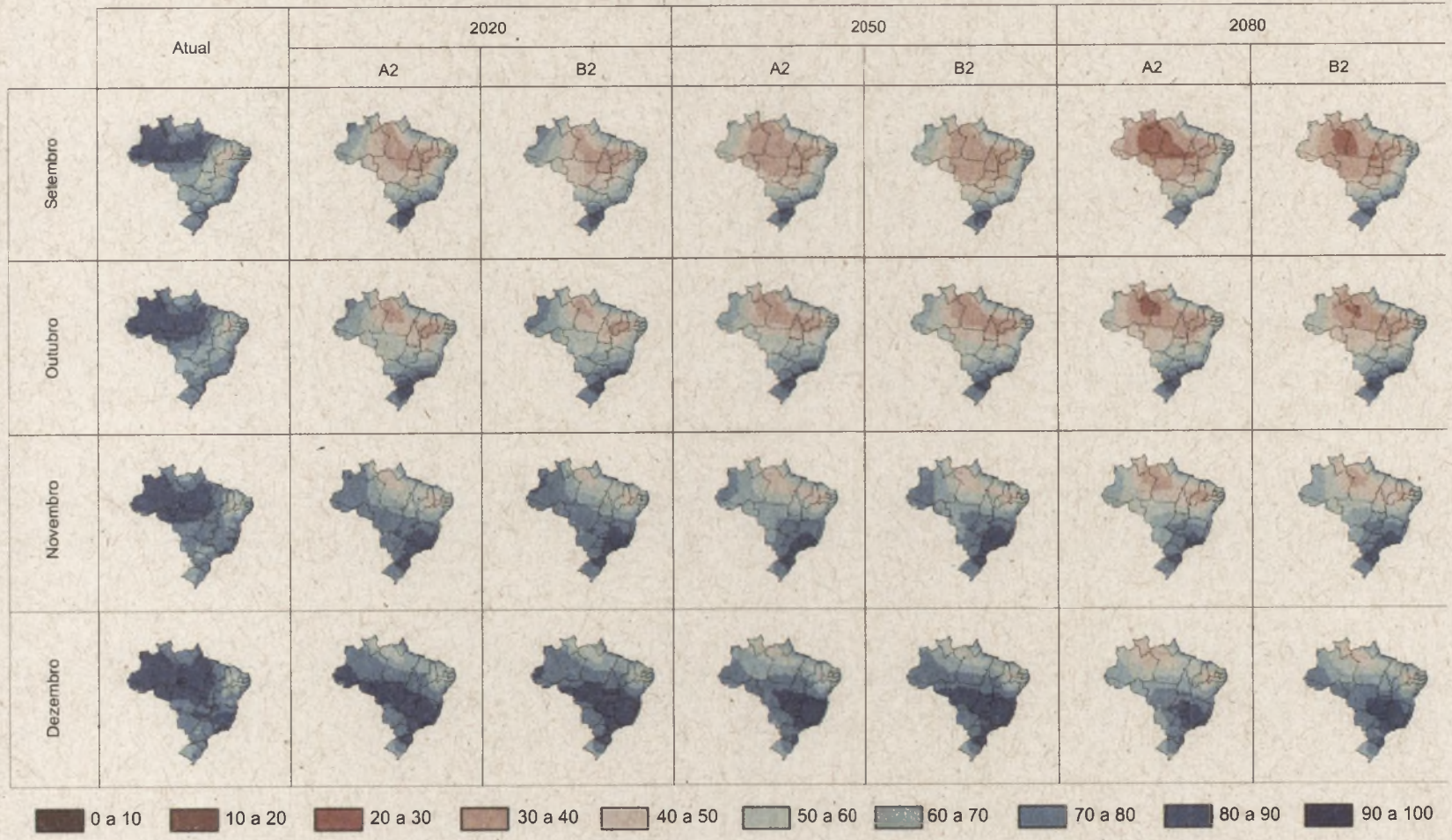


Fig. 28. Umidade relativa (%) de setembro, outubro, novembro e dezembro para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

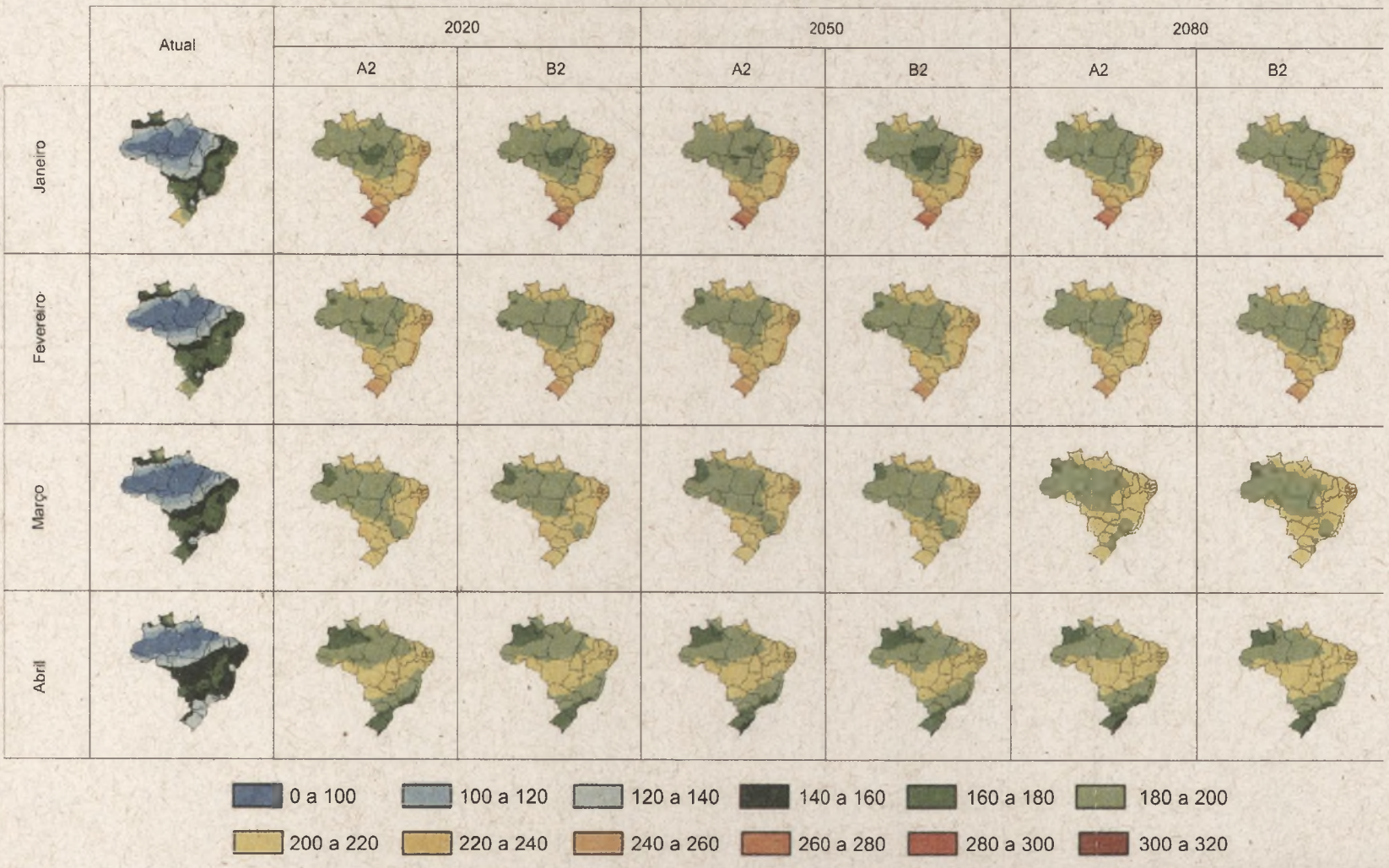


Fig. 29. Radiação solar (W/m²) de janeiro, fevereiro, março e abril para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

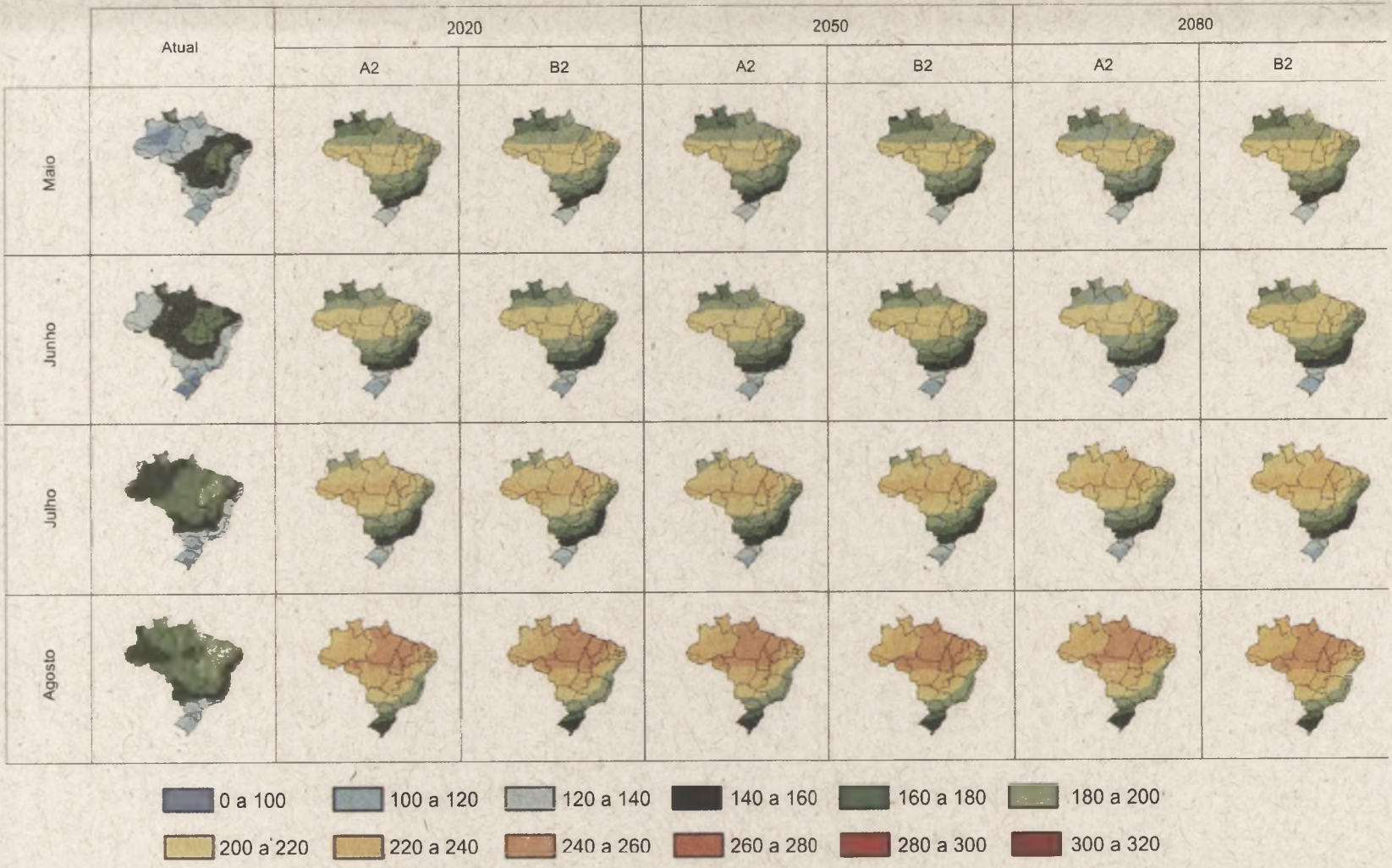


Fig. 30. Radiação solar (W/m²) de maio, junho, julho e agosto para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

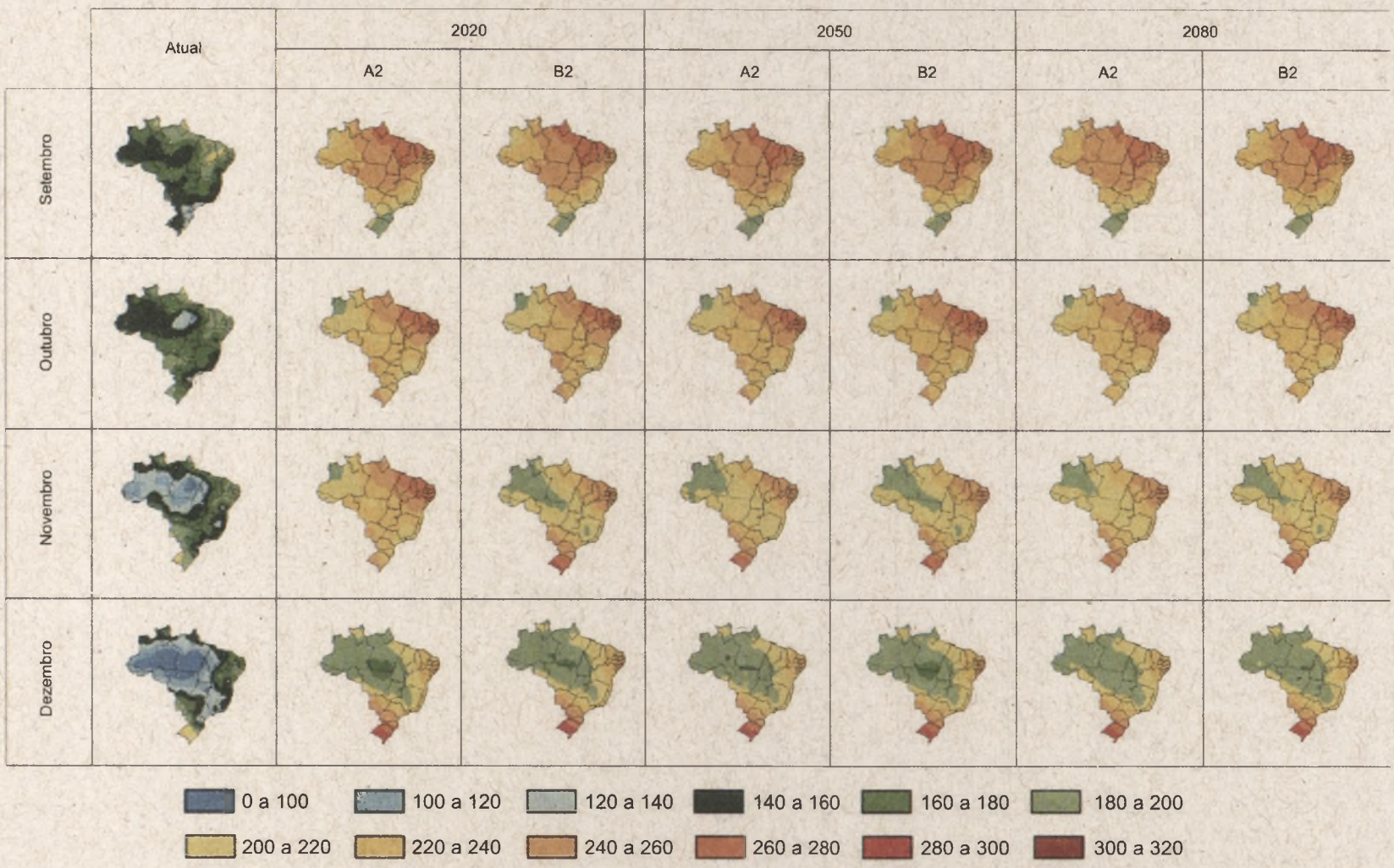


Fig. 31. Radiação solar (W/m²) de setembro, outubro, novembro e dezembro para o cenário atual (1961 a 1990) e os cenários A2 e B2 e anos de 2020, 2050 e 2080.

Referências

BARROS, V. Cambio climático. In: BARROS, V.; MENÉNDEZ, Á.; NAGY, G. (Ed.). **El cambio climático en el río de la Plata**. Buenos Aires: CIMA/CONICET/UBA, 2005. p. 3-12.

BOUWER, L. M.; AERTS, J. C. J. H.; COTERLET, G. M. van de; GIESEN, N. van de; GIESKE, A.; MANNAERTS, C. Evaluating downscaling methods for preparing global circulation model (GCM) data for hydrological impact modelling. In: AERTS, J. C. J. H.; DROOGERS, P. (Ed.). **Climate change in contrasting river basins**: adaptation strategies for water, food and environment. Wallingford: CABI, 2004. p. 25-47.

CAMILLONI, I.; BIDEGAIN, M. Escenarios climáticos para el siglo XXII. In: BARROS, V.; MENÉNDEZ, Á.; NAGY, G. (Ed.) **El cambio climático en el río de la Plata**. Buenos Aires: CIMA/CONICET/UBA, 2005. p. 33-39.

CAVAGNARO, T.; JACKSON, L.; SCOW, K. **Climate change**: challenges and solutions for California agricultural landscapes. 2006. (White Paper). 107 p. Disponível em: <www.energy.ca.gov/2005publications/CEC-500-2005-189/ CEC-500-2005-189-SF.PDF>. Acesso em: 25 abr. 2006.

HULME, M.; SHEARD, N. **Cenários de alterações climáticas para o Brasil**. Norwich: Climatic Research Unit, 1999. 6 p.

IPCC. **Climate change 2001**: the scientific basis: summary for policymakers. Geneva, 2001. 20 p. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2006.

IPCC. **Climate change 2007**: the physical science basis basis: summary for policymakers. Geneva, 2007. 18 p. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>. Acesso em: 3 maio 2007.

IPCC. **Emission scenarios**: summary for policymakers. Geneva, 2000. 20 p. (IPCC Special Report). Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pub/sres-e.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2006.

IPCC. **IPCC SRES climate scenarios**: the IPCC Data Distribution Centre. Disponível em: <http://www.ipcc-data.org/sres/gcm_data.html>. Acesso em: 26 abr. 2006.

IPCC. **The SRES emission scenarios**: the IPCC Data Distribution Centre. Disponível em: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/sres/index.html>. Acesso em: 1 mar. 2005.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 1-18, 2001.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definições das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, DF: MMA, 2006. 212 p.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SALATI, E.; AMBRIZZI, T. **Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**: sumário técnico. Brasília, DF: MMA, SBF, DCBio, 2007. 50 p.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. Impacto das mudanças climáticas no Brasil e possíveis futuros cenários climáticos: síntese do terceiro relatório do IPCC. In: TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. (Ed.). **Clima e recursos hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, 2003. p. 209-242.

NOBRE, C. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima. In: MUDANÇA do clima: volume I: negociações internacionais sobre a mudança do clima: vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima. Brasília, DF: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2005. p. 147-216. (Cadernos NAE, 3).

NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D.; OYAMA, M. D. Mudança ambiental no Brasil: o impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazônia e na agricultura. São Paulo: **Scientific American Brasil**, São Paulo, n. 12, p. 70-75, 2005. (Especial Aquecimento).

Capítulo 3

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças da batata no Brasil

Carlos Alberto Lopes
Ailton Reis
Natalino Yassushi Shimoyama

Introdução

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é originária dos andes peruanos e bolivianos. Cultivada há mais de 7.000 anos, foi introduzida na Europa antes de 1520, onde foi responsável pela primeira revolução verde, difundindo-se daí para países de outros continentes, inclusive o Brasil, por meio da colonização realizada pelos europeus. Aqui, foi inicialmente plantada em pequena escala em hortas familiares da região Sul, sendo chamada de batatinha. Na época da construção de ferrovias ganhou o nome de batata inglesa, por ser uma exigência nas refeições dos técnicos vindos da Inglaterra (ABBA, 2006). Atualmente é o quarto alimento mais consumido no mundo, após o arroz, o trigo e o milho (ABBA, 2006; HIJMANS et al., 2000).

A batata é cultivada no Brasil predominantemente nas regiões de clima temperado, porém com significativa expansão em áreas de clima tropical de altitude durante o outono/inverno (WREGE et al., 2004) (Tabela 1). A cultura requer climas amenos para que ocorra tuberização adequada, que garanta boa produtividade aliada à qualidade de tubérculos. O intervalo de temperatura mais favorável ao seu cultivo é de 15 °C a 20 °C. A brotação da batata-semente ocorre com o solo acima de 5 °C, porém a emergência é favorecida entre 22 °C e 25 °C. A tuberização é mais abundante à temperatura em torno de 17 °C e é prejudicada quando ela fica abaixo de 6 °C e acima de 30 °C. Em climas mais quentes, é essencial que as temperaturas noturnas não ultrapassem 20 °C. À medida que a temperatura aumenta de 15 °C a 25 °C, ocorre redução de matéria seca à taxa média de 1 % para cada 1 °C (SOUZA, 2003).

Tabela 1. Latitude e altitude dos principais municípios produtores de batata do Brasil e área cultivada por estado.(1)

Município	Latitude (S)	Altitude (m)	Área (ha) 2004
Rio Grande do Sul			25.500
Bom Jesus	28°40'	1.046	
Ibiraiaras	28°22'	776	
São Lourenço do Sul	31°22'	19	
Silveira Martins	29°39'	431	
Santa Catarina			8.600
Canoinhas	23°10'	839	
Santo Amaro da Imperatriz	27°41'	18	
São Joaquim	28°17'	1.360	
Treze de Maio	28°33'	190	

Continua...

Tabela 1. Continuação

Município	Latitude (S)	Altitude (m)	Área (ha) 2004
Paraná			28.775
Contenda	25°25'	930	
Guarapuava	25°21'	1.020	
Ponta Grossa	25°13'	880	
São Mateus	25°47'	910	
São Paulo			29.970
Itapetininga	23°20'	656	
Monte Mor	22°54'	674	
Vargem Grande do Sul	21°50	721	
Minas Gerais			37.264
Araxá	19°35'	910 a 1.359	
Conselheiro Lafaiete	20°39'	995	
Pouso Alegre	22°14'	900	
Goiás			1.700
Cristalina	16°40'	1.250	
Bahia			4.100
Mucugê	13°03'	981	

(1) Modificada de Wrege et al. (2004).

A temperatura do ar e do solo tem grande influência no crescimento e reprodução das plantas e dos patógenos e, conseqüentemente, no desenvolvimento das doenças. Isso porque a grande maioria dos processos biológicos é dependente da temperatura. As doenças se desenvolvem mais rapidamente quando a temperatura prevalecente está próxima à temperatura ótima para o crescimento do patógeno, e abaixo ou acima da ótima para o crescimento da planta. Em virtude da sua importância no desenvolvimento de epidemias, a temperatura é um dos principais componentes nos sistemas de previsão de doenças de plantas. Além disso, o armazenamento a frio tem sido uma das principais estratégias de controle de doenças em pós-colheita.

O aquecimento global, acompanhado de alteração da intensidade de chuvas e aumento da concentração de CO_2, certamente afetará a fisiologia das plantas e a taxa de desenvolvimento dos patógenos. Como resultado disso, poderá haver alterações na resistência das plantas a doenças bem como na

patogenicidade dos agentes causais e nas interações planta hospedeira - patógeno (CHAKRABORTY et al., 1998; COAKLEY et al., 1999; RUNION, 2003).

Esses efeitos, entretanto, são de alta complexidade e não devem ser considerados isoladamente. Por exemplo, locais em que as baixas temperaturas são limitantes à produção, o aquecimento global pode ser benéfico ao permitir a ocorrência de temperaturas favoráveis à cultura, bem como permitir a extensão da época de cultivo. No caso específico da batata, simulação realizada por Hijmans (2003) e Hijmans et al. (2000), levando em conta as mudanças climáticas (aumento de 1,2 °C a 3,2 °C entre 2010 a 2060), indica que o aumento da temperatura global resultará em queda de produção da batata nas regiões tradicionais de cultivo, principalmente em locais de baixa altitude.

Para o Brasil, essa queda de produção está prevista para ser em torno de 23 % no período de 2040 a 2069 (HIJMANS, 2003). Há que se destacar que esse autor possivelmente considerou a média de temperatura das principais regiões batateiras do Brasil, e não levou em conta as peculiaridades climáticas dessas regiões, conforme descritas por Wrege et al. (2004). Já em locais de alta altitude, a queda poderá não acontecer, devendo, entretanto, ocorrer mudanças na época de plantio e nos locais de cultivo. A queda de produtividade está associada não só à interferência negativa do clima na fisiologia da planta, como também à maior incidência e severidade de doenças bióticas e abióticas. De acordo com Burton (1972), para cada 5 °C de elevação na temperatura da folha, a partir de 20 °C, há uma redução de aproximadamente 25 % na taxa de fotossíntese. Deve ser lembrado, entretanto, que o aumento da temperatura global está associado ao aumento da concentração de CO_2 na atmosfera, que poderá compensar a produtividade, ao menos parcialmente, pelo acúmulo de matéria seca em função da maior taxa de fotossíntese. Por outro lado, acredita-se que a variação da concentração de CO_2 não terá tanta influência direta nos patógenos (BOLAND et al., 2004).

Para contrapor-se aos efeitos do aumento da temperatura, certamente haverá também um aumento de esforços nos programas de melhoramento genético, no sentido de priorizar o desenvolvimento de cultivares tolerantes ao calor, concomitantemente com resistência às doenças favorecidas por altas temperaturas. Por isso, é importante que clones avançados dos programas nacionais de melhoramento genético de batata sejam desenvolvidos, considerando a resistência às principais doenças, e sejam avaliados em diferentes localidades e épocas de plantio, a fim de garantir sua estabilidade de produção (PEREIRA, 2003). Mas, independentemente da resistência às doenças em si, sabe-se que plantas sob estresse, inclusive pela não adaptação às altas temperaturas, são mais sensíveis ao ataque de doenças. Em

compensação, os rápidos avanços na genômica vegetal e técnicas moleculares auxiliares ao melhoramento genético tradicional trazem grande esperança, como ferramentas auxiliares ao desenvolvimento das cultivares do futuro.

Na busca de fontes de tolerância a altas temperaturas, Reynolds & Ewing (1989) avaliaram 319 acessos pertencentes a 59 espécies do gênero *Solanum*. Tuberização mais consistente a 30 °C–40 °C foi encontrada nas espécies *S. bulbocastanum* (PI 347757), *S. chacoense* (PI 197760 e PI 320285), *S. demissum* (PI 175411 e PI 275206) e *S. stoloniferum* (PI 255532). Esses acessos, disponíveis na coleção do *Inter-Regional Potato Introduction Project*, Wisconsin, EUA, são importantes genitores para os programas de melhoramento visando à obtenção de cultivares tolerantes a altas temperaturas. Adicionalmente, o Centro Internacional de la Papa envidou grandes esforços, nas duas últimas décadas, para o desenvolvimento de cultivares com essa característica e possui clones úteis para essa finalidade (MIDMORE; PRANGE, 1992).

Considerando os cenários futuros, a associação da tolerância a altas temperaturas com a resistência a doenças é fundamental para garantir a produtividade, e mesmo a sustentabilidade da produção. Dentre as doenças da batata favorecidas por altas temperaturas, destacam-se a podridão-mole (*Erwinia* spp.), a murcha-bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) e a podridão-de-esclerócio (*Sclerotium rolfsii*). Por outro lado, doenças de climas mais amenos, como podridão-de-esclerotínia (*Sclerotinia sclerotiorum*) e rizoctoniose (*Rhizoctonia solani*), deverão permanecer importantes somente em épocas de cultivo e regiões atualmente inaptas pela presença de geadas. Não se pode deixar de considerar o complicatório de que, especialmente para a resistência poligênica do tipo horizontal (sensu Vanderplank), a resistência pode ser quebrada por temperaturas altas.

Embora a mudança de temperatura possa não parecer significativa ao ser analisada isoladamente (entre 3,0 °C e 5,5° C até o final do século) (COAKLEY; SCHERM, 1996), o mais importante é que se considere o aumento da soma dos eventos de temperaturas críticas que favoreçam a doença ou afetem a fisiologia da planta (CHAKRABORTY et al., 1998). Pelo lado do patógeno, a mudança climática terá influência direta na germinação, infecção, dispersão e sobrevivência entre cultivos (COAKLEY; SCHERM, 1996; COAKLEY et al., 1999; RUNION, 2003).

Ao se considerar que a batata pode ser atacada por mais de 100 doenças (STEVENSON et al., 2001), é difícil especular sobre o efeito das variações climáticas para cada uma delas. Mesmo assim, pode-se afirmar que, independente do cenário de aquecimento global, algumas aumentarão, outras manterão e outras diminuirão de importância, sem contar que novas espécies ou variantes de microrganismos poderão formar novos patossistemas. A previsão de aumento de umidade e de nebulosidade, que

proporcionará aumento das temperaturas mínimas (CHAKRABORTY et al., 1998), é especialmente preocupante, pois temperatura e umidade são os fatores que mais influenciam o desenvolvimento de epidemias em plantas (AGRIOS, 1997). De fato, Menezes et al. (1999) demonstraram que o cultivo de batata na safra das águas, em Minas Gerais, sob temperaturas mais altas, resulta em produção cerca de 25 % menor e em qualidade inferior dos tubérculos que o cultivo de inverno.

A recente publicação da Embrapa, *Caracterização climática das regiões produtoras de batata no Brasil* (WREGE et al., 2004), é um importante documento para a identificação das áreas de plantio no País, visando à presente perspectiva do potencial de produção, bem como ao planejamento futuro em busca da sustentabilidade da bataticultura nacional, atual e futura.

A maioria dos estudos sobre o impacto das mudanças climáticas, em especial o aquecimento da terra, sobre doenças de plantas é baseada em modelos de simulação (COAKLEY et al., 1999; CHAKRABORTY et al., 2004). Essa estratégia é possível devido ao conhecimento adquirido sobre o efeito do ambiente sobre as plantas, os patógenos e a interação entre os mesmos (COAKLEY et al., 1999; COAKLEY; SCHERM, 1996; FARROW, 1991; SCHERM, 2004).

Impacto das mudanças climáticas sobre as doenças da batata

Há poucos estudos investigando o impacto do aquecimento global sobre as doenças da batata. Dentre esses, destacam-se os trabalhos de Kaukoranta (1996), Hijmans et al. (2000) e Boland et al. (2004). Pela sua importância econômica, a requeima é sem dúvida, a doença mais estudada.

A seguir, são feitos comentários sobre a influência do aumento da temperatura global sobre algumas doenças da batata, levando-se em conta a capacidade dos microrganismos de se adaptarem a novas condições climáticas. Ressalta-se ainda que os parasitas obrigatórios, como os vírus, deverão se adaptar mais facilmente a um possível aumento da temperatura em comparação aos microrganismos necrotróficos. Assim, eventuais mudanças nas regiões cultivadas com batata, ocasionadas por variações no clima, deverão ser acompanhadas também por esse grupo de patógeno, que tem alta capacidade de mutação e, portanto, poderão surgir variantes mais adaptadas. A capacidade dos vetores de vírus, em especial os pulgões, adaptarem-se à nova condição climática também será fundamental para determinar a evolução das epidemias de origem virótica atualmente conhecidas.

Boland et al. (2004) fizeram uma análise do impacto das mudanças climáticas sobre a cultura da batata em Ontário, no Canadá, e previram aumento do potencial de duração das epidemias para nove doenças consideradas no estudo: rizoctoniose (*Rhizoctonia solani*), pinta-preta (*Alternaria solani*), requeima (*Phytophthora infestans*), podridão-rosada (*Phytophthora erythroseptica*), murcha-de-verticílio (*Verticillium* spp.), canela-preta (*Erwinia carotovora*), sarna-comum (*Streptomyces scabies*), podridão-anelar (*Clavibacter michiganensis*) e enrolamento-das-folhas (PLRV) (Tabela 2). Entretanto, foi prevista redução na taxa de progresso da doença para rizoctoniose, pinta-preta, requeima, podridão-rosada, sarna-comum e podridão-anelar. Como a batata no Canadá é plantada em somente uma estação e em solo exposto a temperaturas bem abaixo da temperatura de congelamento, é difícil extrapolar essas previsões para as condições brasileiras; assim como é difícil também imaginar que as doenças se comportarão da mesma maneira nas diferentes condições de produção no Brasil, que compreende áreas de latitudes que vão desde 13° a 31° de latitude sul e altitudes que variam de 18 a mais de 1.000 metros (WREGE et al., 2004) (Tabela 1).

Naturalmente, algumas regiões brasileiras causam maior preocupação em função do clima e do sistema de plantio. Por exemplo, considerando que a temperatura mínima para a manifestação de sintomas de murcha-bacteriana seja de 20 °C, e que a temperatura ideal seja de 30 °C, se observarmos o Município de São Joaquim, SC, na condição atual, nenhum mês apresenta temperatura mínima igual ou acima de 20 °C (Tabela 3), o que restringe o crescimento de *Ralstonia solanacearum* a ponto de ela não provocar sintomas durante todo o ano.

Tabela 2. Previsão do efeito da mudança climática em Ontário, Canadá, sobre algumas doenças da batata.[1]

Doença	Patógeno	Y_0	r	t	Doença
Rizoctoniose	*Rhizoctonia solani*	+	-	+	=
Pinta-preta	*Alternaria solani*	+	-	+	=
Requeima	*Phytophthora infestans*	+	-	+	=
Podridão-rosada	*P. erythroseptica*	+	-	+	=
Murcha-de-verticílio	*Verticillium* spp.	+	+	+	+
Canela-preta	*Erwinia* spp.	=	-	+	=
Sarna-comum	*Streptomyces* spp.	=	+	+	+
Podridão-anelar	*Clavibacter michiganensis*	+	-	+	=
Enrol.-das-folhas	PLRV	=	+	+	+

[1] Modificado de Boland et al. (2004). Baseado na previsão de aumento de 3 °C para Ontário, Canadá, nos próximos 100 anos.
+ Aumento; - Redução; = sem efeito.
Y_0: Inóculo inicial; r: Taxa de progresso da doença; t: Tempo de duração da epidemia.

Tabela 3. Temperatura mínima mensal (°C) nos principais municípios produtores de batata no Brasil.

Município	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Rio Grande do Sul												
Bom Jesus	14,8	15,4	14,2	11,1	8,5	6,8	6,7	7,5	8,5	10,0	11,5	13,5
Ibiraiaras	15,9	15,8	14,2	11,0	8,9	7,5	8,4	7,5	9,4	11,1	12,6	13,5
São Lourenço do Sul	19,1	19,1	17,7	14,4	11,1	8,6	8,6	9,5	11,2	13,6	15,3	17,7
Silveira Martins	16,3	16,4	15,4	12,4	9,6	8,4	7,3	8,5	9,8	11,7	13,4	15,0
Santa Catarina												
Canoinhas	17,1	15,6	15,6	12,9	8,6	7,2	6,2	7,6	10,4	12,8	13,8	16,5
Santo Amaro da Imperatriz	21,6	21,7	21,1	18,8	16,4	14,3	13,3	13,9	15,1	16,7	18,3	20,1
São Joaquim	13,1	13,4	12,3	9,8	7,4	6,0	5,8	6,5	7,4	9,0	10,2	11,9
Treze de Maio	18,5	18,7	17,8	14,7	11,7	9,7	9,0	10,0	11,9	13,9	15,3	17,1
Paraná												
Contenda	16,3	16,7	15,7	13,3	10,6	8,5	8,3	8,9	10,5	12,3	13,8	15,4
Guarapuava	16,6	16,6	15,7	13,3	10,0	8,7	8,4	9,5	10,7	13,1	14,3	15,7
Ponta Grossa	17,2	17,4	16,2	13,8	10,5	9,2	9,1	10,2	11,8	13,5	14,8	16,3
São Mateus	17,0	17,1	16,2	14,0	10,5	9,6	8,4	9,5	11,1	13,2	14,6	16,1
São Paulo												
Itapetininga	19,9	19,9	19,4	17,2	13,9	12,8	12,1	13,1	14,3	16,6	17,5	18,8
Monte Mor	18,9	19,1	18,5	16,5	14,0	12,3	11,9	13,2	14,9	16,3	17,3	18,3
Vargem Grande do Sul	19,1	18,8	17,8	16,6	12,8	11,5	11,4	13,0	14,7	16,7	17,6	18,3
Minas Gerais												
Araxá	17,6	17,7	17,5	16,0	14,4	12,9	12,4	13,9	15,3	16,7	17,1	17,3
Goiás												
Cristalina	19,5	19,0	18,9	17,4	14,3	12,2	11,5	15,0	16,4	18,3	18,7	19,4
Bahia												
Mucugê	17,0	17,2	17,3	16,7	15,2	13,9	13,1	13,3	14,6	16,2	16,8	16,9

Fonte: Wrege et al. (2004).

Interessante é que, mesmo que a temperatura aumente em 5 °C até o final do século, conforme previsão de Coakley e Scherm (1996), o patamar de 20 °C não será atingido, embora com mais chances de que alguns dias sejam suficientemente quentes para que a doença apareça. Adicionalmente, nesse município, a temperatura ideal de 30 °C para que a doença ocorra com maior intensidade não é atingida em nenhum mês (Tabela 4), e não será atingida mesmo com o aumento previsto de 5 °C. Ou seja, dentre os municípios produtores de batata no Brasil, São Joaquim é, e deverá continuar sendo, o de maior potencial para a produção de batata-semente, levando-se em conta a ameaça da ocorrência de murcha-bacteriana, cuja tolerância é zero, no Brasil.

Situação diferente ocorre em Vargem Grande do Sul, SP. Se atualmente nenhum mês apresenta temperatura mínima acima de 20 °C (Tabela 3), o aumento de 5 °C provocará temperaturas mínimas acima de 20 °C em sete meses do ano, o que aumentará assim o risco de ocorrência da murcha-bacteriana. Em relação às temperaturas máximas, sete meses apresentam temperaturas acima de 30 °C (Tabela 4), portanto favoráveis à ocorrência da doença. Em caso de aumento de 5 °C, todos os meses do ano apresentarão temperaturas no patamar favorável à doença. Mudança preocupante de risco da murcha-bacteriana ocorre também em Mucugê, BA, que apresenta temperaturas mínimas abaixo de 20 °C em todos os meses (Tabela 3), mas que perdurarão em somente quatro meses após o aumento de 5 °C. O mais relevante, entretanto, é observado quando é analisada a temperatura máxima. Atualmente, nenhum mês apresenta máxima acima de 30 °C (Tabela 4); após o aumento de 5 °C, entretanto, 11 meses apresentarão a temperatura máxima acima de 30 °C. Esse fato é ainda mais relevante ao se constatar que o cultivo da batata se estende durante todo o ano na região de Mucugê, BA (Chapada Diamantina), prática que garante a manutenção e aumento da densidade de inóculo disponível para início de epidemias (Tabela 5). Esse mesmo exercício feito com a murcha-bacteriana poderá se estender a outros patógenos, cujas exigências de temperatura são indicadas a seguir (Tabela 6).

Podridão-anelar (*Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*)

Embora presente em regiões de clima temperado, como Europa e América do Norte, essa doença é exótica no Brasil, onde as temperaturas ideais para seu desenvolvimento (24 °C a 32 °C) podem ser mais facilmente encontradas. Assim, caso o patógeno seja introduzido no Brasil por meio de batata-semente infectada, é provável que encontre ambiente favorável para provocar epidemias preocupantes na maioria das regiões produtoras. A alta amplitude de temperatura na qual o patógeno provoca doença sugere que a doença pode ocorrer mesmo em cultivares mais adaptadas às altas temperaturas.

Tabela 4. Temperatura máxima mensal (°C) nos principais municípios produtores de batata no Brasil.

Município	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Rio Grande do Sul												
Bom Jesus	24,5	24,7	23,4	20,4	17,7	16,0	16,1	17,1	18,2	20,2	21,7	23,7
Ibiraiaras	28,6	27,8	26,9	22,6	20,7	19,0	18,4	20,4	21,3	22,9	25,9	27,1
São Lourenço do Sul	28,2	27,9	26,9	24,0	20,8	17,8	17,5	18,6	19,6	22,2	24,6	27,1
Silveira Martins	29,4	28,7	27,0	23,5	20,6	18,4	18,2	19,8	21,3	24,0	26,0	28,2
Santa Catarina												
Canoinhas	27,5	26,9	26,1	24,1	19,8	18,5	18,4	20,3	20,8	22,5	25,6	27,0
Santo Amaro da Imperatriz	28,1	28,4	27,8	25,7	23,4	21,5	20,4	20,7	21,2	22,7	24,6	26,5
São Joaquim	23,0	22,7	21,5	18,7	16,1	14,5	14,6	16,1	17,1	18,7	20,4	22,2
Treze de Maio	30,1	29,9	29,0	26,5	24,2	22,2	22,0	22,9	23,6	25,2	27,0	29,3
Paraná												
Contenda	25,9	26,2	25,0	22,6	20,5	19,2	19,1	20,2	20,2	22,0	23,7	25,2
Guarapuava	26,9	26,6	26,0	23,8	20,8	19,6	19,6	21,4	21,8	24,0	25,5	26,3
Ponta Grossa	27,6	27,4	26,4	24,2	21,5	20,0	20,2	21,8	22,6	24,3	25,9	26,8
São Mateus	26,7	26,6	25,7	23,9	20,4	19,3	18,9	20,9	20,8	22,9	25,1	26,5
São Paulo												
Itapetininga	29,2	28,9	28,2	26,6	22,5	21,8	21,9	23,5	23,4	26,1	27,3	29,5
Monte Mor	29,2	29,7	29,2	27,5	25,3	24,3	24,4	26,4	27,2	28,0	28,6	28,4
Vargem Grande do Sul	30,2	30,5	31,0	30,7	26,2	26,9	26,0	28,2	28,9	31,3	30,1	30,2
Minas Gerais												
Araxá	27,3	28,0	27,9	25,2	25,3	24,5	24,5	26,7	27,2	27,7	27,1	26,4
Goiás												
Cristalina	26,5	27,6	26,5	27,3	26,0	25,2	24,3	27,6	28,4	30,2	28,3	27,9
Bahia												
Mucugê	28,9	29,2	29,0	27,6	26,3	25,1	24,6	25,6	27,3	28,4	28,2	28,5

Fonte: Wrege et al. (2004).

Tabela 5. Principais localidades e épocas de plantio de batata no Brasil.

Localidade	N° de produt.	Área ha /ano	Época de plantio J F M A M J J A S O N D
Chapada Diamantina (BA)	8	5.000	
Cristalina (GO)	7	3.400	
Serra das Vertentes (MG)	50	1.800	
Sul de Minas (MG)	2.250	18.000	
Alto Paranaíba (MG)	300	17.000	
Vargem G. do Sul (SP)	200	9.500	
Sudoeste (SP)	50	8.600	
Vale do Paraíba (SP)	15	450	
Castrolanda (PR)	22	3.650	
Guarapuava (PR)	52	6.000	
São Mateus (PR)	28	3.400	
Curitiba (PR)	100	5.000	
São Joaquim (SC)	750	1.500	
Canoinhas (SC)	15	1.200	
B. Jesus de Vacaria (RS)	45	5.000	
Ibiraiaras (RS)	60	3.000	
Santa Maria (RS)	130	600	

Fonte: ABBA (2006). (Dados referentes a 2004).

Tabela 6. Previsão de aumento de intensidade de doenças da batata nas épocas de plantio de inverno e das águas no Brasil, face ao aquecimento global[1].

Doença	Patógeno	Inverno	Das águas
Rizoctoniose	*Rhizoctonia solani*	=	-
Pinta-preta	*Alternaria solani*	+	=
Requeima	*Phytophthora infestans*	=	-
Sarna-pulverulenta	*Spongospora subterranea*	=	-
Murcha-bacteriana	*Ralstonia solanacearum*	+	+
Canela-preta	*Erwinia* spp.	+	+
Sarna-comum	*Streptomyces* spp.	=	-
Mosaico	PVY	+	=
Enrolamento-das-folhas	PLRV	+	=
Nematóide-de-galha	*Meloidogyne* spp.	+	=

[1] Levando-se em conta as regiões tradicionais de cultivo, o conhecimento atual da genética da batata e dos patógenos e a ausência de medidas corretivas para contrapor ao aumento de temperatura previsto até o final do século XXI.

Canela-preta / Podridão-mole (*Erwinia* = *Pectobacterium* spp.)

A canela-preta ocorre nas plantas em condições de campo, enquanto a podridão-mole pode ocorrer nos tubérculos ainda no campo ou em pós-colheita. Em ambos os casos o patógeno tem um alto potencial destrutivo, podendo causar grandes prejuízos aos bataticultores. São três as espécies ou subespécies de *Erwinia* (ou *Pectobacterium*) que provocam essa doença em batata: *E. carotovora* subsp. *atroseptica*, *E. carotovora* subsp. *carotovora* e *E. chrysanthemi*. A primeira é encontrada em cultivos sujeitos a temperaturas mais baixas, enquanto a última em locais de temperaturas mais altas. O aumento de temperatura global indica que provavelmente haverá a predominância de *E. chrysanthemi* sobre as outras, ao mesmo tempo em que a severidade dos sintomas será maior, visto que a temperatura ideal para essas espécies está acima de 30 °C.

Murcha-bacteriana (*Ralstonia solanacearum*)

Essa é uma das principais doenças da batata no Brasil e em várias regiões produtoras do mundo. Quando a cultivar é muito suscetível, pode destruir todo um campo de cultivo. Outro problema, associado a essa doença, é que sua ocorrência em uma única planta num campo de produção de batata-semente é suficiente para condenar sua certificação. É uma doença favorecida por temperaturas altas aliadas à alta umidade do solo. Raramente ocorre quando a temperatura predominante fica abaixo de 20 °C. A temperatura ideal para que ocorra infecção e desenvolvimento dos sintomas gira em torno de 30 °C. Pelo fato de o patógeno ser altamente adaptado aos solos cultiváveis com batata, é uma doença que será muito favorecida com o aumento da temperatura global, especialmente se vier acompanhada de aumento da umidade provocada por chuvas.

Sarna-comum (*Streptomyces* spp.)

Essa doença está presente em todos os locais onde se planta batata no Brasil e no mundo. Ela causa depreciação do tubérculo para o comércio, pois afeta sua aparência externa, apesar de os tubérculos ainda poderem ser consumidos. É causada por várias espécies de *Streptomyces*, sendo a espécie *S. scabies* a mais comum. A doença é favorecida por baixa umidade do solo e temperaturas altas. A zona ótima de temperatura para o crescimento desse organismo situa-se entre 25 °C a 30 °C. Entretanto, o mesmo pode se desenvolver numa faixa de temperatura muito mais ampla, podendo ir de 5 °C a 40 °C desde que o pH do solo esteja acima de 5,5. Assim, essa doença tende a não ser afetada numa perspectiva de aumento global da temperatura, embora o eventual aumento de umidade possa vir a auxiliar o controle da mesma.

Pinta-preta (*Alternaria solani*)

Essa doença é uma das mais importantes da cultura, ocorrendo em todas as regiões produtoras do Brasil e do mundo, onde se cultiva batata. O agente causal da doença, *Alternaria solani*, também é um patógeno favorecido por altas temperaturas. Embora a esporulação máxima do fungo ocorra entre 20 °C e 24 °C, o crescimento micelial se dá entre 1 °C e 45 °C, portanto o patógeno pode causar epidemias em ambientes com temperaturas consideravelmente maiores que as ideais para a cultura da batata. Outro importante fator a ser considerado é que plantas sob estresse tendem a ser mais suscetíveis à doença.

Requeima (*Phytophthora infestans*)

É a doença mais destrutiva da batata no Brasil (SOUZA-DIAS et al., 1997) e no mundo (HIJMANS et al., 2000; STEVENSON et al., 2001), sendo necessários gastos elevados com fungicidas para seu controle (MIZUBUTI, 2001). É considerada uma doença associada a climas de temperaturas amenas e alta umidade. De fato, temperaturas entre 8 °C e 18 °C favorecem a produção de zoosporos, que são responsáveis pela maior rapidez de disseminação da doença. Entretanto, a doença se dissemina também por meio da germinação direta dos esporângios, que ocorre entre 18 °C e 24 °C, mas que podem permanecer viáveis em temperaturas próximas a 30 °C, tornando-se infectivos quando a temperatura fica mais amena. Esse fato explica por que a requeima ocorre mesmo em lavouras conduzidas sob temperaturas elevadas. Provavelmente o aumento global da temperatura deverá dificultar a ocorrência de epidemias severas desse patógeno. Entretanto, como *P. infestans* tem apresentado alta plasticidade fisiológica, e estudos de adaptabilidade do patógeno têm mostrado que algumas linhagens clonais tendem a ser mais adaptadas a temperaturas mais altas do que outras (MAZIERO et al., 2001), possivelmente a doença continuará a ser um desafio para a cultura.

Rizoctoniose (*Rhizoctonia solani*)

Ocorre com freqüência em campos de batata, sendo mais problemática em solos cultivados intensivamente, quando a rotação de culturas não é praticada. A não ser que o fungo adapte-se a temperaturas altas, essa é uma das poucas doenças em que se espera redução dos efeitos danosos em caso de aumento gradual da temperatura. Isso porque a doença se desenvolve mais rapidamente em solos frios, com temperatura abaixo de 20 °C.

Sarna-prateada (*Helminthosporium solani*)

É uma doença comum, mas que passa despercebida em batata não lavada por afetar somente a casca. Desenvolve-se sob alta umidade do solo (acima de 90 %), sendo visível na colheita e durante o armazenamento e transporte, no caso da batata-semente. A temperatura mínima para seu desenvolvimento é 3 °C e, por isso, a doença aumenta dentro de câmaras frias. Embora essa seja uma doença predominantemente observada em pós-colheita, o aumento da temperatura tende a aumentar sua incidência no campo, já que o patógeno é favorecido por altas temperaturas.

Sarna-pulverulenta (*Spongospora subterranea*)

Essa doença foi relatada recentemente no Brasil. Tem causado prejuízos consideráveis ao depreciar a qualidade comercial do tubérculo, quando o cultivo ocorre em terrenos sujeitos a baixas temperaturas do solo, entre 11 °C e 18 °C, principalmente sob condições de excesso de umidade. Essa é outra das poucas doenças em que se espera redução de ocorrência em função do aumento da temperatura global.

Mofo-branco (***Sclerotinia sclerotiorum***)

É uma doença de clima ameno e úmido, sendo favorecida por temperaturas variando entre 15 °C e 21 °C. Alta umidade e água livre na planta são importantes para o ciclo completo da doença. Temperaturas entre 11 °C e 15 °C são as mais favoráveis para o início da formação dos apotécios e, conseqüentemente, o inóculo aéreo do fungo. A tendência de mudança do clima é de aumento da temperatura e diminuição da umidade, ambiente menos propício para a produção de apotécios e infecção por ascósporos, diminuindo a intensidade das epidemias de mofo-branco. Por esses aspectos, essa é uma doença da batata que tende a diminuir de importância regional à medida que ocorram aumentos globais de temperatura.

Podridão-de-esclerócio (*Sclerotium rolfsii*)

É favorecida por solos úmidos e alta temperatura, em torno de 28 °C a 30 °C. Pelo fato de as estruturas do fungo permanecerem por longo período no solo, e por atacar várias espécies cultivadas, esse é um patógeno que poderá se tornar mais importante à medida que ocorre aumento da temperatura, em especial devido à dificuldade de se controlar essa doença por meio de resistência genética.

Nematóide-de-galhas (*Meloidogyne* spp.)

Principalmente a espécie *M. incognita*, mais comum nas regiões batateiras do Brasil, requer alta temperatura (25 °C a 32 °C) para multiplicação e, portanto, provocar danos principalmente nos tubérculos. Plantios de verão, realizados em solos arenosos, são mais sujeitos às perdas provocadas por esse patógeno. Um aumento da temperatura global implicará em aumento das temperaturas do solo que acelerará o ciclo dos nematóides na maioria das regiões onde se plantam batatas, especialmente nas lavouras instaladas em solos arenosos.

Viroses

As principais viroses da batata, enrolamento-das-folhas (PLRV) e mosaico (PVY), são afetadas pelas populações de pulgões, que são vetores desses vírus. Um aumento de temperatura afetará a disponibilidade de locais mais frios para produção de batatas-sementes que sejam livres da presença ou menos infestadas por afídeos. Além disso, temperaturas altas e tempo seco favorecem a movimentação dos vetores e podem resultar em epidemias mais severas das viroses. Portanto, o aumento da temperatura deverá favorecer as epidemias dessas duas viroses na maioria das regiões produtoras do País, desde que não seja acompanhado por elevação da umidade do ar.

Considerações finais

1. É esperado que o aumento da temperatura global afetará a incidência e severidade das doenças da batata.

2. O aumento de temperatura dependerá da efetividade das ações governamentais com vistas à redução das causas do aquecimento global.

3. O aumento da temperatura é um fenômeno complexo, envolvendo muitas variáveis climáticas e bioquímicas, e afetará a fisiologia da planta de batata com tendência de redução de produtividade.

4. A redução de produtividade das plantas em virtude do aumento da temperatura global poderá ser parcialmente compensada pelo aumento da concentração de CO_2 na atmosfera (aumento da fotossíntese).

5. Devido ao aumento da temperatura global, programas de melhoramento genético deverão priorizar, a médio prazo, o desenvolvimento de cultivares, inclusive de batata, tolerantes ao calor.

6. Caso as previsões de aumento da temperatura global se concretizem, no Brasil, os cultivos de batata das águas deverão ser mais prejudicados que os cultivos de inverno.

7. Regiões brasileiras de baixa altitude poderão se tornar inviáveis à bataticultura, inclusive pelo aumento da incidência de doenças bióticas e abióticas, em função do aumento da temperatura global.

8. Algumas doenças da batata poderão não ocorrer ou ocorrer em menor intensidade face ao aumento da temperatura.

Referências

ABBA. Associação Brasileira da Batata. Disponível em: <www.abbabatatabrasileira.com.br> Acesso em: 10 de jun. 2006.

AGRIOS, G. N. **Plant pathology.** 4th. ed. New York: Academic Press, 1997. 635 p.

BOLAND, G. J.; MELZER, M. S.; HOPKIN, A.; HIGGINS, V.; NASSUTH, A. Climate change and plant diseases in Ontario. **Canadian Journal of Plant Pathology**, Ottawa, v. 26, p. 335-350, 2004

BURTON, W. G. The response of potato lant and tuber to temperature. In: REES, A. R.; COCKSHULL, K. E.; HAND, D. W.; HURD, R. G. (Ed.). **Crop processes in controlled environments**. New York: Academic Press, 1972. p. 217-233.

CHAKRABORTY, S.; MURRAY, G. M.; MAGAREY, P. A.; YONOW, T.; O'BRIAN, R. G.; CROFT, B. J.; BARBETTI, M. J.; SIVASITHAMPARAM, K.; OLD, K. M.; DUDZINSKI, M. J.; SUTHEREST, R. W.; PENROSE, L. J.; ARCHER, C.; EMMET, R. W. Potential impact of climate change on plant diseases of economic significance to Australia. **Australian Plant Pathology**, Collingwood, v. 27, n. 1, p.15-34, 1998.

CHAKRABORTY, S.; GHOSH, R.; FERNANDES, C. D.; CHARCHAR, M. J.; KELEMU, S. Weather-based prediction of anthracnose severity using artificial neural network models. **Plant Pathology**, Oxford, v. 53, p. 375-386, 2004.

COAKLEY, S. M.; SCHERM, H. Plant disease in a changing global environment. **Aspects of Applied Biology**, Wellesbourne, v. 45, p. 227-237, 1996.

COAKLEY, S. M.; SCHERM, H.; CHAKRABORTY, S. Climate change and plant disease management. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 37, p. 399-426, 1999.

FARROW, R. A. Implications of potential global warming on agricultural pests in Australia. **EPPO Bulletin**, Paris, v. 21, p. 683-696, 1991.

HIJMANS, R. J. The effect of climate changes on global potato production. **American Potato Journal**, New York, v. 80, p. 271-280, 2003.

HIJMANS, R. J.; GRÜNWALD, N. J.; HAREN, R. J. F. van; MACKERRON, D. K. L.; SCHERM, H. Potato late blight simulation for global change research. **Newsletter of the Global Change and Terrestrial Ecosystem Core Project**, Lynehm, v. 15, p. 4-6, 2000.

KAUKORANTA, T. Impact of global warming on potato late blight: risk, yield loss and control. **Agricultural and Food Science in Finland**, Jokioinen, v. 5, p. 311-327, 1996.

MAZIERO, J. M. N.; MAFFIA, L. A.; MIZUBUTI, E. S. G. Temperature effects on epidemiological components of two clonal lineage of *Phytophthora infestans* in Brazil. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON PLANT DISEASE EPIDEMIOLOGY, 8., 2001, Ouro Preto. **Annals of the 8th International Workshop on Plant Disease Epidemiology**. Viçosa: UFV, 2001. p. 129-129.

MENEZES, C. B. de; PINTO, C. A. B. P.; NUMBERG, P. L.; LAMBERT, E. de S. Avaliação de genótipos de batata (*Solanum tuberosum* L.) nas safras das águas e de inverno no Sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 4, p. 777-784, 1999.

MIDMORE, D. J.; PRANGE, R. K. Growth responses of two *Solanum* species to contrasting temperatures and irradiance levels: relations to photosynthesis, dark respiration and chlorophyll fluorescence. **Annals of Botany**, Oxford, v. 69, p. 13-20, 1992.

MIZUBUTI, E. S. G. Requeima ou mela da batata e do tomate. In: LUZ, E. D. N.; SANTOS, A. F.; MATSUOKA, K.; BEZERRA, J. L. (Ed.). **Doenças causadas por *Phytophthora* no Brasil**. Campinas: Livraria Editora Rural, 2001. p. 100-174.

PEREIRA, A. S. Melhoramento genético. In: PEREIRA, A. S.; DANIELS, J. (Ed.). **O cultivo da batata na região Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 105-124.

REYNOLDS, M. P.; EWING, E. E. Heat tolerance in tuber bearing *Solanum* species: a protocol for screening. **American Potato Journal**, New York, v. 66, p. 63-74, 1989.

RUNION, G. B. Climate change and plant pathosystems - future disease prevention starts here. **New Phytologist**, Oxford, v. 159, p. 531-538, 2003.

SCHERM, H. Climate change: can we predict the impacts on plant pathology and pest management? **Canadian Journal of Plant Pathology**, Ottawa, v. 26, p. 267-273, 2004.

SOUZA, Z. S. Ecofisiologia. In: PEREIRA, A. S.; DANIELS, J. (Ed.). **O cultivo da batata na região Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 80-104.

SOUZA-DIAS, J. A. C.; IAMAUTI, M. T. Doenças da Batateira (*Solanum tuberosum* L.). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Ceres, 1997. v. 2.

STEVENSON, W. R.; LORIA, R.; FRANC, G. D.; WEIGARTNER, D. P. **Compendium of potato diseases**. St. Paul: APS, 2001. 106 p.

WREGE, M. S.; HERTER, F. G.; PEREIRA, A. S.; CARAMORI, P. H. **Caracterização climática das regiões produtoras de batata no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 35 p. (Embrapa Clima temperado. Documentos, 133).

Capítulo 4

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do tomate no Brasil

Ricardo Gioria
Kátia Regiane Brunelli
Romulo Fujito Kobori

Introdução

Dentre as hortaliças, a importância econômica e social do tomate é inquestionável. A área cultivada de mais de 60 mil hectares e a produção de mais de 3,6 milhões de toneladas dão respaldo a essa afirmativa. Atualmente, 76 % dessa área é destinada ao plantio de tomate para consumo in natura (mesa), sendo a restante (24 %) destinada ao mercado de processamento ou indústria. Em função da grande área destinada ao tomate tipo mesa, principalmente dos tipos caqui ou saladete, será dado foco a esse mercado neste capítulo.

Disseminada no País, a cultura do tomate para consumo in natura encontra-se atualmente distribuída, principalmente, em quatro regiões. A região Sudeste, principal produtora, é responsável por 47 % da participação no mercado, possuindo quatro épocas distintas de plantio: novembro a abril (sul de São Paulo); abril a setembro (norte de São Paulo); outubro a março (Rio de Janeiro e Espírito Santo) e março a outubro (centro de Minas Gerais). Na região Nordeste, com participação de 25 %, dois estados, Ceará e Pernambuco, destacam-se na produção de tomate, não havendo épocas marcantes de plantio pela possibilidade de plantio ao longo do ano. A região Sul participa com 18 %, sendo as principais épocas de plantio: dezembro a março (norte do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e sul do Paraná) e julho a outubro (norte do Paraná). Finalmente, com 6 % de participação no mercado, encontra-se a região Centro-Oeste, destacando o Estado de Goiás com plantio concentrado no período de abril a setembro, porém com possibilidade de plantio no decorrer do ano. Com relação à região Norte, são encontrados plantios esporádicos e, em função da pequena participação no segmento, apenas 3 %, não será abordada neste capítulo.

Considerando as semelhanças climáticas e as alterações ambientais previstas pelo IPCC-DDC (Capítulo 2) para os próximos 80 anos, é possível agrupar as áreas produtoras em seis grandes regiões: região 1: centro-norte do RS; região 2: SC, PR e sul de SP; região 3: RJ, ES e extremo sul e extremo leste de MG; região 4: Cerrado de MG, GO e norte de SP; região 5: Zona da Mata de PE; região 6: Semi-Árido do CE (Fig. 1 e Tabelas 1 e 2).

Mudanças ambientais, além de influenciarem diretamente o desenvolvimento do patógeno, podem comprometer a fisiologia do hospedeiro. As conseqüências vão desde a inviabilização da produção simplesmente por não permitir, por exemplo, a germinação das sementes, o pegamento de frutos e a frutificação, até o aumento da incidência de doenças pelo fato de o hospedeiro encontrar-se debilitado e com maior predisposição à doença.

Ao se avaliar as alterações ambientais previstas nos próximos 80 anos, duas variáveis, a temperatura e a precipitação, apresentam mudanças consideráveis, sendo a segunda mais facilmente suplantada quando em falta, sob condições de campo, por meio de irrigação. A temperatura provavelmente será a maior responsável pela mudança nas áreas de produção no futuro, visto que tem grande influência sobre a cultura do tomate. De uma maneira geral, as temperaturas ótimas para o crescimento e desenvolvimento do tomateiro são: 15 °C a 25 °C para germinação (abaixo de 8 °C e acima de 40 °C a mesma não ocorre); 20 °C a 25 °C para a formação de mudas; 18 °C a 24 °C para o florescimento; 14 °C a 17 °C durante a noite e 19 °C a 24 °C durante o dia para o pegamento de frutos, e 20 °C a 24 °C para síntese de licopeno responsável pela coloração vermelha do fruto (acima dessa temperatura encontra-se maior proporção de frutos com coloração amarela em função da formação de carotenóides no lugar de licopeno).

Considerando as temperaturas ótimas, hoje propostas para tomate, e a necessidade de umidade, a Tabela 3 retrata a situação da tomaticultura no Brasil no ano de 2080 de acordo com as seis regiões previamente descritas, comparando as atuais épocas de plantio e colheita e as possibilidades para 2080, considerando as alterações de temperatura e precipitação das Tabelas 1 e 2. Na Tabela 3 não se considera o fator doença, mas apenas as condições ideais para produção de tomate.

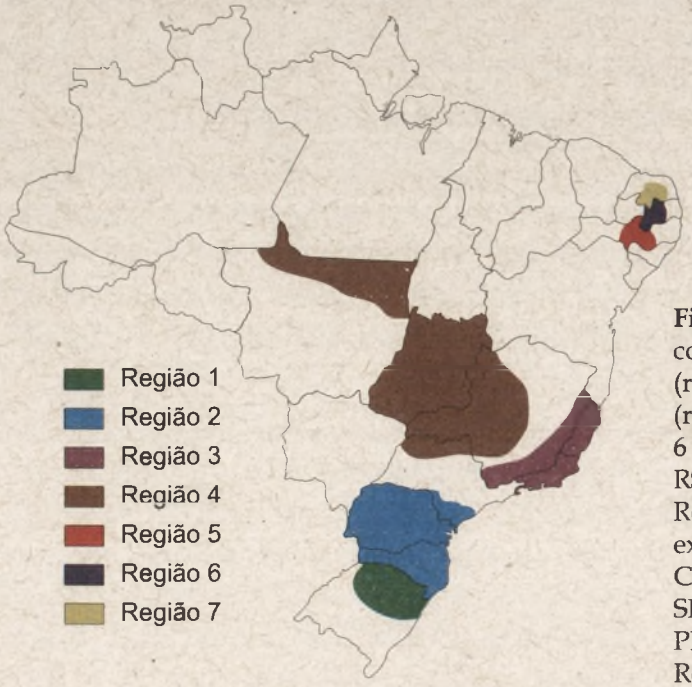


Fig. 1. Regiões de cultivo comercial de hortaliças: tomate (regiões 1, 2, 3, 4, 5 e 6), pimentão (regiões 2, 3 e 4) e melão (regiões 6 e 7). Região 1: Centro-norte do RS; Região 2: SC, PR e sul de SP; Região 3: RJ, ES e extremo sul e extremo leste de MG; Região 4: Cerrado de MG, GO e norte de SP; Região 5: Zona da Mata de PE; Região 6: Semi-Árido do CE; Região 7: Semi-Árido do RN.

Tabela 1. Evolução da temperatura média mensal (ºC) prevista até o ano de 2080 em sete regiões brasileiras de cultivo comercial de hortaliças: tomate, pimentão e melão.

	Região1 Centro-norte do RS				Região 2 SC, PR e sul de SP				Região 3 RJ, ES e extremo sul e extremo leste de MG				Região 4 Norte do MT, Cerrado de MG, GO e norte de SP				Região 5 Zona da Mata (PE)				Reglão 6 Semi-Árido (CE)				Região 7 Semi-Árido (RN)			
	Atual	2020	2050	2080	Atual	2020	2050	2080	Atual	2020	2050	2080	Atual	2020	2050	2080	Atual	2020	2050	2080	Atual	2020	2050	2080	Atual	2020	2050	2080
Janeiro	20 a 26	26 a 28	26 a 28	28 a 30	20 a 26	24 a 28	26 a 28	26 a 30	20 a 26	24 a 26	24 a 26	26 a 28	24 a 28	24 a 28	24 a 28	26 a 30	24 a 28	26 a 28	26 a 30	26 a 30	26 a 28	26 a 28	26 a 30	28 a 30	26 a 28	26 a 28	26 a 28	28 a 30
Fevereiro	20 a 26	24 a 28	26 a 28	28 a 30	20 a 26	24 a 26	26 a 28	26 a 30	20 a 26	24 a 26	24 a 28	26 a 28	24 a 28	24 a 28	24 a 28	26 a 30	24 a 28	26 a 28	26 a 30	28 a 30	26 a 28	26 a 28	26 a 28	28 a 30	26 a 28	26 a 28	28 a 30	38 a 30
Março	20 a 24	24 a 26	24 a 26	26 a 28	20 a 24	22 a 26	24 a 26	26 a 28	20 a 26	22 a 26	24 a 26	26 a 28	24 a 28	24 a 26	26 a 30	26 a 30	24 a 26	26 a 28	26 a 30	28 a 30	24 a 28	26 a 28	28 a 30	28 a 30	26 a 28	26 a 28	28 a 30	28 a 30
Abril	18 a 22	18 a 22	20 a 24	22 a 24	18 a 20	20 a 24	20 a 24	22 a 26	20 a 24	20 a 26	22 a 26	24 a 28	22 a 28	22 a 26	24 a 28	26 a 30	24 a 26	26 a 28	26 a 28	28 a 30	24 a 28	26 a 28	28 a 30	28 a 32	26 a 28	26 a 28	28 a 30	28 a 30
Maio	14 a 18	16 a 18	16 a 20	18 a 22	16 a 20	18 a 20	18 a 20	20 a 24	18 a 24	20 a 24	20 a 24	22 a 26	20 a 28	20 a 26	20 a 26	22 a 28	24 a 26	26 a 28	26 a 28	28 a 30	24 a 26	26 a 28	26 a 30	28 a 30	24 a 28	26 a 28	28 a 30	28 a 30
Junho	12 a 16	14 a 16	14 a 18	16 a 18	12 a 18	16 a 18	16 a 22	16 a 22	16 a 24	18 a 22	20 a 24	20 a 24	20 a 26	20 a 26	20 a 26	22 a 28	20 a 24	22 a 24	22 a 24	26 a 28	24 a 26	24 a 28	26 a 28	28 a 30	24 a 26	26 a 28	26 a 28	28 a 30
Julho	12 a 16	14 a 18	14 a 16	16 a 18	12 a 16	16 a 20	16 a 20	18 a 20	16 a 22	16 a 22	18 a 22	20 a 24	20 a 26	20 a 24	20 a 26	22 a 28	20 a 24	24 a 26	24 a 26	26 a 28	24 a 26	24 a 28	26 a 28	28 a 30	24 a 26	24 a 26	26 a 28	26 a 28
Agosto	12 a 16	16 a 18	16 a 18	16 a 20	12 a 18	16 a 20	16 a 20	20 a 24	18 a 24	18 a 22	20 a 24	22 a 26	20 a 26	20 a 24	24 a 28	24 a 30	20 a 24	24 a 26	24 a 26	26 a 28	26 a 28	26 a 28	26 a 28	28 a 30	24 a 26	24 a 26	26 a 28	26 a 28
Setembro	14 a 18	18 a 20	18 a 20	18 a 20	14 a 20	20 a 22	20 a 26	20 a 26	18 a 24	20 a 24	24 a 26	24 a 26	22 a 28	22 a 28	24 a 28	28 a 34	20 a 24	24 a 26	24 a 26	26 a 28	26 a 28	26 a 28	28 a 30	28 a 32	24 a 28	26 a 28	26 a 28	28 a 30
Outubro	14 a 20	18 a 20	20 a 24	22 a 26	16 a 22	20 a 24	20 a 26	22 a 28	20 a 24	22 a 26	24 a 26	24 a 28	24 a 28	24 a 28	26 a 30	28 a 34	20 a 26	24 a 28	26 a 28	26 a 28	26 a 28	26 a 28	26 a 28	30 a 32	26 a 28	26 a 28	26 a 28	28 a 30
Novembro	20 a 22	22 a 26	24 a 26	24 a 26	18 a 22	22 a 26	24 a 28	24 a 28	20 a 26	22 a 26	24 a 26	26 a 28	24 a 28	24 a 28	24 a 28	28 a 32	24 a 26	26 a 28	26 a 28	28 a 32	24 a 28	26 a 28	26 a 28	30 a 32	26 a 28	26 a 28	28 a 30	28 a 30
Dezembro	20 a 24	24 a 28	24 a 28	26 a 30	20 a 26	24 a 28	24 a 28	26 a 30	20 a 26	24 a 26	24 a 28	26 a 28	24 a 28	24 a 28	24 a 28	26 a 30	26 a 28	26 a 30	28 a 30	30 a 32	26 a 28	26 a 28	26 a 28	28 a 30	26 a 28	26 a 28	28 a 30	28 a 30

Tabela 2. Evolução da precipitação mensal média (mm/dia) prevista até o ano de 2080 em sete regiões brasileiras de cultivo comercial de hortaliças: tomate, pimentão e melão.

	Região1 Centro-norte do RS				Região 2 SC, PR e sul de SP				Região 3 RJ, ES e extremo sul e extremo leste de MG				Região 4 Norte do MT, Cerrado de MG, GO e norte de SP				Região 5 Zona da Mata (PE)				Região 6 Semi-Árido (CE)				Região 7 Semi-Árido (RN)			
	Atual	2020	2050	2080	Atual	2020	2050	2080	Atual	2020	2050	2080	Atual	2020	2050	2080	Atual	2020	2050	2080	Atual	2020	2050	2080	Atual	2020	2050	2080
Janeiro	120 a 150	90 a 120	90 a 120	90 a 120	150 a 210	150 a 210	150 a 210	150 a 210	150 a 180	150 a 180	150 a 180	150 a 180	240 a 270	180 a 270	180 a 270	180 a 270	30 a 60	60 a 90	60 a 90	60 a 90	60 a 90	120 a 150	120 a 150	120 a 150	30 a 60	90 a 120	90 a 120	90 a 120
Fevereiro	120 a 150	90 a 120	90 a 120	90 a 120	150 a 210	150 a 210	150 a 210	150 a 210	90 a 150	90 a 150	90 a 150	90 a 150	210 a 270	210 a 270	210 a 270	210 a 270	60 a 90	60 a 120	60 a 120	60 a 120	120 a 150	120 a 150	120 a 150	120 a 150	90 a 120	150 a 180	120 a 150	90 a 120
Março	120 a 150	90 a 120	90 a 120	90 a 120	120 a 150	120 a 150	120 a 150	120 a 150	90 a 150	90 a 150	90 a 150	90 a 150	120 a 210	120 a 210	120 a 210	120 a 210	120 a 150	60 a 120	60 a 120	60 a 120	150 a 210	150 a 210	150 a 210	160 a 210	120 a 150	120 a 150	120 a 150	120 a 150
Abril	120 a 150	60 a 90	60 a 90	60 a 90	60 a 120	60 a 90	60 a 90	60 a 90	30 a 90	30 a 90	30 a 90	30 a 90	60 a 120	60 a 120	60 a 120	60 a 120	120 a 150	90 a 120	90 a 120	90 a 120	150 a 240	90 a 150	120 a 150	120 a 150	150 a 180	90 a 120	90 a 120	90 a 120
Maio	90 a 120	30 a 60	60 a 90	30 a 60	90 a 120	30 a 60	30 a 60	30 a 60	30 a 60	30 a 60	30 a 60	30 a 60	30 a 90	0 a 30	0 a 30	0 a 30	60 a 120	60 a 90	60 a 90	60 a 90	30 a 60	30 a 60	30 a 60	30 a 60	90 a 120	90 a 120	90 a 120	90 a 120
Junho	120 a 150	30 a 60	30 a 60	30 a 60	60 a 120	0 a 60	0 a 60	0 a 60	0 a 30	30 a 60	30 a 60	30 a 60	0 a 30	0 a 30	0 a 30	0 a 30	60 a 120	30 a 60	30 a 60	30 a 60	0 a 60	30 a 60	30 a 60	30 a 60	30 a 60	60 a 90	60 a 90	60 a 90
Julho	120 a 150	30 a 60	30 a 60	30 a 60	60 a 120	0 a 60	0 a 60	0 a 60	0 a 30	30 a 60	30 a 60	30 a 60	0 a 30	0 a 30	0 a 30	0 a 30	60 a 120	30 a 60	30 a 60	30 a 60	0 a 30	0 a 60	0 a 60	0 a 60	30 a 60	60 a 90	60 a 90	60 a 90
Agosto	120 a 150	30 a 60	30 a 60	30 a 60	60 a 120	0 a 60	0 a 60	0 a 60	0 a 60	30 a 60	30 a 60	30 a 60	0 a 30	0 a 30	0 a 30	0 a 30	60 a 120	0 a 60	0 a 60	0 a 60	0 a 30	0 a 30	0 a 30	0 a 30	0 a 30	30 a 60	30 a 60	30 a 60
Setembro	150 a 180	60 a 90	60 a 90	60 a 90	90 a 150	30 a 90	30 a 90	30 a 90	0 a 60	30 a 60	30 a 60	30 a 60	30 a 90	30 a 60	0 a 60	30 a 60	30 a 60	0 a 30	0 a 30	0 a 30	0 a 30	0 a 30	0 a 30	0 a 30	0 a 30	0 a 30	0 a 30	0 a 30
Outubro	150 a 180	60 a 90	60 a 90	60 a 90	150 a 180	90 a 150	90 a 150	90 a 150	120 a 150	120 a 150	120 a 150	120 a 150	120 a 180	120 a 150	90 a 150	90 a 150	0 a 60	0 a 30	0 a 30	0 a 30	0 a 30	0 a 60	0 a 60	0 a 60	0 a 30	0 a 30	0 a 30	0 a 30
Novembro	120 a 150	90 a 120	90 a 120	90 a 120	120 a 150	90 a 180	90 a 180	90 a 180	150 a 210	150 a 210	150 a 210	150 a 210	120 a 240	180 a 240	180 a 240	180 a 240	0 a 60	30 a 60	30 a 60	30 a 60	0 a 60	30 a 60	30 a 60	30 a 60	0 a 30	30 a 60	30 a 60	30 a 60
Dezembro	120 a 150	90 a 120	90 a 120	90 a 120	120 a 210	120 a 210	120 a 210	120 a 210	150 a 210	150 a 210	150 a 210	150 a 210	210 a 270	180 a 270	180 a 270	180 a 270	30 a 60	30 a 90	30 a 90	30 a 90	0 a 60	30 a 60	30 a 60	30 a 60	0 a 30	60 a 90	60 a 90	30 a 60

A tomaticultura nas regiões que hoje são referências na produção se encontrará em um estádio alarmante no ano de 2080 (Tabela 3). A situação prevista baseia-se em:

Região 1: aumento na temperatura média de 3 °C a 6 °C no decorrer do ano e queda na precipitação mensal, principalmente nos meses de abril a outubro (em média queda de aproximadamente 80 mm). As altas temperaturas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro influenciarão diretamente a germinação e a qualidade da muda. A muda produzida sofrerá com a escassez de água nos meses subseqüentes se não houver irrigação. A produção ainda poderá ser afetada pela queda na porcentagem de pegamento e pelo comprometimento na qualidade (coloração) dos frutos, principalmente nas colheitas referentes aos meses de fevereiro a início de maio.

Região 2: semelhante à região 1, haverá grande comprometimento na germinação e qualidade das mudas em função de um aumento de até 4 °C na época de plantio. Comprometimento no desenvolvimento das plantas no caso da ausência de irrigação principalmente nos meses de abril a julho. Queda no pegamento e na qualidade de frutos (coloração), principalmente em função das altas temperaturas dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

Região 3: nessa região é crítico o aumento da temperatura, visto que com relação ao índice pluviométrico pouca alteração será observada. A produção de mudas e o pegamento de frutos poderão ser comprometidos principalmente em função da elevação de temperatura observada nos meses de janeiro a abril e outubro a dezembro.

Região 4: essa região será altamente afetada. Hoje já é considerada uma região quente e com certas restrições e problemas para a tomaticultura em algumas épocas. Em 2080, a colheita será altamente prejudicada, pois o índice pluviométrico não sofrerá grandes alterações e a temperatura média subirá, permanecendo, em quase 80 % do ano, superior aos 27 °C, chegando a mais de 30 °C nos meses de setembro, outubro e novembro. Grande prejuízo será observado no pegamento e na qualidade de frutos com prejuízo na coloração (interna e externa), aparecimento de podridão apical e presença de rachaduras nos frutos, por exemplo.

Regiões 5 e 6: essas duas regiões hoje já se encontram dependentes de irrigação. Em função da elevação da temperatura média prevista para 2080, que será superior a 27 °C e 29 °C durante todo o ano para Pernambuco e Ceará, respectivamente, não haverá a possibilidade de produção se não for considerado o plantio em locais com microclimas distintos ao clima em vigor na maior parte dos dois estados citados.

Tabela 3. Comparação[1] entre os anos de 2005 e 2080, das possibilidades de plantio e de colheita de tomate, dentro das seis principais regiões climáticas produtoras de tomate do País.

Localidade		Ano	Mês[2] J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Região 1	Plantio	2005												
		2080												
	Colheita	2005												
		2080												
Região 2	Plantio	2005												
		2080												
	Colheita	2005												
		2080												
Região 3	Plantio	2005												
		2080												
	Colheita	2005												
		2080												
Região 4	Plantio	2005												
		2080												
	Colheita	2005												
		2080												
Região 5	Plantio	2005												
		2080												
	Colheita	2005												
		2080												
Região 6	Plantio	2005												
		2080												
	Colheita	2005												
		2080												

[1] Não se leva em consideração o fator doença, mas apenas as condições, hoje propostas (temperatura e umidade), como ideais para produção de tomate.

[2] ▒ - realizado ou realizável dentro das condições tecnológicas disponíveis; ▒ - realizável com algumas restrições, seja de precipitação ou de temperatura; ■ - crítico, realizável, porém de maneira antieconômica ou sobre alto risco de perda.

O fator genético tem grande influência nas afirmações efetuadas acima, assim sendo, o surgimento de híbridos ou variedades com maior tolerância a altas temperaturas poderá afetar diretamente esse quadro previsto, permitindo ou mesmo viabilizando o plantio em regiões antes inóspitas à tomaticultura.

Além dos fatores intrínsecos à fisiologia da planta de tomate, as alterações nas condições ambientais podem diminuir, aumentar ou não ter efeito sobre os problemas fitossanitários. Esses efeitos podem minimizar ou comprometer ainda mais a cultura hoje já assolada por um número considerável de patógenos.

Abaixo seguem as doenças hoje mais freqüentes e/ou com potencial de crescimento na cultura do tomate e algumas considerações referentes ao impacto das mudanças climáticas previstas até o ano de 2080 sobre o patossistema. Os impactos são baseados nas mudanças previstas pelo IPCC de temperatura e índice pluviométrico. O emprego de tecnologias com o intuito de modificar as condições climáticas reinantes na lavoura não será considerado.

As Tabelas 4 a 9 apresentam para 2080 as expectativas de acréscimo, decréscimo e manutenção da incidência/severidade das doenças no decorrer da condução da cultura. A época de plantio nas regiões, previamente agrupadas em função das condições climáticas semelhantes, é a atualmente vigente.

Doenças de etiologia fúngica

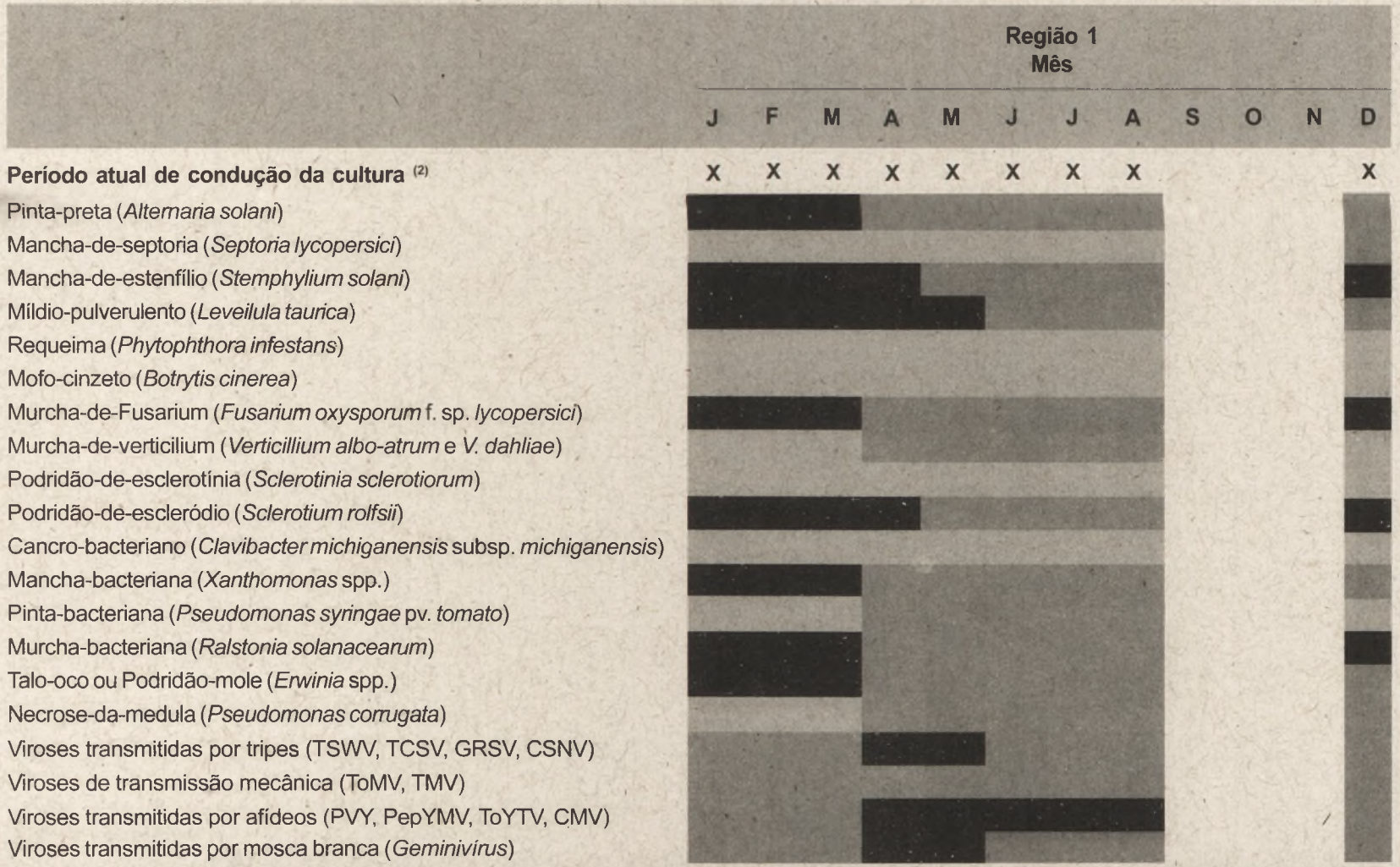
Pinta-preta
Alternaria solani
(Ellis & Martin) L. R. Jones & Grout

Altamente influenciada pelo estádio fisiológico do hospedeiro, essa doença pode se tornar mais importante no decorrer da cultura seja pelo avanço na idade dos tecidos do hospedeiro, seja em função do estresse decorrente de uma inadequada nutrição, fatores climáticos adversos ou ainda doenças radiculares.

Temperaturas diárias entre 25 °C e 32 °C podem ser responsáveis por epidemias muito severas, sendo fundamental a presença de água livre sobre a superfície das folhas para que haja a germinação do fungo e posteriormente a infecção. Sob condições favoráveis, as lesões tornam-se visíveis no hospedeiro de um a três dias após a infecção. Esporulação abundante ocorre em temperaturas de 14 °C a 26 °C e umidade relativa próxima a 100 % durante 24 horas.

Em geral, a pinta-preta assume maior importância na cultura do tomateiro a partir dos 40 a 45 dias após o transplante, em função do maior volume de folhas com avançada maturidade fisiológica e da formação de

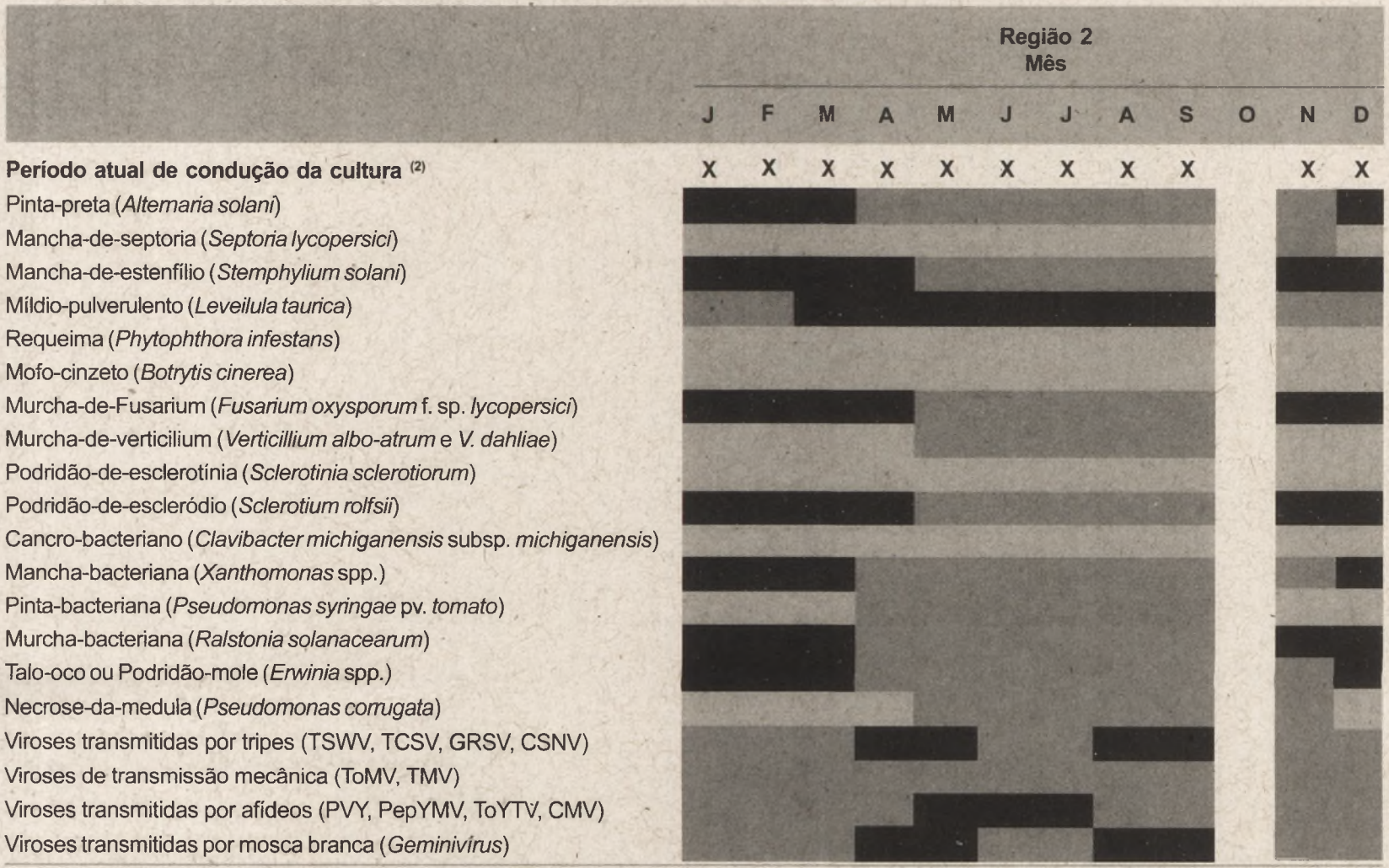
Tabela 4. Expectativas para 2080 de acréscimo, decréscimo e manutenção da incidência/severidade[1] de 27 doenças durante o período de condução da cultura do tomateiro na região 1 (centro-norte do RS).



[1] Três classificações foram empregadas: ■ - incidência/severidade agravada, em relação à atualmente vigente no período e região, em função das alterações climáticas previstas; ■ - incidência/severidade semelhante à atualmente vigente na região e época em questão; ■ - incidência/severidade reduzida, em relação à atualmente vigente no período e região, em função das alterações climáticas previstas.

[2] (x): período hoje utilizado para plantio, condução e colheita de tomates na região.

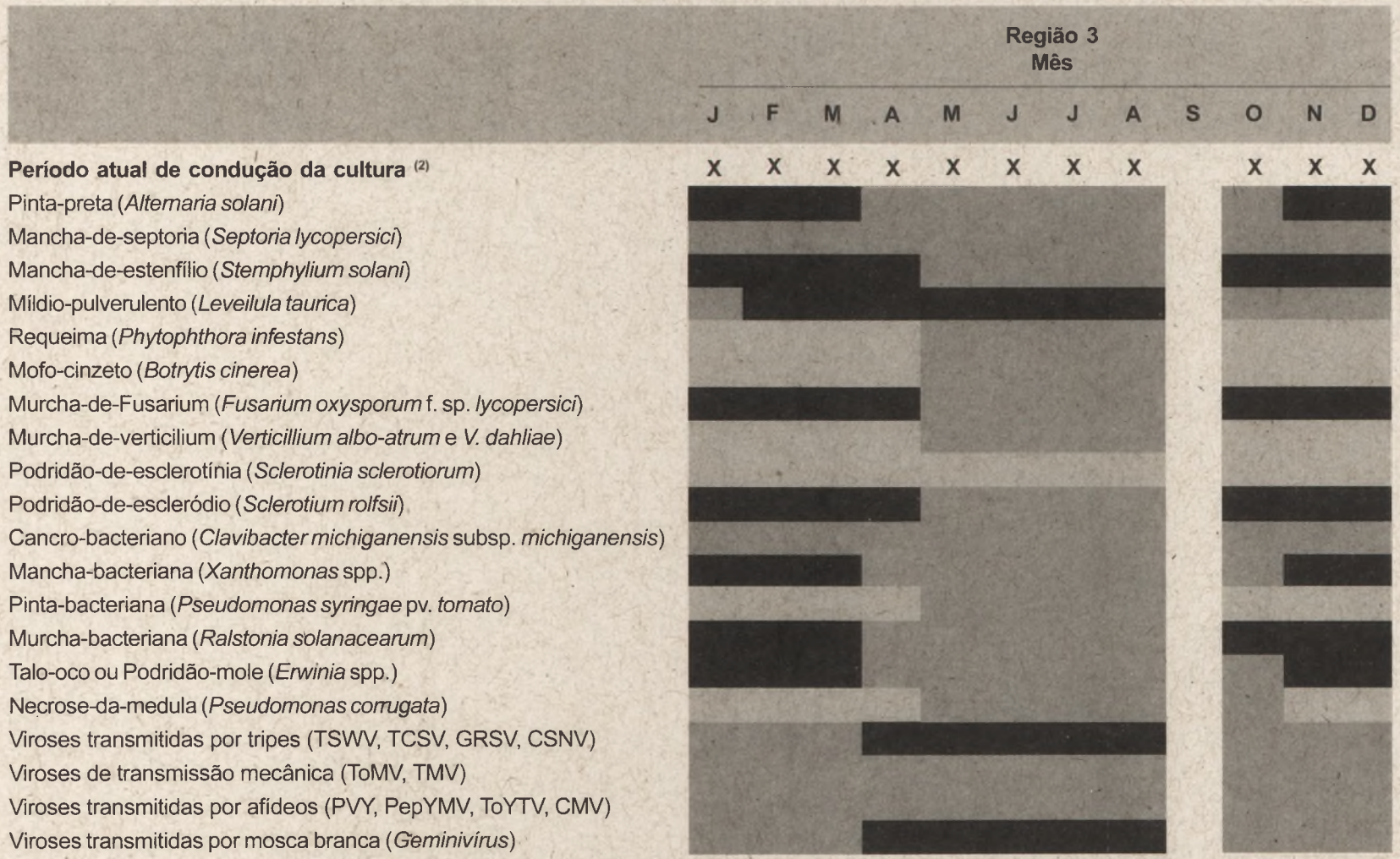
Tabela 5. Expectativas para 2080 de acréscimo, decréscimo e manutenção da incidência/severidade[1] de 27 doenças durante o período de condução da cultura do tomateiro na região 2 (SC, PR e sul de SP).



[1] Três classificações foram empregadas: ■ - incidência/severidade agravada, em relação à atualmente vigente no período e região, em função das alterações climáticas previstas; ■ - incidência/severidade semelhante à atualmente vigente na região e época em questão; ■ - incidência/severidade reduzida, em relação à atualmente vigente no período e região, em função das alterações climáticas previstas.

[2] (x): período hoje utilizado para plantio, condução e colheita de tomates na região.

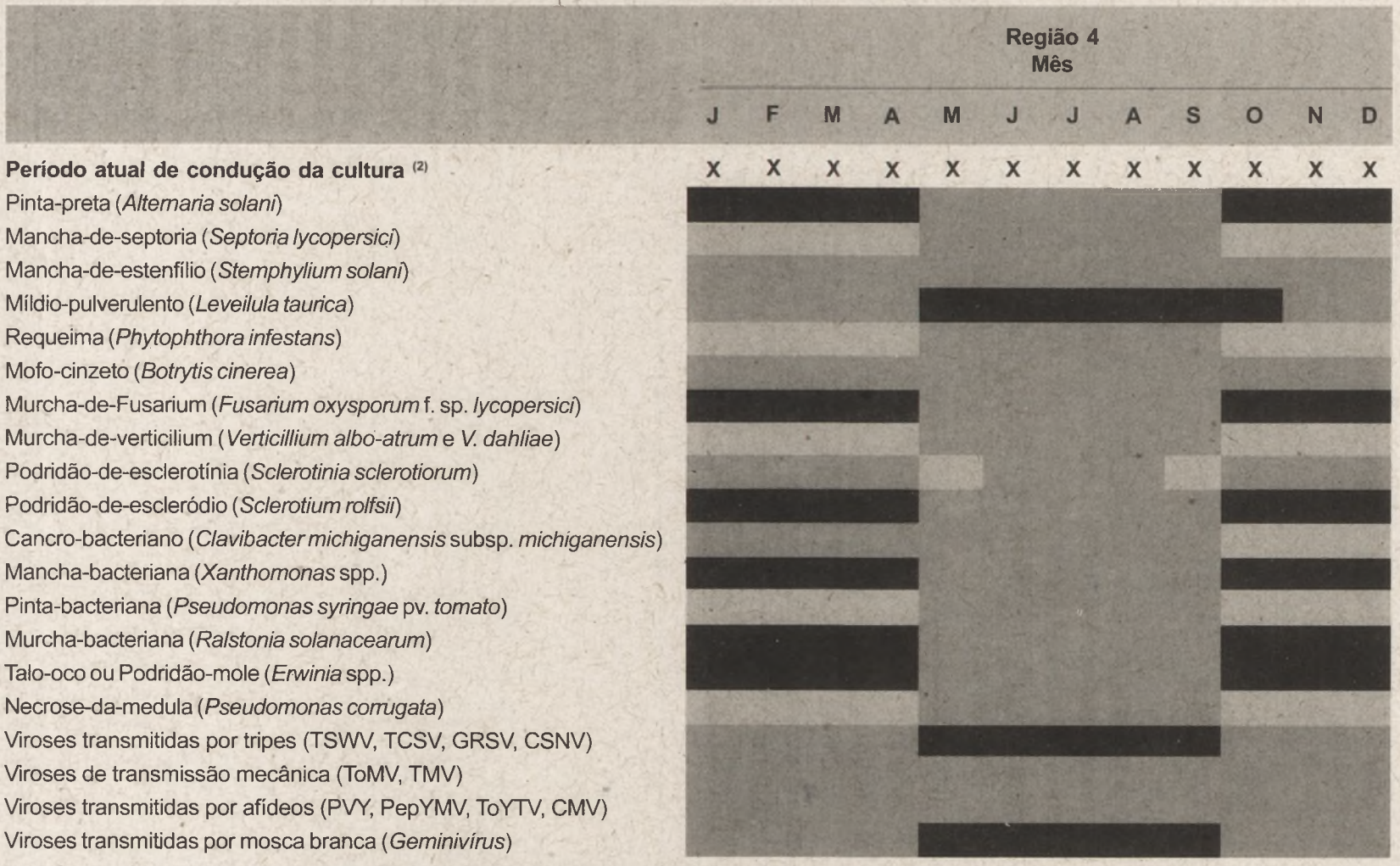
Tabela 6. Expectativas para 2080 de acréscimo, decréscimo e manutenção da incidência/severidade[1] de 27 doenças durante o período de condução da cultura do tomateiro na região 3 (RJ, ES e extremo sul e extremo leste de MG).



[1] Três classificações foram empregadas: ■ - incidência/severidade agravada, em relação à atualmente vigente no período e região, em função das alterações climáticas previstas; ■ - incidência/severidade semelhante à atualmente vigente na região e época em questão; ■ - incidência/severidade reduzida, em relação à atualmente vigente no período e região, em função das alterações climáticas previstas.

[2] (x): período hoje utilizado para plantio, condução e colheita de tomates na região.

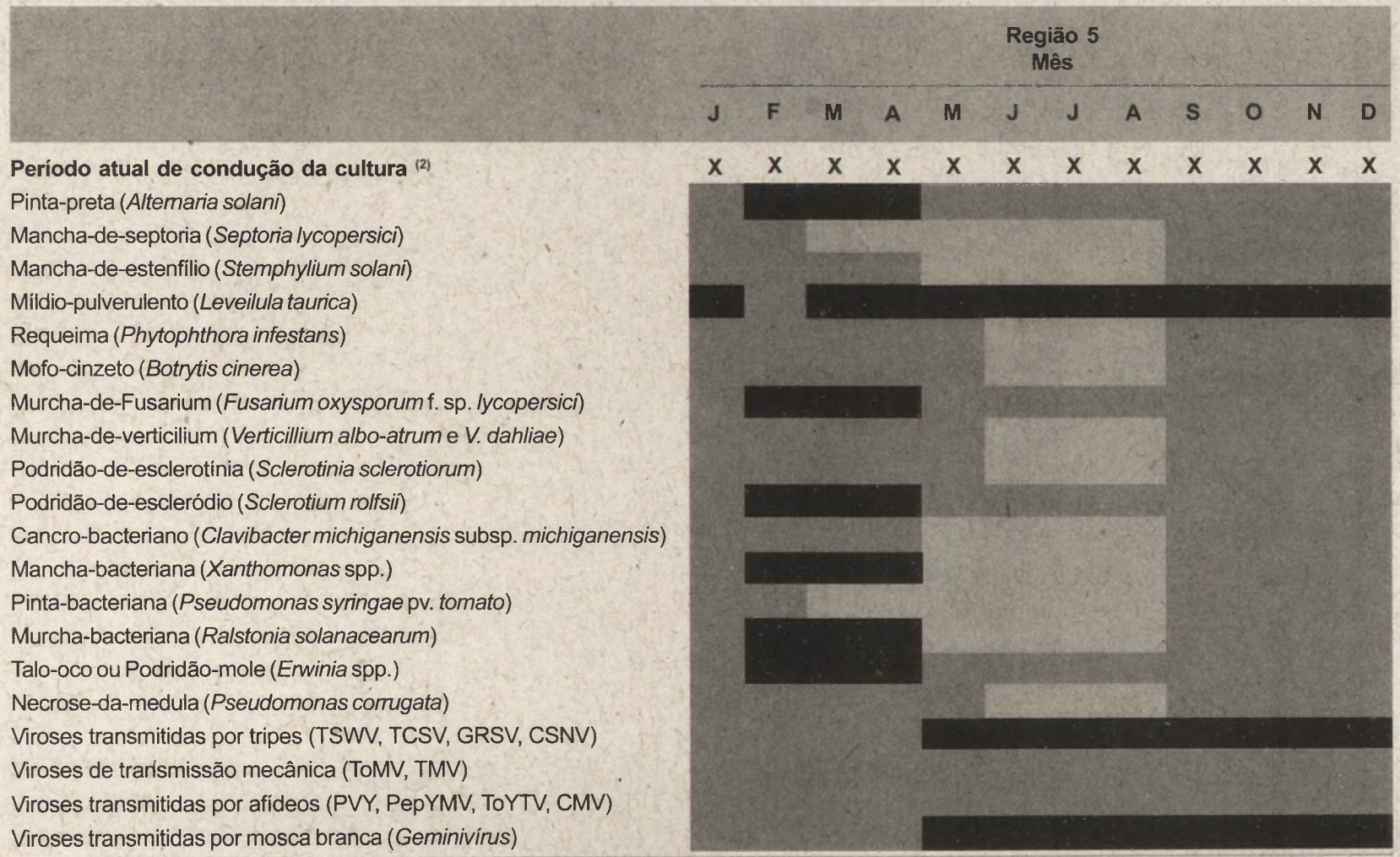
Tabela 7. Expectativas para 2080 de acréscimo, decréscimo e manutenção da incidência/severidade[1] de 27 doenças durante o período de condução da cultura do tomateiro na região 4 (Cerrado de MG, GO e norte de SP).



[1] Três classificações foram empregadas: ■ - incidência/severidade agravada, em relação à atualmente vigente no período e região, em função das alterações climáticas previstas; ▒ - incidência/severidade semelhante à atualmente vigente na região e época em questão; ▒ - incidência/severidade reduzida, em relação à atualmente vigente no período e região, em função das alterações climáticas previstas.

[2] (x): período hoje utilizado para plantio, condução e colheita de tomates na região.

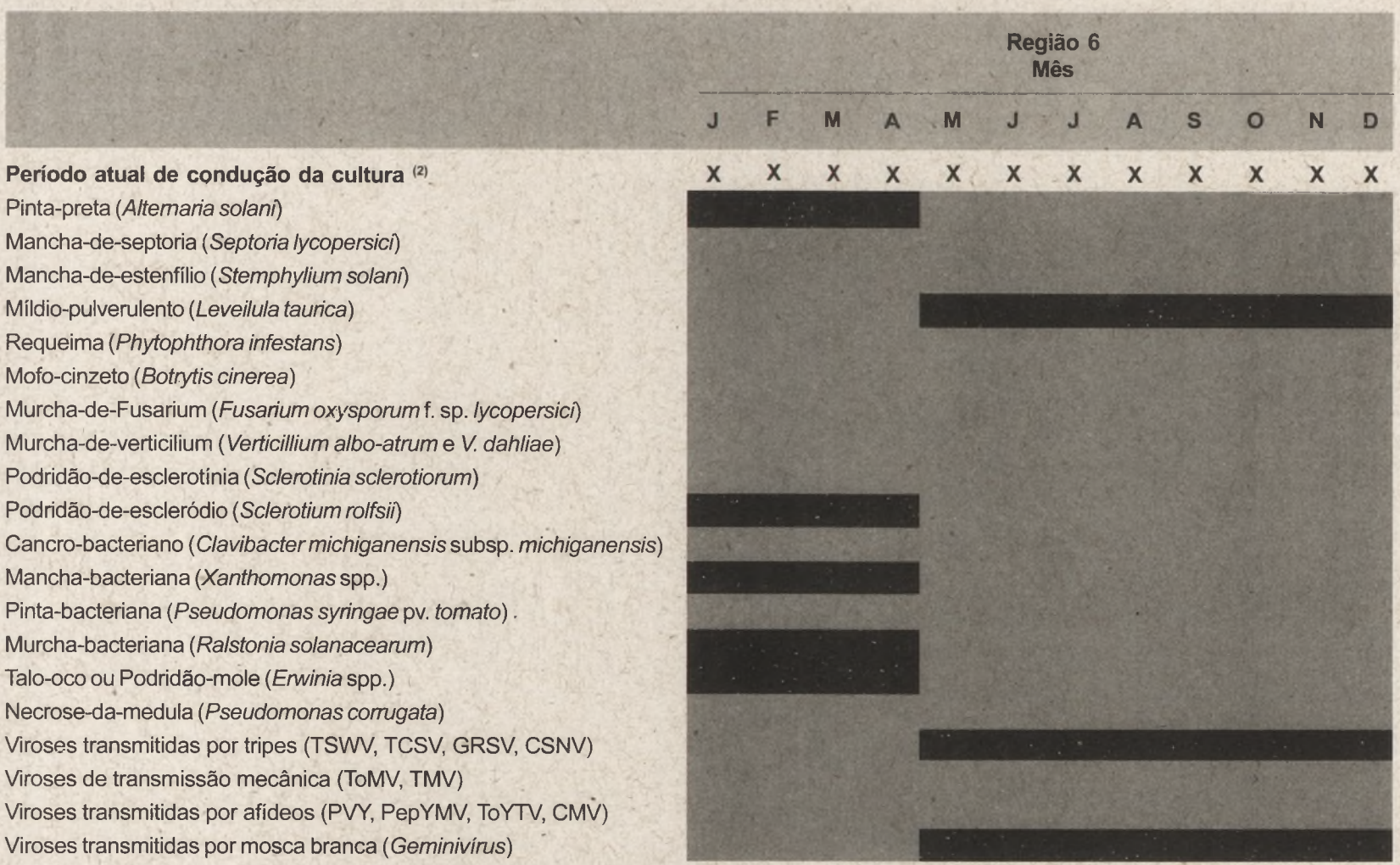
Tabela 8. Expectativas para 2080 de acréscimo, decréscimo e manutenção da incidência/severidade[1] de 27 doenças durante o período de condução da cultura do tomateiro na região 5 (Zona da Mata de PE).



[1] Três classificações foram empregadas: ■ - incidência/severidade agravada, em relação à atualmente vigente no período e região, em função das alterações climáticas previstas; ■ - incidência/severidade semelhante à atualmente vigente na região e época em questão; ■ - incidência/severidade reduzida, em relação à atualmente vigente no período e região, em função das alterações climáticas previstas.

[2] (x): período hoje utilizado para plantio, condução e colheita de tomates na região.

Tabela 9. Expectativas para 2080 de acréscimo, decréscimo e manutenção da incidência/severidade[1] de 27 doenças durante o período de condução da cultura do tomateiro na região 6 (Semi-Árido do CE).



[1] Três classificações foram empregadas: ■ - incidência/severidade agravada, em relação à atualmente vigente no período e região, em função das alterações climáticas previstas; ■ - incidência/severidade semelhante à atualmente vigente na região e época em questão; ■ - incidência/severidade reduzida, em relação à atualmente vigente no período e região, em função das alterações climáticas previstas.

[2] (x): período hoje utilizado para plantio, condução e colheita de tomates na região.

microclimas com maior acúmulo de umidade devido ao enfolhamento da cultura.

Nas seis regiões produtoras avaliadas, observa-se em 2080 a tendência de acréscimo na incidência/severidade de pinta-preta no primeiro trimestre. Nos demais meses do ano a doença continuará com a mesma importância atual. Há exceção para as regiões 2, 3 e 4 onde o fungo provavelmente encontrará, no último bimestre do ano, em função do acréscimo na temperatura e precipitação, condições mais propícias que as atuais para seu desenvolvimento.

Mancha-de-septoria
Septoria lycopersici Speg.

Os sintomas são preferencialmente observados em folhas mais velhas, podendo ocorrer também em hastes, principalmente logo após o estresse pelo qual a planta passa com o início da frutificação.

Doença associada a localidades com temperaturas relativamente amenas tem seu problema agravado quando se observa longos períodos de chuvas abundantes. A temperatura ideal para crescimento vegetativo, produção de corpos de frutificação (picnídios), infecção e manifestação de sintomas encontram-se na faixa de 20 °C a 25 °C. Porém, a partir dos 5 °C já se observa crescimento micelial do fungo.

Nas regiões 3 e 6, a doença continuará com o mesmo grau de importância da atualidade. Nas regiões 1 e 2, ocorrerá decréscimo da mesma praticamente durante todo o ano em função, principalmente, do acréscimo na temperatura no primeiro trimestre e redução na precipitação no segundo trimestre. Nas regiões 4 e 5, a importância da septoriose diminuirá nos meses de outubro a abril e março a setembro, respectivamente.

Mancha-de-estenfílio
Stemphylium solani Weber

A doença pode ocorrer em qualquer estádio de desenvolvimento, muitas vezes intensificando os sintomas próximo ao início da colheita.

A temperatura ótima para desenvolvimento do patógeno é superior à de *S. lycopersici*, estando entre 25 °C e 28 °C. Essa faixa de temperatura associada à umidade relativa superior a 80 % permite o aparecimento de sintomas após três a cinco dias de incubação.

Nas regiões 1, 2 e 3, observa-se em 2080 aumento da mancha-de-estenfílio no primeiro e no último trimestre do ano. Não há tendências de aumento na importância dessa doença fúngica para as demais regiões produtoras, observando-se até decréscimo na incidência/severidade nos meses de maio a setembro para a região 5.

Míldio-pulverulento
Leveilula taurica (Lév.) Arnaud

Trata-se de um fungo xerofítico, favorecido por condições de baixa umidade relativa e alta temperatura. Com as mudanças climáticas previstas até o ano de 2080, provavelmente essa será a doença com maior ganho de importância relativa quando comparada às demais doenças do tomateiro. Como *A. solani*, os sintomas normalmente estão associados às folhas mais velhas. A germinação dos conídios ocorre, com maior freqüência, com umidade em torno de 52 % a 75 % e temperatura de 26 °C. A presença de água livre sobre as folhas desfavorece o desenvolvimento do patógeno e temperaturas acima de 30 °C favorecem o rápido desenvolvimento de sintomas, amarelecimento e necrose de tecidos foliares.

Em 2080, a doença, sob nenhuma circunstância, encontrará condições menos propícias para seu desenvolvimento. Em todas as regiões, em pelo menos 4 meses do ano, a doença terá maior incidência/severidade do que a atualmente observada. A tendência de aumento na temperatura e a queda no índice pluviométrico favorecem de maneira significativa esse patógeno.

Requeima
Phytophthora infestans (Mont.) de Bary

Em geral, todos os órgãos aéreos da planta podem exibir sintomas de requeima, porém, freqüentemente, os sintomas iniciais são observados na metade superior da planta. Doença amplamente estudada, tem seus prejuízos intensamente relacionados às épocas de temperatura amena e alta umidade relativa. Grandes epidemias estão associadas a temperaturas na faixa de 12 °C a 18 °C por pelo menos 24 horas com um mínimo de 30 mm de chuva constante. As temperaturas para desenvolvimento do oomiceto situam-se entre 3 °C e 30 °C, sendo ótima por volta de 21 °C. Os esporângios se formam sob alta umidade relativa (acima de 90 %) e temperatura entre 18 °C e 22 °C. Temperaturas próximas a 25 °C e 12 °C são responsáveis pela germinação direta de esporângios ou pela produção de zoósporos biflagelados,

respectivamente. Temperaturas superiores a 30 °C praticamente inviabilizam o desenvolvimento do oomiceto.

Em 2080, a previsão é de que a requeima tenha, em média, um decréscimo em sua importância na maior parte das regiões. Epidemias da doença serão desfavorecidas principalmente no primeiro semestre pela elevação das temperaturas.

Mofo-cinzeto
Botrytis cinerea Pers.:Fr.

Em geral, sintomas de mofo-cinzento são mais comuns em flores, pedúnculos e frutos, porém não é rara a presença de lesões ocasionadas por *B. cinerea* em ramos e folhas. O patógeno é um fungo típico de regiões com temperatura moderada e alta umidade relativa (acima de 90 %). É comum o relato de alta incidência da doença em áreas com presença de orvalho e neblina. Para melhor crescimento, o fungo requer temperaturas entre 18 °C e 23 °C. Temperaturas acima de 24 °C e 32° C reduzem a germinação de conídios e inibem o crescimento micelial, respectivamente.

A incidência/severidade dessa doença tenderá à redução nas regiões 1, 2, 3 e 4 em decorrência do aumento da temperatura. Nas regiões 5 e 6 não haverá alterações significativas, visto que a importância hoje observada já é pequena.

Murcha-de-*Fusarium*
Fusarium oxysporum f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder & Hansen

Fungo associado ao solo, ocasiona murcha em plantas de tomateiro, principalmente em plantas em início de florescimento e frutificação. Plantas cultivadas em solos ácidos com baixos teores de nutrientes em geral são mais afetadas pelo fungo. Temperaturas do solo de 21 °C a 33 °C são mais favoráveis para o desenvolvimento do patógeno. A umidade do solo necessária para o desenvolvimento do fungo é semelhante à ideal para o crescimento do hospedeiro.

Na maior parte das regiões, a doença aumentará de importância principalmente nos meses de dezembro a maio. No restante do ano, em função do decréscimo nas precipitações, sua incidência será dependente da presença de irrigação artificial nas lavouras. Na região 6 essa doença continuará com a importância atual.

Murcha-de-verticilium
Verticillium albo-atrum Reinke & Berthold e *Verticillium dahliae* Kleb

De maneira semelhante a *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, esse fungo também está associado ao solo e ocasiona murcha em plantas de tomateiro, principalmente em plantas em início de florescimento e frutificação. Distingue-se da murcha-de-*Fusarium* pelos sintomas serem comumente observados sob temperaturas mais amenas, ao redor de 22 °C a 25 °C. Como mencionado para a murcha-de-*Fusarium*, a umidade do solo necessária para o desenvolvimento do fungo é semelhante à ideal para o crescimento do hospedeiro.

Semelhante ao mofo-cinzento, a incidência/severidade da murcha-de-verticilium tenderá à redução na maior parte das regiões. O aumento da temperatura ambiental, influenciando diretamente a temperatura do solo, e o decréscimo no índice pluviométrico terão impacto direto na diminuição da importância dessa doença.

Podridão-de-esclerotínia
Sclerotinia sclerotiorum (Lib.) de Bary

Patógeno tipicamente encontrado em partes aéreas de plantas de tomateiro, quando as mesmas estão em contato com o solo, tem seu desenvolvimento favorecido por alta umidade e temperaturas amenas. Sob condições adversas, o patógeno permanece em restos de cultura e solo por cerca de oito anos na forma de escleródios. Temperaturas entre 15 °C e 21 °C são favoráveis à doença, principalmente se as mesmas ocorrerem em épocas chuvosas ou em terrenos com intensa irrigação. Em geral, temperaturas ao redor de 14 °C já são favoráveis para o início de infecção, sendo imprescindível um longo período de molhamento, de 16 h a 72 h, para que a mesma ocorra com sucesso.

Diante do novo cenário climático, a doença terá sua importância reduzida na maioria das regiões analisadas uma vez que a temperatura média dessas áreas ultrapassará a ótima para a ocorrência da doença.

Podridão-de-escleródio
Sclerotium rolfsii Sacc.

Os sintomas, como no caso da podridão-de-esclerotínia, surgem próximos ao solo e, em geral, são observados no colo das plantas e nos

frutos localizados nas primeiras pencas. Semelhante a *S. sclerotiorum*, *S. rolfsii* também possui a capacidade de sobrevivência no solo e em restos de cultura sob a forma de escleródios, com longevidade próxima a 5 anos. O patógeno é favorecido por alta umidade relativa e temperaturas consideravelmente altas, na faixa de 25 °C a 35 °C.

Em todas as regiões a doença aumentará de importância principalmente nos meses de dezembro a maio. No restante do ano, semelhante à murcha-de-*Fusarium*, sua incidência será dependente da presença de irrigação artificial nas lavouras.

Doenças de etiologia bacteriana

Cancro-bacteriano
Clavibacter michiganensis subsp. *michiganensis* (Smith) Davis et al.

Doença extremamente contagiosa, pode ser observada em praticamente toda a parte aérea das plantas de tomateiro. Dois tipos de colonização estão associados à bactéria, a localizada e a sistêmica. A segunda é favorecida por épocas chuvosas; assim sendo, a diminuição no índice pluviométrico prevista, para muitas regiões, até o ano de 2080, pode, além de influenciar na incidência da doença, diminuir a possibilidade de observação dos sintomas decorrentes dessa forma de colonização. Em geral, a bactéria é favorecida por temperaturas mais amenas, na faixa de 18 °C a 25 °C e alta umidade relativa.

Pela dependência de alta umidade relativa e em função das grandes epidemias estarem associadas a temperaturas próximas a 25 °C, o cancro-bacteriano permanecerá com a importância hoje observada nas regiões 3 e 6. Nas demais regiões haverá queda em sua importância, seja pela temperatura alta, seja pela diminuição no índice pluviométrico.

Mancha-bacteriana
Xanthomonas spp.

A bactéria causadora da mancha-bacteriana, antigamente designada como *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* e hoje reclassificada e dividida em quatro espécies distintas (*X. euvesicatoria*, *X. vesicatoria*, *X. gardneri* e *X. perforans*), encontra-se amplamente disseminada no País e normalmente associada a sintomas nas folhas, hastes e frutos. Em geral, a bactéria ocorre

com maior importância na cultura após o fechamento da saia da planta, em decorrência do aumento do sombreamento e da umidade no interior da folhagem. A mancha-bacteriana é favorecida por elevadas temperaturas (24 °C a 30 °C) e é altamente dependente da umidade relativa do ar. Regiões com formação de orvalho e/ou irrigação por aspersão são muito sujeitas a epidemias.

Para as seis regiões estudadas, a temperatura será favorável às epidemias de *Xanthomonas* spp. durante todo o ciclo da cultura. O fator limitante para a ocorrência da doença será o regime de chuvas. Na ausência de irrigações artificiais, a doença será preocupante nos períodos de dezembro a março para as regiões 1, 2, 3, 4. Na região 5 condições favoráveis para epidemias serão observadas nos meses de fevereiro a maio, enquanto na região 6 de janeiro a maio.

Pinta-bacteriana
Pseudomonas syringae pv. *tomato* (Okabe) Young, Dye & Wilkie

P. syringae pv. *tomato* encontra-se normalmente associada a sintomas nas folhas, hastes e frutos, semelhante à bactéria causadora da mancha-bacteriana. Em geral, epidemias ocorrem em temperaturas amenas (na faixa de 18 °C a 25 °C) sob alta umidade relativa. Sob temperaturas elevadas e/ou umidade relativa baixa, a bactéria sobrevive epifiticamente nas plantas de tomateiro. Como é comum às várias doenças de etiologia bacteriana, áreas com formação de orvalho, ventos freqüentes e/ou com irrigação por aspersão são mais propensas a perdas associadas ao ataque dessa bactéria.

Ao contrário da mancha-bacteriana, as alterações climáticas previstas até 2080 desfavorecerão grandes epidemias de pinta-bacteriana. Na maior parte das regiões, observa-se queda na importância dessa doença em virtude, principalmente, do aumento da temperatura nos períodos de novembro a março. Na região 5, a diminuição nas precipitações nos meses de março a setembro também são responsáveis pelos impactos negativos no desenvolvimento dessa bactéria.

Murcha-bacteriana
Ralstonia solanacearum (Smith) Yabuuchi et al.

Doença limitante em localidades com alta umidade relativa e altas temperaturas. Em áreas com histórico do patógeno, dificilmente são observados sintomas em lavouras conduzidas durante invernos secos. A

sobrevivência da bactéria no-solo é dependente da presença de altos teores de umidade. Temperaturas do solo na faixa de 24 °C a 35 °C são comuns quando detectados altos índices da doença no campo. A 20 °C pode ocorrer a colonização de plantas de tomateiro pela bactéria, porém não são observados sintomas de murcha no campo.

Em todas as regiões estudadas ocorrerá um aumento na incidência da doença, principalmente nos primeiros meses do ano, em virtude da elevação das temperaturas e manutenção da umidade relativa. A mesma tendência de aumento na importância observada para mancha-bacteriana será observada para murcha-bacteriana.

Talo-oco ou podridão-mole *Erwinia* spp.

Doença comum em plantios efetuados em épocas quentes sob alta umidade relativa. Tem como principais agentes causais: *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora, E. carotovora* subsp. *atroseptica* e *E. chrysanthemi*. É de ocorrência freqüente nos solos brasileiros e trata-se de uma bactéria nativa no País. Os sintomas são mais evidentes em plantas adultas, principalmente a partir do início da frutificação. Existem diferenças de temperaturas ótimas para o desenvolvimento de cada espécie de *Erwinia* citada, porém, em geral, os problemas com essa doença são maiores em temperaturas de 25 °C a 30 °C sob umidade relativa próxima a 100 %.

O aumento nas temperaturas médias dos meses de novembro a março nas regiões 1, 2, 3 e 4, e nos meses de janeiro a maio nas regiões 5 e 6, associado à manutenção/aumento dos índices pluviométricos acarretarão aumento da importância da doença no período. Nos demais meses do ano, a doença continuará com o mesmo grau de importância da atualidade.

Necrose-da-medula *Pseudomonas corrugata* Roberts & Scarlett

Doença relativamente freqüente em algumas regiões do País, até o presente não tem sua importância bem definida na tomaticultura brasileira pelo seu relato ainda recente. Requer temperaturas noturnas amenas e alta umidade relativa para seu desenvolvimento, e atualmente é comum principalmente em plantios sob cobertura plástica. Provavelmente,

adubações nitrogenadas favorecem a infecção pelo patógeno. Poucas informações estão disponíveis sobre essa doença.

Tendência semelhante à observada para pinta-bacteriana será observada para a necrose-de-medula. Na maior parte das regiões, o aumento da temperatura nos períodos de novembro a março será responsável pela pequena importância dessa doença bacteriana em 2080.

Doenças de etiologia viral

Atualmente, várias são as doenças de etiologia viral que ocorrem na cultura do tomate. As mudanças de temperatura e umidade previstas até o ano de 2080 poderão acarretar diminuição ou aumento na incidência dessas doenças. As alterações serão conseqüência direta do impacto das mudanças climáticas sobre a reprodução e crescimento do inseto vetor. As viroses serão tratadas de maneira agrupada em função de possuírem vetores em comum, mesmo que as doenças sejam causadas por espécies distintas de vírus.

Vira-cabeça
Tomato spotted wilt virus (TSWV)
Tomato chlorotic spot virus (TCSV)
Groundnut ring spot virus (GRSV)
Chrysanthemum stem necrosis virus (CSNV)

Transmitido por tripes, esse grupo de vírus do gênero *Tospovirus* é responsável pelo vira-cabeça do tomateiro e assume importância em períodos quentes e secos, propícios para a proliferação e conseqüentemente alta densidade populacional do inseto vetor.

Atualmente, são relatadas nove espécies de tripes como potenciais vetoras de tospovírus no mundo: *Frankliniella fusca, F. intonsa, F. occidentalis, F. schultzei, F. tenuicornis, Scirtothrips dorsalis, Thrips palmi, T. setosus* e *T. tabaci*. A relação vírus-vetor é do tipo circulativa-propagativa.

Com as alterações climáticas previstas, essas viroses aumentarão de importância entre os meses de março a setembro para as seis regiões analisadas. Para as regiões 5 e 6, a importância será extrapolada para os meses de outubro a dezembro. Nos demais meses do ano a situação permanecerá a mesma da atualidade.

Mosaico-do-tomateiro
***Tomato mosaic virus* (ToMV)**
***Tobacco mosaic virus* (TMV)**

Com distribuição mundial, esses vírus do gênero *Tobamovirus* não sofrerão, a princípio, nenhuma influência das alterações climáticas previstas até o ano 2080 em função da transmissão dessas viroses ser exclusivamente mecânica, e os vírus serem altamente infecciosos e estáveis. As operações manuais associadas à condução e a tratos culturais do tomateiro continuarão existindo, e o aumento ou diminuição na incidência dessa doença dependerá quase que exclusivamente de uma correta assepsia de implementos e vestimentas de funcionários.

Risca-do-tomateiro
***Potato virus Y* (PVY)**

Mosaico-amarelo
***Pepper yellow mosaic virus* (PepYMV)**

Topo-amarelo
***Tomato yellow top virus* (ToYTV)**

Mosaico-do-pepino
***Cucumber mosaic virus* (CMV)**

As quatro viroses possuem em comum a característica de serem transmitidas por afídeos. No caso do PVY e do PepYMV, ambos do gênero *Potyvirus* e do CMV do gênero *Cucumovirus*, a relação vírus-vetor é do tipo não persistente, ocorrendo a transmissão no ato da picada de prova. O ToYTV, gênero *Luteovirus*, considerado por alguns autores uma estirpe de *Potato leafroll virus* (PLRV), mantém com o vetor uma relação do tipo persistente. Em geral, as quatro viroses mencionadas tendem a ocorrer com maior freqüência durante períodos frescos e secos, condição climática favorável à reprodução e à migração da maior parte dos afídeos vetores.

A elevação das temperaturas nos meses de maio a julho nas regiões 1 e 2, associada à baixa umidade relativa, favorecerá o aumento das populações de vetores e, desse modo, o aumento da doença. Nas demais épocas do ano e regiões produtoras, a doença se comportará como na atualidade.

Mosaico-dourado-do-tomateiro *Geminivirus*

O mosaico-dourado-do-tomateiro é, atualmente, a virose mais importante da cultura. Mais de 14 espécies distintas de geminivírus, considerando as tentativas e as reconhecidas, já foram relatadas no Brasil ocorrendo em plantios de tomateiros e causando sintomas de mosaico-dourado. Todas são transmitidas por mosca branca *Bemisia tabaci* biótipo B, sendo a relação vírus-vetor aparentemente do tipo persistente-circulativa. Épocas secas são favoráveis para o aumento da população de mosca branca, e a temperatura ideal para desenvolvimento do inseto encontra-se na faixa de 25 °C a 35 °C. Temperaturas mais altas aumentam o número de ovos e a longevidade do inseto adulto e reduzem o ciclo de vida e o período de incubação dos ovos.

O mesmo comportamento observado para as viroses transmitidas por tripes será observado para aquelas transmitidas por mosca branca. Essas aumentarão de importância entre os meses de março a setembro para as seis regiões analisadas. Para as regiões 5 e 6, a importância permanecerá alta nos meses de outubro a dezembro. Não serão observadas mudanças significativas na importância dessas doenças nos demais meses do ano.

Considerações finais

Neste capítulo discorreu-se sobre os principais impactos associados às alterações ambientas na relação patógeno versus hospedeiro. Ressalvas devem ser feitas sobre a pressão de seleção a que os patógenos estão submetidos com conseqüente e constante seleção de novas raças, estirpes, biótipos, etc., mais adaptados às condições reinantes na cultura, suplantando resistências genéticas, controles químicos e mesmo características ambientais. Exemplos disso são freqüentes, como a presença de isolados de *Verticillium*, causadores de murcha em tomateiros, com diferentes graus de resistência a altas temperaturas; a adaptação de vetores de vírus como *Bemisia tabacci* biótipo B que no Nordeste brasileiro passou a colonizar plantas de maracujazeiro e foi responsável por perdas consideráveis na cultura pela transmissão de geminivírus, dentre outros. As sugestões e previsões apresentadas neste capítulo foram baseadas nas mudanças ambientais previstas pelo IPCC, considerando que os patógenos mantenham semelhante características como: temperatura ótima de esporulação, crescimento, período necessário de molhamento, etc., hoje descritas para os mesmos.

Literatura recomendada

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate, produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. Lavras: UFLA, 2004. 400 p.

CHAKRABORTY, S.; MURRAY, G. M.; MAGAREY, P. A.; YONOW, T.; BRIEN, R. G. O.; CROFT, B. J.; BARBETTI, M. J.; SIVASITHAMPARAM, K.; OLD, K. M.; DUDZINSKI, M. J.; SUTHERST, R. W.; PENROSE, L. J.; ARCHER, C.; EMMETT, R. W. Potential impact of climate changes on plant disease of economic significance to Australia. **Australian Plant Pathology**, Collingwood, v. 28, p. 13-35, 1998.

FAJARDO, T. V. M.; ÁVILA, A. C.; RESENDE, R. O. Doenças causadas por vírus em tomate. In: ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; COSTA, H. **Controle de doenças de plantas hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. v. 2, p. 843-877.

FIGUEIRA, A. R. Doenças causadas por vírus. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, p. 51-55, 1985.

JONES, J. B.; JONES, J. P.; STALL, R. E.; ZITTER, T. A. **Compendium of tomato diseases**. St. Paul: APS Press, 1991. 73 p.

KUROZAWA, C.; PAVAN, M. A. Doenças do tomateiro. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de fitopatologia. Doença das plantas cultivadas** 4. ed. Campinas: Agronômica Ceres, 2005. v. 2, p. 607-626.

LOPES, C. A.; AVILA, A. C. **Doenças do tomateiro**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2005. 151 p.

LOPES, C. A.; QUEZADO-SOARES, A. M. Doenças causadas por bactérias em tomate. In: ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; COSTA, H. **Controle de doenças de plantas hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. v. 2, p. 757-800.

MINAMI, K.; HAAG, H. P. **O tomateiro**. Campinas: Fundação Cargil, 1980. 397 p.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; PAUL, P. A.; COSTA, H. Doenças causadas por fungos em tomate. In: ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; COSTA, H. **Controle de doenças de plantas hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. v. 2, p. 699-756.

Capítulo 5

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do pimentão no Brasil

Romulo Fujito Kobori
Ricardo Gioria
Kátia Regiane Brunelli

Introdução

O pimentão, uma planta da família Solanacea e do gênero *Capsicum*, tem como centro de diversidade genética a América do Sul e Central. O gênero inclui 25 espécies das quais cinco têm sido domesticadas, sendo a economicamente mais importante a *Capsicum annuum* L. Hoje é a quinta hortaliça mais cultivada no mundo, ocupando uma área de 1,11 milhões de ha.

Atualmente, o Brasil possui aproximadamente 12.000 ha sob cultivo de pimentão, com produção de 280.000 toneladas de frutos. O Estado de São Paulo cultiva cerca de 23,70 % dessa área, seguido pelos estados do RJ (13,42 %), MG (13,42 %), SC (8,95 %), PR (8,95 %), GO (6,93 %) e CE (6,71 %). Apenas 4,70 % de toda a área produtora de pimentão no País está sob cultivo protegido e localiza-se praticamente no Estado de São Paulo e no Distrito Federal. Considerando os estados mencionados, as principais regiões produtoras de pimentão em campo aberto são: São Paulo - região oeste, sudoeste, cinturão verde e Campinas; Rio de Janeiro - região serrana, norte e Paty do Alferes; Minas Gerais - região leste, Zona da Mata, cinturão de Belo Horizonte e triângulo; Santa Catarina - região litorânea e Caçador; Paraná - região norte e sul; Goiás - região de Goiânia e DF e Ceará - região da Serra de Ibiapaba.

O ciclo de produção do pimentão pode variar em função do sistema de cultivo, sendo de três a quatro meses para os de campo aberto e de oito meses para aqueles cultivados em estufa. Em ambos os casos, a semeadura no País ocorre praticamente durante o ano todo.

O ambiente, além de influenciar o desenvolvimento da planta, pode agir diretamente sobre as diversas fases da relação patógeno-hospedeiro. Portanto, quaisquer alterações climáticas que venham a ocorrer podem tornar secundárias doenças hoje consideradas importantes, e outras doenças atualmente não limitantes à produção podem assumir grande importância.

As mudanças climáticas serão consideráveis no Brasil nos próximos 75 anos. Abaixo será analisado o impacto das mesmas sobre as principais doenças da cultura do pimentão. Para tal análise, serão levadas em consideração as condições climáticas atuais e previstas e as principais regiões produtoras (Tabelas 1 e 2, do Capítulo 4). Essas agrupam áreas de cultivo da cultura que possuem grande similaridade climática. As regiões aqui abordadas serão (Fig. 1, do Capítulo 4):

Região 2 - Estados de SC, PR e sul de SP.

Região 3 - Estados do RJ, ES e região leste de MG.

Região 4 - Estados de MG, GO e oeste de SP.

As alterações climáticas previstas e o impacto sobre a cultura do pimentão para essas regiões produtoras estão abaixo descritos.

Região 2 - No ano de 2080, as temperaturas médias anuais poderão sofrer aumento de 3 °C a 6 °C. Haverá também redução no volume de precipitação, agravada nos meses de abril a outubro. As elevadas temperaturas (26 °C a 30 °C) que poderão prevalecer nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro influenciarão a germinação das sementes e a qualidade das mudas. Com a redução das chuvas nesse período, será possível a condução da cultura apenas mediante suplementação de água via irrigação. A produção também será afetada, uma vez que as condições ambientais adversas poderão provocar abortamento de flores. A qualidade dos frutos será comprometida, tanto pela diminuição de seu peso e tamanho, quanto pela alteração de sua coloração.

Região 3 - Nessa região não haverá alterações significativas quanto ao volume de chuva, porém as temperaturas médias anuais sofrerão aumento de 4 °C a 6 °C. As elevadas temperaturas de janeiro a abril e outubro a dezembro poderão influenciar negativamente a produção de mudas.

Região 4 - Atualmente, essa é uma região considerada quente para a cultura do pimentão. Em 2080, as previsões indicam um incremento na temperatura, permanecendo superior aos 27 °C em quase 80 % do ano, atingindo picos superiores aos 30 °C nos meses de setembro, outubro e novembro. Essa temperatura poderá ocasionar prejuízos na produção, principalmente pelo abortamento de flores e deficiência de cálcio nos frutos. Aos moldes da região 3, em 2080 não haverá grandes mudanças no índice pluviométrico.

A seguir serão descritas as características das principais doenças da cultura do pimentão e os impactos previstos baseados nas expectativas das alterações ambientais para os próximos 75 anos.

Doenças de etiologia fúngica

Murcha-de-fitóftora
Phytophthora capsici Leonian

Considerado um dos mais importantes patógenos da cultura do pimentão, *P. capsici* afeta todos os órgãos da planta, principalmente raízes, colo e caule, causando necrose e colapso de tecidos. A doença é favorecida por períodos prolongados de chuva e por temperatura entre 22 °C e 28 °C.

O aumento da temperatura na região 2 poderá desfavorecer a doença, principalmente nos plantios realizados entre novembro e fevereiro. A redução no volume de chuvas também contribuirá para a redução das epidemias.

A manutenção dos índices pluviométricos e temperaturas médias anuais entre 20 °C e 28 °C darão à região 3 condições ambientais favoráveis para o desenvolvimento da doença. Em 2080, a previsão é de que a murcha-de-fitóftora tenha a mesma importância que tem nos dias de hoje. Epidemias da doença serão desfavorecidas na região 4, principalmente nos meses de setembro e abril, pela elevação das temperaturas, que ficarão em torno de 28 °C a 34 °C.

Antracnose *Colletotrichum* spp.

Quatro espécies de fungos mitospóricos estão relacionados à antracnose em pimentão: *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc.; *C. capsici* (Syd) Butler & Bisby; *C. coccodes* (Wallr.) Hugh. e *C. acutatum* Simmonds. É uma doença importante, pois afeta principalmente os frutos tornando-os impróprios para a comercialização. As condições ideais para a ocorrência de infecção são alta umidade relativa do ar e temperatura de 20 °C a 30 °C, mas a doença pode ocorrer em temperaturas de 10 °C a 30 °C.

Na região 2 haverá uma diminuição na importância da doença, devido à diminuição no volume de chuvas e ao aumento da temperatura (em média de 3 °C a 6 °C). A ocorrência da antracnose nas regiões 3 e 4 não será afetada pela temperatura, uma vez que a elevação prevista não suplanta as temperaturas ótimas para infecção e colonização do patógeno em seu hospedeiro. Em função da não alteração no regime de chuvas, a doença nessas duas regiões continuará tendo a mesma importância que tem atualmente.

Oídio *Oidiopsis taurica* Salmon (sin. *O.sicula* Scalia)

É atualmente considerada a doença fúngica mais importante em cultivos protegidos de pimentão. Em campo aberto, tem ocorrência esporádica, sendo importante em regiões localizadas em altitudes superiores a 400 m. É favorecida por temperaturas entre 10 °C e 35 °C e umidade relativa entre 85 % e 95 %, porém sem a presença de água livre nas folhas. O fungo coloniza principalmente as folhas mais velhas, o que causa desfolha e redução na produção.

Em 2080, a doença encontrará condições mais propícias na região 2, devido ao aumento da temperatura média mensal e da redução dos índices

pluviométricos. Para as regiões 3 e 4, essa doença continuará tendo a importância que tem na atualidade.

Manchas foliares
Mancha-de-cercóspora - *Cercospora capsici* Heald & Wolf
Mancha-de-estenfílio - *Stemphylium solani* Weber

Ambas as doenças causam manchas foliares em pimentão. Os sintomas são lesões circulares de coloração esbranquiçada a cinza. Essas coalescem, originando grandes áreas necróticas e provocando severas desfolhas. Os frutos ficam comprometidos, tornando-se pequenos, retorcidos e muitas vezes necrosados em conseqüência de queimaduras causadas pelo sol. Ambas as doenças são favorecidas por temperaturas entre 23 °C e 27 °C e alta umidade relativa (superior a 90 %).

Na região 2, a umidade relativa e a temperatura serão adequadas ao desenvolvimento do patógeno durante os meses de outubro a março. Nos demais meses, apesar de prevalecerem temperaturas favoráveis à doença, a diminuição na umidade relativa poderá dificultar a ocorrência da mesma. As manchas de cercóspora e de estenfílio não terão alteração em sua importância nas regiões 3 e 4.

Mofo-cinzento
Botrytis cinerea Pers. Fr.

B. cinerea afeta todos os órgãos da planta independentemente do estádio/fase de desenvolvimento da cultura. Os maiores problemas são observados em hastes, folhas, flores e frutos. A doença é favorecida por temperaturas entre 18 °C e 23 °C e umidade relativa em torno de 90 % a 95 %. A importância dessa doença deverá ser reduzida, nas três regiões analisadas, em decorrência do aumento da temperatura.

Patógenos do solo
Sclerotinia sclerotiorum (Lib) de Bary
Sclerotium rolfsii Sacc.

São patógenos de solo que causam podridão de raízes e tombamento de plântulas. Sob condições favoráveis podem causar danos em plantas adultas.

Sclerotinia sclerotiorum é um fungo favorecido por temperaturas entre 16 °C e 22 °C e alta umidade relativa do solo. Diante do novo cenário

climático, a murcha-de-esclerotínia terá sua importância reduzida nas três regiões analisadas, uma vez que a temperatura média dessas áreas ultrapassará a ótima para a ocorrência da doença.

Sclerotium rolfsii também é favorecido por alta umidade relativa do solo, mas, ao contrário de *S. sclerotiorum*, tem seu desenvolvimento beneficiado por temperaturas elevadas, entre 25 °C e 30 °C. Na região 2, a doença aumentará de importância, principalmente nos meses de dezembro a maio. No restante do ano, a diminuição nas precipitações ocasionará sua redução, a exceção de plantios irrigados artificialmente. Nas regiões 3 e 4 essa doença continuará com a importância atual.

Doenças de etiologia bacteriana

Mancha-bacteriana *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* (Doidge) Dye

A mancha-bacteriana é favorecida por temperaturas entre 22 °C e 28 °C e alta umidade relativa (95 % a 100 %). O patógeno coloniza todos os órgãos aéreos da planta (talos, folhas, flores e frutos) causando lesões deprimidas, que coalescem provocando grandes áreas necróticas. As plantas, quando severamente atacadas, exibem desfolha acentuada, e os frutos são queimados pelo sol, o que prejudica qualitativamente a produção.

Para as três regiões estudadas, a temperatura será favorável às epidemias de *X. campestris* pv. *vesicatoria* durante todo o ciclo da cultura. O fator limitante para a ocorrência da doença será o regime de chuvas. Na ausência de irrigações artificiais, a região 2 terá umidade relativa desfavorável durante os meses de abril a setembro. Nos demais meses, a doença será preocupante devido à associação de alta temperatura e alta umidade relativa. Nas regiões 3 e 4, a doença manterá a mesma importância atual em função da não alteração dos índices pluviométricos.

Murcha-bacteriana *Ralstonia solanacearum* (Smith) Yabuuchi et al.

R. solanacearum coloniza o sistema vascular provocando murcha-verde e morte da planta. Afeta o pimentão em todos os estádios fenológicos. A sua ocorrência é favorecida por alta umidade do solo e temperaturas elevadas (30 °C a 35 °C). Nas três regiões estudadas poderá ocorrer um aumento na incidência da doença nos meses de outubro a março, em decorrência da

elevação das temperaturas e manutenção da umidade relativa. Nos demais meses do ano a doença manterá a importância atual.

Cancro-bacteriano
Clavibacter michiganesis subsp. *michiganensis* (Smith) Davis et al.

Essa bactéria pode causar infecção localizada ou sistêmica. A infecção localizada caracteriza-se por pontuações claras e pequenas verrugas que evoluem para lesões de coloração parda, concentradas geralmente nos bordos das folhas. Nos frutos os sintomas são semelhantes às folhas com lesões salientes de coloração marrom. A infecção sistêmica causa murcha e desfolha, provocando em seguida a morte da planta.

O cancro-bacteriano é uma doença favorecida por alta umidade relativa e temperaturas amenas (24 °C a 28 °C). Nesse contexto, a elevação da temperatura na região 2, ultrapassando a ótima para o desenvolvimento da doença, fará com essa reduza sua importância. Nas regiões 3 e 4, o patógeno manterá o mesmo grau de importância dos dias atuais.

Podridão-mole
Erwinia carotovora subsp. *carotovora* (Jones) Bergey et al.

A podridão-mole é uma doença que afeta principalmente caule e frutos, causando destruição da lamela média da célula e desintegração dos tecidos. É favorecida por longos períodos chuvosos e temperaturas entre 28 °C e 30 °C.

A elevação das temperaturas médias dos meses de novembro a março nas três regiões analisadas e a manutenção dos índices pluviométricos acarretarão aumento da importância da doença no período. Nos demais meses do ano, a doença continuará com o mesmo grau de importância da atualidade.

Doenças de etiologia viral

Várias são as doenças de etiologia viral que acometem a cultura do pimentão. As alterações climáticas previstas para os próximos 75 anos poderão acarretar aumento ou diminuição na importância das mesmas, devido à influência do clima sobre a biologia dos insetos vetores. Assim, as viroses serão agrupadas de acordo com o vetor que as transmite, mesmo que sejam causadas por espécies diferentes de vírus.

Mosaicos
***Tomato mosaic virus* (ToMV)**
***Tobacco mosaic virus* (TMV)**
***Pepper mild mottle virus* (PMMoV)**

Esses vírus possuem ampla distribuição geográfica e, com exceção do PMMoV, são importantes, além do pimentão, para a cultura do tomateiro. Por serem transmitidos mecanicamente, essas espécies do gênero *Tobamovirus* não sofrerão influência direta das alterações climáticas, mantendo a mesma importância que possuem atualmente.

Vira-cabeça
***Tomato spotted wilt virus* (TSWV)**
***Tomato chlorotic spot virus* (TCSV)**
***Groundnut ring spot virus* (GRSV)**
***Chrysanthemum stem necrosis virus* (CSNV)**

Esses vírus, pertencentes ao gênero *Tospovirus*, são transmitidos por diversas espécies de tripes e ocorrem com maior incidência em períodos quentes e secos do ano. Essas condições climáticas são essenciais para a proliferação e manutenção de alta densidade populacional do inseto vetor. No mundo são descritas nove espécies de tripes como potenciais vetoras de tospovírus: *Frankliniella fusca, F. intonsa, F. occidentalis, F. schultzei, F. tenuicornis, Scirtothrips dorsalis, Thrips palmi, T. setosus* e *T. tabaci*. A relação vírus-vetor, assim como ocorre em outras culturas em que esse grupo de vírus é importante, é do tipo circulativa-propagativa.

Com as alterações climáticas previstas, essas viroses aumentarão de importância entre os meses de março a setembro para as três regiões analisadas. Nos demais meses do ano a situação permanecerá a mesma da atualidade.

Risca-do-Tomateiro - *Potato virus Y* (PVY)
Mosaico-Amarelo - *Pepper yellow mosaic virus* (PepYMV)
Mosaico-do-Pepino - *Cucumber mosaic virus* (CMV)

Esse grupo de vírus tem em comum a transmissão por espécies de afídeos. Períodos secos e temperatura amena (em torno dos 25 °C) favorecem a reprodução, manutenção da população do inseto na área e sua migração para as áreas vizinhas.

A elevação das temperaturas nos meses de maio a julho na região 2, associada à baixa umidade relativa, favorecerá o aumento das populações

de vetores e, desse modo, o aumento da doença. Nas demais épocas do ano, a doença se comportará como na atualidade. Não são previstas alterações significativas nas regiões 3 e 4 com relação a essas viroses.

Considerações finais

Neste capítulo, o foco principal foi dado aos impactos associados às alterações ambientais na relação patógeno versus hospedeiro. Acréscimo, manutenção e decréscimo na importância de doenças de etiologia fúngica, bacteriana e viral serão uma constante nos próximos 75 anos, em virtude das alterações climáticas.

Vale ressaltar que as mudanças ambientais sinalizadas acarretarão impacto, não só sobre a interação do patógeno com a planta de pimentão, mas também sobre a própria fisiologia da planta, estando ela em campo aberto ou em ambiente protegido. Em cultivos protegidos, problemas com a elevação da temperatura serão ainda maiores. Hoje já não é raro o relato de quedas de produtividade nesses ambientes em função do abortamento de botões florais.

Literatura recomendada

BOSLAND, P. W.; VOTAVA, E. J. **Peppers**: vegetable and spice capsicums. LAS CRUCES: CABI, 1999. 204 p.

CHAKRABORTY, S.; MURRAY, G. M.; MAGAREY, P. A.; YONOW, T.; O'BRIEN, R. G.; CROFT, B. J.; BARBETTI, M. J.; SIVASITHAMPARAM, K.; OLD, K. M.; DUDZINSKI, M. J.; SUTHERST, R. W.; PENROSE, L. J.; ARCHER, C.; EMMETT, R. W. Potential impact of climate change on plant diseases of economic significance to Australia. **Plant Pathology**, Oxford, v. 27, n. 1, p. 15-35, 1998.

FIGUEIRA, A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2000. 402 p.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

LOPES, C. A.; ÁVILA, A. C. **Doenças do pimentão**: diagnose e controle. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2003. 96 p.

MONTEIRO, A. J. A.; COSTA, H.; ZAMBOLIN, L. Doenças causadas por fungos e bactérias em pimentão e pimenta In: ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; COSTA, H. **Controle de doenças de plantas hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. v. 2, p. 637-676.

NUEZ, F.; GIL ORTEGA, R.; COSTA, J. **El cultivo de pimientos, chiles y ajies**. Madri: Mundi-Prensa, 1995. 607 p.

PERNEZNY, K.; ROBERTS, P. D.; MURPHY, J. F.; GOLDBERG, N. P. **Compendium of pepper diseases**. St. Paul: APS Press, 2003. 63 p.

REIFSCHNEIDER, F. J. B. **Capsicum**: pimentas e pimentões no Brasil. Brasaília: EMBRAPA-CNPH, 2000. 113 p.

Capítulo 6

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do melão no Brasil

Kátia Regiane Brunelli
Romulo Fujito Kobori
Ricardo Gioria

Introdução

O meloeiro (*Cucumis melo* L.) encontra condições climáticas de cultivo em vários estados brasileiros, mas 99,5 % das 282 mil toneladas de frutos produzidos no Brasil estão concentradas na região Nordeste. Essa região é também responsável por 99,3 % da área plantada com a cultura que corresponde a mais de 13.500 ha. Os estados do Rio Grande do Norte e do Ceará são responsáveis por cerca de 80 % de toda a produção brasileira. O Semi-Árido nordestino possui condições ideais de solo e clima para adequado acúmulo de sólidos solúveis, garantindo a aparência e o sabor exigidos para os frutos de melão, tanto pelo mercado interno como pelo de exportação. As altas temperaturas, que oscilam entre 24 °C e 35 °C, associadas à alta radiação solar (120 a 320 horas/mês) e aos baixos índices pluviométricos (850 mm/ano) distribuídos em uma estação chuvosa bem definida (fevereiro a março), permitem a colheita de frutos durante a entressafra do melão na Espanha (setembro a março), o que dá ao Brasil posição privilegiada na exportação para o mercado europeu.

O clima do Semi-Árido, em geral, é pouco favorável às doenças causadas por bactérias, mas muito propício às de natureza virótica, como as causadas pelos vírus *Papaya ringspot virus* (PRSV-W), *Cucumber mosaic virus* (CMV), *Watermelon mosaic virus* (WMV-2), *Zucchini yellow mosaic virus* (ZYMV), pois favorece a sobrevivência dos vetores. Com relação às doenças de natureza fúngica, algumas são favorecidas, como é o caso do oídio, causado pelo fungo *Podosphaeria xanthii*; e outras desfavorecidas, como é o caso do míldio, causado por *Pseudoperonospora cubensis*.

As cartas preditivas produzidas pelo Sistema de Informações Geográficas (SIG), baseadas em dados normais de temperaturas e precipitações (normal climatológica de 1961 a 1990) e em previsões futuras obtidas do IPCC (Capítulo 2), indicam mudanças acentuadas para essas variáveis no País. Na área produtora de melão (Ceará e Rio Grande do Norte, regiões 6 e 7, respectivamente, da Fig. 1, do Capítulo 4), a previsão é de que em menos de 75 anos a temperatura aumente entre 2 °C e 4 °C, dependendo da época do ano. As temperaturas máximas e mínimas passarão dos atuais 22 °C e 34 °C para 24 °C e 36 °C. A média anual, que hoje é em torno de 26 °C, atingirá 28 °C a 30 °C (Tabela 1, do Capítulo 4). São previstas também alterações na sazonalidade e na quantidade de chuvas para a região. A estação chuvosa, em que as precipitações norteiam os 90 mm/mês e 150 mm/mês, será ampliada em dois meses para o Rio Grande do Norte, e em um mês para o Ceará, passando a ocorrer de janeiro a maio e de janeiro a abril, respectivamente (Tabela 2, do Capítulo 4). Na situação atual, nos meses de novembro a janeiro, as precipitações não excedem 50 mm/mês

nas áreas produtoras de melão desses estados, mas no cenário climático de 2080 as chuvas nesses meses chegarão a 90 mm/mês para o Rio Grande do Norte e 60 mm/mês para o Ceará.

Mudanças no binômio temperatura/umidade podem influenciar diretamente a suscetibilidade do hospedeiro, no qual genes de resistência são silenciados ou ativados, modificando os padrões de resistências esperados para os genótipos; no ciclo de vida do patógeno, favorecendo ou desfavorecendo etapas (taxa de reprodução, de infecção e colonização) e na interação patógeno e hospedeiro.

As condições climáticas previstas para o ano de 2080 podem influenciar o surgimento e desenvolvimento de doenças e epidemias. A seguir, são listadas doenças importantes na atualidade e outras com potencialidade de danos diante do novo cenário climático.

Doenças do meloeiro

Oídio
Phodosphaera xanthii (Castagne) U. Braun & S. Takam *Golovinomyces cichoracearum* (*Erysiphe cichoracearum* DC. ex Merat)

É hoje uma das principais doenças fúngicas da cultura do melão no Semi-Árido nordestino, causando danos severos em variedades suscetíveis, exigindo, assim, monitoramento e aplicações constantes de fungicidas. A doença diminui o rendimento da cultura por reduzir o tamanho e o número de frutos e encurtar o período produtivo, uma vez que ataques severos levam à senescência antecipada da planta. Os fungos *Phodosphaera xanthii* e *Golovinomyces cichoracearum* são os agentes etiológicos do oídio em melão, mas, no Brasil, somente a primeira espécie foi relatada. A infecção por *P. xanthii* ocorre em temperaturas de 10 °C a 32 °C, mas os propágulos fúngicos permanecem viáveis em temperaturas de até 38 °C. Umidade relativa alta favorece a infecção e a sobrevivência dos conídios, mas a colonização, a esporulação e a dispersão são altamente incrementadas em ambientes secos, com umidade relativa abaixo de 50 %. Pelo menos sete raças de *P. xanthii* já foram descritas e ocorrem nas regiões produtoras de melão no mundo, com prevalência de uma ou outra raça, dependendo das condições climáticas de cada região. De fato, Cohen et al. (2002), investigando a presença das raças de *P. xanthii* em Israel, associaram maior freqüência das raças 1 e 4 durante os cultivos do inverno (chuvoso com temperatura amena), enquanto as raças 3 e 5 foram mais comuns no verão (seco e com elevadas temperaturas). No Brasil já foram relatadas as raças 1, 2, 3 e 4, sendo prevalente a raça 2.

Apesar do fungo ser altamente adaptado a condições de baixa umidade relativa, o prolongamento da estação chuvosa na região não parece afetar a epidemiologia da doença, já que não é projetada redução na evaporação potencial. O aumento da temperatura também não deverá interferir na ocorrência da doença e sobrevivência do patógeno, pois as médias anuais previstas permanecem dentro da faixa ideal para infeção e colonização do hospedeiro pelo fungo. O cenário que hora se projeta apenas delineia uma evolução da população do patógeno frente à nova realidade climática. Provavelmente, a doença continuará tendo a importância que tem na atualidade, apenas com a substituição da raça que hoje prevalece por outras mais adaptadas.

Diante dessa projeção, os danos potenciais para 2080, caso ocorra a introdução de *G. cichoracearum*, serão mínimos, uma vez que a faixa de temperatura ideal para o desenvolvimento de seu ciclo de vida gira em torno dos 20 °C, muito aquém da temperatura média atual e da prevista para a região Nordeste.

Crestamento-gomoso-do-caule *Didymella bryoniae* (Fuckel) Rehm

O crestamento-gomoso-do-caule é uma doença muito importante em épocas em que a umidade relativa do ar, principalmente próxima ao solo, permanece elevada por longos períodos de tempo. Em regiões de baixadas, onde a umidade relativa do ar é alta, o cultivo do meloeiro só tem sido possível mediante o uso de aplicações constantes de fungicidas. O fungo *Didymella bryoniae* infecta os órgãos aéreos da planta, em qualquer estádio de desenvolvimento. Plântulas são, contudo, mais suscetíveis à infecção e colonização pelo patógeno. O patógeno é favorecido por temperaturas médias, em torno de 24 °C. No campo, entretanto, temperaturas entre 22 °C e 32 °C têm sido suficientes para causar epidemias, desde que acompanhadas de alta umidade relativa, com a presença de filme d´água nos órgãos do vegetal. Assim, o fator umidade é preponderante ao desenvolvimento da doença.

A semeadura do meloeiro é realizada durante o ano todo, com uma maior concentração nos meses de junho a dezembro. Tanto no quadro climático atual, quanto no preditivo para os próximos 75 anos, esses meses são caracterizados por baixa umidade relativa; por isso o suprimento de água para a cultura deve ser garantido por irrigações artificiais. Para o Rio Grande do Norte, a elevação nos níveis de chuva no mês de dezembro, com acentuado aumento a partir de janeiro, permite se prever favorecimento da doença para os plantios realizados a partir de novembro. Se houver manutenção de água livre na folha por mais de três horas, o patógeno encontrará condições

para germinar e infectar o hospedeiro. Períodos prolongados de alta umidade são favoráveis à expansão das lesões, pois favorecem a colonização do fungo. Assim, se o aumento das chuvas, nessa época do ano, for caracterizado pela regularidade, pode ocorrer aumento significativo das infecções causadas por *D. bryoniae*, acentuando a severidade da doença. Isso também refletirá em acúmulo de inóculo para os plantios subseqüentes, uma vez que o patógeno pode sobreviver em restos de cultura. Desse modo, no cenário climático futuro para as regiões de cultivo do Semi-Árido nordestino, principalmente para o Rio Grande do Norte, a doença continuará sendo importante, com provável elevação nos níveis de incidência e severidade.

Morte-súbita ou colapso-de-planta *Monosporascus cannobalus* Pollack & Uecker e *Macrophomina phaseolina* Tassi (Goid)

A morte-súbita ou colapso é caracterizada por uma murcha generalizada da planta que, em poucos dias, evolui para morte. Os sintomas ocorrem geralmente na fase de maturação dos frutos, semanas antes da colheita. No Nordeste brasileiro, dois patógenos de solo são freqüentemente associados a esses sintomas: *M. cannobalus* e *M. phaseolina*. Os dois fungos são favorecidos por pH alcalino, elevadas temperaturas (30 °C a 35 °C) e baixa umidade relativa do solo.

Nas condições atuais, a doença vem assumindo importância significativa, acarretando diminuição no número de plantas por hectare, redução na concentração de sólidos solúveis e queda na qualidade de frutos.

A previsão para 2080 é de aumento no índice pluviométrico para os primeiros meses do ano. Aparentemente, essa condição seria desfavorável para os fungos causadores de morte-súbita, porém as altas temperaturas do período proporcionarão queda na umidade relativa do solo. Para os próximos anos, a importância desses patógenos como causadores de epidemias nas regiões 6 e 7 deve ser confirmada e mantida até 2080.

Antracnose *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *cucurbitae* Menten, Kimati & C.P. Costa

Trata-se de uma doença de pouca importância para os cultivos de melão da região Nordeste do Brasil na atualidade. Os sintomas iniciais são caracterizados pelo surgimento de pontuações encharcadas que rapidamente

evoluem para necrose dos tecidos foliares, resultando em manchas circulares de coloração parda com centro mais claro. Dependendo do genótipo utilizado, essas manchas podem ou não apresentar halo clorótico. Em folhas mais velhas, as manchas coalescem, o que resulta em extensas áreas necrosadas. Sob condições ambientais favoráveis e alta pressão de inóculo, hastes, pecíolos e frutos também podem ser colonizados. Os sintomas nos frutos podem surgir após a colheita, uma vez que infecções ocorridas em frutos verdes podem permanecer latentes até o amadurecimento, ocasionando um sério problema em pós-colheita. Tanto a germinação dos esporos quanto a colonização do hospedeiro são favorecidas por temperaturas entre 21 °C e 27 °C. Alta umidade relativa, com a presença de filme d´água por, no mínimo, 24 horas são requeridos para a infecção. Essa condição permite a diluição da matriz muscilaginosa que envolve os conídios. Essa matriz possui elementos que inibem a germinação dos esporos e, conseqüentemente, a infecção do hospedeiro. Desse modo, a presença de água é fator determinante ao desenvolvimento da doença. A disseminação ocorre por meio da água e do vento. Diante do quadro atual, o patógeno encontra nas condições do Semi-Árido nordestino poucas chances de sucesso em infectar seu hospedeiro. No quadro futuro, poderá ocorrer um aumento significativo na importância da doença se a ampliação do período chuvoso e o incremento no volume de precipitação vierem acompanhados de regularidade na distribuição das chuvas.

Míldio
Pseudoperonospora cubensis (Berk. & M.A. Curtis) Rostovzev

O míldio é uma das principais doenças fúngicas da cultura do meloeiro no período chuvoso das regiões produtoras do Nordeste brasileiro. A doença permanece endêmica durante os períodos secos do ano, resultando em fonte de inóculo primário para o período epidêmico, quando a umidade relativa se eleva devido às precipitações. Durante o período chuvoso (fevereiro a abril), a exploração econômica do meloeiro é gravemente comprometida em várias regiões de cultivo do Estado do Ceará, em função das altas severidades da doença.

Os sintomas iniciam-se na face superior das folhas como manchas angulosas e cloróticas, geralmente distribuídas ao longo da nervura central. Na face inferior do limbo foliar, áreas encharcadas são observadas. Nessas áreas, há abundante esporulação (esporangióforo e esporângios). Num estádio mais avançado, essas áreas evoluem para extensas regiões necróticas. Como conseqüência, o desenvolvimento da planta e a produção de frutos são prejudicados.

Temperaturas entre 5 °C e 30 °C associadas à existência de filme d´água, por pelo menos seis horas, favorecem a produção de esporângios de *P. cubensis* sobre o tecido foliar do hospedeiro. A germinação dos esporângios ou zoósporos também ocorre nessas condições, mas requer apenas uma hora sob 100 % de umidade relativa. No quadro climático futuro, essas condições prevalecerão por um período maior que o verificado na atualidade. Portanto, na ausência de produtos químicos eficientes para o controle da enfermidade e/ou variedades resistentes, a cultura de meloeiro poderá tornar-se inviável nos meses de janeiro a maio, nas regiões produtoras do Rio Grande do Norte e do Ceará.

Mancha-de-Corynespora
Corynespora cassiicola (Berk. & M.A. Curtis) C.T. Wei

Os sintomas se caracterizam por manchas cloróticas, de formato angular, que evoluem para extensas áreas necróticas. Em geral, essas lesões surgem nas folhas mais velhas da planta; mas, sob condições de alta pressão de inóculo e ambiente favorável, as folhas mais novas também podem ser afetadas, diminuindo sobremaneira a área fotossintetizante e causando sérios prejuízos à produção. A produção dos conídios ocorre sob alta umidade relativa, condição que também favorece as infecções. A doença se desenvolve adequadamente em temperaturas entre 25 °C e 35 °C.

Essa é uma doença de pouca importância para os cultivos de melão da região Nordeste na atualidade. Porém, com o quadro climático de 2080, ela poderá tornar-se importante, principalmente nos cultivos de dezembro a junho, em que as temperaturas continuarão elevadas e a umidade relativa será adequada à infecção e ao desenvolvimento da doença.

Mancha-bacteriana-do-fruto
Acidovorax avenae subsp. *citrulli* (Schaad et al.) Willems et al.

A mais importante bacteriose da cultura do meloeiro é causada por *Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*. Em infecções precoces e sob alta umidade relativa, os primeiros sintomas podem ser vistos nos cotilédones que exibem anasarca com evolução para necrose e tombamento de plantas. Os sintomas mais tardios aparecem sob a forma de pequenas lesões encharcadas nas folhas. Nos frutos, os sintomas podem ser severos. Manchas pequenas de coloração verde-oliva se expandem rapidamente, cobrindo o fruto em sete a dez dias.

Após esse período, ocorre necrose na parte externa do fruto e a polpa torna-se apodrecida. Rupturas podem acontecer no fruto, e o exsudado bacteriano pode ser arremetido a longas distâncias pela pressão formada dentro do mesmo. Nesse estádio de colonização, as sementes são contaminadas.

A doença é favorecida por umidade relativa alta, próxima a 100 %, e temperaturas em torno de 26 °C. Estudos com o patógeno sugerem que temperaturas superiores a 30 °C, associadas à alta umidade relativa, não interferem na colonização dos tecidos pelo patógeno e no surgimento dos sintomas. Desse modo, as condições ambientais de 2080 serão propícias ao desenvolvimento dessa bacteriose, podendo inviabilizar a cultura em áreas onde já tenha sido relatada a presença do patógeno.

Doenças de natureza virótica

As cinco principais viroses da cultura do meloeiro na região Nordeste do Brasil são o mosaico-do-mamoeiro (*Papaya ringspot virus* - PRSV-W), o mosaico-do-pepino (*Cucumber mosaic virus* - CMV), o mosaico-da-melancia (*Watermelon mosaic virus* - WMV-2), o mosaico-amarelo-da-abobrinha-de-moita (*Zucchini yellow mosaic virus* - ZYMV) e o amarelão (*Melon yellowing - associated virus*).

Os sintomas das quatro primeiras viroses são mosaico, amarelecimento e embolhamento foliar e deformação nos frutos. Essas doenças podem facilmente ser confundidas e requerem testes serológicos para o correto diagnóstico. A transmissão é efetuada por diversas espécies de afídeos, sendo a relação vírus-vetor do tipo não persistente.

Os afídeos necessitam de períodos secos e temperaturas amenas para sobrevivência e dispersão na área. Assim, aumentos de precipitações e de temperatura deverão reduzir a população desses insetos ao longo de todo o ano. Diante do cenário futuro, haverá tendência de diminuição da importância das viroses por eles transmitidas.

O amarelão é a mais importante doença causada por vírus da cultura do melão no Brasil. Atualmente, encontra-se restrita à região Nordeste, mas teme-se que em breve ela chegue aos pomares de melão das demais regiões produtoras do Brasil. Os sintomas iniciam-se geralmente nas folhas mais velhas, como clareamento acentuado das nervuras que rapidamente evolui pelo limbo foliar, tornando-o completamente amarelo. Há controvérsia quanto ao agente causal dessa doença, mas reconhece-se que a sua transmissão é realizada por meio de enxertia e pela mosca branca (*Bemisia tabaci* biótipo B).

A mosca branca necessita de períodos secos e quentes para completar seu ciclo de vida. Além de vetor de viroses, esse inseto é hoje a principal praga de várias culturas agrícolas na região do Semi-Árido nordestino. Com a predição de aumento de precipitações e extensão do período chuvoso para a região Nordeste, há uma tendência de diminuição na população desse inseto durante os meses de janeiro a maio. Essa diminuição, entretanto, não parece acarretar queda na importância do inseto, uma vez que nos demais períodos do ano (períodos de maior concentração de cultivos), haverá manutenção das condições de umidade relativa baixa e elevadas temperaturas.

Considerações finais

Além da evolução do quadro fitopatológico, as alterações climáticas poderão provocar alterações fisiológicas na planta. A temperatura máxima excederá os 35 °C, ocasionando prejuízos ao desenvolvimento da planta, além de abortamento de flores e queda de frutos novos. O aumento no período e na quantidade de chuvas provocará a ampliação dos dias com baixa radiação solar, decorrente do bloqueio do sol pelas nuvens. No Nordeste do Brasil, o rápido e adequado acúmulo de sólidos solúveis, devido às altas temperaturas e a extensos períodos de insolação, tem sido fator preponderante para o sucesso da cultura do melão. Com o cenário que se aventa, o período de maturação dos frutos pode se estender, culminando em retardo das colheitas e extensão do período de suscetibilidade da planta a fitopatógenos. O aumento da temperatura também elevará as taxas de respiração das plantas, ocasionando desbalanços fisiológicos e tornando-as mais vulneráveis a estresses bióticos e abióticos. Desse modo, a viabilidade econômica da cultura na região dependerá da sua adaptação aos estresses a que estará sujeita. Apesar da diversidade fenotípica da espécie *Cucumis melo*, sabe-se que sua diversidade genética é baixa. A adaptação dessa espécie frente aos novos desafios fisiológicos e patogênicos dependerá da existência e localização de fontes de resistências genéticas a esses estresses. De fato, o cenário preditivo implica em adaptações que deverão ocorrer ao longo desses anos, e o melhoramento genético deverá buscar genes e fenótipos mais adaptados aos novos cenários.

Literatura recomendada

BAPTISTA, G. M. M.; CARVALHO, J. M.; CAMACHO, R. G. V.; BIAS, E. S.; ZARA, L. F. Variação sazonal da vegetação e da temperatura de superfície em Mossoró, RN, por meio de dados ASTER. IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2843-2850.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica. Departamento de Desenvolvimento Hidroagrícola. **Melão**. Brasília, 2003. 12 p. (FrutiSéries. Ceará. Melão 2).

COHEN, R.; BURGER, Y.; SHRAIBER, S. Physiological races of *Sphaerotheca fuliginea*: factors affecting their identification and the significance of this knowledge. In: MAYNARD, D. N. **Cucurbitaceae**. Alexandria, VA: ASHS Press, 2002. p. 181-187.

JAHN, M.; MUNGER, H. M.; McCREIGHT, J. D. Breeding cucurbit for powdery mildew resistance. In: BÉLANGER, R. R.; BUSHNELL, W. R.; DIK, A. J.; CARVER, T. L. W. **The powdery mildews: a comprehensive treatise**. St, Paul: The American Phytopathological Society, 2002. p. 239-248.

KOBORI, R. F.; SUZUKI, O. S.; WIERZBICK, R.; DELLA VECCHIA, P. T.; CAMARGO, L. E. A. Ocorrência da raça 2 de *Sphaerotheca fuliginea* em melão no Estado de São Paulo. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 27, p. 123, 2002 Suplemento.

KUROZAWA, C.; PAVAN, M. A.; REZENDE, J. A. M. Doenças das cucurbitáceas (abóbora, abobrinha, chuchu, melancia, melão, moranga, pepino). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de fitopatologia. Doenças das plantas cultivadas**. 4. ed. Campinas: Agronômica Ceres, 2005. v. 2, p. 293-302.

REIS, A.; DIAS, R. C.; ARAGÃO, F. A. S.; BOITEUX, L. S. Caracterização do perfil patogênico de isolados de *Podosphaera xanthii* em cucurbitáceas na região nordeste do Brasil. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, p. 362, 2005. Suplemento.

SANTOS, A. A.; BEZERRA, M. A.; CARDOSO, J. E.; VIDAL, J. C.; SOBRAL, A. R. A.; BRAGA, C. A. T. Efeito do amarelão e da mosca-branca na fixação de CO na produção e no teor de sólidos solúveis totais de frutos de meloeiro. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 35, p. 214-219, 2004.

ZITTER, T. A.; HOPKINS, D. L.; THOMAS, C. E. **Compendium of cucurbit disease**. St. Paul: APS Press, 1996. 87 p.

Capítulo 7

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do arroz no Brasil

Anne Sitarama Prabhu
Silvando Carlos da Silva
Marta Cristina de Filippi

Introdução

O arroz é considerado uma das fontes alimentícias mais importantes para cerca da metade dos seis bilhões de habitantes do mundo. Mais de 90 % da produção mundial concentra-se na Ásia. No ano de 2003 foram produzidas 585 milhões de toneladas de arroz com casca, em área de 151 milhões de hectares. A produção de arroz deve aumentar 1 % anualmente para suprir as demandas de crescimento populacional e desenvolvimento econômico. As futuras produtividades serão influenciadas, principalmente, pela possível confirmação dos prognósticos divulgados sobre mudanças climáticas globais.

O arroz é um produto de grande importância econômica e social no Brasil. Ele é cultivado em todos os estados brasileiros, mas a produção nacional está concentrada, principalmente, nas regiões Centro-Oeste e Sul (Fig. 1). No Brasil, o arroz é cultivado sob dois grandes ecossistemas: o ecossistema de terras altas, abrangendo o sistema de cultivo de terras altas sem irrigação e o com irrigação suplementar, e o ecossistema de várzeas, englobando o arroz irrigado por inundação controlada em várzeas sistematizadas ou em várzeas não sistematizadas. Os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina são os maiores produtores de arroz irrigado, produzindo, em média, 44 % e 6,8 % da produção nacional, respectivamente. A participação percentual dos sistemas de plantio é apresentada na Fig. 2. O arroz irrigado e arroz de sequeiro representam 63 % e 36 %, respectivamente, da produção nacional.



Fig. 1. Áreas de produção de arroz no Brasil.

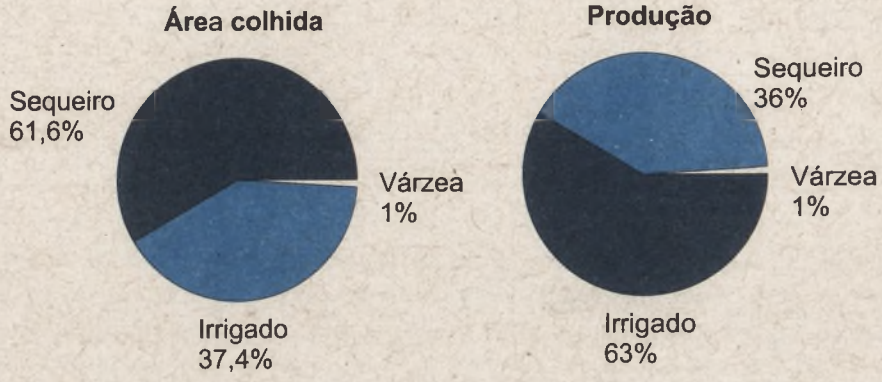


Fig. 2. Participação percentual dos sistemas de plantio de arroz, Brasil, 2004.
Fonte: IBGE (2004).

A revolução verde, nas décadas de 60 e 70, proporcionou um aumento expressivo na produção mundial de arroz por meio de uso intensivo de adubos solúveis e agrotóxicos, cultivares geneticamente melhoradas, além do elevado grau de mecanização, investimento de capital e uso de energia. Porém, a aplicação desenfreada dessas tecnologias tem resultado em alguns problemas como a compactação, erosão e perda da fertilidade dos solos, erosão da biodiversidade, intoxicações crônicas e agudas dos trabalhadores rurais, contaminação dos solos e das águas por nitratos e agrotóxicos, aparecimento de pragas e doenças resistentes aos agrotóxicos e de novas pragas e doenças. Embora, na última década, as questões relacionadas com causas e efeitos das mudanças climáticas na produção agrícola venham recebendo maior destaque, as informações relacionando essas mudanças com o sistema produtivo da cultura do arroz ainda são limitadas.

Peng et al. (2004), ao analisarem os dados climáticos nos campos experimentais de *International Rice Research Institute* (IRRI), durante o período de 1979 a 2003, com o objetivo de verificar as tendências da mudança na temperatura do ar, concluíram que as médias anuais das temperaturas máxima e mínima têm aumentado em 0,35 °C e 1,13 °C, respectivamente. A produtividade nas áreas experimentais, do período de 1992 a 2003, foi relacionada às médias da temperatura mínima registradas durante os meses de janeiro e abril, verificando-se uma redução de 10 % para cada 1 °C de aumento de temperatura mínima, sendo os efeitos de temperaturas máximas insignificantes. O decréscimo na produtividade nos campos experimentais foi atribuído ao aumento das temperaturas noturnas, conseqüência do aquecimento global.

As médias da temperatura da superfície do globo aumentaram em 0,5 °C no século XX, e projeta-se um aumento de 1,5 °C a 4,5 °C para este

século (IPCC, 1995). No século passado, as temperaturas diárias noturnas elevaram-se a uma taxa maior do que as temperaturas máximas (EASTERLING et al., 1997).

Já são bem conhecidos os efeitos das temperaturas extremas na fisiologia e na produtividade do arroz (DE DATTA, 1981; HORIE et al., 2000), mas as conseqüências de pequenos aumentos nas temperaturas associados ao aquecimento global ainda não foram estudadas. Os mecanismos que contribuem para a redução na produtividade incluem efeito diferencial de temperaturas noturnas e diurnas no perfilhamento, na área foliar, no alongamento dos colmos, no enchimento dos grãos e no desenvolvimento fenológico durante o crescimento da cultura. Os modelos de previsão de produção existentes necessitam de ajustes para efeitos diferenciais de temperaturas noturnas e diurnas sobre a respiração e as características morfológicas da planta (BOUMAN et al., 2001).

O aumento da produtividade depende do acréscimo da biomassa total de cultura e geralmente é afetada pela incidência de doenças. A biomassa total é determinada, principalmente, pela fotossíntese e respiração, processos afetados pelas temperaturas (YOSHIDA, 1981) e pela incidência de doenças, especialmente, a brusone.

O impacto potencial sobre as doenças de plantas de importância econômica foi extensivamente revisado por Coakley et al. (1999), Chakraborty et al. (1998) e Ghini (2005). As mudanças climáticas podem influenciar as taxas de multiplicação da população do patógeno e a suscetibilidade do hospedeiro, a distribuição geográfica de doenças e a interação hospedeiro-patógeno. A severidade das doenças causadas tanto por agentes biotróficos, como necrotróficos, pode aumentar ou diminuir com o aumento dos níveis de CO_2 na atmosfera. A elevação da concentração de ozônio aumentou 25 bactérias e fungos, reduziu 14 e não afetou 10 dos 49 patógenos estudados. A radiação UV-B predispõe as plantas à infecção por meio de alterações na fisiologia e morfologia da planta, além de modificar a composição de microrganismos do filoplano.

Até hoje, foram relatadas na literatura, mais de 80 doenças do arroz em diferentes países, causadas por fungos, bactérias, vírus e nematóides. No Brasil, o número exato de doenças do arroz ainda não está bem definido, devido, principalmente, àquelas que ocorrem em menor escala e ainda não tiveram sua ocorrência relatada. Um exemplo típico é o mal-do-pé, relatada no Brasil em 2000 (PRABHU; FILIPPI, 2000), encontrada na maior parte do território brasileiro, embora ainda não atinja níveis alarmantes. Doenças mais destrutivas, como o tungro, causada por vírus, ou a bacteriose do arroz,

que ocorrem em outros países, ainda não foram constatadas no Brasil, provavelmente por causa da ausência do vetor de transmissão ou do próprio vírus, como também da ausência de condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento dessas doenças. As doenças do arroz não estão distribuídas uniformemente em todas as regiões produtoras do Brasil, porque as condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento de cada uma delas são diferentes. As mais importantes para a cultura do arroz são, tanto nas condições tropicais como subtropicais, a brusone, a escaldadura e as manchas-nos-grãos, além da queima-da-bainha que é restrita ao arroz irrigado.

Brusone

A brusone é causada por *Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc (= *P. oryzae* Cavara). O estádio sexual é denominado *Magnaporthe oryzae* (T.T. Hebert) Yaegashi & Udagawa, e até hoje não há relatos da ocorrência desse estádio nas condições naturais em lavouras de arroz. A brusone ocorre em todo o território brasileiro, do Rio Grande do Sul ao Amazonas. Essa constitui uma das principais doenças da cultura, provocando perdas significativas na produtividade das cultivares suscetíveis, quando as condições ambientais são favoráveis. No Rio Grande do Sul, a doença causa danos menores à produtividade de arroz irrigado (RIBEIRO, 1984) quando comparados aos danos que ocorrem no Estado do Tocantins, local em que as condições climáticas são favoráveis para a sua incidência e severidade.

Os danos causados pela brusone nas folhas são considerados indiretos, porque afetam a fotossíntese e a respiração (BASTIAANS et al., 1994), enquanto as perdas causadas pela brusone nas panículas são consideradas danos diretos, devido aos efeitos da doença nos componentes de produtividade. A fase vegetativa da planta, entre os 30 e os 50 dias após a emergência, corresponde à fase de maior suscetibilidade das folhas à brusone. Já na fase de emissão e enchimento de grãos, o período entre as fases de grãos leitosos e pastosos (10 a 20 dias após a emissão das panículas) é considerado a fase de maior suscetibilidade das panículas à brusone.

Quando a brusone é parcialmente controlada com fungicidas, os danos em cultivares de terras altas variam de 15 % a 44 % (PRABHU et al., 1986). Em um outro estudo, Prabhu et al. (2003) demonstraram que a brusone nas folhas reduziu a biomassa das cultivares de terras altas, Bonança, Canastra, Caiapó e Primavera, em 28,6 %, e que a brusone nas panículas resultou em 43,9 % de espiguetas vazias. Em 2003, os mesmos autores demonstraram que a brusone nas panículas, das cultivares IAC 202 e Caiapó, reduziu a

produtividade em 44,8 % e 27,4 %, respectivamente. Os prejuízos na massa dos grãos por panícula foram de 72 % e 31 %, para as cultivares Primavera e Bonança, respectivamente (ARAÚJO et al., 2004).

Fatores que favorecem a incidência e severidade

As principais fontes de inóculo são as sementes infectadas e os restos culturais. Os esporos, trazidos pelo vento, produzidos nas lavouras vizinhas ou distantes, constituem-se nas fontes mais importantes de inóculo primário. As mudanças nas temperaturas deverão afetar a sobrevivência e a disseminação do fungo.

Todas as fases do ciclo da doença, desde a germinação dos esporos até o desenvolvimento de lesões, são influenciadas em grande parte pelos fatores climáticos. A deposição de orvalho ou de gotas de chuvas nas folhas é essencial para a germinação dos conídios e o início da infecção. O aumento do período de molhamento foliar (contato com a água), de 12 para 15 horas, resulta em 30 % de aumento na infecção (KATO, 1974), sendo esse período de contato com a água também influenciado pela temperatura do ar (OU, 1985).

A temperatura ideal para o rápido desenvolvimento da brusone varia entre 20 °C e 25 °C. É necessário que haja um período mínimo de seis a oito horas de orvalho, a 25 °C, para que se tenha o início de uma infecção (KATO, 1974). Kahn e Libby (1958) demonstraram que a infecção ocorre entre o intervalo de 15 °C e 35 °C nas plântulas expostas ao orvalho, durante 16 a 20 horas, em câmara úmida, e a variação da temperatura ideal situa-se entre 25 °C e 27 °C. Outro fator importante é a temperatura noturna, pois não ocorre infecção quando as temperaturas noturnas forem superiores a 20 °C. Um outro fator que depende da temperatura noturna é o conteúdo de nitrogênio no tecido foliar, o qual diminui com aumento da temperatura noturna, resultando num certo grau de resistência à incidência de brusone (SADASIVAN et al., 1965).

O período latente pode variar entre 13 e 18 dias, quando a temperatura desse período estiver entre 9 °C e 11 °C, e entre quatro e seis dias quando a temperatura desse período estiver entre 26 °C e 28 °C (TENG et al., 1991). Bonman et al. (1988) demonstraram que o tamanho da lesão também é afetado pela temperatura, e a oscilação entre 20 °C e 30 °C promove um rápido desenvolvimento das lesões.

A esporulação aumenta quando a umidade relativa do ar é superior a 93 %, e não ocorre abaixo de 89 %, e a temperatura ideal do ar varia entre 25 °C e 28 °C. A alta taxa de produção de esporos ocorre entre o terceiro e o oitavo dia após o aparecimento da lesão e estende-se por mais de 20 dias

(KIM, 1994). As lesões mantêm sua capacidade de esporulação por períodos mais prolongados quando a temperatura varia entre 16 °C e 24 °C, do que com temperatura constante de 28 °C. A produção de esporos e a liberação atingem o máximo entre meia-noite e seis horas da manhã (WEBSTER; GUNELL, 1992).

As chuvas lavam os esporos das plantas, reduzindo a quantidade de inóculo, e, em dias chuvosos, a disseminação de esporos é menor. Precipitações com intensidade superior a 3,5 mm/h são importantes na redução da doença (KIM, 1994). Também a ocorrência de chuva durante o enchimento dos grãos reduz a severidade da brusone nas panículas. (PRABHU; MORAIS, 1986).

A incidência da brusone em arroz de terras altas, em anos chuvosos, tem sido menor que em anos com deficiência hídrica. Na região Centro-Oeste do Brasil, a severidade da brusone é considerada alta, provavelmente porque é favorecida por oscilações da temperatura entre o dia e a noite, resultando em períodos prolongados de orvalho (PRABHU; MORAIS, 1986). Também em arroz irrigado, nos locais sem lâmina de água em conseqüência da irregularidade do terreno, há uma maior deposição de orvalho, pois nesse local a área permanece como não-inundada, constituindo-se em um foco de inóculo para a disseminação do fungo para o restante da lavoura. O vento transporta o inóculo por longas distâncias, reduz o período de orvalho e a deposição de esporos. Em dias nublados, sob chuva fina, umidade relativa de 100 % e pouca luminosidade, há aumento da esporulação do fungo (KINGSOLVER et al., 1984).

A água de irrigação, com temperatura abaixo de 20 °C, aumenta a suscetibilidade das folhas à infecção, e a temperatura do solo entre 18 °C e 24 °C aumenta a suscetibilidade das panículas à brusone (KOZAKA, 1965). Os conídios não sobrevivem em água de irrigação por mais de 24 horas (ANDERSON et al., 1947).

A baixa umidade do solo aumenta a suscetibilidade do arroz à brusone por causa da menor absorção de ácido sílico e do aumento do teor de nitrogênio solúvel no interior dos tecidos da planta. Por outro lado, a incidência da brusone nas folhas intensifica os efeitos causados pela deficiência hídrica, resultando em morte rápida das folhas lesionadas das cultivares suscetíveis. Cultivares moderadamente resistentes à brusone são menos afetadas pela deficiência hídrica. Em arroz de terras altas, a suscetibilidade das plantas à brusone nas panículas aumenta sob condições de estresse hídrico devido ao acúmulo de nutrientes nas ramificações das panículas, o que explica parcialmente a maior severidade da brusone em

arroz de terras altas que em arroz irrigado (PRABHU; MORAIS, 1986). Em plantas com sintomas de estresse hídrico, as lesões produzem três vezes mais conídios que em plantas não sujeitas ao mesmo estresse (GILL; BONMAN, 1988). Os desequilíbrios nutricionais também podem ser causados por mudanças na temperatura, resultando em aumento ou diminuição na taxa de infecção da brusone.

Os estudos realizados no Brasil, com brusone nas folhas em condições de terras altas, mostraram que temperaturas de 30 °C durante o dia e períodos prolongados de orvalho proporcionaram maiores taxas de infecção (PRABHU et al., 1986). Em condições de terras altas, entre 110 e 117 dias após o plantio, a severidade da brusone nas panículas da cv. IAC 47 apresentou correlação significativa ($r = 0,73$; $P = 0,05$) com a temperatura mínima (PRABHU, 1989).

Impacto das mudanças climáticas sobre a doença

Uma análise de risco, associando ocorrência de brusone com mudança nas temperaturas e na precipitação, foi realizada por cinco países asiáticos. Nesse estudo, foram utilizados dados históricos de cinco anos, coletados em 53 locais, e um modelo combinado de CERES-Rice e BLASTSIM (LUO et al., 1995 e 1998). Os resultados desse estudo indicaram que as mudanças previstas no volume de precipitação não afetaram significativamente a incidência da brusone. Por outro lado, as mudanças nas temperaturas mostraram efeitos diferentes quanto aos danos causados devido à brusone, em diferentes países e zonas agroecológicas. Na maioria dos 53 locais, o modelo previu que as mudanças de temperaturas aumentaram o desenvolvimento da brusone e os danos na produtividade. Em zonas subtropicais, como o Japão e o norte da China, os aumentos nas temperaturas elevaram os riscos da doença. Da mesma forma, as mudanças globais, em relação às temperaturas baixas, podem também provocar epidemias da brusone na maioria das regiões localizadas na Coréia, China e países tropicais, como Filipinas e Tailândia.

O efeito da mudança da temperatura é muito mais complicado do que as conclusões apresentadas por Luo et al. (1998), pois nesse trabalho somente os danos nas folhas, causados pela brusone, foram incorporados ao modelo. As conclusões quanto aos danos causados por brusone nas folhas foram baseadas em condições altamente favoráveis à brusone e ao crescimento de arroz. Não foram considerados os danos causados por brusone nas panículas. O efeito da brusone nas panículas, quando comparado com o efeito da brusone nas folhas, é muito maior, além de afetar a produção de forma

direta, em todas as partes do mundo, principalmente nas condições tropicais brasileiras. Os danos na produtividade de arroz irrigado, devidos à ocorrência da brusone, dependem da quantidade de nitrogênio utilizada e da manutenção da lâmina de água, fatores que também estarão sujeitos a mudanças caso haja alterações climáticas.

A radiação UV-B reduz a tolerância da planta à brusone, e estudos recentes mostraram que os elevados níveis dessa radiação não aumentaram a severidade da brusone, mas reduziram a biomassa e a área foliar (FINCKH et al., 1995). O aumento de brusone, verificado desde 1970, na China foi atribuído ao aumento das temperaturas médias e mínimas (YANG et al, 1998).

As médias das temperaturas máximas e mínimas, no período de 30 anos, em Cuiabá, Goiânia e Brasília, onde a incidência da brusone é desprezível, moderada e alta, respectivamente, são apresentadas nas Fig. 3 A e 3 B. A maioria das lavouras, no período entre janeiro e abril, encontra-se

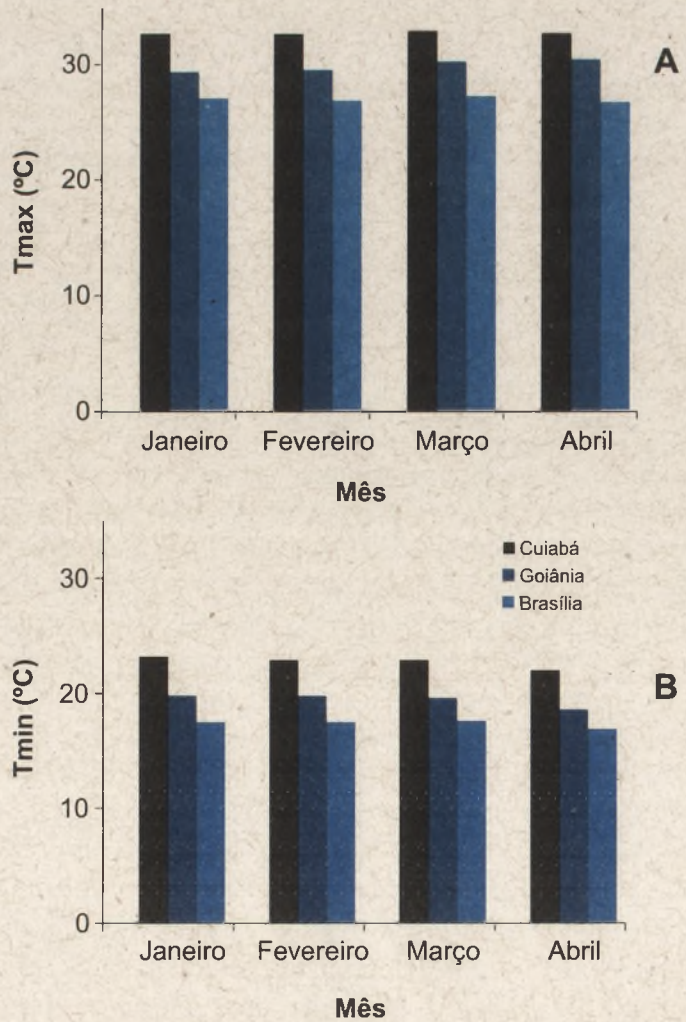


Fig. 3. Temperaturas médias máximas (A) e mínimas (B) nos meses de janeiro a abril (média de 30 anos, referente à normal climatológica de 1961 a 1990) em três locais, onde o arroz é cultivado em terras altas.

nos estádios de emissão das panículas e maturação e, portanto, sujeita à infecção. Pode-se verificar que as temperaturas máximas e mínimas em ordem decrescente, em todos os meses, favorecem a alta severidade da brusone nas panículas. Podem-se atribuir os elevados níveis de brusone em Brasília, nos meses de janeiro a abril, às menores temperaturas máximas (26,6 °C a 27,1 °C) e mínimas (16,8 °C a 17,5 °C), quando comparadas com Cuiabá, onde as condições de temperaturas máximas (32,6 °C a 32,9 °C) e mínimas (22,0 °C a 23,2 °C) são desfavoráveis. Em Goiânia, onde a incidência e severidade da brusone são menores que em Brasília, as temperaturas máximas variaram de 29,2 °C a 30,3 °C e mínimas de 18,5 °C a 19,7 °C. Não houve diferenças marcantes quanto à precipitação entre os três locais analisados.

Considerando-se esse prognóstico, pode-se prever para os próximos 75 anos que, na região Centro-Oeste do Brasil, até o ano de 2080, a severidade da brusone será menor por causa do aumento da temperatura mínima, que apresentará índices variando entre 22 °C e 24 °C. Além disso, a temperatura máxima e a precipitação também irão aumentar, favorecendo a diminuição da severidade e incidência da brusone.

No Rio Grande do Sul, que detém a maior parte do arroz irrigado produzido no Brasil, atualmente a brusone não reduz significativamente a produtividade da cultura do arroz. Porém, com o aumento das temperaturas máximas e mínimas, a doença poderá ser um fator limitante no rendimento da cultura. É importante ressaltar que essas previsões são baseadas em tendência climática, e que estudos mais detalhados, considerando o monitoramento dos elementos climáticos e a incidência da brusone, deverão ser realizados.

Escaldadura

A escaldadura ocorre em diversas partes do mundo em que o arroz é cultivado (OU, 1985), sendo importante na região dos trópicos úmidos. No Brasil, foi primeiramente constatada no Município de Bragança (Pará), em 1983, por Albuquerque (FARIA; PRABHU, 1980). Em condições de terras altas, a doença foi registrada nos estados do Amazonas, Maranhão, Piauí, Mato Grosso e Goiás, sendo constatada também em lavouras irrigadas de Goiás, do Rio Grande do Sul e do Rio de Janeiro. A escaldadura é causada pelo fungo *Monographella albescens* (Thume) Parkinson et al. (Syn. *Metasphera albscens* Thume). A fase imperfeita foi descrita como *Microdochium oryzae* (Hashioka & Yokogi) Samuels & Hallett. Outros nomes foram descritos anteriormente, como *Rhynchosporium oryzae* Hashioka & Yokogi e *Gerlachia oryzae* (Hashioka & Yokogi) W. Gams, e são sinônimos.

Os sintomas típicos da doença iniciam-se pelas extremidades apicais das folhas ou pelas bordas das lâminas foliares, as quais coalescem, causando secamento e morte das folhas. As lavouras afetadas apresentam amarelecimento geral, com as pontas das folhas secas. Embora não existam estimativas quantitativas de perdas na produtividade, o crescimento e o desenvolvimento da planta são paralisados, e as lesões nas folhas fornecem o inóculo que causa as manchas-nos-grãos.

Fatores que favorecem a incidência e severidade

As sementes infectadas e os restos culturais constituem as principais fontes de inóculo primário. O desenvolvimento da doença é favorecido pelo molhamento das folhas pela água da chuva ou por períodos prolongados de orvalho, durante as fases de perfilhamento máximo e emborrachamento. Altas densidades de plantas agravam a severidade da escaldadura, e o aumento da adubação nitrogenada favorece o rápido desenvolvimento da doença (OU, 1985). No Cerrado, as chuvas contínuas na época de emborrachamento provocam altas incidências de doenças. As epidemias de doenças são comuns no primeiro ano de plantio após a abertura do Cerrado e nas lavouras plantadas em rotação com soja. Em arroz de várzeas, a escaldadura é endêmica, principalmente em condições tropicais, e se manifesta na época de emborrachamento.

Impacto climático na doença

Não há informação sobre o efeito de temperaturas no desenvolvimento da doença, mas possivelmente o fungo adapta-se a altas temperaturas uma vez que essa doença é endêmica nos estados do Pará e do Amazonas. As mudanças na precipitação em regiões tropicais podem aumentar a severidade da doença e os danos na produtividade.

Manchas-nos-grãos

As manchas de grãos estão associadas a mais de um patógeno fúngico ou bacteriano e podem ser consideradas como um dos principais problemas da cultura do arroz, tanto no ecossistema de várzeas, como no de terras altas. Em arroz de terras altas, a queima das glumelas é uma das principais causas das manchas de grãos e, além de depreciar a aparência dos grãos, reduz também sua qualidade, causando gessamento e quebra durante o beneficiamento.

As manchas aparecem desde o início da emissão das panículas até o seu amadurecimento. Os sintomas são muito variáveis, dependendo do patógeno predominante, do estádio fenológico da planta na época da infecção e das condições climáticas. A queima das glumelas em arroz de terras altas manifesta-se durante a emissão das panículas, com manchas de coloração marrom-avermelhada nas espiguetas, idênticas às manchas causadas por *Bipolaris oryzae*. As manchas em forma de lente, com centro esbranquiçado e borda marrom, aparecem quando a infecção com *Phoma sorghina* ocorre na fase leitosa e pastosa, após a emissão das panículas. As glumelas dos grãos infectados com *Microdochium oryzae* apresentam grande número de pontuações avermelhadas do tamanho da cabeça de um alfinete. Em arroz irrigado, é difícil identificar os patógenos envolvidos com o aparecimento de manchas de grãos apenas pelo sintoma.

Os principais patógenos causadores de manchas-nos-grãos são *Bipolaris oryzae* (Breda de Haan) Shoemaker, *Alternaria padwickii* (Ganguly) Ellis, *Pyricularia grisea* (Sacc.) Cooke, *Monographella albescens (Thumen)* Parkinson et al., *Sarocladium oryzae* (Sawada) W. Gams, *Phoma sorghina* (Sacc.) Boerema, Dorenbosch & Van Kesteren, diferentes espécies de *Drechslera*, *Curvularia*, *Nigrospora*, *Fusarium*, *Coniothyrium*, *Epicoccum*, *Pithomyces* e *Chetomium*, além das bactérias *Pseudomonas* spp. e *Erwinia* spp.

As manchas-nos-grãos podem causar perdas na massa de grãos e no número de grão por panícula, dependendo do grau de suscetibilidade da cultivar, além de depreciar a aparência e a qualidade de grãos (PRABHU; VIEIRA, 1989).

Fatores que favorecem a incidência e severidade

Chuva e alta umidade relativa do ar, durante a formação dos grãos, favorecem a ocorrência das manchas. O acamamento, por provocar o contato das panículas com o solo úmido, contribui também para aumentar a descoloração dos grãos. Elevadas temperaturas do ar, sob condições de alta umidade relativa e baixa fertilidade do solo, resultam em maiores proporções de mancha de grãos, especialmente quando causadas por *B. oryzae*, principalmente em arroz de terras altas, no Pará e Amazonas, e em todo o Brasil quando ocorre em arroz irrigado.

Uma epidemia de queima das glumelas, causada por *P. sorghina*, foi registrada no Brasil de 1979 a 1980, principalmente nos estados de Goiás, Mato Grosso de Sul, Mato Grosso e Distrito Federal. As lavouras de arroz de terras altas foram severamente afetadas, resultando em danos variáveis

entre 29 % e 45 % (PRABHU; BEDENDO, 1988). A severidade da queima das glumelas tem sido alta nas lavouras comerciais de arroz, em que a emissão das panículas coincide com períodos chuvosos. A precipitação total em fevereiro de 1980 foi alta comparada com a média dos 30 anos passados (210 mm). Durante o período de 8 a 26 de fevereiro de 1980, chuvas contínuas foram registradas em 17 dos 19 dias, totalizando 339 mm. As temperaturas mínima e máxima foram 21 °C e 27,8 °C, respectivamente. Os mesmos regimes de chuvas e temperaturas foram registrados em outros estados do Centro-Oeste do Brasil. Na maioria das cultivares plantadas, como IAC 25, IAC 162 e IAC 165, a emissão das panículas coincidiu com as chuvas no mês de fevereiro. A queima das glumelas constitui um exemplo de doença de menor importância que assumiu proporções sérias em algumas condições específicas de clima.

Impacto climático na doença

Conforme prognósticos do IPCC, o aumento de chuvas na época de emissão das panículas pode causar danos significativos, semelhantes aos ocorridos em 1980, ano de epidemia da queima de glumelas no Brasil.

O principal agente causal de manchas-nos-grãos, *B. oryzae*, tem potencial destrutivo nas condições altamente favoráveis. Em 1943, dois milhões de habitantes do Estado de Bengala Oeste, Bangladesh, morreram de fome devido à falta de arroz. A calamidade humana foi atribuída à epidemia de mancha-parda, causada por *B. oryzae*, em 1942. As condições de temperaturas do ano da epidemia foram comparadas com os anos de 1941, 1943 e 1944 em Bangladesh. Em 1942, a temperatura máxima variou entre 25 °C e 32,2 °C e não diferiu entre os anos, porém temperaturas mínimas de 16,7 °C a 20 °C, nos anos normais, aumentaram para 19,4 °C e 21,4 °C no ano da epidemia (1942), sendo a severidade desta relacionada ao aumento nas temperaturas mínimas, na alta precipitação e nebulosidade (PADMANABHAN, 1973). Diante disso, prevê-se que essa doença poderá em breve ocorrer com mais freqüência e intensidade no Sul do Brasil, porque essa variação climática está dentro dos prognósticos, principalmente, nas regiões subtropicais, onde se encontra concentrada a maior parte da produção de arroz brasileira.

Queima-da-bainha

A queima-da-bainha e a mancha-da-bainha do arroz, cujos agentes causais são os fungos *Rhizoctonia solani* Kuhn [*Thanatephorus cucumeris* (Frank)

Donk.] e *Rhizoctonia oryzae* Ryker & Gooch (*Waitea circinata* Warcup & Talbot.), respectivamente, são componentes importantes do complexo de doenças fúngicas do colmo e da bainha em arroz irrigado que ocorrem em diferentes países, tanto em climas temperados, como tropicais (WEBSTER; GUNELL, 1992).

No Brasil, a ocorrência da queima-da-bainha foi assinalada em lavouras de arroz de alguns municípios dos estados de São Paulo, Rio Grande do Sul, Amazonas e Tocantins. Atualmente, a queima-da-bainha ocorre em todas as lavouras, em maior ou menor grau de severidade, de arroz irrigado no Estado do Tocantins, onde, aproximadamente, 50.000 ha de arroz são plantados em rotação com soja.

A queima-da-bainha, causada por *R. solani*, ocorre geralmente nas bainhas e nos colmos, e é caracterizada por manchas ovaladas, elípticas ou arredondadas, de coloração branco-acinzentada e bordas marrons bem definidas. Em casos severos, observam-se manchas semelhantes nas folhas, porém com aspecto irregular. A incidência da queima-da-bainha causa seca parcial ou total das folhas. A infecção severa da queima-da-bainha provoca acamamento da planta.

Fatores que favorecem a incidência e severidade

O patógeno, que sobrevive no solo na forma de escleródios e/ou de micélio em restos culturais, constitui o inóculo primário. O patógeno também infecta diversas gramíneas comuns, como plantas daninhas nas lavouras de arroz irrigado e diversas leguminosas, inclusive a soja.

O fungo é disseminado rapidamente pela água de irrigação e pelo movimento do solo durante a aração. Os escleródios sobrevivem até dois anos e aumentam no solo com o tempo, flutuam na água e se acumulam ao redor da planta de arroz, causando infecção inicial nos colmos, no nível da água. A doença propaga-se por meio da infecção por hifas para as partes superiores, incluindo as folhas e as plantas adjacentes, especialmente sob condições de baixa luminosidade, umidade em torno de 95 % e altas temperaturas, de 28 °C a 32 °C. A doença desenvolve-se com rapidez durante a emissão das panículas e a formação dos grãos.

Impacto climático na doença

Com o prognóstico de aumento de temperaturas mínimas e máximas na região Sul do Brasil, a queima-da-bainha pode se tornar uma doença de

grande importância, juntamente com a brusone. O aumento da precipitação ainda pode contribuir para possíveis epidemias.

Considerações finais

As mudanças climáticas constituem-se em um problema global, apresentando impactos em todos os países. As doenças de plantas, embora afetem toda a vegetação na superfície da Terra, causam danos significativos em determinadas regiões. É interessante analisar as alterações no clima e as doenças que ocorreram nas últimas duas décadas, para adoção de estratégias urgentes a fim de reduzir o impacto no futuro. As pesquisas epidemiológicas, voltadas para identificar fatores climáticos que influenciam a severidade de doenças, devem receber maior atenção do que nos anos anteriores. Diante disso, sugere-se que um monitoramento seja realizado para verificar as interações entre elementos climáticos e a incidência de diferentes doenças nas regiões Sul, Centro-Oeste e Norte do Brasil, considerando-se os sistemas de arroz irrigado e de terras altas. O aumento de temperaturas, possivelmente, vai causar efeitos ao longo do tempo, devido às dificuldades de adaptação de novos sistemas de cultivo. As mudanças no padrão de cultivo diretamente influenciam as doenças e reduzem a produtividade. Um exemplo de um sistema inovador e que vem sofrendo adaptações é a integração lavoura-pecuária, utilizando o arroz como um dos componentes que pode reduzir algumas doenças, porém aumentar outras com o tempo.

Referências

ANDERSON, A. L.; HENRY, B. W.; TULLIS, E. C. Factors affecting infectivity, spread and persistence of *Pyricularia oryzae*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 37, p. 94-110, 1947.

ARAÚJO, L. G.; PRABHU, A. S.; OLIVEIRA, C. F.; BERNI, R. F. Efeito da brusone nas panículas nos componente de produtividade das cultivares de arroz Primavera e Bonança. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 30, n. 2, p. 265-270, 2004.

BASTIAANS, L.; RABBINGE, R.; ZADOKS, J. C. Understanding and modelling leaf blast effects on crop physiology and yield. In: ZEIGLER, R. S.; LEONG, S.A.; TENG, P. S. (Ed.). **Rice blast disease**. Wallingford: CAB International, 1994. p. 357-380.

BONMAN, J. M.; SANCHEZ, L. M.; MACKILL, A. O. Effects of water deficit on rice blast. II. Disease development in the field. **Journal of Plant Protection in the Tropics**, Tumbuhan, v. 5, p. 67-73, 1988.

BOUMAN, B. A. M.; KROPFF, M. J.; TUONG, T. P.; WOPEREIS, M. C. S., TEN BERGE, H. F. M.; LAAR, H. H. van. **ORYZA2000**: modeling lowland rice. Los Banos, Philippines: International Rice Research Institute, 2001.

CHAKRABORTY, S.; MURRAY, G. M.; MAGERAY, P. A .; YONOW, T.; O'BRIEN, R. G. O.; CROFT, B. J.; BARBETTI, M. J.; SIVASITHAMPARAM, K.; OLD, K. M.; DUDZINSKI, M. J.; SUTHERST, R. W.; PENROSE, L. J.; ARCHER, C.; EMMET, R. W. Potential impact of climate change on plant diseases of economic significance to Australia. **Australian Plant Pathology**, Coolingwood, v. 27, p. 15-35, 1998.

COAKLEY, S. M.; SCHERM, H.; CHAKRABORTY, S. Climate change and plant disease management. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 37, p. 399-426, 1999.

DE DATTA, S. K. **Principles and oractices of rice production**. New York: Wiley, 1981.

EASTERLING, D. R.; HORTON, B.; JONES, P. D.; PETERSON, T. C.; KARL, T. R.; PARKER, D. E.; SALINGER, M. J.; RAZUVAYEV, V.; PLUMMER, N.; JAMASON, P. Maximum and minimum temperature trends for the globe". **Science**, Washington, v. 277, p. 364-367, 1997.

FARIA, J. C.; PRABHU, A. S. A screening technique to evaluate resistance of rice to Rhynchosporium oryzae. **Plant Disease**, St. Paul, v. 64, p. 845-846, 1980.

FINCKH, M. R.; CHAVEZ, A . Q.; DAÍ, Q.; TENG, P. S. Effects of enhanced UV-B radiation on growth of rice and its susceptibility to rice blast under greenhouse conditions. **Agriculture Ecosystem and Environment**, Amsterdam, v. 52, p. 223-233, 1995.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

GILL, M. A.; BONMAN, J. M. Effects of water deficit on rice blast. I. Influence of water deficit on components of resistance. **Journal of Plant Protection in the Tropics**, Tumbuhan, v. 5, p. 61-66, 1988.

HORIE, T.; BAKER, J. T.; NAKAGAWA, H.; MATSUI, T.; KIM, H. Y. Crop ecosystem responses to climatic change : rice. In: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. (Ed.). **Climate change and global crop productivity**. Wallingford: CAB International, 2000. p. 81-106.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2004. 125 p. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5bmensal%5d/Fasciculo> Acesso em: 1 mar. 2005

IPCC **Climate change 1995**: the science of climate change. Cambrige: Cambrige University Press, 1995.

KAHN, R. P.; LIBBY, J. L. The effect of environmental factors and plant age on the infection of rice by the blast fungus, Pyricularia oryzae. **Phytopathology**, St. Paul, v. 48, p. 25-30, 1958.

KATO, H. Epidemiology of rice blast disease. **Review of Plant Protection**, Tokyo, v. 7, p. 1-20, 1974.

KIM, C. K. Blast management in high input, high yield potential, temperate rice ecosystems. In: ZEIGLER, R. S.; LEONG, S. A.; TENG, P. S. (Ed.). **Rice blast disease**. Wallingford: CAB International, 1994. p. 451-464.

KINGSOLVER, C. H.; BARKSDALE, T. H.; MARCHETTI, M. A. **Rice blast epidemiology**. Pennsylvania: Pennsylvania State University, 1984. 33 p. (Bulletin, 853).

KOZAKA, T. Control of rice blast by cultivation practices in Japan. In: **The rice blast disease**. Baltimore: John Hopkins, 1965. p. 421-428.

LUO, Y.; TENG, P. S.; FABELLAR, N. G.; TEBEEST, D. O. Risk analysis of yield losses caused by rice leaf blast associated with temperature changes above and below for five Asian countries. **Agriculture Ecosystem and Environment**, Amsterdam, v. 68, p. 197-205, 1998.

LUO, Y.; TEBEEST, D. O.; TENG, P. S., FABELLAR, N. G. Simulation studies on risk analysis of rice leaf blast epidemics associated with global climate change in several Asian countries. **Journal of Biogeograghy**, Oxford, v. 22, p. 673-678, 1995.

OU, S. H. **Rice Disease**. 2. ed. Kew: Commonwealth Mycological Institute, 1985.

PADMANABHAN, S. Y. The great Bengal famine. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, p. 11-26, 1973.

PENG, S.; HUANG, J.; SHEEHY, J. E.; LAZA, R. C.; VISPERAS, R. M.; ZHONG, X.; CENTENO, G. S.; KHUSH, G. S.; CASSMAN, K. G. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. **PNAS**, Washington, v. 101, n. 27, p. 9971-9975, 2004.

PRABHU, A. S. Severidade da brusone nas panículas em relação a época de plantio de arroz de sequeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 2, p. 140, 1989. Edição de resumos do XXII Congresso Brasileiro de Fitopatologia, Recife, 1989.

PRABHU, A . S.; ARAÚJO, L. G.; FAUSTINA, C.; BERNI, R. F. Estimativas de danos causados pela brusone na produtividade de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1045-1051, 2003.

PRABHU, A. S.; BEDENDO, I. P. Glume blight of rice in Brazil: etiology, varietal reaction and loss estimates. **Tropical Pest Management**, London, v. 34, p. 85-88, 1988.

PRABHU, A. S.; FILIPPI, M. C. Ocorrência do Mal-do-pé causado por *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis*, uma nova enfermidade em arroz no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 27,n. 4, p. 417-419, 2000.

PRABHU, A. S.; MORAIS, O. P. Blast disease management in upland rice in Brazil. In: INTERNATIONAL UPLAND RICE CONFERENCE, 2., 1985, Jakarta, Indonesia. **Proceedings**: progress in upland rice research. Manila: IRRI, 1986. p. 382-394.

PRABHU, A. S.; STEINMETZ, S.; ZIMMERMANN, F. J. P. Identificação de fatores climaticos favoraveis as infecções de brusone nas folhas de arroz em condições de arroz de sequeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 11, p. 324, 1986. Edição de resumos do XX Congresso Brasileiro de Fitopatologia, Brasília, 1986.

PRABHU, A. S.; VIEIRA, N. R. de A. **Sementes de arroz infectadas por Dreschlera oryzae: germinação, transmissão e controle**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1989. 39 p. (EMBRAPA-CNPAF. Boletim de Pesquisa, 7).

RIBEIRO, A. S. **Doenças de arroz irrigado**. 2. ed. Pelotas: EMBRAPA-UEPAE Pelotas, 1984. 56p. (EMBRAPA-UEPAE Pelotas. Circular Técnica, 19).

SADASIVAN, T. S.;SURYANARAYAN, S.; RAMAKRISHNAN, S. Influence of temperature on rice blast disease In: THE RICE blast disease. Baltimore: John Hopkins, 1965. p. 163-171.

TENG, P. S.; KLEIN-GEBBINCK, H.; PINNSCHMIDT, H. An analysis of the blast pathosystem to guide modeling and forecasting. In: RICE blast modeling and forecasting. Los Baños, Philippines: IRRI, 1991. p. 1-30.

WEBSTER, R. K.; GUNELL, P. S. **Compendium of rice disease**. Minnesota: APS Press, 1992. 62 p.

YANG, X. B.; SUN, P.; HU, B.H. Decadal changes of plant diseases as affected by climate in Chinese agroecosystems. In: INTERNATIONAL PLANT CONGRESS OF PLANT PATHOLOGY, 7., Edinburgh, 1998. **Proceedings...** Birmingham: BSPP, 1998. v.3, p. 4.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Banos, Philippines:IRRI, 1981.

Capítulo 8

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças de cereais de inverno no Sul do Brasil

Erlei Melo Reis
Ricardo Trezzi Casa
Sandra Maria Zoldan

Introdução

Os cereais de inverno ocupam lugar de destaque entre as espécies vegetais cultivadas na economia do agronegócio do Sul do Brasil. Na safra de 2005, o trigo foi cultivado numa área de 2,756 milhões de ha, com rendimento médio de grãos de 2,1 t/ha, e uma produção de 5,845 milhões de toneladas (CONAB, 2005). O consumo nacional de trigo atinge 10,5 milhões de toneladas. A cevada ocupou uma área cultivada de 140 mil ha e teve rendimento médio de grãos de 2,76 t/ha e produção de 386,7 mil toneladas. A aveia branca teve uma área cultivada de 326,2 mil ha, rendimento de grãos de 1,32 t/ha e produção de 433,3 mil toneladas (CONAB, 2005).

O cultivo de cereais de inverno está concentrado nos estados do Sul do Brasil. Porém, em algumas regiões do Sudeste e Centro-Oeste, os cereais são cultivados sob irrigação nos meses de inverno. As principais limitações encontradas na produção de cereais de inverno no Brasil devem-se à ocorrência e à severidade de doenças, que estão relacionadas a adversidades climáticas durante a safra. São muitas as doenças que ocorrem nessas culturas, merecendo destaque as causadas por fungos e vírus.

Na região Sul do País (sul do paralelo 24°S), a variabilidade inter e intra-anual das condições climáticas é muito pronunciada, principalmente em relação à precipitação e à temperatura. Essa região caracteriza-se pelo excesso hídrico durante o período de desenvolvimento dos cultivos de inverno. As chuvas freqüentes durante o espigamento, aliadas a temperaturas altas, contribuindo para o ataque severo de doenças, constituem-se na principal causa da instabilidade das safras. Fazendo-se um exercício no qual admitem-se alterações climáticas futuras quanto à elevação da temperatura média e da redução da precipitação média, pode-se antever que as doenças dos cereais de inverno terão sua freqüência e intensidade alteradas, o que poderá contribuir para a sustentabilidade da atividade agrícola. Como citado por Chakraborty et al. (1998), há uma projeção de aumento da temperatura na Austrália para o ano 2100, de 1 °C a 3 °C, e em outros locais poderá atingir aumentos de 1,5 °C a 4,5 °C. Isso deverá ter um impacto ainda mais negativo sobre o desenvolvimento das doenças de cereais de inverno.

Para melhor entendimento da presente discussão, apresentam-se dados do Brasil, quanto aos requerimentos hídricos da cultura do trigo. Trabalho realizado no Rio Grande do Sul demonstrou que o requerimento hídrico do trigo é de 320 mm durante o seu ciclo (WESTPHALEN, 1982). A precipitação normal, em Passo Fundo, RS, 28°15'S e 52°24'W e 684 m de altitude, no período de desenvolvimento dos cereais de inverno (junho a

novembro), é de 920 mm, o que comprova o excesso de umidade. A temperatura média nesse período é de 16,4 °C.

A umidade excessiva e as temperaturas médias acima de 15 °C, nos meses de outubro e novembro, satisfazem as condições requeridas ao desenvolvimento das principais doenças parasitárias dos cereais. As projeções no cenário A2 (ano 2020) são de aumento da temperatura atual nos meses mais críticos do cultivo dos cereais de inverno, estádios fenológicos de espigamento (setembro e outubro), podendo agravar-se para os outros cenários.

As doenças dos cereais de inverno acarretam um grande impacto negativo na produção. Na Tabela 1 estão descritos danos no rendimento de grãos causados por algumas doenças em cereais de inverno. Esses danos poderão ser menores em função das alterações climáticas previstas para o futuro.

O enfoque da presente discussão considera um cenário com aumento na temperatura e redução da precipitação média (mm/dia) no Sul do Brasil (cenário A2 - 2020), como conseqüência das alterações climáticas discutidas por Ghini (2005). Portanto, os impactos serão analisados relativos às

Tabela 1. Danos causados por doenças em cereais de inverno.

Nome comum da doença	Redução no rendimento de grãos	Referências
Podridão-comum-de-raízes	até 20 %	Diehl et al., 1983
Mal-do-pé-do-trigo[1]	> 50 %	Reis et al., 1983
Oídio-do-trigo	até 79 %	Casa et al., 2002
Oídio-da-cevada	até 28 %	Reis et al., 2002
Ferrugem-da-folha-do-trigo	até 63 %	Barcellos, 1982
Ferrugem-da-folha-da-aveia	até 62 %	Martinelli et al., 1994
Giberela	até 23 %	Panisson et al., 2003
Brusone	até 50 %	Goulart et al., 1992
Mancha-em-rede-da-cevada	até 40 %	Mathre, 1997
Mancha-marrom-da-cevada	até 25 %	Reis et al., 2002
Mancha-amarela-do-trigo	até 48 %	Rees e Platz, 1983
Helmintosporiose-do-trigo	até 80 %	Mehta, 1993
Septoriose do trigo	até 38 %	Casa et al., 2001
VNAC em trigo	até 28 %	Silva, 1998

[1] Quando associado à podridão-comum-de-raízes.

mudanças no aumento da temperatura e diminuição das horas diárias de molhamento foliar em função da precipitação. A menor freqüência de dias com chuva determina uma menor duração (horas) do período diário de molhamento foliar. A interação da duração diária do molhamento foliar com a temperatura média nesse período desempenha papel chave no desenvolvimento de doenças causadas por fungos.

Deve-se elucidar, nesta discussão, que todos os seres vivos respondem a estímulos que são sinais do ambiente. Para os fitopatógenos de cereais de inverno, principalmente os fungos, os principais estímulos são a duração do molhamento foliar diário, a umidade relativa do ar e a temperatura. A resposta à presença do estímulo água líquida, para os esporos depositados nos sítios de infecção, é obrigatória e irreversível, determinando o início do processo de germinação. Portanto, o processo infeccioso é governado pela interação entre a duração do molhamento foliar e a temperatura média nesse período, denominado de período crítico (ZADOKS; SCHEIN, 1979; REIS, 2004). Por isso, as alterações climáticas previstas deverão ter conseqüências diretas na intensidade das doenças de cereais de inverno e, conseqüentemente, nos danos que causam aos cultivos. Qualquer aumento na temperatura média e na duração do período de molhamento foliar corresponde a uma alteração na severidade das doenças. Entretanto, pelo cenário previsto, poderá ocorrer um efeito imediato no encurtamento do ciclo de vida dos fitopatógenos e na diminuição da severidade das várias doenças.

Isso deverá ter efeito direto na redução da intensidade e dos danos das doenças de cereais de inverno. Também poderá diminuir o custo de produção pela menor necessidade de aplicações de fungicidas que, atualmente, tem o custo de U$ 30.00 por ha (PICININI et al., 1996).

A velocidade do processo infeccioso é função da temperatura, havendo um requerimento térmico mínimo, um ótimo e um máximo. Os extremos, muito baixos ou muito altos, reduzem o número de gerações no ciclo de vida dos fungos, porém, na faixa ótima, o ciclo completa-se no menor número de dias ou horas, o que determina uma maior quantidade de esporos produzidos, maior número de ciclos secundários, maior severidade e maiores danos. Se os aumentos previstos de temperatura aproximarem-se dos pontos ótimos, poderá haver um aumento na intensidade das doenças tão somente pelo efeito isolado da temperatura (REIS, 2004).

Deve ser discutida ainda a importância da interação entre a temperatura e o número de horas de molhamento diário necessárias para que o processo infeccioso se complete. O período crítico será mais curto quando a temperatura for ótima ao crescimento do patógeno. O processo infeccioso é

bloqueado pela morte do tubo germinativo quando o molhamento cessar antes de completar-se a penetração. Grande número de esporos perde a viabilidade porque o período crítico não é satisfeito, sendo curto e, por isso, não possibilitando a complementação do processo infeccioso.

Na Tabela 2 apresentam-se dados de literatura quanto à duração do molhamento em função da temperatura, satisfazendo o período crítico. A duração do orvalho, para alguns patógenos, não satisfaz esse período.

Tabela 2. Duração do período de molhamento contínuo e temperatura média necessária para ocorrer a infecção dos principais patógenos de cereais de inverno.

Patógeno	Duração do molhamento (h)	Temperatura média (°C)	Fonte
Bipolaris sorokiniana	18	20–25	Wiese, 1977
Blumeria graminis f. sp. *tritici*	não requer molhamento	15–22	Wiese, 1977
Blumeria graminis f. sp. *hordei*	não requer molhamento	15–22	Mathre, 1997
Drechslera tritici - repentis	24	20	Hosford et al., 1990
Drechslera teres	10–30	25	Forcelini e Reis, 1997
Gaeumannomyces graminis var. *tritici*	SI[2]	12–18	Wiese, 1977
Gibberella zeae	48	25–30	Andersen, 1948
Puccinia triticina[1]	10	15–20	Roelfs et al., 1992
Puccinia graminis f. sp. *tritici*	10	15–30	Roelfs et al., 1992
Puccinia striiformis f. sp. *tritici*		8–15	Roelfs et al., 1992
Puccinia coronata f. sp. *avenae*	SI	18–22	Harder e Haber, 1992
Pyricularia grisea	10–14	21–27	Ou, 1972
Septoria nodorum	48–72	20–24	Wiese, 1977
Septoria tritici	72–96	22–26	Wiese, 1977
Ustilago tritici	SI	16–22	Wiese, 1977

[1] Ferrugem-da-folha-do-trigo, *Puccinia triticina* anteriormente denominada *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* (ANIKSTER et al., 1997); [2] SI – sem informação.

Interações entre alterações no clima e doenças de cereais de inverno

As conseqüências das alterações climáticas, como aumento na temperatura média e redução da precipitação média (relação direta com

menor número de horas de molhamento foliar diário), deverão contribuir para a menor ocorrência e intensidade de várias das doenças de cereais de inverno no Brasil.

Oídio

O oídio dos cereais de inverno é causado pelo fungo *Blumeria graminis* (DC) Speer. O processo infeccioso, nesse caso, não necessita de molhamento foliar, pois os esporos apresentam alto conteúdo de água em sua constituição, o que lhes permite germinar em condições secas. É considerada uma doença de clima seco. Por isso, em geral, os oídios dos cereais de inverno são mais freqüentes e causam maiores danos com clima seco. Como as alterações futuras do clima tendem a períodos mais secos, possivelmente essa doença, ao contrário das outras, terá maior ocorrência.

Ferrugem-da-folha

Em trigo é causada por *Puccinia triticina* Eriks. Os efeitos do clima sobre a ferrugem-da-folha do trigo podem ser verificados na Tabela 3. Para essa doença, qualquer alteração climática que promova uma menor duração do molhamento foliar determinará uma menor probabilidade de infecções severas.

A temperatura pode ter efeito na eficiência de alguns genes de resistência (*Lr*) envolvidos com a reação do trigo à *P. triticina*. Muitos estudos sobre o efeito do ambiente na resposta das interações gene-para-gene entre patógeno-hospedeiro têm envolvido a temperatura (BROWDER, 1985;

Tabela 3. Duração do molhamento foliar (h) em função da temperatura (°C) para ocorrência de infecções leves, moderadas, e severas de *Puccinia triticina*, em trigo.

Temperatura (°C)	Severidade		
	Leve	Moderada	Severa
	Duração do molhamento (h)		
10	6–10	10–26	> 26
15	4–9	9–30	> 30
20	2–6	6–21	> 21
25	3–8	8–29	> 29

Intensidade da ferrugem: leve, de 1 a 20 pústulas por cm² (1 % a 9 % severidade); moderada, de 21 a 100 (10 % a 50 %); severa, >100 (> 50 %).
Trigo Cultivar Morroco (REIS; BARCELLOS, 1988).

PRETORIUS; KEMP, 1990; RAMAGE; SUTHERLAND, 1995). Genes sensíveis à temperatura podem ser responsáveis por, pelo menos, parte da variação anual na severidade de *P. triticina*. Estudos de temperatura fornecem informações da sensibilidade dos genes do hospedeiro e especificidade de isolados do fungo. O regime de temperatura é importante, portanto, para o estudo da genética parasita-hospedeiro ou de mutações (STATLER; CHRISTIANSON, 1993). Os mesmos autores demonstraram que linhas com Lr17 e Lr18 exibiram sensibilidade à temperatura a todos os isolados testados; entretanto, linhas com Lr16 apresentaram uma interação genética específica a um isolado. Drijepondt et al. (1991) também verificaram que linhas com os genes Lr33, LrT3 e Lr34, sozinhos ou em combinação (Lr33+34; LrT3+34), expressaram características específicas a raças, em diferentes temperaturas. Embora seja aceito que genes de resistência à ferrugem-da-folha são mais efetivos em baixas temperaturas, há exceções. Portanto, os genes efetivos em conferir a resistência poderão ter seu desempenho comprometido pelos aumentos previstos na temperatura durante o ciclo dos cereais de inverno.

Ferrugem-do-colmo

A ferrugem-do-colmo dos cereais é causada pelo fungo *Puccinia graminis* Eriks. Conforme a Tabela 2, os requerimentos térmicos ótimos são de temperatura de 15 °C a 30 °C e duração do molhamento foliar contínuo de mais de 10 horas. As alterações climáticas previstas para o futuro poderão, também, determinar redução na intensidade dessa doença pelas mesmas razões discutidas em relação à ferrugem-da-folha. Atualmente, essa doença está sob controle graças à eficiência dos programas de melhoramento em criar e liberar cultivares com resistência durável.

Helmintosporiose ou mancha-marrom

A helmintosporiose, causada pelo fungo *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem, é uma das principais doenças foliares da cevada, do trigo e do triticale. Ocorre com predominância nas regiões de clima mais quente, como ao norte do paralelo 24°S. As condições de molhamento e temperatura para o desenvolvimento da doença podem ser vistas na Tabela 4. Com a previsão de aumento da temperatura média global, danos causados por essa doença deverão aumentar, inclusive nas regiões de baixa ocorrência atual, como nos planaltos do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Campos Gerais do Paraná.

Tabela 4. Duração do molhamento foliar (h) em função da temperatura para a ocorrência de intensidades foliares leve, moderada e severa da helmintosporiose, causada por *Bipolaris sorokiniana*, em trigo.

Temperatura (°C)	Severidade		
	Leve	Moderada	Severa
	Duração do molhamento (h)		
10	41	-	-
15	16–38	45–74	-
20	11–13	13–15	> 15
25	9–13	15–20	> 21
30	8–12	14–19	> 21

Intensidade da helmintosporiose: leve, de 1 a 4 lesões por folha; moderada, de 5 a 9; severa > 10; (-) severidade não alcançada (REIS; BARCELLOS, 1988).

Septorioses

O efeito de prováveis alterações climáticas sobre as septorioses [mancha-salpicada, causada por *Septoria tritici* Rob. In Desm., ou mancha-da-gluma, causada por *Septoria nodorum* (Berk.) Berk.] deve ser discutido, considerando-se os efeitos da redução da precipitação. Esses dois patógenos são classificados, segundo Maude (1996), como fungos de esporos molhados, porque os picnídios requerem sua hidratação para a liberação dos esporos dos corpos de frutificação, na forma de um cirro de conídios. Uma vez liberados, são transportados sempre por respingos de chuva e vento, envoltos numa gotícula de água. As septorioses, por isso, estão presentes nas regiões de clima com chuvas freqüentes, como na região ao sul do paralelo 24°S. Na região ao norte desse paralelo, as septorioses têm uma freqüência de ocorrência muito baixa ou não ocorrem. Caso concretizem-se as alterações climáticas com uma menor freqüência do número de dias chuvosos, a ocorrência dos estímulos requeridos à maturação, liberação e dispersão do inóculo será reduzida, assim como a incidência e a severidade das septorioses.

Mancha-amarela

Essa é a mancha foliar predominante em trigo, no Brasil, sendo causada por *Drechslera tritici-repentis* (Died.) Shoem. Os efeitos de alterações climáticas podem ser visualizados quando se analisam os requerimentos climáticos

relativos à infecção e severidade da doença na Tabela 5. Reduções nas horas de molhamento foliar diário, previstas para os próximos anos, se traduzirão em menor ocorrência da doença.

Tabela 5. Interações entre a duração do molhamento foliar contínuo (h) e a temperatura (°C) sobre a severidade da mancha-amarela em trigo.

Duração do molhamento (h)	Temperatura					
	10		20		30	
	Lesões/ cm² (nº)	Severidade (%)	Lesões/ cm² (nº)	Severidade (%)	Lesões/ cm² (nº)	Severidade (%)
6	0	0	1,1	2,4	1,1	2,2
12	1,6	3,5	6,1	18,2	8,2	31,7
24	10,0	28,4	13,1	47,0	13,6	53,9
48	-	-	11,8	42,4	-	-
60	-	-	13,0	49,9	-	-

(-) Não alcançada. Modificado de Hosford et al. (1990).

Giberela

A giberela ou fusariose dos cereais de inverno é uma doença que incide sobre os órgãos florais, sendo causada pelo fungo *Gibberella zeae* (Schw.) Petch. Seus requerimentos térmicos para a infecção são temperaturas mais elevadas e prolongado período de molhamento das espigas, principalmente durante a antese. Observa-se, na Tabela 6, que quanto maior for a duração do molhamento das espigas, maior sua freqüência e severidade.

Giberela é uma doença que se destaca no Sul do Brasil, principalmente no Rio Grande do Sul, nas regiões que têm estações de cultivo com chuvas freqüentes a partir do espigamento da cultura. Para que a doença ocorra, o molhamento foliar devido às chuvas deve ser de, no mínimo, 48 horas consecutivas, e a temperatura deve situar-se entre 20 °C e 25 °C. Em anos mais secos, como 1999, ano de ocorrência do fenômeno La Niña na região Sul do Brasil, a giberela não foi problema para os cereais de inverno. O mesmo não ocorreu no ano do El Niño, 2000, no qual as condições climáticas de temperatura e de precipitação acima da média foram extremamente favoráveis à ocorrência da doença. Como a giberela ocorre a partir da floração, que, na região Sul, concentra-se na estação da primavera, pode-se dizer que os anos de primaveras mais chuvosas, com temperaturas mais

elevadas, são anos de epidemias de giberela, e anos de primaveras frias e mais secas são anos de pouca ocorrência de giberela. As epidemias mais recentes ocorreram em 1997, 1998 e 2000, anos de elevada precipitação após o início da floração (LIMA, 2002). Na safra de 2005, a giberela foi considerada uma das principais doenças do trigo no Sul do Brasil.

Se as previsões se concretizarem, ocorrerão primaveras mais secas com menores chances para essa doença e menores riscos para a cultura, o que se traduzirá em maior quantidade e qualidade de grãos dos cereais de inverno produzidos no Sul do Brasil.

Tabela 6. Interações entre temperatura e duração do período de molhamento das espigas de trigo (hm), para causar diferentes valores diários de probabilidade de infecção (VDPI) de *Gibberella zeae*.

Temperatura (°C)	VDPI[1]				
	0	1	2	3	
	Incidência em espiguetas				
	0	1–10	11–20	21–30	> 30
	Hm				
15	< 57	57–66	67–72	> 72	-
16	< 45	45–57	58–66	67–72	> 72
17	< 18	18–48	49–58	59–66	> 66
18	< 18	18–38	39–51	52–60	> 60
19	< 18	18–27	28–45	46–55	> 55
20	< 18	18–27	28–40	41–50	> 50
21	< 18	18–26	27–36	37–46	> 46
22	< 18	18–26	27–34	35–43	> 43
23	< 18	18–25	26–32	33–42	> 42
24	< 18	18–25	26–32	33–41	> 41
25	< 18	18–21	22–32	33–40	> 40
26	< 18	18–24	25–33	34–40	> 40
27	< 18	18–27	28–35	36–41	> 41
28	< 21	21–29	30–36	37–42	> 42
29	< 25	25–32	33–38	39–43	> 43
30	< 29	29–34	35–40	41–45	> 45

[1] Incidência da doença: 0 corresponde à inexistência da infecção; 1, corresponde de 1 % a 10 %; 2, de 11 % a 20 %; 3, de 21 % a 30 % e 4, mais de 30 % de espiguetas infectadas; (-) incidência não alcançada. Fonte: Reis e Blum (2005).

Brusone

Essa doença é causada por *Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc, patógeno que ataca também a cultura do arroz. Em trigo, epidemias de brusone têm sido registradas principalmente ao norte do paralelo 24°S. Esporadicamente, porém, a doença tem sido detectada na região Sul, predominando na cultura da cevada. O que limita principalmente sua ocorrência é a temperatura relativamente baixa que prevalece na região Sul. Caso as previsões se confirmem, e haja aumento na temperatura média após o espigamento do trigo, a doença poderá causar epidemias também na região Sul.

Virose-do-nanismo-amarelo-da-cevada

Essa doença, cujo vírus é transmitido por pulgões, ocorre em todos os cereais de inverno. Os aumentos na temperatura poderão contribuir para o aumento das populações dos insetos vetores e, conseqüentemente, o incremento da vírose, inclusive em hospedeiros hoje não registrados (CASA et al., 2000).

Mosaico-comum-do-trigo

O vetor dessa virose é um fungo de solo, *Polymixa graminis* Led. A temperatura ótima para o desenvolvimento desse fungo é de 18 °C. O fungo produz zoósporos que requerem água líquida no solo para o seu desenvolvimento (WIESE, 1977). Por isso, hoje, essa moléstia está restrita aos estados ao sul do paralelo 24°S, principalmente em lavouras que apresentam solo argiloso, predominante em áreas compactadas e locais sujeitos ao acúmulo de água. Caso haja aumento na temperatura, a região de ocorrência do mosaico deverá ser reduzida, ficando restrita apenas aos planaltos com temperaturas dentro do seu ótimo. Nas regiões mais frias, a menor freqüência de chuvas provocará alteração no teor de água no solo, podendo levar a redução da intensidade dessa virose.

Podridão-comum-de-raízes

As alterações na freqüência de chuvas e da temperatura deverão ter pouco efeito sobre a incidência e severidade dessa doença. Porém, convém ser discutido que o principal fungo envolvido em sua etiologia, *Bipolaris sorokiniana*, é prevalecente em regiões de clima mais quente.

Mal-do-pé

Semelhante ao mosaico-comum, essa doença, causada pelo fungo *Gaeümannomyces gramins* var. *tritici* (Sacc.) Arx & Oliv., deverá diminuir, por causa do aumento da temperatura do solo (REIS, 1989) e da menor precipitação.

Considerações finais

Os aumentos previstos na temperatura e a redução de precipitações diárias (mm/dia) (cenário A2 - 2020) devem, de maneira geral, favorecer a redução da ocorrência e da severidade de várias doenças de cereais de inverno, refletindo na redução dos danos e dos custos de produção. Haverá menor número de aplicações de fungicidas, resultando na maior sustentabilidade econômica do cultivo dos cereais de inverno. Como os modelos prevêem uma redução na duração do inverno, em função da elevação das temperaturas médias, logicamente os programas de melhoramento dos cereais de inverno deverão selecionar cultivares adaptados às novas condições climáticas.

Finalmente, espera-se uma mudança no mapa de ocorrência e predominância das doenças dos cereais de inverno em função das mudanças climáticas previstas para o futuro.

Referências

ANDERSEN, A. L. The development of *Gibberella zeae* head blight of wheat. **Phytopathology**, St. Paul, v. 38, p. 595-611, 1948.

ANIKSTER, Y.; BUSHNELL, W. R.; EILAM, T.; MANISTERSKI, J.; ROELFS, A. P. *Puccinia recondita* causing leaf rust on cultivated wheats, wild wheats, and rye. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 75, p. 2082-2096. 1997.

BARCELLOS, A. L. As ferrugens do trigo no Brasil. In: FUNDAÇÃO CARGILL. **Trigo no Brasil**. Campinas, 1982. v. 2, cap.10, p. 345-419.

BROWDER, L. E. Parasite:host:environment specificity in the cereal rust. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 23, p. 201-222, 1985.

CASA, R. T.; HOFFMANN, L. L.. PANISSON, E.. MENDES, C. S.; REIS, E. M. Sensibilidade de *Blumeria graminis* f.sp. *tritici* a alguns fungicidas. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 27, p. 626-630, 2002.

CASA, R. T.; REIS, E. M.; BEZERRA, R.; HEROK, P.; SILVA, A. Efeito de manchas foliares no rendimento de grãos de trigo. **Fitopatolgia Brasileira**, Fortaleza, v. 26, p. 445, 2001.

CASA, R. T.; REIS, E. M.; SCHONS, J. **Vírus no nanismo amarelo da cevada**. São Paulo: UPF, 2000. 22 p.

CHAKRABORTY, S.; MURRAY, G. M.; MAGAREY, P. A.; YONOW, T.; O'BRIEN, R. G.; CROFT, B. J.; BARBETTI, M. J.; SILVASITHAMPARAM, K.; OLD, K. M.; DUDZINSKU, M. J.; SUTHERST, R. W.; PENROSE, L. J.; ARCHER, C.; EMMETT, R. W. Potential impact of climate change on plant disease of economic significance to Australia. **Australian Plant Pathology**, Collingwood, v. 27, p.15-35, 1998.

CONAB. **Lavouras**. Disponível em: http://www.conab.gov.br. Acesso em: 20 set. 2005.

DIEHL, J. A.; TINLINE, R. D.; KOCHHANN, R. A. Perdas em trigo causadas pela podridão comum de raízes no Rio Grande do Sul, 1979-1981. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, p. 507-511, 1983.

DRIJEPONDT, S. C.; PRETORIUS, Z. A.; RIJKENBERG, F. H. J. Expression of two wheat leaf rust resistance gene combinations involving *Lr34*. **Plant Disease**, St. Paul, v. 75, p. 526-528, 1991.

FORCELINI, C. A.; REIS, E. M. Doenças da cevada. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. **Manual de fitopatologia**: doenças das plantas cultivadas. 3. ed. São Paulo: Ceres, 1997. v. 2, p. 251-256.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

GOULART, A. C. P.; PAIVA, F. A.; MESQUITA, A. N. Perdas em trigo causadas por *Pyricularia oryzae*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 17, p. 129, 1992.

HARDER, D. E.; HABER, S. Oat diseases and pathology techniques. In: MARSHALL, H. G.; SORRELLS, M. E. **Oat science and technology**. Madison: S. H. Mickelson, 1992. p. 354-357.

HOSFORD, R. M.; LARENZ, C. R.; HAMMOND, J. J. Interaction of wet period and temperature on *Pyrenophora tritici-repentis* infection and development in wheats of differing resistance. **Plant Disease**, St. Paul, v. 74, p. 385-390, 1990.

LIMA, M. I. P. M. **Métodos de amostragem e avaliação de giberela usados na Embrapa Trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002. 17 p.

MATHRE, D. E. **Compendium of barley diseases.** St. Paul: APS Press, 1997. 78 p.

MEHTA, R. **Manejo integrado de enfermedades del trigo**. Londrina: IAPAR, 1993. 314 p.

MARTINELLI, J. A.; FEDERIZZI, L. C.; BENEDETTI, A. C. Redução do rendimento de grãos da aveia em função da severidade da ferrugem da folha. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 20, p. 116-118, 1994.

MAUDE, R. B. **Seedborne diseases and the control principles and practice**. Oxon: CAB International, 1996. p. 70-88.

OU, S.H. **Rice diseases**. Kew: Commonwealth Mycological Institute, 1972. 368 p.

PANISSON, E.; REIS, E. M.; BOLLER, W. Quantificação de danos causados pela Giberela em cereais de inverno, na safra 2000, em Passo Fundo, RS. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 28, p. 189-192, 2003.

PICININI, E. C.; FERNANDES, J. M. C.; IGNACZAK, J. C.; AMABROSI, I. Impacto econômico do uso do fungicida propiconazol na cultura do trigo (*Triticum aestivum*). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 21, p. 362-368, 1996.

PRETORIUS, Z. A.; KEMP, G. H. J. Effects of growth stage and temperature on components of resistance to leaf rust in wheat genotypes with *Lr26*. **Plant Disease**, St. Paul, v. 74, p. 631-635, 1990.

RAMAGE, R. A.; SUTHERLAND, M. W. High and low pre-inoculation temperatures decrease the effectiveness of the *Lr20* and *Sr15* rust resistance genes in wheat. **Plant Pathology**, London, v. 44, p. 772-778, 1995.

REES, R. G.; PLATZ, G. J. Effects of yellow spot on wheat: comparison of epidemics at different stages of crop development. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 34, p. 39-46, 1983.

REIS, E. M. **Doenças do trigo II**: o mal-do-pé. 2. ed. atual. e rev. São Paulo: Ciba Geigy, 1989. 15 p.

REIS, E. M. **Previsão de doenças de plantas**. Passo Fundo: Editora UPF, 2004. 316 p.

REIS, E. M.; BARCELLOS, A. L. Geração de informações básicas para o desenvolvimento de um sistema de previsão de algumas doenças do trigo. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE TRIGO, 15., 1998, Passo Fundo. **Resumos....** Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT, 1988. p. 147.

REIS, E. M.; BLUM, M. M. C. Modelo climático para a previsão da giberela em trigo. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 30, p. 497-500, 2005.

REIS, E. M.; COOK, R. J.; McNEAL, B. L. Elevated pH and associated reduce-nutrient availability as factors contribuing to take-all upon soil liming. **Phytopathology**, St. Paul, v. 73, p. 411-413, 1983.

REIS, E. M.; HOFFMANN, L. L.; CASA, R. T. Modelo de ponto crítico para estimar os danos causados pelo oídio em cevada. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 27, p. 644-646, 2002.

ROELFS, A. P.; SINGH, R. P.; SAARI, E. E. **Las royas del trigo**: conceptos y métodos para el manejo de esas enfermedades. México: CIMMYT, 1992. 81 p.

SILVA, O. C. Controle do vírus do nanismo amarelo da cevada em cereais de inverno nos Campos Gerais do Paraná. **Correio Agrícola**, São Paulo, p. 20-22, jan./jun. 1998.

STATLER, G. D.; CHRISTIANSON, T. Temperature studies with leaf rust. **Canadian Journal of Plant Pathology**, Ottawa, v. 15, p. 97-101, 1993.

WESTPHALEN, S. L. Evapotranspiração de um cultivar precoce de trigo (*Triticum aestivum* L.) através de evapotranspirômetro tipo "Thornwaite". I. Relação com a evapotranspiração do tanque classe A e radiação solar global. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE TRIGO, 12., 1982, Cascavel. **Anais...** [Porto Alegre]: IPAGRO, 1982. p. 68-79.

WIESE, M. V. **Compendium of wheat diseases**. St. Paul: APS Press. 1977. 106 p.

ZADOKS, J. C.; SCHEIN, R. D. **Epidemiology and plant disease management**. New York: Oxford University Press, 1979. 427 p.

Capítulo 9

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do milho no Brasil

Nicésio Filadelfo Janssen de Almeida Pinto
Elizabeth de Oliveira
Fernando Tavares Fernandes

Introdução

A incidência e a severidade de doenças no milho, assim como em qualquer cultura, são variáveis e influenciadas por fatores diversos, como condições climáticas, suscetibilidade da cultivar, raça ou estirpe do patógeno, e podem, ao longo do tempo, sofrer modificações, tanto em composição como em intensidade. O monitoramento contínuo da dinâmica dessas mudanças pode permitir a determinação dos níveis de incidência e severidade das doenças e a importância relativa de cada uma. Além disso, o conhecimento das condições que favorecem essas doenças contribui para a previsão de epidemias, o estabelecimento de mapas de risco e para a adoção de medidas preventivas e de controle.

A Embrapa Milho e Sorgo tem realizado o monitoramento da incidência e da severidade de doenças nas principais regiões produtoras de milho, no Brasil, o que permite o estabelecimento do cenário atual das doenças na cultura do milho, nas condições climáticas atuais.

Com base nesse cenário, no conhecimento das condições de temperatura e de umidade relativa, e de outros fatores que podem favorecer ou limitar o desenvolvimento das doenças do milho e, considerando os mapas com previsões para alterações climáticas globais (Capítulo 2), até o ano de 2080, foram realizadas previsões de modificações nesse cenário. Foram realizadas considerações e previsões para novos cenários das doenças no milho, tanto dentro do contexto de um mundo regionalizado e com soluções tecnológicas globalizadas (previsões mais pessimistas), quanto no contexto de um mundo com soluções locais e menor emissão de gases de efeito estufa (previsões mais otimistas).

Cenário atual das doenças na cultura do milho

A cultura do milho no Brasil

Entre as inúmeras utilizações do milho, no Brasil, destaca-se seu uso na fabricação de rações para aves, suínos e bovinos. Observa-se que o Brasil é, hoje, o maior exportador mundial de proteína animal.

Desde os anos 90, o Brasil vem plantando anualmente entre 12 e 14 milhões de hectares de milho, destacando-se as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, responsáveis por mais de 90 % da produção nacional (Figura 1). Em 1996, a região Centro-Oeste contribuía com 16,7 % da produção brasileira

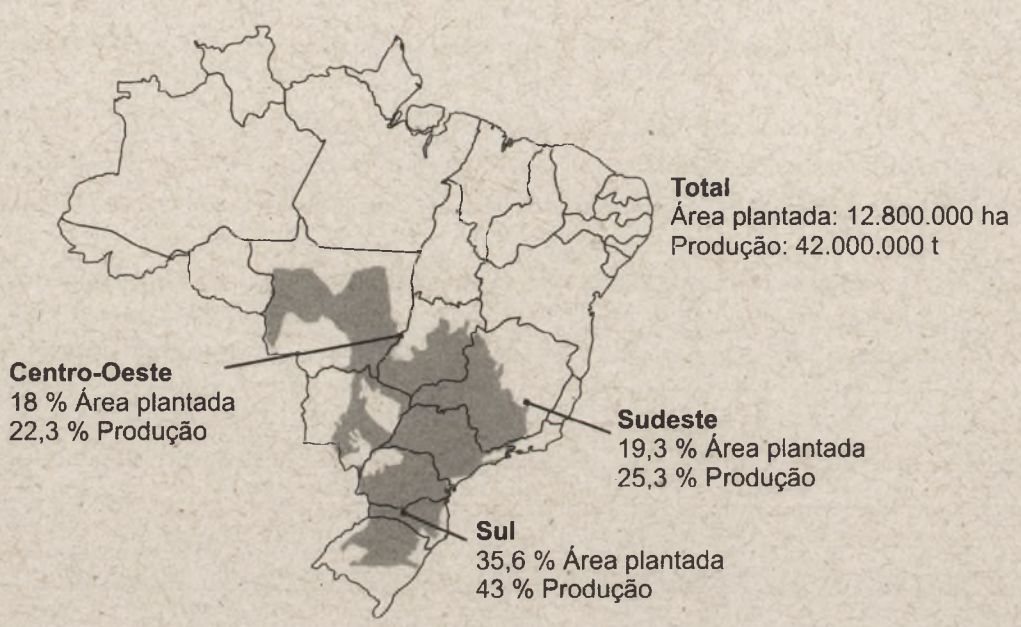


Fig. 1. Área e produção de milho no Brasil, 2003/2004 – 1ª e 2ª safras.
Fonte: Conab (2005).

de milho. Em 2004, a percentagem de contribuição dessa região passou para 22,3 % (Figura 1). Isso ocorreu principalmente devido ao aumento da área com plantio da segunda safra (safrinha), na região.

O milho tem sido produzido em primeira e em segunda safra. Contudo, as épocas de plantio, atualmente, têm sido agrupadas em: plantio cedo (agosto a setembro), plantio normal (outubro a novembro), plantio tardio (dezembro a janeiro) e safrinha (fevereiro a março). Em determinadas regiões, quando plantado sob irrigação, o milho é cultivado o ano inteiro.

O milho é cultivado em sistema de plantio direto e, freqüentemente, em sucessão à cultura da soja. No sudoeste de Goiás, no sul do Mato Grosso do Sul, no Mato Grosso, no Triângulo Mineiro e no noroeste de Minas Gerais, nos estados de São Paulo, Paraná e em parte do Rio Grande do Sul, em geral, o milho é cultivado em áreas extensas.

Essa grande variação em amplitude de épocas e de locais de plantio expõe as plantas de milho, em seus diferentes estádios fenológicos, a diferentes condições de clima e de microclima, muitas vezes favoráveis a várias doenças.

A manutenção do milho no campo o ano todo favorece a perpetuação de doenças, que se propagam, apenas, de uma planta viva para outra. Ainda, restos da cultura infectados por patógenos têm sido preservados em várias

situações, constituindo fonte de inóculo de doenças, para novos plantios. Essas condições favoráveis resultaram, nos últimos anos, em grande aumento na incidência e na severidade de muitas doenças com reflexo expressivo em prejuízos econômicos.

Doenças na cultura do milho no Brasil: cenário atual

A partir do ano de 1990, algumas doenças da cultura do milho, pelo aumento da freqüência e severidade com que vêm ocorrendo, têm causado sensível redução qualitativa e quantitativa na sua produção. Essas doenças são: a mancha-branca, as ferrugens, a cercosporiose, a queima-por-turcicum, os enfezamentos, as podridões-do-colmo e da espiga, entre outras.

Vários fatores podem contribuir para o aumento na incidência e na severidade dessas doenças: o aumento da área cultivada com milho; o aumento do número de cultivares comerciais (237 cultivares para a safra 2005/2006) com diferentes níveis de resistência às doenças; o manejo inadequado de água em plantios sob irrigação; o cultivo em sistema de plantio direto sobre restos de cultura de milho infectados por patógenos; a não-utilização sistemática da rotação de culturas; os plantios consecutivos de milho durante o ano todo (semeadura no cedo, normal, tardio e safrinha); a utilização de sementes de qualidade sanitária duvidosa; os impactos de mudanças climáticas globais; entre outros fatores. Isso tem contribuído significativamente para aumentos na quantidade de patógenos, tanto necrotróficos, quanto biotróficos.

Doenças predominantes na cultura do milho nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste

As doenças do milho podem ser causadas por fungos, bactérias, nematóides, vírus e molicutes e, em função da parte da planta em que se desenvolvem, são agrupadas em: doenças foliares; doenças da espiga; doenças do colmo; doenças das raízes e doenças sistêmicas (que afetam a planta toda).

O monitoramento realizado pela Embrapa Milho e Sorgo, no período de 2000 a 2004, mostra a predominância das seguintes doenças na cultura do milho:

a) **Doenças foliares**: mancha-branca (etiologia indefinida); ferrugem-comum (*Puccinia sorghi*); ferrugem-polissora (*Puccinia polysora*); ferrugem-

branca ou tropical (*Physopella zeae*); mancha-por-cercospora (*Cercospora zeae-maydis*); mancha-por-diplodia (*Stenocarpella macrospora*); mancha-por-turcicum (*Exserohilum turcicum*); mancha-por-bipolaris (*Bipolaris maydis* e *Bipolaris zeicola*); antracnose-foliar (*Colletotrichum graminicola*).

b) **Doenças da espiga**: podridão-branca-por-diplodia (*Stenocarpella macrospora* e *Stenocarpella maydis*); podridão-rosada (*Fusarium verticillioides* = *F. moniliforme*; e *F. subglutinans*); podridão-vermelha (*Fusarium graminearum*, f.p. *Gibberella zeae*).

c) **Doenças do colmo**: podridão-por-*Fusarium* (*Fusarium verticillioides* = *F. moniliforme*; e *F. subglutinans; Fusarium graminearum*, f.p. *Gibberella zeae*); podridão-por-diplodia (*Stenocarpella macrospora* e *Stenocarpella maydis*); antracnose (*Colletotrichum graminicola*).

d) **Doenças sistêmicas**: virose-da-risca (*Maize rayado fino virus*); virose-mosaico-comum (*Sugarcane mosaic virus*); enfezamento-pálido (*Spiroplasma kukelii*); enfezamento-vermelho (fitoplasma); míldio (*Peronosclerospora sorghi*).

A ocorrência de doenças, em função de regiões geográficas e de primeira e segunda safra, é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Ocorrência de doenças em milho no Brasil: situação atual.

Região	Severidade da doença	Safra verão	Safrinha
Região Sul (PR, SC, RS)	Alta		Enfezamentos Mancha-branca
	Média	Enfezamentos Ferrugem-branca Mancha-por-*Stenocarpella* spp. (*Diplodia* spp.)(1) Mancha-branca Ferrugem-comum Mancha-por-cercospora	Ferrugem-comum Mancha-por-cercospora
	Baixa	Ferrugem-branca Mancha-por-turcicum	Ferrugem-branca Mancha-por-turcicum Ferrugem-polissora Mancha-por-*Stenocarpela* spp.(1)

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Região	Severidade da doença	Safra verão	Safrinha
Região Sudeste (MG, SP, ES, RJ)	Alta	Mancha-por-*Stenocarpella* spp. (= *Diplodia* spp.)[1] Mancha-branca Ferrugem-polissora Ferrugem-branca	Enfezamentos Mancha-branca
	Média	Antracnose [2] Mancha-por-bipolaris Mancha-por-cercospora	
	Baixa	-	-
Região Centro-Oeste (GO, MS, MT)	Alta	Mancha-por-*Stenocarpella* spp. (= *Diplodia* spp.) [1] Mancha-branca Ferrugem-polissora Mancha-por-cercospora Ferrugem-branca	Enfezamentos Mancha-branca
	Média	Antracnose [2] Mancha-por-bipolaris	Ferrugem-comum
	Baixa	Mancha-por-turcicum Míldio Mancha-por-bipolaris	Mancha-por-turcicum Míldio

[1] Ocorrência nas folhas, colmo e espiga.
[2] Ocorrência nas folhas e colmo.

Condições climáticas que favorecem a incidência e a severidade das principais doenças do milho

Condições climáticas de temperatura, umidade relativa e precipitação são fatores que influenciam diretamente o progresso de uma determinada doença na lavoura de milho, favorecendo ou limitando sua severidade. Isso acontece porque agentes causais de doenças, como fungos e bactérias, exigem, diferencialmente, condições ótimas de temperatura e de umidade para seu crescimento e, freqüentemente, água livre na superfície da folha para germinação dos esporos. As condições climáticas podem também, de forma indireta, favorecer ou reduzir a incidência e a severidade das doenças,

alterando a turgidez dos tecidos foliares ou o nível de umidade do solo. Por exemplo, as ferrugens do milho podem ser favorecidas pela alta turgidez das folhas. A podridão do colmo por *Pythium aphanidermatum* é favorecida pela alta umidade do solo, enquanto a podridão por *Macrophomina phaseolina* é favorecida por deficiência hídrica no solo. As podridões das espigas são diretamente favorecidas por altas precipitações, quando essas ocorrem após o estádio de maturidade fisiológica dos grãos.

As condições climáticas que favorecem ou limitam o progresso das doenças abrangem extensas áreas (macro-clima) ou ocorrem apenas em pequenas áreas cultivadas com milho (micro-clima).

Contudo, outros fatores também são importantes no desenvolvimento das doenças do milho, como o nível de suscetibilidade das cultivares. Alguns patógenos sobrevivem nos restos de cultura (patógenos necrotróficos), sendo imprescindível a rotação de cultura para redução de inóculos. Outros patógenos são dependentes de plantas vivas (patógenos biotróficos) de milho, ou de hospedeiros alternativos, para sua perpetuação, e, por isso, sobreposições do ciclo da cultura favorecem essas doenças. Ainda, ataques de insetos-praga, adubações desequilibradas, manejo inadequado da água de irrigação, semeadura em diferentes épocas, altas densidades de plantio, entre outros, são fatores que favorecem a ocorrência e a severidade de doenças no milho.

Portanto, a ocorrência de epidemias em milho é dependente da ocorrência simultânea de fatores predisponentes ao desenvolvimento da doença e das condições climáticas.

Na Tabela 2, estão relacionadas condições climáticas que favorecem o desenvolvimento de doenças do milho, contidas em publicações científicas.

Agrupamento das doenças do milho em função dos agentes etiológicos e de condições climáticas predisponentes, para previsão de impactos de alterações climáticas globais

As doenças do milho podem ser agrupadas em função de seus agentes etiológicos.

Com base na Tabela 2, as doenças do milho podem ser agrupadas em função das condições de temperatura e de umidade (umidade relativa do ar ou umidade do solo) que favorecem seu desenvolvimento. Observa-se que, para a ocorrência de orvalho e, portanto, água livre na superfície das folhas, é necessária a ocorrência simultânea de baixas temperaturas e de alta umidade relativa do ar. A umidade relativa do ar depende diretamente da precipitação.

Tabela 2. Condições climáticas que favorecem o desenvolvimento de doenças em milho.

	Temperatura	Umidade
Doenças foliares / fungos		
Phaeosphaeria maydis	14 °C a 20 °C	UR > 60 %
Cercospora zeae-maydis	22 °C a 30 °C	UR > 90 %
Puccinia polysora	23 °C a 28 °C	UR > 90 %
Physopella zeae	23 °C a 30 °C	UR > 90 %
Puccinia sorghi	16 °C a 23 °C	UR > 90 %
Diplodia macrospora	(1)	UR > 90 %
Peronosclerospora sorghi	15 °C a 25 °C	UR > 90 %
Bipolaris maydis	20 °C a 32 °C	UR > 90 %
Exserohilum turcicum	18 °C a 27 °C	UR > 90 %
Physoderma maydis	23 °C a 30 °C	UR > 90 %
Podridões colmo - raízes / fungos		
Stenocarpella maydis	28 °C a 30 °C	Alta precipitação
Stenocarpella macrospora	28 °C a 30 °C	Alta precipitação
Fusarium verticillioides	28 °C a 30 °C	Alta precipitação
Fusarium subglutinans	28 °C a 30 °C	Alta precipitação
Fusarium graminearum	28 °C a 30 °C	Alta precipitação
Gibberella zeae	28 °C a 30 °C	Alta precipitação
Pythium aphanidermatum	32 °C	Alta precipitação
Colletotrichum graminicola	(1)	Alta precipitação
Macrophomina phaseolina	35 °C a 37 °C	Baixíssima precipitação
Podridões espigas / fungos		
Stenocarpella maydis	28 °C a 30 °C	Alta precipitação
Stenocarpella macrospora	28 °C a 30 °C	Alta precipitação
Fusarium verticillioides	21 °C a 30 °C	Baixa precipitação
Fusarium subglutinans	21 °C a 30 °C	Baixa precipitação
Fusarium graminearum	15 °C a 20 °C	Alta precipitação
Gibberella zeae	15 °C a 20 °C	Alta precipitação
Ustilago maydis	26 °C a 34 °C	Baixa precipitação
Doença foliar/bactéria		
Pseudomonas alboprecipitans	30 °C a 35 °C	Alta precipitação
Podridão cartucho/bactéria		
Erwinia chrysanthemi	30 °C a 35 °C	Alta precipitação
Podridão colmo/bactéria		
Erwinia carotovora pv. zeae	30 °C a 35 °C	Alta precipitação
Enfezamentos	acima 30 °C	UR > 60 %
Viroses	25 °C a 35 °C	UR > 60 %

(1) Sem informações.

Para prever o efeito dos impactos das mudanças climáticas globais, na ocorrência futura das doenças que atualmente predominam na cultura do milho, no Brasil, utilizaram-se os grupos de agentes etiológicos (fungos, bactérias, molicutes e vírus) e as condições que favorecem o desenvolvimento das doenças que eles causam.

Doenças fúngicas favorecidas por temperaturas entre 15 °C e 23 °C e umidade relativa superior a 60 %:

- Mancha-branca (etiologia indefinida).
- Míldio.
- Ferrugem-comum.
- Mancha-por-turcicum.
- Podridões de colmo e de espigas por *F. graminearum* (*G. zeae*).

Doenças fúngicas favorecidas por temperaturas entre 24 °C e 32 °C e umidade relativa superior a 75 %:

- Ferrugem-polissora.
- Ferrugem-branca.
- Mancha-por-cercospora.
- Mancha-por-*Bipolaris maydis*.
- *Stenocarpella macrospora* (folha, colmo e espigas).
- *Stenocarpella maydis* (colmo e espigas).
- Podridões do colmo e das espigas por *F. verticillioides* e *F. subglutinans*.
- Podridão-do-colmo-por-*Pythium*.

Doenças fúngicas favorecidas por temperaturas entre 24 °C e 32 °C e deficiência hídrica do solo:

- Carvão-da-espiga.
- Podridão-do-colmo-por-*Macrophomina*.

Doenças bacterianas favorecidas por temperaturas superiores a 32 °C e excesso de água (precipitação ou irrigação):

- Podridão-do-cartucho.
- Podridão-do-colmo.
- Queima-bacteriana-da-folha.

Doenças causadas por molicutes favorecidas por temperaturas superiores a 30 °C e umidade relativa acima de 60 %:

- Enfezamento-pálido.
- Enfezamento-vermelho.

Doenças causadas por vírus favorecidas por temperaturas entre 20 °C e 30 °C e umidade relativa acima de 60 %:

- Mosaico-comum.
- Risca.
- Faixa-clorótica-das-nervuras.

Previsão de modificações no cenário das doenças na cultura de milho

Cenário A2: previsões mais pessimistas

Nesse cenário, prevê-se um mundo futuro muito heterogêneo e regionalizado, com aumento na emissão de gases de efeito estufa e conseqüente aumento da temperatura global (Capítulo 2).

Previsão para as doenças do milho em função das projeções para as temperaturas médias e as precipitações mensais, representadas em mapas, para o ano de 2020

Pode-se prever que, em um mundo regionalizado, o Brasil continuará plantando o milho em extensas áreas, e na maioria dos meses do ano, sem modificações significativas no cenário atual do sistema de produção de milho. Até o ano de 2039, está prevista a redução na precipitação mensal, particularmente na região Centro-Oeste, uma das principais regiões produtoras de milho no País. Contudo, essas reduções previstas não determinarão expressiva redução na área plantada com milho.

Poderá ocorrer redução marcante no nível de severidade das doenças foliares fúngicas e bacterianas, que são favorecidas por umidade relativa do ar em níveis superiores a 75 %, a exemplo das ferrugens branca e polissora e das manchas por *Cercospora* e por *Bipolaris maydis*. Além disso, eventuais ocorrências de períodos de deficiência hídrica, por ocasião do florescimento das plantas, poderão aumentar a incidência e a severidade da podridão-do-

colmo-por-*Macrophomina phaseolina* e do carvão-comum-da-espiga. A incidência e a severidade de outras doenças do colmo e da espiga serão influenciadas de forma diferenciada por três fatores: por um lado, a redução na precipitação contribuirá para sua redução, e, por outro lado, os plantios de milho sem rotação de cultura e condições microclimáticas, sejam em áreas geográficas limitadas, ou proporcionadas por microclima nas proximidades do colmo e no interior da palha das espigas, contribuirão para seu aumento. Assim, é provável que os níveis de danos por essas doenças permaneçam similares aos níveis atuais.

Com relação às previsões para a temperatura média mensal, verifica-se tendência de aumento nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, nos meses de novembro a março. Porém, nos meses de abril, maio e junho, verifica-se que haverá redução nas temperaturas médias nas regiões Sul e Sudeste. A elevação da temperatura favorecerá a incidência e a severidade dos enfezamentos causados por molicutes. Entretanto, a redução da temperatura, favorecerá a severidade de várias doenças, como a mancha-branca, a ferrugem-comum, o míldio e as viroses.

Previsão para as doenças do milho em função das projeções para as temperaturas médias e as precipitações mensais, representadas em mapas, para o ano de 2050

Aparentemente, as mudanças climáticas globais, previstas para o ano de 2050, não serão acentuadas o suficiente para determinar alterações marcantes na incidência e na severidade das doenças no milho, para compor um cenário tão distinto daquele previsto para o período de 2010 e 2039. O comportamento das doenças e os níveis de dano econômico deverão ser similares aos descritos para o período anterior. De forma geral, em função dos aumentos de temperatura média e redução na precipitação, deverão ocorrer redução na incidência e severidade das doenças foliares causadas por fungos e bactérias, e aumento na incidência e severidade dos enfezamentos. Podridões do colmo e da espiga, em determinadas situações, serão favorecidas; e nas regiões Sul e Sudeste, nos meses de abril a junho, serão favorecidas doenças fúngicas que necessitam de períodos mais frios.

Previsão para as doenças do milho em função das projeções para as temperaturas médias e as precipitações mensais, representadas em mapas para o ano de 2080

Os mapas de temperatura média mensal e de precipitação sinalizam, para 2080, aumentos para médias de 28 °C a 32 °C, em grande parte do

território nacional, abrangendo as regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste, associadas a reduções na precipitação, embora ainda com chuvas moderadas.

Observa-se que, embora com a ocorrência de chuvas moderadas, esses níveis de temperatura poderão ser limitantes ao desenvolvimento da cultura do milho visando obtenção de bons níveis de produtividade, em determinadas áreas geográficas. Obviamente, a redução na área plantada com esse cereal significará redução na produção, o que deverá demandar o desenvolvimento e/ou o uso de novas tecnologias e de alternativas para a solução do problema. Nessa situação, e acompanhando as mudanças climáticas, a pesquisa deverá direcionar o melhoramento genético para a obtenção de novas cultivares adaptadas a tais condições climáticas. Essas cultivares poderão ter diferentes níveis de resistência às doenças do milho. Isso implicará em mudanças imprevisíveis no cenário, possibilitando, inclusive, o estabelecimento de novas doenças e o agravamento de outras, atualmente consideradas de importância secundária.

Ainda, considerando-se microrregiões, modificações no regime de chuvas poderão resultar em deslocamentos da cultura e na intensificação do uso da irrigação. Além disso, novos sistemas de arranjos de plantas e de produção de milho poderão criar condições de microclima, com interferência diferenciada no cenário das doenças.

Por outro lado, é importante ressaltar que os aumentos de temperatura, associados a condições de alta umidade proporcionada por condições de microclima, poderão ser muito favoráveis às doenças da espiga e à produção de grãos ardidos por fungos (*Fusarium verticillioides, Fusarium subglutinans, Aspergillus flavus, Aspergillus parasiticus, Stenocarpella* spp., *Penicillium* spp.), que podem produzir micotoxinas, comprometendo a qualidade dos grãos de milho e a segurança alimentar.

Cenário B2: previsões mais otimistas

Nesse cenário, prevê-se um mundo com ênfase em soluções locais para a sustentabilidade socioeconômica e ambiental, com menor emissão de gases de efeito estufa e, por isso, mais otimista em relação às mudanças climáticas (Capítulo 2). Prevê-se maior diversidade em mudanças tecnológicas, com forte ênfase em iniciativas comunitárias e inovação social, em lugar de soluções globais.

Nesse contexto, deverá ocorrer uma grande modificação na estratégia de produção do milho no Brasil, com predominância do cultivo em áreas menores que as atuais e com o desenvolvimento e uso de tecnologias específicas para cada ambiente.

É provável que, muitas tecnologias, hoje consideradas promissoras, serão mais fácil e rapidamente adaptadas e difundidas para amplo uso, como algumas alternativas para o controle biológico de doenças.

Maior atenção será dada à utilização de medidas preventivas para evitar a ocorrência de doenças, a exemplo do uso sistemático da rotação de culturas para o controle daquelas doenças causadas por patógenos necrotróficos (*Stenocarpella* spp., *Cercospora zea maydis*, *Fusarium* spp.).

A pesquisa na área do melhoramento genético será ainda mais direcionada para a seleção e o desenvolvimento de cultivares para ambientes específicos, visando sempre resistência às doenças predominantes, o que contribuirá muito para seu controle efetivo. Se, por um lado, várias doenças causadas por patógenos biotróficos (ferrugens, enfezamentos, viroses, míldio) serão favorecidas pelas mudanças climáticas, como discutido para o cenário A2; por outro, essas doenças poderão ser controladas de forma eficaz, através da resistência genética dessas cultivares.

Inovações tecnológicas diversas serão desenvolvidas e utilizadas para o diagnóstico e o controle sistemático de problemas fitopatológicos. Serão intensificados sistemas de controle da qualidade sanitária de sementes e de grãos e a fiscalização do trânsito de materiais, por meio da ampliação do uso de kits específicos para a detecção de patógenos e de micotoxinas, adotando-se medidas para sua erradicação e para a garantia da segurança alimentar. Provavelmente também serão desenvolvidos e cultivados materiais de milho transgênico com resistência a doenças diversas.

Em linhas gerais, o surgimento, a adaptação e o uso de tantas tecnologias e inovações, dentro dos preceitos fitopatológicos, e com o nível de exigência, detalhamento e fiscalização proporcionado pelas iniciativas comunitárias, deverão resultar em altos níveis de controle e até na erradicação de determinadas doenças, superando em muito os níveis de controle que têm sido possíveis atualmente.

Considerações finais

As condições climáticas que favorecem ou limitam o progresso das doenças em milho abrangem extensas áreas geográficas ou ocorrem apenas em pequenas áreas com essa cultura. A ocorrência de epidemias é dependente da ocorrência simultânea de fatores predisponentes ao desenvolvimento da doença, como a virulência do patógeno, a suscetibilidade das cultivares, a ausência de rotação de culturas, entre outras; bem como das condições climáticas existentes.

Dessa forma, neste capítulo, foram realizadas previsões espaço-temporais das doenças da cultura de milho, baseadas em temperatura média mensal (°C) e precipitação mensal (mm/dia), clima atual e clima futuro, empregando-se o contexto de um mundo regionalizado e com soluções tecnológicas globalizadas (previsões mais pessimistas), e também o contexto de um mundo com soluções locais e menor emissão de gases de efeito estufa (previsões mais otimistas).

Literatura recomendada

BALMER, E. Doenças do milho. In: GALLI, F. (Ed.). **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. p. 371-391.

CHAKRABORTY, S.; MURRAY, G. M.; MAGAREY, P. A.; YONOW, T.; O'BRIEN, R. G.; CROFT, B. J.; BARBETTI, M. J.; SIVASITHAMPARAM, K.; OLD, K. M.; DUDZINSKI, M. J.; SUTHERST, R. W.; PENROSE, L. J.; ARCHER, C.; EMMETT, R. W.. Potential impact of climate change on plant diseases of economic significance to Australia. **Australian Plant Pathology**, Collingwood, v. 27, n. 1, p. 15-35, 1998.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Horá da escolha. **Cultivar Grandes Culturas**, Pelotas, n. 77, p. 4-11, set. 2005. Encarte Caderno Técnico.

De LEON, C. **Enfermedades del maíz**, una guía para su identificacion en el campo. México: CIMMYT, 1984. 113 p.

DOD, J. L. The role of plant stress in development of corn stalk rot. **Plant Disease**, St. Paul, v. 64, n. 6, p. 533-537, 1980.

FERNANDES, F. T.; OLIVEIRA, E. **Principais doenças na cultura de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1997. 80 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 26).

FERNANDES, F. T.; SANS, L. M. A. Influência das condições climáticas na ocorrência das lesões foliares por *Phaeosphaeria maydis*. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., 1994, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: ABMS, 1994. p. 136.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

KOEHLER, B. **Corn ear rots in Illinois**. Urbana: University of Illinois, 1959. 87 p. (Illinois. Agricultural Experiment Station Bulletin, 639).

KOHELER, B. **Cornstalk rot in Illinois**. Urbana: University of Illinois, 1960. 658 p. (Illinois. Agricultural Experiment Station Bulletin, 658).

LEACH, C. M.; FULLERTON, R. A.; YOUNG, Y. Northern leaf blight on maize in New Zeland. Relationship of *Dreschlera turcica*, airspora to factors influencing sporulation, conidium development and clamidospores formation. **Phytopathology**, St. Paul, v. 67, p. 629-636, 1977.

LEVY, Y.; COHEN, Y. A negative association between leaf sugar content and the development of Northern leaf blight lesions in sweet corn. **Physiological Plant Pathology**, London, v. 24, p. 247-252, 1984.

NAULT, L. R. Maize bushy stunt and corn stunt: a comparison of disease symptoms, pathogen host ranges, and vectors. **Phytopathology**, St. Paul, v. 70, n. 7, p. 659-662, 1980.

OLIVEIRA, E. de; FERNANDES, F. T.; CARVALHO, E. M.; MACHADO, J. C. The *Phaeosphaeria* leaf spot of maize in Brazil: evidences of a new ethiologic agent. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 3, p. 343-356, set./dez. 2004.

OLIVEIRA, E. de; FERNANDES, F. T.; CASELA, C. R.; PINTO, N. F. J. de A.; FERREIRA, A. da S. Diagnose e controle de doenças na cultura do milho. In: GALVAO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Ed.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa: UFV, 2004. cap. 7, p. 227-267.

OLIVEIRA, E. de; OLIVEIRA, A. C. Incidência de Enfezamento e de Maize Rayado Fino Virus em milho em diferentes épocas de plantio e relação entre a expressão de sintomas foliares dos Enfezamentos e produção. **Summa Phytopathologica** , Botucatu, v. 29, n. 3, p. 221-224, jul./set. 2003.

OLIVEIRA, E. de; OLIVEIRA, C. M. (Ed.). **Doenças em milho**: moliçutes, vírus, vetores, mancha por *Phaeosphaeria*, Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 276 p.

PACCOLA-MEIRELLES, D. L.; FERREIRA, A. S.; MEIRELES, W. F.; MARRIEL, I. E.; CASELA, C. R. Detection of a bacterium associated with a Leaf Spot Disease of maize in Brazil. **Journal Phytopathology**, Berlin, v. 149, p. 275-279, 2001.

PINTO, N. F. J. A. Doenças do milho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 6, n. 72, p. 50-53, 1980.

PINTO, N. F. J. A Incidência de grãos ardidos em cultivares de milho precoce. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 27, n. 4, p. 433-460, 2001.

PINTO, N. F. J. A.; FERNANDES, F. T.; OLIVEIRA, E. Milho (*Zea mays* L.): controle de doenças. In: VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Controle de doenças de plantas**: grandes culturas. Viçosa : UFV, 1997. cap. 17, p.821-863.

RANE, M. S.; PAYAK, M. M.; RENFRO, B. L. A. ***Phaeosphaeria* leaf spot of maize**. [New Delhi]: Indian Phytopathological Society, 1965. 10 p. (Bulletin, 3).

REIS, E. M.; CASA, R. T.; BRESOLIN, A. C. R. **Manual de diagnose e controle de doenças do milho**. 2. ed. rev. atual. Lages: Graphel, 2004. 144 p.

SHURTLEFF, M. C. **Compendium of corn diseases**. 2th ed. St. Paul: APS, 1986. 10 p.

Capítulo 10

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças e o desenvolvimento da soja no Brasil

Maria Aparecida Pessôa da Cruz Centurion
Raquel Ghini

Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), originária da China, é intensamente utilizada na dieta alimentar do Oriente há mais de cinco mil anos. O Ocidente ignorou o seu cultivo até a segunda década do século XX, quando os Estados Unidos iniciou sua exploração comercial. No Brasil, a soja foi introduzida no final do século XX e, após ter sido levada para o Rio Grande do Sul, permaneceu como um cultivo marginal no Sul do Brasil até 1960. A primeira referência de produção comercial de soja no País data de 1941, com uma área cultivada de 640 ha, produção de 450 t e produtividade de 700 kg/ha. A partir de 1950, a área cultivada de soja expandiu-se de tal forma que, no contexto das grandes culturas produtoras de grãos, a soja foi a que mais cresceu em termos percentuais nos últimos 34 anos. De 1960/69 a 2004, o crescimento da área cultivada foi de 54 vezes (de 0,5 para 21,5 milhões de hectares), o da produção foi de 100 vezes (de 0,5 para 50 milhões de toneladas) e o da produtividade foi de 2,5 vezes (de aproximadamente 1 t/ha para 2,5 t/ha). Em termos mundiais, o crescimento da produção foi da ordem de 333 % nos últimos 32 anos. No Brasil, nos 34 anos analisados, o crescimento da produção atingiu 656 %, e a região Centro-Oeste foi a que mais contribuiu para esse crescimento de 0,206 para 31,72 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2004).

Atualmente, a soja é cultivada em praticamente todo o território nacional, desde as altas latitudes gaúchas até as baixas latitudes equatoriais-tropicais, apresentando em algumas regiões brasileiras médias de rendimento superiores à média obtida nos Estados Unidos (CÂMARA, 1988). As regiões produtoras de soja no Brasil apresentam grande amplitude em suas condições meteorológicas. Como o ambiente pode influenciar o desenvolvimento e a suscetibilidade da planta hospedeira, a multiplicação, a sobrevivência e as atividades do patógeno, assim como a interação entre a planta hospedeira e o patógeno, certamente modificações deverão ocorrer na cultura nos cenários climáticos futuros. O impacto econômico pode ser positivo, negativo ou neutro, pois as mudanças climáticas podem diminuir, aumentar ou não ter efeito sobre os diferentes patossistemas, em cada região (GHINI, 2005). O presente capítulo teve por objetivo discutir os impactos potencias das mudanças climáticas sobre o desenvolvimento de plantas e de doenças da soja no Brasil.

Desenvolvimento das plantas

A soja adapta-se melhor a temperaturas do ar entre 20 °C e 30 °C, sendo a temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento em torno de 30 °C (EMBRAPA, 2004). A faixa de temperatura do solo adequada para a

semeadura varia de 20 °C a 30 °C, sendo 25 °C a temperatura ideal para uma emergência rápida e uniforme, mas o menor tempo para emergência da soja é obtido em temperatura constante de 30 °C. Para o crescimento das raízes, as temperaturas do solo de 27 °C a 32 °C são as mais favoráveis. Temperaturas acima de 38°C, no início do crescimento, são prejudiciais, reduzindo a formação de nós e causando o crescimento dos entrenós. A queda de flores e vagens é maior em altas temperaturas e pode causar reduções substanciais na produtividade. Pode também ocorrer florescimento precoce e redução da altura de plantas. Esse problema pode se agravar se houver insuficiência hídrica e/ou fotoperiódica, durante a fase de crescimento. Altas temperaturas podem acelerar a maturação e afetar a qualidade dos grãos, favorecendo o aumento no conteúdo de óleo, em detrimento do conteúdo de proteína.

Quando ocorrem temperaturas máximas do ar de 35 °C associadas à intensa radiação solar incidente na superfície do solo, há superaquecimento (temperatura acima de 55 °C), que pode provocar o tombamento fisiológico ou o cancro-de-calor das plantas que estão nos estádios VE ou VC (escala fenológica de FEHR; CAVINESS, 1977). O problema já foi observado em vários estados brasileiros (Mato Grosso, Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) (NEUMAIER et al., 2000). Existem evidências de que há diferenças entre cultivares quanto à tolerância a altas temperaturas. O conhecimento do comportamento dos diferentes genótipos a condições adversas de temperatura é muito importante por fornecer subsídios para obtenção de genótipos adaptados a tais condições.

Em relação às exigências hídricas da cultura da soja, alguns aspectos devem ser ressaltados. A necessidade total de água para a soja completar o ciclo de desenvolvimento com o máximo rendimento varia entre 450 mm e 800 mm, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo, que varia de 100 a 120 dias (precoces) até 155 a 160 dias (tardias). As fases consideradas críticas em relação à exigência hídrica são germinação, emergência, floração, formação de vagens e enchimento de grãos. A semente de soja requer 50 % do seu peso em água para iniciar o processo de germinação, sendo, portanto, mais exigente que a maioria das culturas. A necessidade de água vai aumentando com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo de 7 mm/dia a 8 mm/dia durante a floração e o enchimento dos grãos, e decrescendo após esse período. Déficits hídricos expressivos durante a floração e o enchimento dos grãos provocam alterações fisiológicas na planta, como o fechamento estomático e o enrolamento de folhas, e, como conseqüência dessas alterações, ocorrem queda prematura de folhas e de flores e abortamento de vagens, resultando, por fim, em

redução do rendimento de grãos. Entretanto, existem autores que consideram a soja bastante resistente à seca, por causa do seu extenso sistema radicular e do seu modo de florescer. O longo período de floração da soja permite que ela escape de curtos períodos de seca, pois a falha em fixar as vagens devido à seca pode ser compensada por sua ótima fixação em conseqüência do aparecimento de flores mais tardias, durante um período de boas condições de umidade do solo. Portanto, o período mais crítico em relação à água é durante o crescimento dos grãos.

Verifica-se, portanto, a existência de uma interferência significativa de temperaturas elevadas e déficits hídricos no desenvolvimento da cultura. A tendência de aumento de temperatura, fator climático de difícil controle, até 2080, - de 25,6 °C para 31,2 °C (cenário A) e 30,0 °C (cenário B) no mês de outubro, em média, no Brasil; e para 25,4 °C (cenário A) e 27,6 °C (cenário B), no mês de março - pode trazer alguns prejuízos diretos à produção de soja. As temperaturas dos meses de outubro a fevereiro/março, principal época de cultivo de soja no Brasil, previstas para 2080, no geral não excedem demasiadamente os valores considerados ideais para o cultivo da soja (20 °C a 30 °C). As regiões mais afetadas pelo aumento de temperatura seriam o Norte e o Centro-Oeste brasileiros. Atualmente, a região Norte é pouco expressiva na produção de soja, porém o Centro-Oeste constitui-se na principal região produtora, com participação de cerca de 40 % a 45 % da produção nacional. Embora essas considerações estejam sendo efetuadas com base nas temperaturas médias dos meses de outubro a março, seria importante uma análise detalhada com base nas temperaturas extremas, uma vez que pequenos períodos diários de temperaturas elevadas podem provocar danos irreversíveis como o cancro-de-sol (NEUMAIER et al., 2000) e a redução de quantidade e, principalmente, de qualidade de grãos e de sementes.

Em relação às condições hídricas, observa-se que, embora estejam previstas para o ano 2080 reduções das precipitações diárias na região Centro-Oeste, nos meses de janeiro e fevereiro (meses em que ocorrem o florescimento e o enchimento dos grãos na maioria das cultivares recomendadas), os valores atingiriam os 7 mm a 8 mm diários necessários para o bom florescimento e o enchimento dos grãos. A mudança mais drástica será observada na região Sul, na qual as precipitações nos meses de janeiro e fevereiro estariam muito abaixo da faixa considerada ideal. A necessidade de água para a cultura da soja (450 mm/ciclo a 800 mm/ciclo) varia de acordo com as outras condições climáticas, como a temperatura. Como existe a previsão de elevação de temperatura até 2080, provavelmente haveria um aumento da necessidade de água para a cultura que, se faltar, pode resultar em quebra de produtividade. Associando-se ainda essas previsões sobre

clima com a tendência de expansão de cultivo da soja para áreas de solos arenosos do Rio Grande do Sul, os prejuízos poderiam ser ainda maiores.

Por outro lado, há indicativos de que existem genótipos com comportamentos diferenciais em relação às condições climáticas, o que pode ser explorado de forma positiva nos programas de melhoramento, visando à obtenção de cultivares adaptadas às condições climáticas previstas para 2080. Porém, é importante salientar que as cultivares de soja apresentam um potencial de rendimento máximo determinado geneticamente. Esse potencial genético só pode ser expresso em sua plenitude sob condições ótimas que, em ambientes naturais de lavoura, praticamente não existem.

O aumento da concentração de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico pode alterar o desenvolvimento das plantas de soja. Os dados, obtidos a partir de amostras de bolhas de ar capturadas pelo gelo polar e retiradas em diferentes profundidades das geleiras, demonstram que, durante os últimos 650 mil anos, a concentração de CO_2 não excedeu 300 ppm em volume (SIEGENTHALER et al., 2005). Após a Revolução Industrial, os valores têm apresentado significativos aumentos. De 1995 a 2005, a taxa média de aumento foi de 1,9 ppm por ano e atingiu 379 ppm no final do período (IPCC, 2007). Para a planta, se não ocorrer deficiência de outros fatores, a alteração representa significativos benefícios por causa do aumento da taxa fotossintética e maior eficiência no uso da água, pois ocorre maior permanência dos estômatos fechados (IDSO; IDSO, 1994). Diversos trabalhos relatam o aumento no desenvolvimento e na produtividade da soja com o aumento da concentração do gás (ALLEN JÚNIOR; BOOTE, 2000; PRITCHARD; AMTHOR, 2005). Tal estímulo também deve ser levado em conta na análise dos impactos das mudanças climáticas, pois pode alterar o ciclo da cultura e compensar os danos causados pelas doenças.

Doenças da soja

Um dos fatores que interfere na produtividade da soja é a sua associação com vários patógenos, em diferentes estádios de desenvolvimento. A incidência e a severidade de doenças em soja dependem do grau de associação entre a planta e os agentes causais de doenças, sob a influência do ambiente.

Mais de 100 patógenos afetam a soja, mas 35 têm importância econômica. Aproximadamente 40 doenças causadas por fungos, bactérias, nematóides e vírus já foram constatadas no Brasil, porém a importância econômica que elas assumem pode variar de ano para ano e de região para

região, dependendo das condições climáticas. Além das doenças constatadas no Brasil, outros patógenos foram relatados em associação com a soja em várias regiões sojícolas do mundo, representando ameaças para as áreas isentas.

Apesar de numerosa a relação de doenças constatadas no Brasil, apenas algumas marcaram de forma significativa a recente história da soja no País, pelos milhões de dólares de prejuízos. Até a década de 70, praticamente não havia grandes preocupações em relação a doenças, sendo o controle químico considerado prática inviável economicamente. Na década de 70, a mancha-olho-de-rã (*Cercospora sojina*) constituiu-se em alerta aos agricultores do Sul do País. Em 1987/1988, as atenções dos agricultores e pesquisadores voltaram-se para o cancro-da-haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*); em 1992, o nematóide-de-cisto (*Heterodera glycines*) foi alvo de preocupações. Em 1995/1996, o oídio (*Erysiphe diffusa*) ocorreu em praticamente todas as regiões agrícolas brasileiras; e a mais recente preocupação é a ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*).

As condições climáticas têm influência marcante na ocorrência de epidemias dessas doenças. Desde sua constatação no Brasil, na safra de 2001/2002, a severidade da ferrugem-asiática tem variado de ano para ano e de região para região, em função da existência de condições favoráveis. Na safra de 2003/2004, a ferrugem-asiática provocou prejuízos elevados em quase todas as regiões brasileiras. A safra de 2004/2005 foi marcada por prejuízos devidos à prolongada estiagem em vários estados brasileiros, grandes produtores. Por causa da seca, a incidência de ferrugem foi menor. Em campos de produção de sementes, instalados nos meses da entressafra (outono/inverno) em que predominam temperaturas amenas e a água é fornecida por irrigação, imprescindível aos cultivos dessa época, a preocupação tem sido o mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*).

Analisando-se algumas doenças foliares, pode-se sugerir que a expectativa de aumento de temperatura e de redução das precipitações até 2080, a princípio e de forma geral, desfavorece o desenvolvimento da ferrugem-asiática. Porém, deve-se considerar que poucas horas com temperaturas de 20 °C a 25 °C, molhamento foliar e ausência de luz permitem a germinação dos uredosporos e o estabelecimento da doença. Essa combinação favorável, com certeza, ocorrerá em alguma região, em alguma época, por causa da diversidade de clima existente no Brasil, mesmo se forem consideradas as mudanças climáticas previstas. E, mesmo que as mudanças climáticas sejam drásticas, em níveis que prejudicariam o desenvolvimento da doença, há que se considerar que já se constatou variabilidade genética do patógeno, sendo perfeitamente possível o aparecimento de novas raças, mais adaptadas às condições climáticas de

2080. Esse raciocínio pode ser estendido a todos os patógenos que apresentam variabilidade. Por exemplo, *Cercospora sojina* (mancha-olho-de-rã) também possui capacidade de desenvolver raças (25 delas já foram identificadas no Brasil).

As podridões radiculares desenvolvem-se melhor em temperaturas mais elevadas e, desde que ocorram condições de alta umidade no solo, resultantes da presença de camadas de compactação, essas poderão ser os futuros alvos de preocupação, como já ocorreu com a mancha-olho-de-rã, o cancro-da-haste, o nematóide-de-cisto, o oídio e a ferrugem-asiática.

Em Ontário, Canadá, Boland et al. (2004) realizaram uma análise dos impactos das mudanças climáticas sobre as doenças de diversas culturas, entre elas, a soja. Os cenários previstos para essa região diferem consideravelmente dos previstos para o Brasil. Embora com grande variabilidade regional e sazonal conferindo alta incerteza, há expectativa de aumento da precipitação nos próximos 100 anos. A temperatura média anual deverá aumentar 3 °C, com maiores aumentos no inverno que no período de verão. Com essas condições, os autores afirmam que poderá ocorrer aumento da duração das epidemias de podridão-parda-da-haste (*Phialophora gregata*), míldio (*Peronospora manshurica*), cancro-da-haste (*Diaporthe phaseolorum*), oídio (*Erysiphe diffusa*), podridão-de-*Phytophthora* (*Phytophthora sojae*), tombamento (*Rhizoctonia solani*), síndrome-da-morte-súbita causada por *Fusarium solani*, mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) e nematóide-de-cisto (*Heterodera glycines*). Apesar do aumento da duração da epidemia, foi prevista redução na taxa de progresso da doença para a podridão-parda-da-haste, o míldio, o cancro-da-haste, o oídio, a morte-súbita causada por *Fusarium solani* e o mofo-branco. Para as demais (podridão-de-*Phytophthora*, tombamento-de-*Rhizoctonia* e nematóide-do- cisto), foi previsto aumento na taxa de progresso da doença.

O aumento da concentração de CO_2 atmosférico pode também alterar a relação das plantas com fitopatógenos e outros microrganismos. Finn e Brun (1982) verificaram aumento da atividade total de nódulos de *Bradyrhizobium japonicum* em planta de soja submetida a tratamento em atmosfera enriquecida com CO_2 ($1020 \pm 30\ \mu L.L^{-1}$), por 16 dias, em câmara de crescimento. Entretanto, a atividade específica, por grama de peso de matéria seca de nódulos, não foi alterada, indicando que o aumento da atividade total foi conseqüência do maior crescimento da planta nessas condições. Quando se realizou o tratamento por curto período de tempo (36 horas), não foram observadas diferenças entre as plantas quanto à atividade dos nódulos. Em trabalho realizado em estufas de topo aberto (*open-top chambers*), instaladas em Jaguariúna, SP, na safra de 2005/2006, Ghini

(dados não publicados) observou aumento na produção de nódulos em plantas de soja (cultivar Embrapa 48) submetidas à concentração média de 580 ppm de CO_2. Não houve diferença na altura das plantas. Quanto à severidade de oídio nas folhas primárias, notou-se que, nas estufas com a injeção de CO_2, houve redução da área foliar lesionada e do número de plantas doentes quando comparadas com estufas com atmosfera atual, porém houve maior produção de conídios do patógeno.

Considerações finais

As considerações feitas neste capítulo sobre o impacto das mudanças climáticas nas doenças de soja são de ordem geral. São muitas as variáveis envolvidas, que podem interferir tanto no desenvolvimento da soja como na incidência e severidade de doenças. Para se ter noção da amplitude das variáveis envolvidas no cultivo da soja no Brasil, considere-se que são cerca de 400 cultivares brasileiras recomendadas, com características diferentes quanto ao ciclo, à arquitetura de plantas, à rusticidade, à adaptabilidade a diferentes condições ambientes, à tolerância a pragas e doenças, etc. Some-se a isso o fato de a soja ser cultivada em uma diversidade de clima e de solo característica da extensa área de cultivo (desde altas latitudes do Rio Grande do Sul até os estados do Norte e do Nordeste, localizados próximos à linha do Equador). Considere também que existem cultivos sendo realizados no outono/inverno em várias regiões brasileiras.

Provavelmente, as mudanças de temperatura e de precipitação, previstas para 2080, interferirão no período de molhamento foliar, que em muitas doenças da soja é determinante para a infecção do patógeno. As mudanças de cada componente do clima, isoladamente, a interrelação dos vários fatores do clima, a variabilidade genética existente em vários patógenos associados à cultura da soja e a interferência do homem nos sistemas agrícolas resultam na formação de um sistema de alta complexidade, que exige análise minuciosa do impacto das mudanças climáticas sobre as doenças de soja.

Referências

ALLEN JÚNIOR, L. H.; BOOTE, K. J. Crop ecosystem responses to climatic change: soybean. In: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. **Climate change and global crop productivity**. Wallingford: CABI Publishing, 2000. p.133-160.

BOLAND, G. J.; MELZER, M. S.; HOPKIN, A.; HIGGINS, V.; NASSUTH, A. Climate change and plant diseases in Ontario. **Canadian Journal of Plant Pathology**, Ottawa, v. 26, p. 335-350, 2004

CÂMARA, G. M. S. **Soja:** tecnologia da produção. Piracicaba: ESALQ, 1998. 293 p.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja/Região Central do Brasil 2005**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 239 p.

FEHR, K. W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames, Yowa: Yowa State University, Cooperative Extension Service, 1977. 11 p. (Special Report, 80).

FINN, G. A.; BRUN, W. A. Effect of atmospheric CO_2 enrichment on growth, nonstructural carbohydrate content, and root nodule activity in soybean. **Plant Physiology**, Rockville, MD, v. 69, n. 2, p. 327-331, 1982.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

IDSO, K. E.; IDSO, S. B. Plant responses to atmospheric CO_2 enrichment in the face of environmental constraints: a review of the past 10 years' research. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdan, v. 69, n. 3/4, p. 153-203, 1994.

IPCC. **Climate change 2007**: the physical science basis: summary for policymakers. Geneva, 2007. 18 p. (IPCC. Assessment report, 4). Disponível em: <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2007.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. L; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Estresses de ordem ecofisiológica. In: BONATO, E. R. (Ed.) **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p. 45-66.

PRITCHARD, S. G.; AMTHOR, J. S. **Crops and environmental change**. New York: Food Products Press, 2005. 421p.

SIEGENTHALER, U.; STOCKER, T. F.; MONNIN, E.; LÜTHI, D.; SCHWANDER, J.; STAUFFER, B.; RAYNAUD, D. ; BARNOLA, J. M.; FISCHER, H. ; MASSON-DELMOTTE, V.; JOUZEL, J. Stable carbon cycle-climate relationship during the late Pleistocene. **Science**, Washington, v. 310, p. 1313-1317, 2005.

Capítulo 11

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças da bananeira no Brasil

Luadir Gasparotto
José Clério Rezende Pereira

Bananeira

A bananeira é uma cultura adaptada ao clima tropical. Segundo Borges e Souza (2004), a temperatura ótima para o desenvolvimento da planta situa-se em torno de 28 °C, sendo a faixa de 15 °C a 30 °C de temperatura os limites extremos para a sua exploração racional. Com relação às exigências de água, é uma planta de elevado e contínuo consumo, exigindo, para expressar todo o potencial de produção, uma precipitação anual total de 1.900 mm, bem distribuídos no decorrer do ano, em torno de 160 mm por mês. A carência de água adquire maior gravidade nas fases de floração e início de frutificação.

Nas condições climáticas atuais, a banana é cultivada em todo o Brasil, com uma maior limitação de umidade nas regiões Nordeste e Centro-Oeste. A temperatura é relativamente desfavorável, no período de junho a setembro, na região Sul e Vale do Ribeira no Estado de São Paulo, cujas temperaturas baixas reduzem o ritmo de emissão foliar, o crescimento e o enchimento dos frutos, retardando o período de colheita do cacho. As estiagens são acentuadas no período de maio a outubro, afetando drasticamente o cultivo da bananeira em todas as regiões do País, exceto no Estado de Roraima e pequena parte do norte do Amazonas. Nas regiões com estiagens acentuadas, há a necessidade de suplementação de água, por meio da irrigação. Em Roraima, as estiagens são mais acentuadas no período de dezembro a março. Em alguns estados do Nordeste, as estiagens se prolongam até janeiro.

Provavelmente, o efeito mais drástico das mudanças do clima sobre a produção de banana será o aumento da temperatura, pois o déficit hídrico aumenta devido à maior evapotranspiração. No período de 2020 até 2080, a temperatura tenderá a aumentar em todo o País. Na região central da Amazônia, em 2080, no período de agosto a outubro, a temperatura atingirá a faixa de 34 °C a 36 °C, extremamente desfavorável à bananeira. Na região Sul e Vale do Ribeira no Estado de São Paulo, no período de junho a outubro, a temperatura aumentará, diminuindo o período frio, o que favorecerá o desenvolvimento das bananeiras. Com relação às chuvas, haverá redução, porém sem grandes modificações, que não impedirá o cultivo da bananeira nas áreas cuja exploração é comercial. Nas áreas que atualmente sofrem com a falta de chuvas, haverá aumento no período de estiagem, tornando-as mais desfavoráveis ao cultivo da bananeira.

Doenças da bananeira

Sigatoka-negra: causada pelo fungo *Mycosphaerella fijensis* Morelet, constitui-se no principal fator de queda na produtividade dos bananais,

com reduções de até 100 % na produção comercial de bananas dos tipos prata e nanicão. Na região Amazônica, onde a umidade e a temperatura são altamente favoráveis, a sigatoka-negra ocorre de forma severa o ano todo. Segundo Jacome e Schuh (1992), as condições predisponentes à sigatoka-negra ocorrem em temperaturas superiores a 21 °C, temperatura ótima na faixa de 25 °C a 28 °C, umidade relativa alta e período chuvoso prolongado. O crescimento do tubo germinativo dos ascosporos ocorre na faixa de 10 °C a 38 °C, com o ótimo a 27 °C, sendo reduzido em temperaturas abaixo de 20 °C (VICENTE,1998). A severidade da doença é reduzida em temperaturas superiores a 30 °C (ROMERO; SUTTON, 1997). Na região Centro-Oeste e grande parte do Cerrado da região Sudeste, onde existe um período seco definido com baixa precipitação e pouca formação de orvalho à noite, nos meses de maio a setembro, a severidade da sigatoka-negra é extremamente baixa (MARTINS, 2005). Vargas (1996) relata que áreas com período seco prolongado e com pouca formação de orvalho durante a noite são menos favoráveis ao desenvolvimento da doença, mesmo sob condições de temperatura favoráveis. Na região Sul e Vale do Ribeira no Estado de São Paulo, no período de maio a setembro, apesar de haver baixa ocorrência de chuvas, as noites são longas e acompanhadas de intenso molhamento foliar causado por orvalho e as temperaturas são baixas. Segundo Mouliom-Pefoura et al. (1996), a temperatura abaixo de 20 °C reduz a germinação dos esporos e o crescimento do tubo germinativo e aumenta o período de incubação da doença. Apesar da temperatura baixa, a sigatoka-negra, naquela região tem exigido o controle químico, provavelmente porque os longos períodos de molhamento foliar, essenciais à infecção, podem estar compensando as limitações impostas pelos períodos com baixa temperatura. Com o aumento da temperatura na região Sul e Vale do Ribeira no Estado de São Paulo, no período de maio a setembro, a partir de 2020 a severidade da sigatoka-negra tende a ser mais alta, e os produtores de banana serão obrigados a reduzir os intervalos entre as aplicações de fungicidas, aumentando os custos de controle da doença.

A partir de 2020, no período de julho a setembro, na região central da Amazônia, a temperatura média deverá ultrapassar 30 °C; e, em 2080, atingirá 34 °C a 36 °C, condição desfavorável à sigatoka-negra (GHINI et al., 2007).

Mal-do-panamá: doença vascular causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Smith) Snyder & Hansen. O patógeno está distribuído por todo o Brasil e tem inviabilizado a exploração comercial das cultivares suscetíveis, notadamente a cultivar Maçã. O fungo pode permanecer no solo em estádio de dormência por vários anos, na forma de clamidosporos. Quando as condições são favoráveis, os clamidosporos

germinam, desenvolvendo micélio, que em poucas horas produzem conídios e outros clamidosporos (VENTURA; HINZ, 2002). A partir de 2020, com o aumento da temperatura em várias regiões e dos períodos de estiagens, haverá modificações na fisiologia das bananeiras, tornando-as estressadas, e possivelmente reduzindo a resistência do hospedeiro e aumentando a agressividade de *F. oxysporum* f. sp. *cubense* nas cultivares suscetíveis.

Moko ou murcha-bacteriana: causada pela bactéria *Ralstonia solanacearum* (Smith) Yabuuchi et al., raça 2, é a doença vascular mais destrutiva dos bananais estabelecidos em solos de ecossistemas de várzeas inundáveis, às margens dos rios Solimões e Amazonas, desde o Peru até o arquipélago do Marajó (PEREIRA; GASPAROTTO, 2005). Além dessas áreas, encontra-se disseminada em pequenas áreas do ecossistema de terra firme do Amazonas, Pará, Amapá, Rondônia e Sergipe. A bactéria não forma estrutura de resistência, reduzindo sensivelmente a sua sobrevivência no solo. Em rizomas de plantas doentes, a bactéria sobrevive por até 11 meses e, em solos infestados, os períodos de sobrevivência são reduzidos para quatro meses (PEREIRA; GASPAROTTO, 2005). A partir de 2020 haverá redução das precipitações e, conseqüentemente, da umidade do solo, com aumento da temperatura na região Norte. Nessas condições, o período de sobrevivência da *R. solanacearum*, no solo, será menor. Conseqüentemente, o período de pousio recomendado aos produtores para o plantio de bananeira, em uma área com histórico do moko, deverá ser menor, e, possivelmente, a incidência da doença também será reduzida.

Risca ou estrias-da-bananeira: virose causada pelo *Banana streak virus* (BSV), é transmitida no campo, por material propagativo doente e por cochonilhas, como *Planacocus citri* e *Pseudococcus* sp. Tem-se observado que, em Manaus, com clima quente e úmido, essa virose é assintomática nos meses quentes do ano. Como a temperatura tende a aumentar, a multiplicação e a atividade dos insetos transmissores serão maiores, aumentando a transmissão do vírus. Como a grande maioria dos produtores da região Amazônica utiliza mudas convencionais para o estabelecimento de novos plantios, a disseminação do vírus, via mudas doentes, tende a aumentar, pois o período assintomático da doença também será maior.

Considerações finais

No período de 2020 a 2080, o aumento esperado na temperatura e as reduções das precipitações terão como conseqüência o aumento do déficit hídrico. Dessa forma, para o cultivo da bananeira, haverá a necessidade de

suplementação de água, por meio da irrigação. Essas condições são favoráveis a um aumento significativo na intensidade da sigatoka-negra, do mal-do-panamá e do BSV, vírus causador da risca ou estrias-da-bananeira, elevando os custos de produção e reduzindo a produtividade e a qualidade dos frutos da bananeira.

Referências

BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. Exigências edafoclimáticas. In: BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. (Ed.). **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. cap. I, p. 15-23.

GHINI, R.; HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V.; GASPAROTTO, L.; PEREIRA. J. C. R. Análise de risco das mudanças climáticas globais sobre a sigatoka-negra da bananeira no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 197-204, 2007.

JACOME, L. H.; SCHUH, W. Effects of leaf wetness duration and temperature of development of black Sigatoka disease on banana infected by *Mycosphaerella fijiensis* var. *difformis*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 82, n. 5, p. 515-520, 1992.

MARTINS, M. B. **Epidemiologia da sigatoka-negra no município de Cáceres, Mato Grosso**. 2005. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2005.

MOULIOM-PEFOURA, A.; LASSOUDIÈRE, A.; FOKO, J.; FONTEM, D. A. Comparison of development of *Mycosphaerella fijiensis* and *Mycosphaerella musicola* on banana and plantain in the various ecological zones in Cameroon. **Plant Disease**, St. Paul, v. 80, n. 8, p. 950-954, 1996.

PEREIRA, J. C. R.; GASPAROTTO, L. **Contribuição para o reconhecimento de doenças vasculares da bananeira (*Musa* spp)**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2005. 16 p. (Embrapa Amazônia Ocidental. Circular técnica, 25).

ROMERO, R. A.; SUTTON, T. B. Reaction of four *Musa* genotypes at three temperature of isolates of *Mycosphaerella fijiensis* from different geographical regions. **Plant Disease**, St. Paul, v. 81, n. 10, p.1139-1142, 1997.

VARGAS, V. M. M. **Prevencion y manejo de la sigatoka negra**. Caldas, Colômbia: ICA, 1996. 30 p.

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

VICENTE, L. P. Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) de bananas y plátanos (*Musa* ssp.) en Cuba. Biología, epidemiología y manejo integrado de la enfermedad. In: SIMPOSIUM INTERNACIONAL SOBRE SIGATOKA NEGRA, 1998, Manzanillo. **Memórias**... Manzanillo: SAGAR/INIBAP, 1998. p. 24-52.

Capítulo 12

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças da cana-de-açúcar no Brasil

Álvaro Sanguino

Introdução

A cana-de-açúcar é considerada uma cultura semiperene, pois, a partir de um plantio, sua exploração econômica é efetuada por pelo menos quatro ou cinco anos antes que se efetue a reforma com um novo plantio. Partindo dessa característica, é praticamente antieconômica qualquer medida de controle de doenças, nas lavouras comerciais, que não sejam provenientes da resistência genética incorporada nas variedades pelos programas de melhoramento.

As variedades, atualmente em uso no País, possuem resistência genética para as principais doenças prevalentes, mas não podem evitar que alterações ambientais ou de manejo propiciem condições para que as doenças sejam favorecidas, ou mesmo, provoquem variações nos patógenos e surjam novas doenças que possam alterar o equilíbrio existente. Um exemplo recente de um novo patógeno na cana-de-açúcar é o do vírus da síndrome-do-amarelecimento-foliar-da-cana-de-açúcar que, na década de 1990, tornou inviável o plantio de uma importante variedade, a SP71-6163. Somente a partir dessa ocorrência, os programas de melhoramento começaram a selecionar as variedades resistentes a essa doença e que atualmente estão em cultivo.

Com a expansão da cultura da cana-de-açúcar para atender à demanda interna e externa pelo açúcar e pelo álcool, a cultura tem ocupado os mais diferenciados ambientes de produção, ou seja, solos de diferentes graus de fertilidade, diferentes regimes pluviométricos e de temperaturas (MACEDO, 2005). Esse fato por si só já apresenta sérios problemas para a adaptação produtiva das variedades hoje existentes, sem levar em consideração a possibilidade da ocorrência mais acentuada dos patógenos conhecidos ou de novos patógenos.

Como a resistência que a cana-de-açúcar possui para a maioria dos patógenos é de caráter quantitativo, variações climáticas ou ambientais que possam alterar as reações fisiológicas do hospedeiro ou do patógeno, como aumentar o potencial de inóculo dos patógenos ou intensificar o crescimento do hospedeiro em determinados períodos, poderão provocar alterações nessa resistência genética.

A proibição da queima pré-colheita dos canaviais para reduzir as emissões de CO_2 e a emissão de partículas sobre as cidades terá, sem dúvida, uma importância fundamental na ocorrência e disseminação de algumas doenças foliares, tais como os fungos da ferrugem (*Puccinia melanocephala*), da mancha-parda (*Cercospora longipes*), da mancha-ocular (*Bipolaris sacchari*) e a bacteriose-das-estrias-vermelhas (*Acidovorax avenae* subsp. *avenae*), que estavam sendo mantidas sob controle pela eliminação das fontes de inóculo pelo fogo.

Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar

As previsões do impacto das mudanças climáticas sobre as doenças das plantas são especulativas pela dificuldade de validação de modelo climático para o futuro e quais seriam seus efeitos sobre uma determinada doença (CHAKRABORTY et al., 1998).

As mudanças climáticas provavelmente terão pequenas influências em doenças como o carvão (*Ustilago scitaminae*), a ferrugem (*Puccinia melanocephala*), a escaldadura-das-folhas (*Xanthomonas albilineans*), o mosaico (*Potyvirus* - SCMV) e a síndrome-do-amarelecimento-foliar, que são as mais importantes da cana-de-açúcar, uma vez que a dinâmica dos programas de melhoramento varietal e o avanço acentuado da engenharia genética na produção de variedades transgênicas têm como metas principais disponibilizar variedades com um grau de resistência satisfatório, para evitar que, durante o ciclo de sua utilização econômica (cinco a dez anos), essas doenças possam causar prejuízos. Mudanças nesses patógenos ou alterações na reação do hospedeiro também deverão ser observadas rapidamente devido ao acompanhamento constante e aos testes efetuados nas variedades obtidas.

O equilíbrio somente será quebrado se novas doenças ou novas raças de patógenos surgirem, ou se as alterações climáticas puderem auxiliar o desenvolvimento e a disseminação de doenças hoje consideradas secundárias, tais como as manchas foliares (mancha-parda e mancha-ocular) e as podridões de bainha e de raízes, todas elas causadas por fungos, que atualmente só apresentam problemas em situações muito especiais, pois para essas doenças não existe um processo de seleção dirigido para a resistência dentro dos atuais programas de melhoramento genético.

As previsões das alterações climáticas, disponibilizadas pelo IPCC (Capítulo 2), indicam principalmente elevações das temperaturas e alterações no volume das chuvas. Essas previsões poderão provocar mudanças significativas no manejo e na condução dos canaviais e, conseqüentemente, serão alteradas as relações com as pragas e doenças da cultura.

Pode-se prever que o aumento da temperatura poderá alterar as dinâmicas das populações de pragas em algumas regiões, onde essas eram controladas por temperaturas de inverno mais frias, e propiciar sua sobrevivência e migração para novas regiões. Esse fato poderá facilitar a disseminação de doenças transmitidas por insetos vetores, como é o caso do mosaico-da-cana-de-açúcar, que tem como principal disseminador da doença os pulgões.

As elevações na concentração de CO_2 tendem a provocar alterações no metabolismo e nos processos fisiológicos da planta (GHINI, 2005). Na cana-de-açúcar, experimentos patrocinados pelo Centro de Tecnologia Canavieira mostraram aumentos de até 80 % de materiais fotossintetizados em ambientes saturados com CO_2 (CTC - Informa Nº 6 - 2005). Esse fato, por sua vez, poderá provocar alterações nas relações patógeno-hospedeiro, que podem significar aumento ou diminuição no número e rapidez nas multiplicações dos patógenos.

As doenças mais importantes, atualmente, na cultura da cana-de-açúcar no Brasil, o carvão (*Ustilago scitaminea*), o mosaico (*Potyvirus* - SCMV), a escaldadura-das-folhas (*Xanthomonas albilineans*) e o raquitismo-da-soqueira (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*), só sofrerão alterações em sua atual manifestação com o auxílio direto do homem. Por serem doenças sistêmicas, têm como principal meio de disseminação o uso de material infectado para a propagação vegetativa, ou então os instrumentos de corte infectados. Em países em que a freqüência de furacões e tempestades tropicais é elevada, a escaldadura-das-folhas tem também como importante meio de disseminação os fortes ventos associados a essas alterações climáticas. Mudanças climáticas que provoquem severas tempestades e ciclones podem auxiliar a dispersão do inóculo da escaldadura (CHAKRABORTY et al., 1998). Outro fato importante a ser considerado é que, se as mudanças climáticas puderem provocar alterações fisiológicas que modifiquem o nível de resistência das plantas para determinadas doenças, que hoje são mantidas sob controle, pelo uso de variedades moderadamente resistentes, ou causem mudanças ambientais que favoreçam determinadas doenças, poderão ocorrer sérias e graves epidemias.

P. melanocephala, agente causal da ferrugem-da-cana-de-açúcar, necessita de alta umidade relativa para completar o seu ciclo no hospedeiro. Em condições normais para o desenvolvimento da cultura, uma variedade com resistência intermediária seria suficiente para evitar prejuízos, pois essa variedade produziria novas folhagens, antes que as pústulas de ferrugem pudessem atingir grandes áreas do limbo foliar na folhagem já existente. Em condições de alta umidade, mas com deficiência de água no solo, essa mesma variedade reduz seu crescimento e não renova suas folhas com a rapidez desejada, assim sendo, as folhas atacadas pela ferrugem são sucessivamente infectadas pelos esporos produzidos nessas folhas, formando grandes áreas necrosadas, que podem até matar a planta.

O fungo *Colletotrichum falcatum*, causador da podridão-vermelha nos colmos da cana-de-açúcar, nas atuais condições, tem como principal aliado a broca-da-cana, *Diatraea saccharalis*, que facilita o acesso do patógeno ao interior do hospedeiro. Praticamente não há danos pela penetração direta

do patógeno. Em países onde as condições de umidade relativa alta persistem por vários dias, *C. falcatum* é capaz de penetrar diretamente o tecido da cana, provocando necrose e morte dos tecidos, sem a necessidade do ferimento provocado pela broca.

A mancha-amarela, causada pelo fungo *Mycovellosiella koepkei*, não encontra condições favoráveis ao seu desenvolvimento na maioria das áreas cultivadas do Sudeste brasileiro. A temperatura ideal para o desenvolvimento da doença é 28 °C, e a umidade relativa acima de 80 % (RICAUD; AUTREY, 1989). Essas condições são encontradas hoje no Pantanal e regiões ribeirinhas do Estado de Mato Grosso e no litoral do Nordeste brasileiro.

Para o mosaico-da-cana-de-açúcar, Koike e Gillaspie (1989) atribuem, aos verões com chuvas acima da média, as maiores ocorrências do mosaico na lavoura de cana, pois essas condições favorecem o crescimento rápido da cultura e o aumento da população de insetos. A grande quantidade de tecidos jovens e a alta população de insetos facilitam a transmissão do vírus. Como as temperaturas médias acima de 28 °C desfavorecem a multiplicação do vírus, o aumento da temperatura global poderá reduzir as áreas de ocorrência do mosaico.

As alterações climáticas podem auxiliar e até mesmo impedir a expansão de culturas, bem como dos seus patógenos. A cana-de-açúcar, em sua expansão, tem atingido regiões onde as condições para a exploração da cultura podem não ser totalmente favoráveis. Nesses locais, originalmente explorados com pastagens, citros, café, algodão e outras culturas, podem surgir condições para que doenças de menor importância passem a causar sérios danos. Patógenos capazes de atacar vários hospedeiros, como *Rhizoctonia* e *Sclerotium*, citados por Chakraborty et al. (2000), podem se multiplicar intensamente na cultura anterior e, auxiliados pelas condições desfavoráveis para o desenvolvimento do novo hospedeiro, transformar-se em importantes patógenos para a cana-de-açúcar.

Considerações finais

O crescimento das lavouras de cana-de-açúcar para regiões onde tradicionalmente a cultura nunca foi explorada pode gerar novos acontecimentos de ordem fitossanitária, para os quais, atualmente, os institutos de pesquisa existentes no Brasil não estão devidamente preparados. Esse fato atual pode trazer conhecimentos futuros sobre novas situações ambientais, que auxiliariam equacionar os problemas provocados por futuras mudanças climáticas.

As mudanças climáticas globais são fatos inevitáveis e deverão ocorrer lentamente. Portanto, o homem, por meio de suas pesquisas e observações, saberá naturalmente como enfrentar as novas condições que podem ameaçar sua sobrevivência.

Referências

CHAKRABORTY, S.; MURRAY, G. M.; MAGAREY, P. A.; YONOW, T.; O' BRIEN, R. G.; CROFT, B. J.; BARBETTI, M. J.; SIVASITHAMPARAM, K.; OLD, K. M.; DUDZINSKI, M. J.; SUTHERST, R. W.; PENROSE, L. J.; ARCHER, C.; EMMETT, R. W. Potential impact of climate change on plant diseases of economic significance to Australia. **Australasian Plant Pathology**, Collingwood, v. 27, p. 15-35, 1998.

CHAKRABORTY, S.; TIEDEMANN, A. V.; TENG, P. S. Climate change: potential impact on plant diseases. **Environmental Pollution**, Essex, v. 108, p. 317-326, 2000.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

KOIKE, H.; GILLASPIE, A. G. Mosaic. In: RICAUD, C.; EGAN, B. T.; GILLASPIE, A. G.; HUGHES, C. G. (Ed.). **Diseases of sugarcane:** major diseases. Amsterdam: Alsevier, 1989. p. 301-322.

MACEDO, I. C. **A energia da cana-de-açúcar**: dose estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar do Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: ÚNICA: Berlendis & Vertecchia, 2005. 237 p.

RICAUD, C.; AUTREY, L. J. C. Yellow spot. In: RICAUD, C.; EGAN, B. T.; GILLASPIE, A. G.; HUGHES, C. G. (Ed.). **Diseases of sugarcane**: major diseases. Amsterdam: Elsevier, 1989. p. 231-246,.

Capítulo 13

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças fúngicas do cafeeiro no Brasil

Edson Ampélio Pozza
Marcelo de Carvalho Alves

Introdução

No final do século XIX, a temperatura média da superfície da Terra aumentou 0,6 °C ± 0,2 °C, ocasionando mudanças no movimento atmosférico, precipitação, umidade (FOLLAND et al., 2001) e, conseqüentemente, nos agroecossistemas (GOUDRIAAN; ZADOKS, 1995; FUHRER, 2003). Alguns estudos já demonstraram o efeito de mudanças climáticas na distribuição geográfica de culturas de interesse agronômico (KENNY et al., 1993; CARTER et al., 1996; NEILSON et al., 2005) e também no progresso de epidemias de doenças de plantas (SCHERM; YANG, 1995; CHAKRABORY et al., 1998; PATTERSON et al., 1999; WOODS et al., 2005). Para ocorrer a doença, é necessário o ambiente favorável (AGRIOS, 2004), portanto, o clima é capaz de influenciar esse processo, principalmente na população de patógenos, de hospedeiros e na resultante da sua interação, a doença.

As variáveis climáticas de interesse no estudo de doenças de plantas são temperatura, umidade, pluviosidade, radiação e vento (CAMPBELL; MADDEN, 1990). Dentre essas variáveis, a temperatura e a umidade exercem papel fundamental no progresso de epidemias (JONES, 1986; DUTHIE, 1997; AGRIOS, 2004). Em geral, a temperatura é o fator ambiental freqüentemente correlacionado com respostas biológicas em estudos de epidemias de doenças de plantas (SUTTON et al., 1984), pois interfere nos processos iniciais de infecção, colonização, esporulação, sobrevivência do patógeno e nos processos fisiológicos da planta, como evapotranspiração, fotossíntese, metabolismo, entre outros (VALE et al., 2004). A umidade também pode influenciar patógenos, hospedeiros e, conseqüentemente, as doenças de plantas (DUNIWAY, 1982), sendo representada nos estudos epidemiológicos por meio das variáveis: umidade relativa, molhamento foliar, chuva e umidade do solo. O molhamento foliar é indispensável para a germinação de fungos e a precipitação, na forma de chuva ou irrigação, são importantes para a disseminação de patógenos, além de proporcionar molhamento foliar (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

Entre as espécies de interesse agronômico cultivadas no Brasil, destaca-se o cafeeiro, por sua importância tanto econômica quanto social. Certamente, o clima está associado e pode exercer papel fundamental na produtividade dessa cultura, por influenciar no excesso ou no déficit hídrico do sistema água-solo-planta, bem como na absorção de nutrientes pela planta, além de outras características relacionadas com a ocorrência e a intensidade de doenças (AGRIOS, 2004).

As doenças do cafeeiro são responsáveis por perdas significativas na produção. Entre as de etiologia fúngica, destacam-se a ferrugem (*Hemileia*

vastatrix Berkeley & Broome), a cercosporiose ou mancha-de-olho-pardo (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke) e a mancha-de-phoma (*Phoma* spp.). Vários estudos foram realizados a fim de entender a influência do ambiente e do hospedeiro na epidemiologia da ferrugem (SOUZA, 1980; KUSHALAPPA, 1989; ZAMBOLIM, 1999; GARÇON et al., 2004; VALE et al., 2004;), da cercosporiose (ECHANDI, 1959; LÓPEZ-DUQUE; FERNÁNDEZ-BORRERO, 1969) e da mancha-de-phoma (ECHANDI, 1957; SALGADO et al., 2002; POZZA et al., 2003). De posse das informações sobre os efeitos do ambiente nas epidemias, podem ser realizados estudos para modelar, simular, prever a ocorrência (KUSHALAPPA, 1989; PINTO et al., 2002) e formular estratégias de controle de doenças (PIVONIA; YANG, 2005). Além disso, podem-se utilizar cenários climáticos futuros para avaliar os impactos das mudanças climáticas na intensidade de doenças (COAKLEY, 1995; COAKLEY; SCHERM, 1996; GHINI, 2005).

Os modelos matemáticos desenvolvidos para estimar os impactos das mudanças climáticas, baseados no clima, no ambiente, no uso da terra, nos aspectos tecnológicos e socioeconômicos da população, prevêem um aumento entre 1,4 °C e 5,8 °C na temperatura média global para o ano de 2100 (CARTER et al., 2001). Para o Brasil, Siqueira et al. (2001), utilizando modelos de equilíbrio atmosférico, projetaram elevações de temperatura em torno de 3 °C a 5 °C e aumento médio no volume de chuvas de aproximadamente 11 %. Com isso, provavelmente haverá alternância das áreas cultivadas com cafeeiro de acordo com seu limite de tolerância ao estresse térmico e hídrico (ASSAD et al., 2004) e, conseqüentemente, mudança na ocorrência de doenças ao longo do território brasileiro (SCHERM; YANG, 1995).

Considerando-se as previsões de mudanças climáticas, pode-se admitir que locais atualmente limitantes ou aptos a hospedeiros e patógenos podem passar a apresentar condições favoráveis ou desfavoráveis ao seu estabelecimento. Assim, o objetivo deste capítulo foi discutir o efeito potencial de mudanças climáticas no progresso, ao longo dos meses do ano, em cenários futuros, da ferrugem, da cercosporiose e da mancha-de-phoma nas folhas do cafeeiro, no Brasil.

Limites de temperatura e de umidade para doenças fúngicas do cafeeiro

Com base na literatura, foram obtidos os limites favoráveis de temperatura e precipitação para a germinação e a infecção de patógenos e

também para o progresso da ferrugem, da cercosporiose e da mancha-de-phoma nas folhas do cafeeiro (Tabelas 1, 2 e 3). Esses limites foram aplicados a mapas de temperatura e de precipitação média no período atual (normal climatológica de 1961 a 1990) e no futuro, em dois cenários, A2 (mais pessimista) e B2 (mais otimista), projetados para as décadas de 2020 (entre 2010 e 2039), 2050 (entre 2040 e 2069) e 2080 (entre 2070 e 2099) (CUBASCH et al., 2001). As projeções futuras de mudanças climáticas utilizaram uma hierarquia de modelos com base no clima, meio ambiente, uso da terra, aspectos tecnológicos e socioeconômicos, num total de 40 cenários e seis modelos matemáticos, acoplados para indicar respostas globais e padrões regionais de mudanças climáticas (NAKICENOVIC et al., 2001). Esses cenários variaram de acordo com o grau de interferências antrópicas no ambiente (CARTER et al., 2001) e foram abordados com maiores detalhes no Capítulo 2.

Ferrugem (*Hemileia vastatrix*)

A temperatura ótima para ocorrer a germinação e a conseqüente infecção de *H. vastatrix* foi descrita, por vários autores, entre 22 °C e 24 °C, com limite inferior de 15 °C e superior de 30 °C (MONTOYA; CHAVES, 1974; AKUTSU, 1981; KUSHALAPPA et al., 1983; ZAMBOLIM, 1999), enquanto no campo foi observado intervalo de 18 °C a 26 °C como o ideal para a esporulação ou visualização dos sinais da ferrugem (BOLDINI, 2001; SANTOS, 2002; MIRANDA, 2004). Períodos de molhamento foliar abaixo de 6 horas foram considerados como limitantes para ocorrer a germinação e a infecção. Molhamentos foliares de 24 horas ou maiores foram considerados ótimos para o maior progresso da doença (AKUTSU, 1981; KUSHALAPPA et al., 1983; ZAMBOLIM, 1999). Como a variável de umidade utilizada, nos cenários futuros, foi a precipitação mensal em mm/dia, calculou-se o limite mínimo de precipitação ou umidade relativa capaz de fornecer o mínimo de 6 horas de molhamento foliar. Pivonia e Yang (2004) igualmente basearam-se na pluviosidade, pois também não tinham dados de duração do molhamento foliar para desenvolver um modelo de previsão para a ferrugem-asiática-da-soja. Sendo assim, esses autores determinaram como limite mínimo para a ocorrência da ferrugem-asiática-da-soja o mínimo de 6 horas de molhamento foliar referente a uma precipitação semanal de 10 mm, ou umidade relativa igual a 90 % por seis ou mais horas. Dessa forma, considerou-se, no presente capítulo, precipitações médias superiores a 3 mm/dia e temperaturas entre 18 °C e 26 °C como de alta favorabilidade ao progresso da ferrugem-do-cafeeiro (Tabela 1).

Tabela 1. Favorabilidade térmica e hídrica para ocorrer a ferrugem-do-cafeeiro.

Favorabilidade	Temperatura média (°C)	Precipitação média (mm/dia)
Alta	entre 18 e 26	maior que 3
Média	entre 15 e 18 e entre 26 e 28	maior que 2 e menor ou igual a 3
Baixa	menor que 15 e maior que 28	menor ou igual a 2

Mancha-de-olho-pardo ou cercosporiose (*Cercospora coffeicola*)

De acordo com Echandi (1959), temperatura, umidade e luminosidade apresentam efeitos significativos no progresso da cercosporiose. Com relação à temperatura, verificou-se maior crescimento micelial e esporulação de *C. coffeicola* a 24 °C, e maior germinação dos conídios *in vitro* entre 24 °C e 30 °C. Temperaturas abaixo de 12 °C e acima de 30 °C proporcionaram menor diâmetro de colônias (ECHANDI, 1959). No campo, Boldini (2001), Santos (2002) e Miranda (2004) encontraram maior progresso da doença entre 18 °C e 24 °C. Com relação à umidade, Echandi (1959) verificou requerimento de alta umidade relativa do ar, entre 98 % e 100 %, além da necessidade de uma película de água para a germinação do fungo. Segundo Fernandes (1988), houve maior proporção cumulativa de folhas lesionadas no período de 6, 12, 24 e 48 horas de molhamento foliar, com ligeira redução a 0 e 72 horas, aos 30 dias após a inoculação. Dessa forma, regiões com temperaturas mensais médias entre 18 °C e 24 °C e precipitação média de 3 mm/dia foram consideradas de alta favorabilidade ao progresso da cercosporiose do cafeeiro (Tabela 2).

Tabela 2. Favorabilidade térmica e hídrica para ocorrer a cercosporiose ou mancha-de-olho-pardo-do-cafeeiro.

Favorabilidade	Temperatura média (°C)	Precipitação média (mm/dia)
Alta	entre 18 e 24	maior que 3
Média	entre 12 e 18 e entre 24 e 30	maior que 2 e menor ou igual a 3
Baixa	menor que 12 e maior que 30	menor ou igual a 2

Mancha-de-phoma (*Phoma tarda* e *Phoma costarricensis*)

As espécies *Phoma tarda* e *Phoma costarricensis* foram utilizadas como base para estabelecer os limites de temperatura e de precipitação favoráveis

à mancha-de-phoma. As condições favoráveis para *P. costarricensis* são temperaturas entre 12 °C e 25 °C, com maior progresso da doença a 18 °C e 19 °C (ZAMBOLIM, 1999), e para a espécie *P. tarda, in vitro,* temperaturas entre 15 °C e 22 °C (SALGADO et al., 2002), com maior progresso da doença em cafeeiro, em câmara de crescimento vegetal, entre 15 °C e 20 °C (POZZA et al., 2003). Com relação à umidade, para *P. costarricensis,* Zambolim (1999) citou condições favoráveis de umidade relativa do ar acima de 90 %, além de chuvas constantes e de baixa intensidade. Já Carvalho e Chalfoun (1998) relatam maior intensidade de epidemias de *P. costarricensis* sob condições de chuvas abundantes, principalmente de granizo, ou quando o inverno é chuvoso. Para a espécie *P. tarda,* Pozza et al. (2003) constataram condições mais favoráveis à infecção após 68 horas de molhamento foliar. Embora no inverno brasileiro não ocorram chuvas bem distribuídas, precipitações localizadas podem favorecer epidemias com alta taxa de progresso sob baixas temperaturas. Assim, em detrimento da exigência de umidade do fungo para causar infecção, adotaram-se regiões de precipitação média maior que 4 mm/dia e temperaturas entre 16 °C e 20 °C como altamente favoráveis ao progresso da mancha-de-phoma nas folhas (Tabela 3). Embora o inverno brasileiro não seja chuvoso, não se descartou a probabilidade de ocorrer precipitação e existir regiões de alta umidade relativa nessa época, geralmente em altitudes elevadas, de maneira a proporcionar ambiente favorável à ocorrência da doença.

Tabela 3. Favorabilidade térmica e hídrica para ocorrer a mancha-de-phoma-do-cafeeiro.

Favorabilidade	Temperatura média (°C)	Precipitação média (mm/dia)
Alta	entre 16 e 20	maior que 4
Média	entre 12 e 16 e entre 20 e 24	maior que 3 e menor ou igual a 4
Baixa	menor que 12 e maior que 24	menor ou igual a 3

Favorabilidade de doenças fúngicas do cafeeiro no Brasil de acordo com a variabialidade espacial da temperatura e precipitação devido a mudanças climáticas

As análises foram baseadas em médias de variáveis climáticas nas principais áreas plantadas com o cafeeiro. As conclusões não impedem que, em determinadas áreas com clima específico e diferente da média, a doença

possa ocorrer com alta intensidade e também em outras épocas. Se, no futuro, forem consideradas novas variedades, adaptadas a regiões com temperatura mais elevadas e menor índice pluviométrico, a variabilidade do patógeno para adaptar-se às mudanças climáticas e o emprego de práticas de manejo, como a irrigação, as conclusões poderão sofrer alterações.

Região Sudeste

Essa é a região onde atualmente concentra-se a maior área plantada com o cafeeiro, destacando-se o Estado de Minas Gerais, com seus cultivos de *Coffea arabica* nas regiões sul, Triângulo Mineiro e Zona da Mata, e o Estado de São Paulo, nas regiões oeste e alta mogiana. Também se encontra nessa região o Espírito Santo, onde é plantado o *Coffea canephora*, mais resistente a altas temperaturas. Com relação à ferrugem-do-cafeeiro, na região Sudeste do Brasil, no cenário atual, observou-se alta favorabilidade entre outubro e março, época de maior precipitação e sujeita a maiores períodos de molhamento foliar; e favorabilidade média em abril, maio e setembro, devido à queda na temperatura e na precipitação (Tabela 4). Essa análise foi feita baseada, principalmente, na temperatura favorável à germinação do patógeno, mas nada impede que sejam visualizados sinais ou a esporulação de *H. vastatrix* com maior intensidade de abril até junho, pois essa é a última fase do ciclo de vida do patógeno. Em 2020 e 2050, o comportamento será idêntico ao do período atual, mesmo com a maior concentração de chuvas de novembro a março e aumento na temperatura, porém dentro do intervalo favorável à ferrugem. Em áreas com café irrigado por aspersão, por exemplo, o Triângulo Mineiro, com o aumento da temperatura no inverno, até 26 °C, poderá ocorrer maior favorabilidade ao progresso da ferrugem; no entanto, no verão, com maiores temperaturas, a doença passará a ter condições favoráveis médias nessa região. Em 2080, no cenário A2, com o aumento da temperatura em todos os meses do ano, a favorabilidade à doença será média, de setembro a maio (Tabela 4). Essas pequenas alterações climáticas podem modificar o período de maior intensidade da doença, descrito entre março-abril até junho (ZAMBOLIN et al., 2005), mudanças já observadas por alguns autores. Talamini (1999, 2001) observou mudança na data de início da epidemia, começando a fase logarítmica da ferrugem mais tarde, entre abril e maio, e permanecendo por mais tempo com alta intensidade, algumas vezes até setembro-outubro. Chalfoun (2001) também observou mudanças no início do progresso da ferrugem, comparando as curvas de progresso das décadas de 1980 e 1990, principalmente devido à variabilidade climática. Esse fato, no caso desses trabalhos, deveu-se muitas vezes ao aumento da

Tabela 4. Épocas favoráveis ao progresso da ferrugem nas áreas plantadas com cafeeiro no Brasil, com base nas condições climáticas de temperatura e de precipitação média mensal atual e estimativas de mudanças climáticas globais futuras, de acordo com os cenários A2 e B2.

Região	Cenário	Período	Mês[1] J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Norte	Atual	Atual												
Norte	2020	A2												
Norte	2020	B2												
Norte	2050	A2												
Norte	2050	B2												
Norte	2080	A2												
Norte	2080	B2												
Nordeste	Atual	Atual				*	*	*	*	*	*	*		
Nordeste	2020	A2				*	*	*	*	*	*	*		
Nordeste	2020	B2				*	*	*	*	*	*	*		
Nordeste	2050	A2				*	*	*	*	*	*			
Nordeste	2050	B2				*	*	*	*	*	*			
Nordeste	2080	A2				*	*	*	*	*	*			
Nordeste	2080	B2				*	*	*	*	*	*			
C. Oeste	Atual	Atual												
C. Oeste	2020	A2												
C. Oeste	2020	B2												
C. Oeste	2050	A2												
C. Oeste	2050	B2												
C. Oeste	2080	A2												
C. Oeste	2080	B2												
Sudeste	Atual	Atual												
Sudeste	2020	A2												
Sudeste	2020	B2												
Sudeste	2050	A2												
Sudeste	2050	B2												
Sudeste	2080	A2												
Sudeste	2080	B2												
Sul	Atual	Atual												
Sul	2020	A2												
Sul	2020	B2												
Sul	2050	A2												
Sul	2050	B2												
Sul	2080	A2												
Sul	2080	B2												

[1] Favorabilidade alta, média e baixa à ferrugem, ao longo dos meses do ano.
* Relativo às áreas irrigadas no sul e no oeste da Bahia.

Alta Média Baixa

média das temperaturas mínimas durante o inverno, proporcionando maior esporulação da ferrugem até setembro e outubro, embora não ocorram condições para ocorrer germinação (ALVES, 2006).

Para a cercosporiose, no período atual, a época de alta favorabilidade estende-se de setembro a maio. Já em 2020, setembro e o período de novembro a janeiro passarão a ter baixa e média favorabilidade, respectivamente. Em 2050 e 2080, no cenário B2, somente nos meses de abril e maio deverá ocorrer alta favorabilidade ao progresso da cercosporiose nas folhas, devido ao aumento na temperatura. Essa redução deve-se principalmente ao aumento da temperatura média no sul e Zona da Mata de Minas Gerais, em até 6 ºC até 2080 (Tabela 5).

No caso da mancha-de-phoma, observaram-se, no período atual, áreas com alta favorabilidade de maio a setembro. De 2020 a 2080, deverá haver redução das áreas e também do intervalo de meses favoráveis, devido principalmente ao aumento da temperatura e concentração das chuvas durante o verão, reduzindo a probabilidade de ocorrerem precipitações esporádicas no inverno, principalmente nas maiores regiões produtoras de Minas Gerais. Em 2020, os meses altamente favoráveis deverão se concentrar de junho a agosto; já em 2050 esses meses serão de média, e em 2080 de baixa favorabilidade (Tabela 6).

Região Sul

Na região Sul do Brasil, onde, no período atual, o Estado do Paraná tem a maior área plantada com o cafeeiro, observaram-se com relação à ferrugem áreas com alta favorabilidade à infecção no norte e noroeste desse estado, no período de novembro até abril, e áreas medianamente favoráveis em setembro, outubro e maio, devido principalmente à queda na temperatura. Com o aumento da temperatura em 2020 e em 2050, o mês de outubro também poderá ser de alta favorabilidade, enquanto agosto, setembro e maio continuam com favorabilidade média. Nesses meses, embora deverá haver aumento na temperatura, não haverá precipitação suficiente para a germinação da maioria das populações hoje conhecidas de *H. vastatrix*. Em 2080, no cenário B2, ocorrerá o mesmo comportamento, enquanto no A2, a favorabilidade passará a ser média de agosto a maio, em conseqüência do aumento da temperatura (Tabela 4).

Para a cercosporiose verificou-se, no período atual, alta favorabilidade nos meses de outubro a abril. Com o aumento da temperatura e menor precipitação, a partir de 2020 o mês de abril e de 2050 o mês de março passam a ter favorabilidade média (Tabela 5).

Tabela 5. Épocas favoráveis à cercosporiose ou mancha-de-olho pardo nas folhas, em áreas plantadas com cafeeiro em regiões do Brasil, com base nas condições climáticas de temperatura e de precipitação média mensal atual e estimativas de mudanças climáticas globais futuras, de acordo com os cenários A2 e B2.

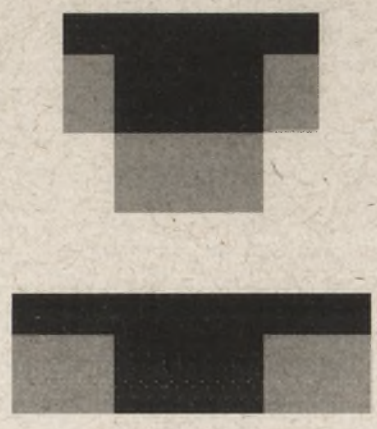
Região	Cenário	Período	Mês[1] J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Norte	Atual	Atual												
Norte	2020	A2												
Norte	2020	B2												
Norte	2050	A2												
Norte	2050	B2												
Norte	2080	A2												
Norte	2080	B2												
Nordeste	Atual	Atual				*	*	*	*	*	*	*		
Nordeste	2020	A2						*	*	*				
Nordeste	2020	B2						*	*	*				
Nordeste	2050	A2						*	*	*				
Nordeste	2050	B2						*	*	*				
Nordeste	2080	A2												
Nordeste	2080	B2												
C. Oeste	Atual	Atual												
C. Oeste	2020	A2												
C. Oeste	2020	B2												
C. Oeste	2050	A2												
C. Oeste	2050	B2												
C. Oeste	2080	A2												
C. Oeste	2080	B2												
Sudeste	Atual	Atual												
Sudeste	2020	A2												
Sudeste	2020	B2												
Sudeste	2050	A2												
Sudeste	2050	B2												
Sudeste	2080	A2												
Sudeste	2080	B2												
Sul	Atual	Atual												
Sul	2020	A2												
Sul	2020	B2												
Sul	2050	A2												
Sul	2050	B2												
Sul	2080	A2												
Sul	2080	B2												

[1] Favorabilidade alta, média e baixa à cercosporiose
* Relativo às áreas irrigadas no sul e no oeste da Bahia.

Alta Média Baixa

Tabela 6. Épocas favoráveis a mancha-de-phoma nas folhas, com base nas condições climáticas de temperatura e de precipitação média mensal atual e estimativas de mudanças climáticas globais futuras, de acordo com os cenários A2 e B2.

Região	Cenário	Período	Mês[1]											
			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Norte	Atual	Atual												
Norte	2020	A2												
Norte	2020	B2												
Norte	2050	A2												
Norte	2050	B2												
Norte	2080	A2												
Norte	2080	B2												
Nordeste	Atual	Atual						*	*	*				
Nordeste	2020	A2						*	*	*				
Nordeste	2020	B2						*	*	*				
Nordeste	2050	A2												
Nordeste	2050	B2												
Nordeste	2080	A2												
Nordeste	2080	B2												
C. Oeste	Atual	Atual												
C. Oeste	2020	A2												
C. Oeste	2020	B2												
C. Oeste	2050	A2												
C. Oeste	2050	B2												
C. Oeste	2080	A2												
C. Oeste	2080	B2												
Sudeste	Atual	Atual												
Sudeste	2020	A2												
Sudeste	2020	B2												
Sudeste	2050	A2												
Sudeste	2050	B2												
Sudeste	2080	A2												
Sudeste	2080	B2												
Sul	Atual	Atual												
Sul	2020	A2												
Sul	2020	B2												
Sul	2050	A2												
Sul	2050	B2												
Sul	2080	A2												
Sul	2080	B2												



[1] Favorabilidade alta, média e baixa à mancha-de-phoma nas folhas.
* Relativo às áreas irrigadas no sul e oeste da Bahia.

Alta Média Baixa

Com relação à mancha-de-phoma, verificou-se, no período atual, alta favorabilidade à infecção nos meses de abril a outubro. Contudo, nos cenários futuros, prevê-se redução das áreas e também dos meses altamente favoráveis. Em 2020, esses meses deverão concentrar-se de junho a agosto. A partir de 2050, existirão poucas áreas de média favorabilidade de maio a agosto (Tabela 6), principalmente devido ao aumento da temperatura em ambos os cenários.

Região Nordeste

Na região Nordeste, a análise será feita para o Estado da Bahia, onde a irrigação tem tornado viável a expansão da cafeicultura. O limitante em algumas áreas para a infecção de *H. vastatrix*, mesmo no período atual, são as altas temperaturas, com tendência a aumentar nos cenários futuros, desfavorecendo a doença, se não for considerado o surgimento de novas populações do patógeno, adaptadas a essas condições.

Observou-se com relação à ferrugem, no período atual, principalmente no sul e oeste da Bahia, áreas com favorabilidade média de novembro a março, em condições naturais ou de sequeiro, sem irrigação, estendendo-se por todos os outros meses quando o cafeeiro for irrigado por aspersão. Nessas áreas, no verão, ocorrre precipitação favorável à germinação do patógeno, porém as temperaturas são altas. Com as mudanças climáticas, poderá ocorrer redução das áreas favoráveis. A favorabilidade será baixa nos meses de outubro de 2050 e de outubro a novembro de 2080, devido principalmente ao aumento da temperatura (Tabela 4).

Para a cercosporiose, verificou-se favorabilidade média à doença de abril a outubro no período atual e de junho a agosto em 2020 e 2050, enquanto em 2080 a favorabilidade será baixa durante todo ano, devido principalmente às maiores temperaturas. A ocorrência da doença durante o inverno somente será possível devido à irrigação por aspersão, principalmente via pivô central nas regiões sul e oeste da Bahia (Tabela 5).

Com relação à mancha-de-phoma, verificou-se, no período atual, favorabilidade média ao progresso da doença de junho a agosto, principalmente para a infecção de *P. tarda*, a qual adapta-se a temperaturas mais elevadas, nas áreas irrigadas do sul da Bahia. Em 2050 e 2080, verificaram-se somente áreas de baixa favorabilidade à infecção de *P. tarda* e *P. costarricensis* (Tabela 6). O principal limitante nessa área será a temperatura, na maioria das demais áreas dessa região as altas temperaturas poderão limitar inclusive o cultivo das atuais variedades de *Coffea arabica*.

Região Norte

Atualmente, nessa região, existem poucas áreas cultivadas com o cafeeiro, comparada ao Sudeste, por exemplo. Na maioria das áreas da região Norte do Brasil, no período de 1975, verificou-se favorabilidade média para a ferrugem a partir de setembro até maio. De junho a agosto, nas regiões mais ao sul, a precipitação menor que 3 mm/dia foi o fator limitante. Com as mudanças climáticas, em 2020 e 2050, as áreas com média favorabilidade deverão situar-se entre novembro e maio, devido ao aumento de 2 °C na temperatura média de agosto a outubro, resultando em temperatura média superior a 28 °C, de baixa favorabilidade à doença. No cenário A2, em 2050, deverá haver redução das áreas com favorabilidade média no mês de novembro. Em 2080, em função da elevação da temperatura acima de 28 °C, a região Norte apresentará baixa favorabilidade à ferrugem-do-cafeeiro (Tabela 4).

Para a cercosporiose, verificou-se, no período atual, favorabilidade média de setembro até maio. Com as mudanças climáticas, ocorrerá redução do período de favorabilidade média. Em 2020 e 2050, deverá haver aumento do período de baixa favorabilidade, com o início da favorabilidade média em novembro e dezembro, respectivamente. Em 2080, reduções mais acentuadas no número de áreas infectadas pela cercosporiose foram observadas no cenário A2, com início do período de favorabilidade média à essa doença, em dezembro, no cenário B2. No período de julho a novembro, em algumas áreas do Norte, no mês de setembro, a temperatura poderá atingir 38 °C e deverá inviabilizar tanto o progresso da epidemia quanto o crescimento e o desenvolvimento do cafeeiro (Tabela 5).

Com relação à mancha-de-phoma, tanto no cenário atual quanto nos futuros, verificou-se baixa favorabilidade à doença, devido principalmente à ocorrência de temperaturas mais elevadas nessa região e também a grande probabilidade de haver ainda maior incremento térmico, limitando o cultivo das variedades de cafeeiro atualmente cultivadas na maioria das áreas dessa região (Tabela 6). Nessa região, caso o cafeeiro continue a ser cultivado, algumas doenças, como a mela ou mal-de-Koleroga (*Tanatephorus cucumeris*), poderão assumir importância primária, devido ao patógeno resistir a temperaturas mais elevadas, em torno de 28 °C, porém necessita de cultivos adensados, sombreados e de precipitação elevada.

Região Centro-Oeste

Na região Centro-Oeste do Brasil, embora também existam poucas lavouras de cafeeiro no período atual, essas áreas ainda poderão reduzir

nos cenários futuros, devido principalmente ao aumento da temperatura. No período atual, verificaram-se áreas com alta favorabilidade à infecção da ferrugem entre outubro e abril, e áreas medianamente favoráveis em maio e setembro. Com as mudanças climáticas, outubro e novembro de 2020 passarão a ser medianamente favoráveis à ferrugem, e, em 2050, as áreas de alta favorabilidade passarão a ser de média, de dezembro a abril. Em 2080, no cenário A2, devido à maior temperatura em relação ao B2 durante todos os meses, a maioria das poucas áreas com plantio do cafeeiro serão de baixa favorabilidade à ferrugem (Tabela 4).

Para a cercosporiose, verificaram-se, no período atual e para 2020, áreas de favorabilidade média nos meses de abril, maio, setembro e outubro. Essa favorabilidade será reduzida a partir de 2050, principalmente no cenário A2, devido aos mesmos fatores citados anteriormente para a ferrugem (Tabela 5).

Com relação à mancha-de-phoma, no período atual, a favorabilidade foi média de maio a setembro, principalmente em áreas ao sul do Mato Grosso e Goiás, embora existam poucas áreas plantadas com o cafeeiro, devido principalmente à alta temperatura. Em 2020, poderá existir redução drástica no número de áreas com favorabilidade média nesses meses. Em 2050 e 2080, esses meses reduzirão para maio a julho, junho e julho, respectivamente, com poucas áreas, sendo em maior número no cenário B2 (Tabela 6).

Considerações finais

O comportamento das três doenças do cafeeiro será modificado nos cenários climáticos futuros, devido ao aumento na temperatura e à concentração de chuvas em alguns meses do ano, principalmente no cenário A2. Embora possa ocorrer redução na intensidade da doença, deve-se também ficar atento ao limite de temperatura e déficit hídrico para o cultivo do cafeeiro, o qual não foi abordado profundamente nessa análise.

Como resultado, poderá haver escassez de terras agricultáveis e o deslocamento da área de ocorrência de doenças do cafeeiro (PARRY et al., 1990) e de produção de café (ASSAD et al., 2004) para áreas montanhosas e de maior altitude, onde haja temperaturas mais adequadas ao cultivo. Caso contrário, será necessário desenvolver cultivares adaptadas às mudanças climáticas (EVENSON, 1999), ou ainda o cultivo de variedades capazes de suportar maiores temperaturas e déficit hídrico. Além disso, alternativas poderão ser utilizadas, como a irrigação, se houver água suficiente, e novas técnicas de cultivo para adaptação a essas novas condições. Porém, também, poderá haver seleção de populações de fungos adaptados a essas novas

condições. Como conseqüência, os custos de produção poderão ser maiores, ou até mesmo, em situações extremas, poderá ocorrer impossibilidade de adotar tecnologias para reverter o impacto das mudanças climáticas (PARRY et al., 1990; DOWNING, 1992).

Deve-se deixar claro que a avaliação desses cenários foi baseada na média de variáveis climáticas favoráveis ao hospedeiro e ao patógeno e no fato dos patógenos não apresentarem variabilidade, ou seja, suas populações não se adaptarem, e também o hospedeiro não sofrer melhoramento genético para suportar temperaturas maiores e déficit hídrico. No caso dos agentes etiológicos de doenças do cafeeiro, poderá ocorrer a seleção de novas populações adaptadas às mudanças climáticas dos cenários futuros, mudando os resultados dessa discussão. Além disso, utilizou-se a comparação visual de mapas e regiões dos cenários futuros com as condições limitantes para o progresso da doença de acordo com estudos até agora desenvolvidos. Dessa forma, para tornar mais precisa a avaliação desses cenários futuros, seria interessante utilizar os sistemas de informação geográfica (SIG) e o sensoriamento remoto orbital e suborbital, de maneira a constituir a menor malha possível em relação ao espaço de áreas plantadas com o cafeeiro, se possível inferior a 10 Km^2, e plotar as áreas de favorabilidade às doenças, calculadas a partir de modelos construídos com a estatística clássica ou ferramentas de inteligência artificial, entre elas as redes neuronais, a lógica nebulosa e os algoritmos genéticos. Essa tecnologia forneceria mapas mais precisos de favorabilidade e a porcentagem de áreas com os limites definidos de acordo com estudos epidemiológicos.

Referências

AGRIOS, G. N. **Plant pathology.** 5th ed. San Diego: Academic Press, 2004. 952 p.

AKUTSU, M. **Relação de funções climáticas e bióticas com a taxa de infecção da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.).** 1981. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1981.

ALVES, M. C.; POZZA, E. A.; SILVA, F. M.; SOUZA, P. E.; POZZA, A. A. A. Estudo da variabilidade espacial da nutrição, produtividade e ferrugem do cafeeiro por meio da geoestatística e estatística clássica. In: CONGRESSO PAULISTA DE FITOPATOLOGIA, 29., 2006, Botucatu. **Anais....** Botucatu, 2006. v. 32, p. 22.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. M. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, nov. 2004.

BOLDINI, J. M. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado e fertirrigado.** 2001. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introducion to plant disease epidemiology**. New York: Jonhn Wiley & Sons, 1990. 532 p.

CARTER, T. R.; ROVERE, E. L. L; JONES, R. N.; LEEMANS, R.; MEARNS, L. O.; NAKICENOVIC, N.; PITTOCK, A. B.; SEMENOV, S. M.; SKEA, J. Developing and applying scenarios. In: MCCARTHY, J. J.; CANZIANI, O. F.; LEARY, N. A.; DOKKEN, D. J.; WHITE, K. S. (Ed.). **Climate change 2001**: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. p. 147-190.

CARTER, T. R.; SAARIKKO, R. A.; NIEMI, K. J. Assessing the risks and uncertainties of regional crop potential under a changing climate in Finland. **Agricultural and Food Science in Finland**, Jokioinen, v. 5, n. 3, p. 329-350, 1996.

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Manejo integrado das principais doenças do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 27-35, 1998.

CHALFOUN, S. M.; CARVALHO, V. L.; PEREIRA, M. C. Efeito de alterações climáticas sobre o progresso da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) **Ciência e Agrotecnologia,** Lavras, v. 25, n. 5, p. 1248-1252, 2001.

CUBASCH, U.; MEEHL, G. A.; BOER, G. J.; STOUFFER, R. J.; DIX, M.; NODA, A.; SENIOR, C. A.; RAPER, S.; YAP, K. S. The climate system: an overview. In: HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER, M.; LINDEN, P. J. van der; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C. A. (Ed.). **Climate change 2001:** projections of future climate change. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. p. 87-98.

DOWNING, T. E. **Climate change and vulnerable places:** global food security and country studies in Zimbawe, Kenya, Senegal and Chile. Oxford: University of Oxford, Environmental Change Unit., 1992. 54 p. (Research report 1).

DUNIWAY, J. M. Soil-plant-water relations and disease. In: HATFIELD, J. L.; THOMASON, I. J. **Biometrology in integrated pest management.** London: Academic Press, 1982. p. 307-325.

DUTHIE, J. A. Models of the response of foliar parasites to the combined effects of temperature and duration of wetness. **Phytopathology**, St. Paul, v. 87, n. 11, p. 1088-1095, 1997.

ECHANDI, E. La quema de los cafetos causada por *Phoma costarricensis* n. sp. **Revista de Biologia Tropical,** San Jose, Costa Rica, v. 5, n. 1, p. 81-102, 1957.

ECHANDI, E. La chasparria de los cafetos causada por el hongo *Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke). **Turrialba,** Costa Rica, v. 9, n. 2, p. 54-67, 1959.

EVENSON, R. E. Global and local implications of biotechnology and climate change for future food supplies. **Proceedings of the National Academy of Scinces of the United States of America,** Washington, v. 96, p. 5921-5928, 1999.

FERNANDES, C. D. **Efeito de fatores do ambiente e da concentração de inóculo sobre a cercosporiose do cafeeiro.** 1988. 73 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa; 1988.

FOLLAND, C. K; KARL, T. R.; CHRISTY, J. R.; CLARKE, R. A.; GRUZA, G. V.; JOUZEL, J.; MANN, M. E.; OERLEMANS, J.; SALINGER, M. J.; WANG, S. W. Observed climate variability and change. In: HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER, M.; LINDEN, P. J. van der; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C. A. (Ed.). **Climate change 2001**: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. p. 101-181.

FUHRER, J. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO2, ozone, and global climate change. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 97, p. 1-20, 2003.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas.** Jaquariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

GOUDRIAAN, J.; ZADOKS, J. C. Global climate change: modeling the potential responses of agro-ecosystems with special reference to crop protection. **Environmental Pollution**, Essex, v. 87, n. 2, p. 215-224, 1995.

JONES, A. L. Role of wet periods in predicting foliar diseases. In: LEONARD, K. J.; FRY, W. E. **Plant disease epidemiology**. New York: Macmillan, 1986. p. 87-100.

KENNY, G. J.; HARRISON, P. A.; PARRY, M. L. **The effect of climate change on agricultural and horticultural potential in Europe**. Oxford: University of Oxford, Environmental Change Unit., 1993. 224 p.

KUSHALAPPA, A. C.; AKUTSU, M.; LUDWIG, A. Application of survival ratio for monocyclic process of *Hemileia vastatrix* in predicting coffee rust infection rates. **Phytopathology**, St. Paul, v. 73, p. 96-103, 1983.

KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. Advances in coffee rust research. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 27, p. 503-531, 1989.

LÓPEZ-DUQUE, S.; FERNÁNDEZ-BORRERO, O. Epidemiologia de la mancha de hierro del cafeto (*Cercospora coffeicola* Berk. Y Cook.). **Cenicafe**, Chinchiná, Colômbia, v. 20, n. 1, p. 3-19, 1969.

MIRANDA, J. C. **Intensidade de doenças foliares na cafeicultura irrigada.** 2004. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

MONTOYA, R. H.; CHAVES, G. M. Influência da temperatura e da luz na germinação, infectividade e período de geração de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. **Experientiae**, Viçosa, v. 18, p. 239-266, 1974.

NAKICENOVIC, N.; ALCAMO, J.; DAVIS, G.; VRIES, B. de; FENHANN, J.; GAFFIN, S.; GREGORY, K.; GRÜBLER, A.; JUNG, T. Y.; KRAM, T.; LA ROVERE, E. L.; MICHAELIS, L.; MORI, S.; MORITA, T.; PEPPER, W.; PITCHER, H.; PRICE, L.; RAIHI, K.; ROEHRL, A.; ROGNER, H. H.; SANKOVSKI, A.; SCHLESINGER, M.; SHUKLA, P.; SMITH, S.; SWART, R.; ROOIJEN, S. van; VICTOR, N.; DADI. Z. **Emissions scenarios**: a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 599 p.

NEILSON, R. P.; PITELKA, L. F.; SOLOMON, A. M.; NATHAN, R.; MIDGLEY, G. F.; FRAGOSO, J. M. V.; LISCHKE, H.; THOMPSON, K. Forecasting regional to global plant migration in response to climate change. **BioScience**, Washington, v. 55, n. 9, p. 749-759, 2005.

PARRY, M. L.; PORTER, J. H.; CARTER, T. R. Agriculture: climate change and its implications. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, v. 5, p. 318-322, 1990.

PATTERSON, D. T.; WESTBROOK, J. K.; JOYCE, R. J. V.; LINGREN, P. D.; ROGASIK, J. Weeds, insects, and diseases. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 43, n. 4, p. 711-727, 1999.

PIVONIA, S.; YANG, X. B. Assessment of the potential year-round establishment of soybean rust throughout the world. **Plant Disease**, St. Paul, v. 88, p. 523-529, 2004.

PIVONIA, S.; YANG, X. B. Assessment of epidemic potential of soybean rust in the United States. **Plant Disease**, St. Paul, v. 89, p. 678-682, 2005.

POZZA, E. A.; SALGADO, M.; PFENNING, L. H. Intensidade da mancha de Phoma do cafeeiro (*Phoma tarda*) em diferentes temperaturas e tempo de molhamento foliar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 36., 2003, Uberlândia. Manejo integrado de doenças de plantas. [**Anais**...]. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2003. v. 28. p. 223-223. Resumos.

SALGADO, M.; POZZA, E. A. ; PFENNING, L. H. Influência da temperatura e do tempo de incubação no crescimento micelial e produção de conídios *in vitro* de espécies de *Phoma* do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 35., 2002, Recife. **Anais**... Fortaleza: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2002. v. 27. p. 159-159. Resumos.

SANTOS, F. S. **Progresso da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado.** 2002. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

SCHERM, H.; YANG, X. B. Interannual variations in wheat rust development in China and the United States in relation to the El Niño/southern oscillation. **Phytopathology**, St. Paul, v. 85, n. 9, p. 970-976, 1995.

SIQUEIRA, O. J. W.; SALLES, L. A. B.; FERNANDES, J. M. Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. (Ed.). **Mudanças climáticas globais e agropecuária brasileira.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 33-63.

SOUZA, S. M. **Importancia da chuva e da temperatura do ar na incidencia da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. e Br.) em cafeeiros, de tres localidades do estado de Minas Gerais.** 1980. 50 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1980.

TALAMINI, V. **Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado e fertirrigado por gotejamento.** 1999. 89 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

TALAMINI, V.; SOUZA, P. E.; POZZA, E. A.; SILVA, A. M.; BUENO FILHO, J. S. S. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes lâminas de irrigação e diferentes parcelamentos de adubação. **Ciência e Agrotecnologia,** Lavras, v. 25, n. 1, p. 55-62, 2001.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L; COSTA, L. C.; LIBERATO, J. R.; DIAS, A. P. S. Influência do clima no desenvolvimento de doenças de plantas. In: VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas.** Belo Horizonte: Perfil, 2004. p. 47-87.

WOODS, A.; COATES, K. D.; HAMANN, A. Is an unprecedented dothistroma needle blight epidemic related to Climate Change?. **BioScience**, Washington, v. 55, n. 9, p. 761-769, 2005.

ZAMBOLIM, L. **I Encontro sobre produção de café com qualidade.** Viçosa: UFV, 1999. 259 p.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, E. M. Doenças do cafeeiro (*Coffea arábica* e C. *canephora*). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Ed.). **Manual de fitopatologia**: doenças das plantas cultivadas. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v. 2, p. 165-180.

Capítulo 14

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as principais doenças de citros no Estado de São Paulo

Waldir Cintra de Jesus Junior
Marcelo Augusto Boechat Morandi
Rock Seille Carlos Christiano
Pedro Takao Yamamoto

Introdução

A citricultura brasileira destaca-se como uma das maiores do mundo em número de plantas e em importância econômica. O Estado de São Paulo responde por 83 % da produção nacional de frutos cítricos, com cerca de 200 milhões de plantas cítricas em produção e 95 % da produção de suco concentrado para a exportação. Esse mercado gera cerca de US$ 1,5 bilhão de divisas para o País e 400 mil empregos diretos. A citricultura é bastante vulnerável à ocorrência de doenças, principalmente pelo fato de apresentar: a) baixa variabilidade de copa (Pêra, Natal, Valência e Hamlin representam 92 % da citricultura, sendo sempre propagadas vegetativamente); b) baixa variabilidade de porta-enxertos (apesar de ser multiplicado por sementes, o limoeiro Cravo, *Citrus limonia* Blanco, representa mais de 85 % dos porta-enxertos utilizados); c) continuidade temporal de plantas cítricas (por se tratar de cultura perene, as plantas estão expostas a infecções e ataques de insetos por longo período de tempo); e d) continuidade espacial dos pomares (ocupa uma área em torno de 650.000 ha, praticamente sem barreiras físicas e onde ocorre intenso tráfego de pessoas e veículos). Essa baixa variabilidade genética e a continuidade no tempo e no espaço conduzem a uma alta vulnerabilidade da cultura, com importantes conseqüências para a sustentabilidade desse agronegócio.

No tocante ao desenvolvimento das doenças, sabe-se que as mesmas estão condicionadas à ocorrência simultânea e por um determinado período de tempo da presença de hospedeiro suscetível, patógeno virulento ou agressivo e condições climáticas favoráveis, principalmente no que se refere ao microclima. Esses três componentes são conhecidos por triângulo de doença. Entretanto, para algumas doenças, também é necessária a presença de um vetor, completando o tetraedro de doença. Assim, verifica-se que o componente ambiente (condições climáticas) é imprescindível para que uma determinada doença possa se desenvolver em uma determinada área.

Inúmeras doenças já foram relatadas na cultura dos citros, mas, neste capítulo, procurar-se-á enfatizar as principais dentro de cada grupo de patógenos. Por tratar-se de uma análise exploratória, e por isso mesmo de previsão, serão analisados os efeitos das mudanças climáticas no desenvolvimento das doenças dos citros no Estado de São Paulo, por ser essa a principal área produtora do País.

Entretanto, antes de qualquer previsão sobre as doenças, é importante que seja analisado o efeito das alterações climáticas sobre o desenvolvimento da cultura, uma vez que, dependendo da amplitude da alteração em uma dada região, até a cultura pode ser comprometida, o que poderá levar a

modificações nas áreas de plantio. Vale ressaltar que ao se analisarem novas áreas para plantio, tem-se que considerar o fato de que climas intermediários e com disponibilidade de água são importantes para maximizar o potencial de produção de frutos de alta qualidade.

Os citros apresentam ampla distribuição geográfica, o que demonstra a grande capacidade de adaptação a diferentes condições climáticas. Em cada condição há um determinado comportamento das plantas, o que resulta em variações entre localidades e entre anos nas características fenológicas do florescimento e produção de frutos (REUTHER, 1973). As plantas cítricas são cultivadas em uma ampla faixa ao redor do mundo, compreendida entre os paralelos 44°N e 41°S, embora as principais áreas produtoras concentrem-se em regiões subtropicais, em latitudes superiores a 20°N ou 20°S (CASSIN, 1984, DONADIO et al., 2005).

As condições climáticas afetam tanto a taxa de desenvolvimento do fruto quanto a qualidade interna e externa do mesmo, e os elementos meteorológicos que mais influenciam esses parâmetros são a temperatura e a precipitação. Os citros se desenvolvem bem numa faixa de temperatura entre 20 °C e 30 °C e umidade relativa acima de 80 %. Os danos devidos às baixas temperaturas podem apenas danificar as folhas e a safra pendente, quando leves, ou matar os ramos e, assim, comprometer a produção dos anos seguintes, quando intensos. Com relação à alta temperatura, os prejuízos são mais visíveis no crescimento da planta e na qualidade do fruto. O crescimento dos ramos e raízes dos citros pode ser paralisado em temperaturas acima de 37 °C e 38 °C. Temperaturas superiores a 40 °C, associadas a um baixo teor de umidade relativa do ar, podem ocasionar danos na casca dos frutos, os quais ficam com rachaduras no lado mais exposto ao sol (CENTEC, 2004).

De um modo geral, em climas tropicais ocorre um adiantamento da maturação (por exemplo, a variedade Valência leva 7,5 meses para atingir a maturação em condições tropicais, ao passo que leva 14 meses em condições subtropicais, tais como as que ocorrem no Mediterrâneo), entretanto esse fato pode ter efeito adverso na qualidade do fruto, uma vez que não há tempo suficiente para acumular concentrações elevadas de sólidos solúveis e declinar a acidez, por causa da alta taxa de respiração dos frutos. Adicionalmente, essas condições prejudicam a coloração dos frutos, já que a transformação da coloração verde para laranja ocorre lentamente sob altas temperaturas. O adiantamento da maturação gera valores de brix mais baixos e maior volume de crescimento, além de conteúdo de suco e de sólidos solúveis menores (ALBRIGO, 1992).

No tocante ao fator umidade, o mesmo pode influenciar o desenvolvimento do fruto de duas maneiras (ALBRIGO, 1975): a) umidade

excessiva: aumenta o tamanho do fruto, porém dilui as concentrações de sólidos solúveis, a acidez e os outros constituintes; e b) seca: aumenta a queda prematura do fruto e reduz o tamanho do mesmo, assim como reduz a fotossíntese e a concentração de açúcar. Nesse sentido, a chuva e a irrigação favorecem o aumento do brix, mas podem resultar em crescimento exagerado do fruto, fato que gera um baixo conteúdo de sólidos solúveis (ALBRIGO, 1992).

A indução do florescimento e a diferenciação são os períodos do ciclo reprodutivo em que a temperatura e a precipitação têm grande influência na quantidade e na qualidade da produção. Alterações nesses períodos podem representar 40 % da variação dessas variáveis de produção (ALBRIGO, 1992). Em São Paulo, o tempo e a extensão dos períodos iniciais de seca têm grande influência no crescimento e na qualidade do fruto. Nessa região, a variação de temperatura, durante os estádios iniciais de frutificação, é maior que na Flórida (Estados Unidos da América, EUA), o que influencia substancialmente a qualidade do fruto.

De um modo geral, mesmo com as mudanças climáticas previstas nos dois cenários (A2 e B2) e nos três períodos (2020, 2050 e 2080), supõe-se que a cultura não sofrerá grandes alterações, dado que a amplitude de crescimento dos citros se enquadra dentro dos valores das mudanças, cujas temperaturas mínima e máxima variarão de 16 °C a 32 °C, em média, para o Estado de São Paulo. O que poderá ocorrer é que algumas áreas se tornarão mais aptas ao cultivo que outras, fato que poderá propiciar o surgimento e/ou maior desenvolvimento de algumas novas áreas de plantio, tais como a região sul do estado.

Prováveis impactos das mudanças climáticas sobre as doenças

Como já enfatizado anteriormente, os citros estão sujeitos à ocorrência de um grande número de doenças (KIMATI; GALLI, 1980; TIMMER et al., 2000; ROSSETTI, 2001), entretanto, no escopo deste capítulo, foram selecionadas seis doenças (cancro-cítrico, clorose-variegada-dos-citros, greening, pinta-preta, podridão-floral e leprose). A escolha levou em consideração a importância dessas doenças para o estado, assim como o fato de haver informações disponíveis na literatura sobre o efeito do clima no desenvolvimento das mesmas.

A morte-súbita-dos-citros (MSC), apesar de ser uma das mais importantes doenças da citricultura brasileira atualmente (JESUS JUNIOR

et al., 2003), pois afeta os limoeiros Cravo e Volkameriano, os quais representam mais de 85 % dos porta-enxertos utilizados em todo o plantio brasileiro, não será abordada neste capítulo. Apesar de terem sido obtidos resultados conclusivos sobre alguns aspectos da doença, tais como natureza biótica do agente causal (YAMAMOTO et al., 2003) e a dinâmica espaço-temporal da doença (BASSANEZI et al., 2003; JESUS JUNIOR; BASSANEZI, 2004), ainda não há informação sobre sua etiologia, bem como sobre o efeito das condições climáticas no seu desenvolvimento. Assim, seria prematuro efetuar qualquer análise de previsão da MSC.

Cancro-cítrico (*Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* Vauterin et al.)

O cancro-cítrico constitui séria ameaça para a citricultura brasileira. Devido à adoção de medidas de exclusão e erradicação, tem-se conseguido manter a doença sob relativo controle no Estado de São Paulo.

A bactéria do cancro-cítrico, *X. axonopodis* pv. *citri* (Xac), infecta folhas, frutos e galhos por meio de aberturas naturais, como estômatos, ou por ferimentos, que podem ser causados mecanicamente (espinhos, ferramentas de poda, etc.) ou por insetos. Uma vez no interior do tecido hospedeiro, a bactéria começa a se multiplicar no sítio de infecção, formando lesões corticosas salientes. Na presença de um filme d'água, as lesões exsudam células bacterianas que são disseminadas por gotículas de água para outros ramos ou plantas. Na presença de ventos fortes e chuva, a bactéria pode ser disseminada a longas distâncias.

Após a introdução da lagarta-minadora-dos-citros (LMC) (*Phyllocnistis citrella* Stainton) no Brasil, em 1996, o número de casos de cancro-cítrico aumentou drasticamente. Apesar de o inseto adulto não ser um vetor do cancro-cítrico (BELASQUE JÚNIOR et al., 2005), a LMC provoca ferimentos no limbo foliar durante o seu ato alimentar, expondo o mesófilo da folha ao contato direto com Xac, ocasionando aumentos significativos na incidência e na severidade da doença (JESUS JUNIOR et al., 2006). Folhas de citros com ferimentos causados pela LMC são mais suscetíveis à doença que folhas intactas. A concentração de inóculo mínima para causar doença em folhas intactas é de 10^4 unidades formadoras de colônias (ufc)/mL, mas em folhas com ferimentos é menor que 10^2 ufc/mL. Além disso, o período de suscetibilidade da área ferida pela LMC ultrapassa 30 dias, enquanto em ferimentos mecânicos é de, no máximo, seis dias (CHRISTIANO, 2003).

Atualmente, a LMC representa uma grande ameaça à citricultura por potencializar a disseminação do cancro-cítrico. A partir da introdução da

LMC, novas medidas de controle do cancro-cítrico foram adotadas para conter o avanço da doença, incluindo o controle dessa nova praga. O intervalo de gerações é curto, podendo a população da praga aumentar rapidamente no pomar. O ciclo da LMC de ovo a adulto pode variar de 11,4 dias a 32 °C até 32,8 dias a 18 °C (CHAGAS; PARRA, 2000).

A infecção de Xac pode ocorrer nas temperaturas de 15 °C a 40 °C, com molhamento foliar acima de quatro horas. Entretanto, as condições favoráveis para o máximo desenvolvimento da doença, com máxima severidade, são de 30 °C a 35 °C e de 24 horas de molhamento foliar (CHRISTIANO, 2003). Além do mais, temperaturas elevadas também favorecem o aumento da população de LMC, aumentando a suscetibilidade das plantas cítricas à doença.

Nos cenários climáticos futuros, o aumento da temperatura deverá agravar a intensidade da doença no Estado de São Paulo. Esse fato pode ser observado atualmente na região norte do estado, próxima a Presidente Prudente, onde normalmente ocorre maior número de casos de focos de cancro-cítrico que nas demais regiões. Entretanto, se a precipitação for reduzida nos cenários previstos, poderá haver condições menos favoráveis à disseminação da bactéria. Porém, deve-se considerar que a elevação da temperatura irá corroborar para o aumento das tempestades tropicais, com ventos fortes, possibilitando a disseminação da doença para pomares distantes. Esse fato é extremamente importante e pode colocar em risco a campanha de erradicação levada a contento no estado, já que poderá haver a formação de focos da doença distantes daquela planta que serviu como fonte de inóculo. Vale lembrar que, no processo de erradicação, são eliminadas as plantas com sintomas da doença, assim como todas as plantas assintomáticas localizadas dentro de determinado raio a partir da planta sintomática, raio esse variável de acordo com o País. Nos EUA, por exemplo, o controle do cancro-cítrico por meio da erradicação foi dificultado enormemente devido à ocorrência de vários furacões no ano de 2005.

Clorose-variegada-dos-citros (*Xylella fastidiosa* Wells et al.)

A clorose-variegada-dos-citros (CVC), também conhecida como amarelinho-dos-citros, constitui-se numa das principais doenças da citricultura brasileira. Causada pela bactéria *X. fastidiosa*, a CVC foi constatada pela primeira vez no Brasil em 1987, em pomares do Triângulo Mineiro e das regiões norte e nordeste do Estado de São Paulo, de onde se disseminou, rapidamente, para as demais regiões produtoras brasileiras (AYRES, 2000).

Todas as variedades de laranjeiras doces são afetadas pela doença, além de algumas tangerineiras. A presença das células bacterianas causa obstrução dos vasos do xilema pela formação de goma (biofilme). Os principais sintomas da doença são folhas com clorose (semelhante à deficiência de zinco) e frutos de tamanho pequeno, duros e com amadurecimento precoce. Além da redução no tamanho dos frutos, a doença causa queda de produtividade.

A CVC é disseminada por meio de borbulhas infectadas ou por cigarrinhas da família Cicadellidae (LOPES, 1999). As cigarrinhas transmitem a bactéria durante o ato de alimentação nos vasos do xilema e, na maioria dos casos, esses insetos são atraídos pelas novas brotações dos ramos de citros.

Alguns trabalhos foram feitos para elucidar a epidemiologia da doença (LARANJEIRA, 2002; LARANJEIRA et al., 2003) e sua transmissão no campo (PEREIRA, 2000). Com base nos resultados obtidos nesses trabalhos, foi gerado um modelo hipotético para explicar a epidemiologia da CVC. Esse modelo considera que a população de vetores que se alimenta em plantas cítricas aumenta nas épocas favoráveis ao desenvolvimento das plantas, principalmente na primavera e no verão, por causa das boas condições para o desenvolvimento e a migração dos insetos. Contrariamente, essa população diminui no outono e no inverno, devido ao baixo desenvolvimento da população, assim como em função da fuga dos insetos em busca de locais mais favoráveis à sua sobrevivência. Com base nessas informações, acredita-se que ocorra a seguinte seqüência de eventos: 1) primavera e verão: ocorrência de chuvas e aumento de temperatura; diminuição do déficit hídrico; novas brotações, tanto em plantas sadias quanto em plantas doentes; migração dos vetores para os hospedeiros preferenciais e adequados, ou seja, para as plantas cítricas; crescimento da população de vetores em função de condições climáticas favoráveis (aumento da temperatura) e da existência de alimento em abundância; e altas taxas de transmissão e infecção; e 2) outono e inverno: diminuição de chuvas e temperatura; aumento do déficit hídrico; ausência de novas brotações e depauperamento da vegetação existente; migração da população de vetores em busca de hospedeiros mais adequados; diminuição progressiva da população não-migrante em função de condições climáticas desfavoráveis e ausência de vegetação adequada ao hospedeiro preferencial; e diminuição das taxas de transmissão e infecção.

Tentando entender melhor o patossistema, Pereira (2005) verificou, em condições controladas, que as temperaturas de inverno (19 °C) pouco influenciaram a infecção das plantas pela bactéria, se comparadas às temperaturas de verão (24 °C). O principal fator de efeito negativo na infecção, apontado por esse autor, foi o déficit hídrico. O mesmo foi observado em relação à sobrevivência da cigarrinha. Entretanto, vale ressaltar que as

cigarrinhas possuem outros hospedeiros além dos citros, garantindo assim a sua sobrevivência e presença constante nos pomares durante as quatro estações climáticas do ano.

Em São Paulo, a CVC é mais severa na região norte que na região centro e sul (LARANJEIRA et al., 2003). As plantas cítricas da região norte tendem a emitir mais brotações que as das outras regiões, provavelmente em função de temperaturas mais elevadas. O maior volume de brotações, associado ao menor déficit hídrico das plantas na primavera e verão, são condições favoráveis para atrair maior quantidade de cigarrinhas e para aumentar a freqüência alimentar desses vetores nos citros, resultando em maior sucesso na infecção e no aumento da incidência da doença. A intensificação da severidade da doença, na região norte, aparentemente está associada ao longo período de déficit hídrico e temperaturas elevadas, que caracterizam o inverno dessa região. As árvores de citros da região norte sofrem maior estresse hídrico que as da região sul, expressando e agravando mais os sintomas da CVC, visto que não há diferença na concentração bacteriana dos ramos das plantas doentes entre as regiões. Por causa das condições ambientais pouco favoráveis para a expressão dos sintomas na região sul, a maioria das plantas infectadas é assintomática (LARANJEIRA et al., 2003).

Nos cenários futuros de mudança climática analisados, as regiões centro e sul deverão apresentar maior fluxo de brotações na primavera e verão, aumentando a população de cigarrinhas e, conseqüentemente, a incidência da doença. Os sintomas das plantas doentes poderão ser agravados pelo aumento da temperatura e do período de déficit hídrico. Com o aumento da temperatura ao longo dos anos, deverá haver também uma mudança na abundância de cigarrinhas. A região sul, que apresenta uma menor população de vetores (ROBERTO, 1998) e, por isso, uma menor incidência da CVC, deverá apresentar aumentos na população de cigarrinhas e na manifestação dos sintomas da doença, aumentando, por conseguinte, a incidência da mesma. Além disso, sabe-se que, com o aumento da temperatura, há uma diminuição do período embrionário e ninfal, e em locais de temperaturas mais elevadas ocorrem mais gerações das cigarrinhas (MILANEZ et al., 2002), fatores esses que poderão também contribuir para o aumento da doença.

Huanglongbing (= Greening) (*Candidatus* Liberibacter spp.)

Huanglongbing (HLB) é uma das mais destrutivas doenças da citricultura mundial, principalmente pelo fato de não haver variedades resistentes ou imunes, por tornar as plantas infectadas rapidamente

improdutivas e aumentar significativamente o custo de produção com o controle do vetor.

Apesar de um dos seus vetores (*Diaphorina citri*) estar presente no Brasil desde 1942, e das condições climáticas serem favoráveis ao seu desenvolvimento, os agentes causais do HLB não ocorriam no País até 2004.

Anteriormente à ocorrência de HLB no Brasil, eram conhecidas duas espécies de bactérias envolvidas com a doença: *Candidatus* Liberibacter asiaticus, causadora da forma asiática da doença e tolerante a altas temperaturas (mais de 30 °°C), e *Ca.* L. africanus, causadora da forma africana e sensível a altas temperaturas (mais de 25 °C a 30 °C). Testes moleculares efetuados em plantas com sintomas de greening, coletadas na região de Araraquara, Estado de São Paulo, constataram a presença de *Ca.* L. asiaticus, e de uma nova bactéria, diferente das duas espécies de Liberibacter causadoras de HLB anteriormente conhecidas (TEIXEIRA et al., 2005a). Em função dessas diferenças, propôs-se o enquadramento dessa nova bactéria numa nova espécie denominada *Ca.* L. americanus (TEIXEIRA et al., 2005b, 2005c). Essas bactérias são transmitidas por duas espécies de psilídeos: *D. citri*, vetor da doença na Ásia, e *Trioza erytreae*, vetor na África. Experimentalmente, cada espécie é capaz de transmitir tanto *Ca.* L. asiaticus como *Ca.* L. africanus, embora essa possibilidade não tenha sido demonstrada em condições naturais, nos locais onde estão presentes as duas espécies dos vetores e de Liberibacter. A espécie *Ca.* L. americanus já foi constatada infectando *D. citri* coletada de plantas com sintomas de HLB da região de Araraquara, sugerindo fortemente ser esse o vetor da doença no Brasil. Para adquirir a bactéria, há a necessidade de que o psilídeo, adulto ou no quarto ou quinto ínstares, se alimente de plantas doentes por um período mínimo de 15 a 30 minutos. Após a aquisição, há a necessidade de um período de incubação de duas a três semanas para que o inseto possa começar a transmitir a bactéria por toda a vida, que é de três a quatro meses. Somente o adulto pode transmitir a bactéria, e não a transmite aos seus descendentes. Nas condições do Estado de São Paulo, o aumento da população do vetor inicia-se no começo da primavera, com o pico populacional no final da primavera ou início do verão (de novembro a janeiro) (YAMAMOTO et al., 2001). Os hospedeiros preferenciais dos psilídeos são as plantas cítricas, a planta ornamental *Murraya paniculata*, conhecida como murta, e pelo menos três outros gêneros, todos da família Rutaceae. Entretanto, as bactérias só são encontradas em plantas cítricas, com exceção de *Ca.* L. americanus, que também foi encontrada em plantas de murta.

A temperatura exerce um efeito significativo na taxa de desenvolvimento, sobrevivência, reprodução e longevidade de *D. citri* (LIU; TSAI, 2000). Esses

autores apresentaram um modelo de Logan modificado para descrever a relação entre a taxa de desenvolvimento do inseto e a temperatura, em condições controladas.

Hamada et al. (2005) obtiveram uma estimativa das áreas favoráveis à ocorrência do psilídeo *D. citri*, no Estado de São Paulo, por meio do emprego do geoprocessamento, da utilização de dados climáticos e de um modelo de taxa de desenvolvimento do inseto. Nesse trabalho, foram utilizados os dados de temperatura média mensal oriundos de 58 estações meteorológicas no Estado de São Paulo e 25 estações dos estados do Paraná, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, próximas a São Paulo, obtidos junto à Rede Agritempo (Sistema de Monitoramento Agrometeorológico), da Embrapa. Adotando-se as faixas de temperatura e seu efeito no desenvolvimento da *D. citri* descritos por Liu e Tsai (2000), esses autores obtiveram mapas de favorabilidade de desenvolvimento de *D. citri* em função da temperatura e mapas de distribuição espacial da taxa potencial de reprodução do inseto (Fig. 1 e 2).

Pelos mapas, as regiões citrícolas norte e noroeste foram classificadas como favoráveis ou muito favoráveis ao desenvolvimento de *D. citri* durante todo o período de brotação dos citros (agosto a março). Já as regiões centro e sul só foram classificadas como favoráveis a partir de setembro (Fig. 1). Da mesma forma, as taxas de reprodução mensal seguiram o mesmo padrão (Fig. 2). As maiores taxas (1,8 a 2,4) foram encontradas nas regiões norte e noroeste, enquanto que nas regiões centro e sul, as taxas foram intermediárias (1,2 a 1,8).

Em outro trabalho, Morandi et al. (2005) compararam os dados obtidos nos mapas a levantamentos de flutuação populacional da praga no campo (Fig. 3). Os picos de flutuação populacional do inseto nas regiões norte e noroeste coincidiram com as épocas classificadas como mais favoráveis.

Nos cenários futuros de mudança climática apresentados, a temperatura média nas regiões norte e noroeste do Estado de São Paulo não deverá ultrapassar a faixa de 28 °C a 30 °C. Assim, espera-se que não haja diferenças substanciais no comportamento da *D. citri* nessas regiões, que continuarão de favoráveis a muito favoráveis durante todo o ano.

Entretanto, nas regiões centro e sul do estado, em todos os cenários futuros apresentados, o aumento da temperatura média deverá proporcionar maior favorabilidade ao inseto vetor. Pode-se supor, por exemplo, que o mês de setembro, hoje considerado de pouco favorável a favorável ao desenvolvimento de *D. citri*, passe a ser favorável no ano 2020 e muito favorável no ano 2080, para ambos os cenários (A2 e B2).

Nessa análise, não foram consideradas as condições que favorecem o desenvolvimento do patógeno, já que as mesmas ainda não são conhecidas

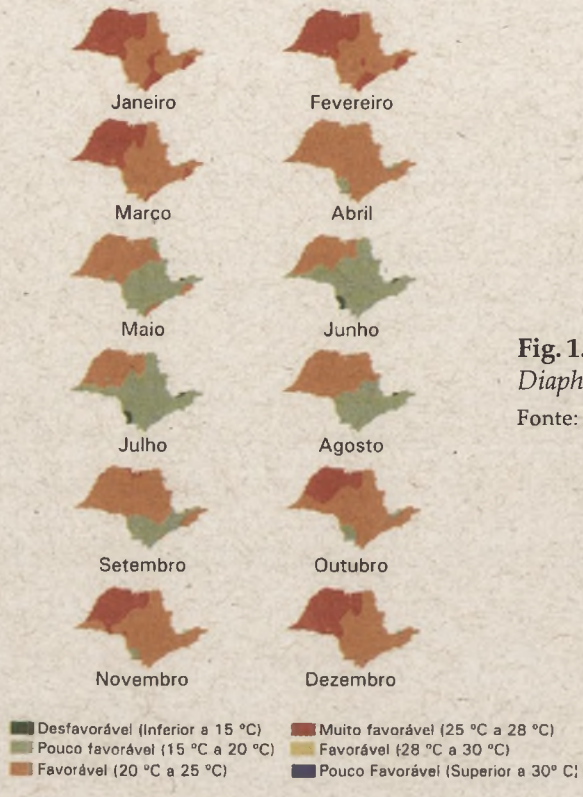


Fig. 1. Favorabilidade de desenvolvimento de *Diaphorina citri*, no Estado de São Paulo.
Fonte: Hamada et al. (2005).



Fig. 2. Taxa potencial de reprodução mensal de *Diaphorina citri*, no Estado de São Paulo.
Fonte: Hamada et al. (2005).

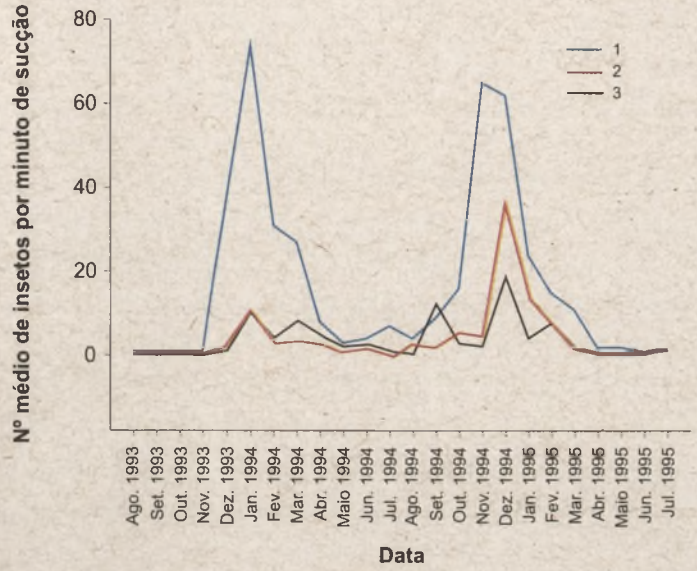


Fig. 3. Flutuação populacional de *Diaphorina citri* em três áreas na região citrícola norte e centro do Estado de São Paulo. Área 1: Monte Alto - Catanduva; Área 2: Bebedouro - Barretos; Área 3: Monte Azul Paulista - Olímpia.

Fonte: Yamamoto et al. (2001).

para a nova espécie da bactéria presente no Brasil, mas apenas do seu vetor. Entretanto, considerando-se que a disseminação de *Ca.* L. americanus, ao que tudo indica, é realizada principalmente por esse vetor, o seu aumento populacional em regiões hoje pouco favoráveis poderá, em conseqüência, aumentar a chance de ocorrência e aumento da incidência da doença.

Pinta-preta ou mancha-preta (*Guignardia citricarpa* Kiely (*Phyllosticta citricarpa* (McAlp.) van der A. A., sin = *Phyllostictina citricarpa* (Mc.Alp.) Petrak.)

A pinta-preta dos citros (PPC) afeta folhas, pecíolos, ramos, espinhos, pedúnculos e principalmente frutos, que ficam impróprios para a exportação e muito depreciados no mercado nacional de fruta in natura. Em ataques intensos, os frutos sintomáticos podem cair prematuramente, reduzindo a produtividade das plantas. Uma das importantes características da doença é que órgãos da planta podem estar infectados, mas não apresentam os sintomas da doença, uma vez que o período de incubação pode variar de 2 a 12 meses (FEICHTENBERGER; SPÓSITO, 2004). Esse período de dormência, em que o fungo está na forma de micélio subcuticular quiescente, pode ser interrompido quando o fruto atinge o seu tamanho final e inicia a maturação, ou quando as condições ambientais se tornam favoráveis.

Os ascósporos constituem a principal fonte de inóculo, desenvolvendo-se em folhas em decomposição, depois de 40 a 180 dias da queda das folhas ao solo. A produção desses esporos é favorecida por alternâncias entre os períodos de seca e molhamento das folhas, condição essa bastante freqüente

durante a estação chuvosa do ano. Os ascósporos são disseminados pelo vento, podendo atingir longas distâncias (FEICHTENBERGER et al., 2005).

Os picnidiósporos são produzidos em picnídios que se formam em lesões presentes nas folhas, frutos e ramos, sendo disseminados somente a curtas distâncias pela ação da água. Eles emergem através de um ostíolo do picnídio e são envolvidos por uma substância mucilaginosa. A água de chuva dissolve a mucilagem e carrega os esporos a curtas distâncias (FEICHTENBERGER et al., 2005). Nas condições brasileiras, os picnidiósporos vêm se constituindo em uma importante fonte adicional de inóculo, ao contrário do que ocorre em outros países em que a doença está presente, como a Austrália e a África do Sul (KOTZÉ, 1981; SPÓSITO, 2004).

A radiação solar associada a altas temperaturas favorece a manifestação dos sintomas, e os frutos mais expostos ao sol, geralmente, apresentam-se mais severamente afetados (FEICHTENBERGER et al., 2005). Plantas velhas e debilitadas são também muito mais suscetíveis à doença do que plantas sadias e vigorosas.

Dentre as condições ótimas para a infecção, podem-se citar: temperaturas compreendidas entre 21 °C e 32 °C e duração do período de molhamento foliar de 24 a 48 horas (FEICHTENBERGER; SPÓSITO, 2004).

Nos cenários futuros de mudanças climáticas apresentados, a temperatura média na região sul do Estado de São Paulo aumentará, podendo mesmo nos meses mais frios do ano atingir valores próximos a 22 °C, temperatura que já é considerada favorável ao desenvolvimento do fungo. Essa mudança poderá começar a ocorrer a partir de 2020, intensificando-se em 2050 e 2080, principalmente no cenário A2. Assim, o aumento da temperatura poderá favorecer a intensidade da doença nessa região. Nas demais regiões, provavelmente não haverá diferenças significativas na intensidade da doença, as quais já são favoráveis ao desenvolvimento do patógeno durante quase o ano todo.

Podridão-floral-dos-citros (*Colletotrichum acutatum* Simmons)

A podridão-floral-dos-citros (PFC), também denominada de queda-prematura-de-frutos, ou estrelinha, afeta principalmente flores e frutos recém-formados. Os danos causados dependem da intensidade da doença, e variam em função da quantidade e distribuição de chuvas durante o período de florescimento das plantas, sendo, portanto, extremamente importante nos anos em que as chuvas contínuas coincidem com o período de florescimento das plantas (FEICHTENBERGER et al., 2005).

A existência de um filme de água na superfície dos órgãos suscetíveis da planta, de pelo menos 18 horas de duração após a deposição dos conídios, já é suficiente para que ocorra a germinação dos conídios e o início da infecção. As flores somente tornam-se suscetíveis quando os botões florais, em expansão, atingem o estádio fenológico, vulgarmente denominado de cotonete. Após a abertura dos botões, as pétalas são muito suscetíveis (FEICHTENBERGER et al., 2005).

O efeito da temperatura sobre a PFC pode ser direto, atuando sobre o fungo, e indireto, influenciando a duração do período de florescimento das plantas. Como mencionado inicialmente, em temperaturas baixas, o florescimento das plantas é mais prolongado, contribuindo para que as flores fiquem expostas à ação do fungo por mais tempo. A temperatura ótima para o crescimento do fungo é de 23 °C a 27 °C, embora ele possa crescer numa faixa de 15 °C a 30 °C. A temperatura ótima para a germinação de conídios é de 23 °C. Em flores, a germinação de conídios inicia-se após um período de molhamento de 12 a 24 horas. A germinação de conídios e a infecção de pétalas podem ocorrer em 24 a 48 horas. O período de incubação do fungo varia de 4 a 5 dias, quando novos conídios são produzidos na superfície das lesões (FEICHTENBERGER; SPÓSITO, 2004). Os conídios conseguem sobreviver por até um mês na superfície de folhas, ramos e outros órgãos verdes da planta, na forma de conídios não germinados. Conídios produzidos em folhas podem ser carregados pela água até a superfície das pétalas das flores, onde germinam e penetram diretamente, sem a formação de apressórios, reiniciando assim o ciclo da doença (FEICHTENBERGER et al., 2005).

Com base nas alterações climáticas apresentadas nos diferentes cenários futuros, verifica-se que a temperatura média provavelmente aumentará, inclusive nos meses mais frios do ano. Essa mudança poderá ter um efeito direto benéfico sobre o patógeno, uma vez que algumas áreas apresentarão temperaturas ainda mais adequadas ao desenvolvimento do fungo. Esse seria o caso da região sul do Estado de São Paulo, onde a doença já é extremamente importante, porém com esse aumento poderia se tornar ainda mais favorável. Por outro lado, esse aumento de temperatura deverá reduzir a duração do período de florescimento das plantas, contribuindo para que as flores fiquem expostas à ação do fungo por um período menor de tempo. Assim, provavelmente, haverá uma compensação entre os fatores positivos e negativos do aumento da temperatura no desenvolvimento da doença. Nesse caso, terá grande importância o efeito da precipitação, que afeta diretamente a duração do período de molhamento foliar. De modo geral, observa-se que a precipitação mensal tende a diminuir em todos os cenários futuros apresentados, intensificando-se com o passar dos anos. Dado que o fungo depende de um período de molhamento foliar entre 10 e 12 horas para causar infecção, e considerando o fato de que esse valor somente deverá

ocorrer esporadicamente nos vários cenários, especula-se que o efeito da precipitação será desfavorável ao desenvolvimento da doença. Desse modo, considerando-se todos esses fatores (temperatura, precipitação e duração do período de florescimento), supõe-se que a doença não deverá aumentar de intensidade, mesmo nas regiões onde hoje é problema sério, como a região sul do Estado de São Paulo.

Leprose (Citrus leprosis virus - CiLV)

A leprose-dos-citros foi constatada em 1933 no Estado de São Paulo, onde ocorre de forma endêmica, e já foi descrita em quase todos os estados produtores de citros. Sob ataques severos, ocorrem enormes danos à produção e redução da vida útil da árvore debilitada (FUNDECITRUS, 2005). Em decorrência dos danos causados, os gastos com o manejo da leprose, principalmente com acaricidas para o controle do ácaro vetor, têm sido o principal fator de custo de um pomar em produção, principalmente nas regiões norte e noroeste de São Paulo, onde as populações do vetor são maiores e os sintomas da doença mais severos (BASSANEZI, 2004).

Em citros, o vírus induz sintomas localizados, que podem ser observados nas folhas, ramos e frutos. Nas folhas, de 20 a 60 dias após a transmissão do vírus, são formadas lesões arredondadas a elípticas, inicialmente cloróticas, que evoluem para manchas ligeiramente salientes na página inferior e lisas na superior, com coloração verde-pálida a marrom no centro, e um halo amarelo na periferia, podendo atingir de 1 cm a 3 cm de diâmetro.

O vírus da leprose-dos-citros não é sistêmico, e as lesões são localizadas, sendo cada uma associada com o local de alimentação do ácaro vetor. A transmissão por ácaros do gênero *Brevipalpus* é a principal, senão a única forma de disseminação do vírus nos pomares. No Brasil, o principal vetor é o *B. phoenicis*, conhecido como o ácaro-da-leprose. Uma vez infectado, o ácaro é capaz de transmitir o vírus por toda sua vida, numa relação circulativa e propagativa. Larvas, ninfas e adultos do ácaro são igualmente capazes de transmitir o vírus, mas indivíduos originados de ovos de fêmeas virulíferas são incapazes de transmiti-lo. O ciclo de ovo a adulto é de 14 a 44 dias. Em temperaturas altas, o ciclo é mais curto, a deposição de ovos é maior, e o período de incubação é menor. Em temperaturas de 25 °C e 65 % a 70 % de umidade relativa, o ácaro completa o ciclo em 25 dias.

Como o progresso dos sintomas de leprose em plantas ou órgãos está diretamente relacionado ao progresso da população do ácaro vetor, fatores

que favoreçam o aumento populacional do ácaro aumentam as possibilidades de epidemias de leprose. Em regiões ou épocas do ano em que as plantas apresentem estresse hídrico, a população do ácaro tende a ser maior. Frutos com lesões de verrugose e folhas com ataque da LMC servem como abrigo para a oviposição e a proteção do ácaro contra inimigos naturais e acaricidas. Na planta cítrica, os frutos são os órgãos preferenciais para a multiplicação do ácaro, e, portanto, quanto mais tempo os frutos forem mantidos na planta, maior será sua multiplicação. Por ser bastante polífago, o ácaro-da-leprose apresenta inúmeras plantas hospedeiras, entre plantas daninhas e cercas vivas em pomares cítricos, que favorecem sua multiplicação e disseminação (FUNDECITRUS, 2005).

Embora o ácaro possa ser encontrado durante todo o ano, os níveis populacionais elevam-se a partir dos meses de março a abril, período em que normalmente começam a diminuir as precipitações, e os frutos aceleram seu desenvolvimento. A partir de julho, atingem-se níveis populacionais mais altos, quando as plantas estão submetidas a períodos de estresse hídrico, sendo que o pico máximo ocorre geralmente nos meses de setembro a outubro, quando os frutos estão próximos à maturação, para decrescer gradativamente com as chuvas e a colheita dos frutos.

Nos cenários futuros de mudanças climáticas apresentados, verifica-se a tendência de redução da precipitação mensal em todo o Estado de São Paulo. Por exemplo, para o mês de março, no cenário A2 do ano 2050, o índice de precipitação, na maior parte do estado, deverá ser reduzido à metade. Com isso, o aumento populacional do ácaro-da-leprose poderá se iniciar mais cedo. Considerando que esse é um dos principais fatores de influência na população do ácaro vetor da leprose, e que a epidemia da doença é totalmente dependente do comportamento do vetor, supõe-se que haverá um agravamento da ocorrência da doença em todas as regiões produtoras. Entretanto, caso haja uma diminuição muito acentuada na precipitação, e conseqüente diminuição da umidade relativa do ar, pode ocorrer uma diminuição na população do ácaro-da-leprose. Souza (2002) observou que a umidade relativa do ar influencia o período de ovo a adulto e o crescimento populacional de *B. phoenicis*. As condições ideais de umidade relativa para esse ácaro estão em torno de 60 %, e em umidade inferior a 30 % ocorre uma drástica diminuição da postura de ovos.

O aumento das temperaturas médias previstas nos cenários apresentados, associado à redução da precipitação, deverá contribuir também para o aumento da população do ácaro, especialmente nas regiões centro e sul do estado, uma vez que em temperaturas mais altas o ciclo do vetor é mais curto, a deposição de ovos é maior, e o período de incubação é menor.

Como o vírus da leprose já ocorre nessas regiões, supõe-se que haverá aumento tanto da incidência quanto da severidade da doença nesses locais considerados, hoje, menos favoráveis à sua ocorrência.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração é o efeito das condições climáticas e da própria planta no desenvolvimento do patógeno. Souza (2002) constatou que as plantas de citros tornam-se mais suscetíveis à ocorrência de lesões de leprose em condições de falta de água. Portanto, com a diminuição do período chuvoso e da intensidade de chuvas, além de favorecer o ácaro-da-leprose, haverá uma maior predisposição das plantas à infecção e ao desenvolvimento dos sintomas.

O custo atual de tratamento com acaricidas, para controle de *B. phoenicis* e outros ácaros em plantas cítricas, é estimado em 10 % a 15 % do custo total de um pomar em produção (FUNDECITRUS, 2005). Caso as previsões de antecipação do início do aumento populacional da praga se concretizem, o nível de ação será atingido mais cedo e, portanto, haverá necessidade de um maior número de aplicações de acaricidas para o controle do vetor, aumentando, conseqüentemente, os custos de controle e riscos de surgimento de populações de ácaros resistentes aos produtos utilizados.

Considerações finais

As condições climáticas são determinantes para o comportamento das plantas cítricas, o que resulta em variações entre localidades e entre anos nas características fenológicas do florescimento, produção e qualidade interna e externa de frutos. As condições climáticas influenciam diretamente a ocorrência e a severidade de doenças na cultura, e os elementos meteorológicos que mais influenciam esses parâmetros são a temperatura e a precipitação.

Com as mudanças climáticas previstas nos dois cenários (A2 e B2), e nos três períodos analisados (2020, 2050 e 2080), supõe-se que o desenvolvimento da cultura não sofrerá grandes alterações, dado que a amplitude de crescimento dos citros se enquadra dentro dos valores das mudanças previstas para o Estado de São Paulo (temperaturas mínima e máxima de 16 °C a 32 °C, em média). Entretanto, poderá ocorrer mudança na distribuição geográfica da cultura, já que algumas áreas se tornarão mais aptas ao cultivo que outras, fato que poderá propiciar o surgimento de novas áreas de plantio e/ou maior desenvolvimento de algumas já existentes, especialmente na região sul do estado.

As alterações nos parâmetros meteorológicos, especialmente a elevação da temperatura e a redução da precipitação (que pode ter como conseqüência

o aumento do déficit hídrico e redução da umidade relativa do ar) podem ter efeitos adversos na ocorrência, severidade e no padrão de distribuição das doenças dos citros. Entretanto, há que se considerar que essa análise é complexa devido à possibilidade de efeitos compensatórios entre os fatores que favorecem ou desfavorecem as atividades dos patógenos e de seus vetores e afetam a predisposição das plantas a estes.

Na Tabela 1, são apresentados, de forma resumida, os possíveis efeitos das mudanças climáticas previstas sobre as principais doenças dos citros. De forma geral, observa-se a tendência de aumento da intensidade de doenças, especialmente nas regiões centro e sul do Estado de São Paulo. Os efeitos das mudanças nos parâmetros meteorológicos, sobre as populações dos vetores de doenças como o CVC, o greening e a leprose, tendem a agravar o problema nessas regiões.

Tabela 1. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a intensidade de doença e a população de vetores das principais doenças dos citros no Estado de São Paulo.

Doença	Intensidade da doença		Região citrícola do Estado de São Paulo		População do vetor
	Aumento da temperatura	Redução na precipitação	Norte e Noroeste	Centro e Sul	
Cancro-cítrico	↑	↑ ↓(1)	↑	↑	SVE
CVC	↑	↓	↔	↑	↑
Greening	↑	(–)	↔	↑	↑
Pinta-preta	↑	↑ ↓(1)	↔	↑	SVE
Podridão-floral	↑(2) ↓(3)	↓	↔	↔	SVE
Leprose	↑	↑	↑	↑	↑

↔ Manutenção ou pequena alteração da situação atual; ↑ aumento da intensidade de doença; ↓ redução da intensidade de doença; (—) efeito não determinado; SVE (sem vetor envolvido).

(1) Efeito indireto pelo possível aumento da ocorrência de tempestades tropicais, que poderá afetar o padrão de disseminação do patógeno.
(2) Efeito direto sobre o desenvolvimento do patógeno.
(3) Efeito indireto pela redução do período de floração dos citros.

Referências

ALBRIGO, L. G. Environmental influences on citrus fruit development. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON CITRUS PHYSIOLOGY, 2., 1992, Bebedouro. **Proceedings...** Jaboticabal: UNESP, 1992. p. 91-101.

ALBRIGO, L. G. Water relations and citrus fruit quality. In: SAULS, J. W.; JACKSON, L. K.; SOULE, J. (Ed.) **Second international short course of water relations**. Gainesville: University of Florida, 1975. p. 41-48.

AYRES, A. J. **Intensidade da clorose variegada dos citros em pomares comerciais de laranja do Estado de São Paulo e sul do Triângulo Mineiro**. 2000. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

BASSANEZI, R. B. Leprose dos citros: foco no controle do ácaro. **Visão Agrícola,** Piracicaba, v. 2, p. 24-29, 2004.

BASSANEZI, R. B.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; GIMENES-FERNANDES, N.; GOTTWALD, T. R.; BOVÉ, J. M. Spatial and temporal analyses of citrus sudden death as a tool to generate hypotheses concerning its etiology. **Phytopathology**, St. Paul, v. 93, p. 502-512, 2003.

BELASQUE JÚNIOR, J.; PARRA-PEDRAZZOLI, A. L.; RODRIGUES NETO, J.; YAMAMOTO, P. T.; CHAGAS, M. C. M.; PARRA, J. R. P.; VINYARD, B. T.; HARTUNG, J. S. Adult citrus leafminer (*Phyllocnistis citrella*) are not efficient vectors for *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*. **Plant Disease**, St. Paul, v. 89, p. 590-594, 2005.

CASSIN, P. J. Performance of citrus cultivars in various growing regions. **Fruits**, Paris, v. 39, p. 263-276, 1984.

CENTEC. **Produtor de citros.** Fortaleza, 2004. 64 p.

CHAGAS, M. C. M.; PARRA, J. R. P. *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae): técnica de criação e biologia em diferentes temperaturas. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v. 29, p. 227-235, 2000.

CHRISTIANO, R. S. C. **Componentes monocíclicos do cancro cítrico no sistema *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*-Limão Tahiti-*Phyllocnistis citrella*, sob condições controladas**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

DONADIO, L. C.; MOURÃO FILHO, F. A. A.; MOREIRA, C. S. Centros de origem, distribuição geográfica das plantas cítricas e histórico da citricultura no Brasil. In: MATOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. (Ed.) **Citros.** Campinas: IAC, 2005. p. 3-18.

FEICHTENBERGER, E.; BASSANEZI, R. B.; SPÓSITO, M. B.; BELASQUE JÚNIOR, J. Doenças dos citros (*Citrus* spp.). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Ed.) **Manual de fitopatologia**: doenças das plantas cultivadas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. v. 2, p. 239-269.

FEICHTENBERGER, E.; SPÓSITO, M. B. Doenças fúngicas dos citros: manejo integrado. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 2, p. 44-47, 2004.

FUNDECITRUS. **Manual de leprose**. Araraquara, 2005. 12 p.

HAMADA, E.; MORANDI, M. A. B.; TAMBASCO, F. J.; PEREIRA, D. A.; EVANGELISTA, S. R. M. Estimativa de áreas favoráveis à ocorrência da *Diaphorina citri* (vetor do greening asiático) no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005, Campinas. **Agrometeorologia, agroclimatologia e agronegócio**: anais. Campinas: Unicamp, 2005. CD-ROM.

JESUS JUNIOR, W. C.; BASSANEZI, R. B. Análise da dinâmica e estrutura de focos da morte súbita dos citros. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 29, p. 399-405, 2004.

JESUS JUNIOR, W. C; BELASQUE JÚNIOR, J.; AMORIM, L.; CHRISTIANO, R. S. C.; PARRA, J. R. P.; BERGAMIN FILHO, A. Injuries by citrus leafminer intensify infection by *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*. **Fitopatologia Brasileira**, Lavras, v. 31, p. 64-70, 2006.

JESUS JUNIOR, W. C.; YAMAMOTO, P. T.; BASSANEZI, R. B.; BERGAMIN FILHO, A. Morte súbita dos citros. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.) **Manejo integrado de doenças e pragas**: produção integrada de fruteiras tropicais. Viçosa: UFV, 2003. p.187-222.

KIMATI, H; GALLI, F. Doenças dos citros. In: GALLI, F. (Ed.). **Manual de fitopatologia**: doenças das plantas cultivadas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. p.213-235.

KOTZÉ, J. M. Epidemiology and control of citrus black spot in South Africa. **Plant Disease**, St. Paul, v. 65, p. 945-950, 1981.

LARANJEIRA, F. F. **Epidemiologia da clorose variegada dos citros no Estado de São Paulo**. 2002. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

LARANJEIRA, F. F.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; LOPES, J. R. S. Comportamento sazonal da clorose variegada dos citros em três regiões do Estado de São Paulo. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 28, p. 633-641, 2003.

LIU, Y. H.; TSAI, J. H. Effects of temperature on biology and life table parameters of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae). **Annals of Applied Biology**, Cambridge, v. 137, p. 201-206, 2000.

LOPES, J. R. S. Estudos com vetores de *Xylella fastidiosa* e implicações no manejo da clorose variegada dos citros. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 20, p. 329-344. 1999.

MILANEZ, J. M.; PARRA, J. R. P.; CUSTÓDIO, I. C.; MAGRI, D. C.; CERA, C. Biologia e exigências térmicas de três espécies de cigarrinhas vetoras da bactéria *Xylella fastidiosa*. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 23, p. 127-140, 2002.

MORANDI, M. A. B.; HAMADA, E.; YAMAMOTO, P. T.; JESUS JUNIOR, W. C.; TAMBASCO, F. J.; PEREIRA, D. A; EVANGELISTA, S. R. M. Estimativa de áreas favoráveis ao desenvolvimento de pragas quarentenárias na citricultura no Estado de São Paulo. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 30, p. S175, 2005.

PEREIRA, E. F. **Efeito da estação do ano no sucesso de infecção por *Xylella fastidiosa* em citros [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]**. 2005. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

PEREIRA, E. F. **Estudo de fatores sazonais relacionados à transmissão de *Xylella fastidiosa* em pomares de citros**. 2000. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

REUTHER, W. Climate and citrus behavior. In: REUTHER, W. (Ed.). **The citrus industry**. Riverside: University of California, 1973. v.3, p.280-337.

ROBERTO, S. R. **Flutuação populacional de cigarrinhas (Hemíptera: Cicadellidae) vetoras de *Xylella fastidiosa* em pomares de laranja doce no estado de São Paulo**. 1998. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.

ROSSETTI, V. **Manual ilustrado de doenças dos citros**. Piracicaba: Fealq: Fundecitrus, 2001. 207 p.

SOUZA, R. S. **Aspecto da inter-relação ácaro da leprose *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: Tenuipalpidae), *Citrus sinensis* (L.) e meio ambiente**. 2002. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

SPÓSITO, M. B. **Dinâmica temporal e espacial da mancha preta (*Guignardia citricarpa*) e quantificação dos danos causados à cultura dos citros**. 2004. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

TEIXEIRA, D. C.; AYRES, A. J.; KITAJIMA, E. W.; TANAKA, F. A. O.; DANET, L.; EVEILLARD, S. J.; SAILLARD, C.; BOVÉ, J. M. First report of a Huanglongbing-like disease of citrus in São Paulo State, Brazil and association of a new Liberibacter species, "*Candidatus* Liberibacter americanus", with the disease. **Plant Disease**, St. Paul, v. 89, p. 107, 2005a.

TEIXEIRA, D. C.; DANET, J. L.; EVEILLARD, S.; MARTINS, E. C.; JESUS JUNIOR, W. C.; YAMAMOTO, P. T.; LOPES, S. A.; BASSANEZI, R. B.; AYRES, A. J.; SAILLARD, C.; BOVÉ, J. M. Citrus huanglongbing in São Paulo State, Brazil: PCR detection of the '*Candidatus*' Liberibacter species associated with the disease. **Molecular and Cellular Probes**, Amsterdam, v. 19, p. 173-179, 2005b.

TEIXEIRA, D. C.; SAILLARD, C.; EVEILLARD, S.; DANET, J. L.; COSTA, P. I.; AYRES, A. J.; BOVÉ, J. M. '*Candidatus* Liberibacter americanus', associated with citrus huanglongbing (greening disease) in São Paulo State, Brazil. International **Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, Reading, v. 55, p. 1857-1862, 2005c.

TIMMER, L. W.; GARNSEY, S. M.; GRAHAM, J. H. **Compedium of citrus diseases**. 2th ed. St Paul: APS Press, 2000. 92 p.

YAMAMOTO, P. T.; JESUS JUNIOR, W. C.; BASSANEZI, R. B.; SANCHES, A. L.; AYRES, A. J.; GIMENES-FERNANDES, N.; BOVÉ, J. M. Transmission of the agent inducing symptoms of citrus sudden death by graft inoculation under insect proof conditions. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 28, p. S265, 2003.

YAMAMOTO, P. T.; PAIVA, P. E. B.; GRAVENA, S. Flutuação populacional de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemíptera: Psyllidae) em pomares de citros na região norte do Estado de São Paulo. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 30, p. 156-170, 2001.

Capítulo 15

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças da seringueira no Estado de São Paulo

Edson Luiz Furtado

Introdução

Doença é um processo dinâmico, que resulta da interação entre a planta e o patógeno, em íntima relação com o meio ambiente (CARVALHO, 1978). Deve ser considerado que, no processo doença, ocorrem interferências na seqüência ordenada dos processos fisiológicos da planta, refletindo no aproveitamento máximo dos fatores necessários ao seu desenvolvimento, produção e reprodução. Podem-se agrupar os diversos agentes patogênicos em causadores de doenças infecciosas (ou bióticas) e doenças não infecciosas (ou abióticas).

Compreende-se por doenças infecciosas, ou bióticas, aquelas resultantes do estabelecimento de uma relação patogênica, na qual o agente causal está sempre presente no hospedeiro, tanto na superfície, como no interior do mesmo, com a capacidade de reprodução ou multiplicação, causando epidemias. Podem ser isolados, cultivados ou transmitidos. Essas doenças se contrapõem às doenças não infecciosas ou abióticas, cujos agentes causais são fatores inanimados, geralmente condições adversas do ambiente (BERGAMIN FILHO et al., 1995).

Dentre as doenças da seringueira, no presente capítulo, foram descritas aquelas que são consideradas principais e de maior ocorrência nos cultivos, com breve relato sobre sua incidência no Estado de São Paulo, num panorama climático atual e futuro diante das mudanças climáticas globais previstas para 2020, 2050 e 2080.

Doenças abióticas

Temperaturas altas

De um modo geral, as plantas têm uma faixa de temperatura para seu ótimo desenvolvimento. Para a seringueira, essa faixa vai, normalmente, de 15 °C a 30 °C. Os tecidos novos de órgãos em crescimento são, geralmente, sensíveis a temperaturas abaixo de 1 °C e acima de 40 °C. Os limites térmicos mais favoráveis à fotossíntese estão entre 27 °C e 30 °C. Em temperaturas altas, acima de 40 °C, a taxa de respiração excede a taxa de fotossíntese, e a 10 °C, ou menos, essa é descontínua ou nula. Veranicos e temperaturas elevadas podem afetar o tronco da seringueira se essa for submetida à exposição direta dos raios solares, já que a coloração da casca propicia grande absorção de calor, resultando na queima dos tecidos ou na escaldadura. A queima da base do tronco também poderá se dar, principalmente, em plantios em solos arenosos (FURTADO; SILVEIRA, 1992).

Veranicos ou períodos secos

Veranicos ou períodos secos prolongados podem resultar em trincas na casca, por contração ou dilatação do tronco; patógenos fracos podem se estabelecer, e lesões pouco profundas podem se formar em diversos pontos da casca. Gooding (1952) relacionou a produção de látex com a flutuação diversa na dimensão do tronco. O diâmetro do tronco aumenta durante a noite, quando os estômatos se fecham, e diminui ao longo do dia, quando a transpiração é máxima. Essa contração e dilatação do tronco podem ocasionar microtrincas na casca, o que resulta em exsudação de látex. Trincas, na parte interna da casca, podem ser causadas pelo excesso de turgidez dos tecidos nos períodos muito chuvosos, e a exsudação de látex pode ocorrer no interior da mesma. Esse látex preso entre o câmbio e a casca coagula e pressiona o tecido para fora, formando bolhas. Esse fenômeno ocorre, principalmente, na área em regeneração acima da canaleta de sangria ou, em casos mais severos, por todo o tronco, onde a casca se rompe e expõe essa borracha coagulada.

Secamento-do-painel

Essa enfermidade fisiológica caracteriza-se pela ausência da exsudação de látex, na canaleta de sangria, atingindo parte ou todo o comprimento do corte. Os casos observados de secamento-do-painel podem ser agrupados em dois tipos (FURTADO, 2007):

a) **Reversível** - Aquele secamento que surge após o desfolhamento das plantas, normalmente no período climático mais seco, para o Planalto Paulista, e cessa depois das primeiras chuvas pesadas da primavera. Em levantamento efetuado junto ao seringal paulista, na região de Buritama, em setembro de 1991, verificou-se uma média de 20 % das plantas com sintomas, na cultivar RRIM 600, e em outubro do mesmo ano, após 190 mm de chuva, apenas uma planta progrediu para o secamento completo (Fig. 1), sendo que várias cultivares foram avaliadas (Fig. 2).

b) **Irreversível** - As plantas atingem o ponto de esgotamento, e os tecidos da casca são expulsos, muitas vezes com danos ao tecido cambial e degeneração com deformações no tronco. Isso pode ser causado pelo excesso de sangria e/ou estimulação com aplicação freqüente de etileno ou em altas doses. Esse secamento pode ser confundido com a seca-fisiológica-do-painel, descrita a seguir.

Seca-fisiológica-do-painel (*brown bast*)

Pode-se dizer que o *brown bast* é um distúrbio das plantas, que as leva ao secamento-do-painel-de-sangria. Provocada por uma associação de

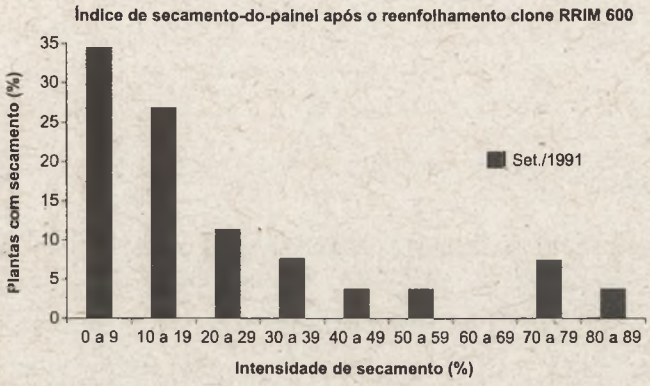


Fig. 1. Percentagem de plantas com secamento e intensidade dos sintomas logo após a troca das folhas. Buritama, SP.

Fonte: Furtado (2007).

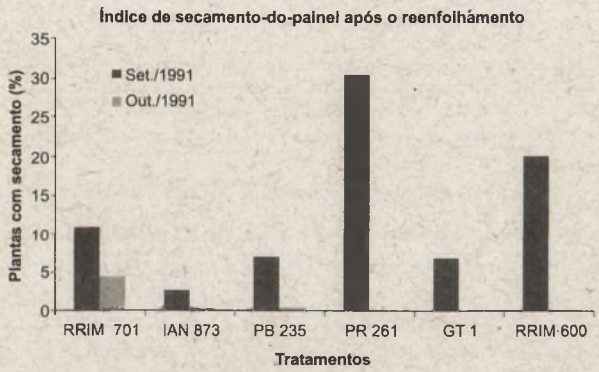


Fig. 2. Percentagem de plantas com secamento-do-painel em seis clones, avaliados em duas épocas, após o reenfolhamento, após 144 mm de chuva. Buritama, SP.

Fonte: Furtado (2007).

fatores fisiológicos que ocorrem no interior do sistema laticífero, essa enfermidade caracteriza-se pela ausência da exsudação de látex, seja na parte do corte de sangria ou em todo o seu comprimento. Nos casos mais severos ocorrem rachaduras e descamações na área abaixo do corte. A taxa de plantas atingidas varia com o método de explotação utilizado (freqüência de sangria, tamanho do corte e concentração de estimulantes); atingidos 5 % das plantas, é necessário uma cuidadosa análise e revisão do método de explotação empregado. A doença pode atingir, na fase mais aguda, até 30 % das plantas. Após a sangria, quando cessa o fluxo de látex, pode ser observada a descoloração típica da casca, surgindo manchas de coloração marrom e secas na região do corte. Raspando-se a casca, verifica-se que essa coloração espalha-se rapidamente para baixo seguindo o sentido dos vasos laticíferos. Em dois a cinco meses todo o painel pode ser atingido. Seringais, onde o sistema de explotação utilizado inclui estimulantes, devem ter seus tratos culturais rigorosamente conduzidos. Desfolhamentos intensos e freqüentes, causados por doenças ou pragas, adubação ausente ou insuficiente, podem levar rapidamente as plantas às condições necessárias para a ocorrência de *brown bast*. Existem hipóteses que correlacionam o secamento-do-painel com o déficit hídrico de áreas com estação seca prolongada (PARANJOTHY et al., 1975; FURTADO; SILVEIRA, 1990).

Doenças bióticas

Doenças do tronco

Cancro do enxerto e da casca

Causada pelo fungo *Lasiodiplodia theobromae*, parasita fraco e oportunista, essa doença tem sido verificada com alta incidência na região Amazônica. No Estado de São Paulo foi observada no final da década de 50, devido a plantios mal conduzidos. Esse fungo não possui capacidade de penetração ativa e, para isso, aproveita ferimentos, como cortes na casca feitos para a enxertia ou provocados pelas capinas, ou ferimentos decorrentes de escaldadura, causada pela alta temperatura do solo que fica em contato com o colo da planta. Os sintomas aparecem lentamente na região do ferimento, inicialmente como escurecimento da casca, que vai morrendo lentamente, secando e destacando-se com facilidade, podendo atingir grandes porções do tronco, causar o anelamento da planta e ocasionar-lhe a morte. Em plantas sadias inoculadas, verifica-se que o patógeno progride internamente pelo tecido cambial, sendo encontradas estrias enegrecidas de até 25 cm de comprimento, a partir do ponto de inoculação.

Rubelose

Essa doença é muito comum na maioria dos países onde a seringueira é cultivada. No Pará, em 1982, foi observada incidência elevada da doença em plantas com copa de *Hevea pauciflora*. Em São Paulo, a rubelose foi constatada, há alguns anos, em seringal abandonado do Vale do Ribeira, e, em maio de 1994, foi observada alta incidência dessa doença em plantas do clone RRIM 600 em seringais dos municípios de Garça e Barretos, provocando intensa seca dos ramos e queda de galhos, causando a morte de algumas plantas. Causada pelo fungo *Erythricium salmonicolor*, afeta, além da seringueira, outras plantas. Os esporos são disseminados pelo vento e pela chuva. Em geral, a infecção se inicia pelas axilas dos ramos, sendo observado um revestimento rosado, na área lesionada, correspondendo às estruturas do fungo. Ocorrido o anelamento da casca, dá-se a morte da haste, dos ramos e da própria planta.

Doenças do painel de sangria

Antracnose-do-painel

A antracnose-do-painel-de-sangria da seringueira foi constatada pela primeira vez no Brasil em 1988, no município de Tupã, SP (SILVEIRA et al.,

1989, 1992). Em levantamento efetuado no Estado de São Paulo (Fig. 3), verificou-se que o patógeno estava amplamente disseminado e que tinha uma importância muito grande para a cultura, pelos danos causados.

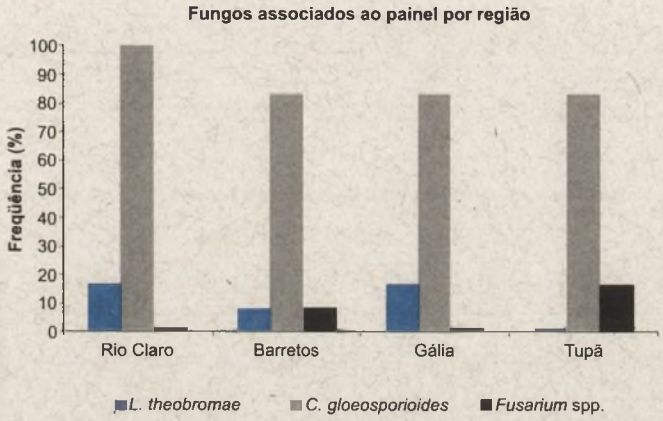


Fig. 3. Freqüência de isolamentos de diferentes patógenos da área do painel de sangria, em diferentes municípios do Estado de São Paulo.

Os sintomas se iniciam com pequenas lesões elípticas formadas na casca remanescente do corte de sangria, as quais aumentam de tamanho e ficam com o centro deprimido, resultando em pequenos cancros. Sob condições favoráveis de temperatura e umidade, as lesões coalescem e atingem grandes porções da casca. Em 1989, observou-se a perda de quase toda a área sangrada por apodrecimento da casca, resultando na exposição do lenho das plantas. O agente causal da antracnose-do-painel pertence à espécie *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc. Sua disseminação é efetuada principalmente por respingos das gotas de chuva e pelo vento. Deve-se ressaltar que o mesmo agente é comum a diversos hospedeiros, o que favorece sua sobrevivência e dificulta seu controle efetivo. Os períodos críticos em que a doença possui maior intensidade correspondem ao início do período chuvoso e conseqüente baixa da temperatura.

Mofo-cinzento

O mofo-cinzento é uma doença fúngica conhecida em todas as regiões heveícolas do mundo. No Brasil, além da seringueira, afeta numerosos hospedeiros. No Estado de São Paulo, foi notada pela primeira vez em 1985, no Município de Ubatuba, no litoral norte (SILVEIRA et al., 1994). Os primeiros sintomas observados no painel de sangria são pontuações marrom-claras, encharcadas, recobertas por micélio branco, próximas à área

de corte. Passados 3 a 4 dias, aparecem lesões grandes, escuras, com presença de tecido apodrecido. Em condições de baixa temperatura e umidade elevada, desenvolve-se sobre o tecido lesionado um mofo que varia de esbranquiçado a cinza, e este corresponde ao crescimento micelial e às frutificações do patógeno, visíveis mesmo a certa distância das plantas (SILVEIRA et al., 1994). O mofo-cinzento é causado pelo fungo *Ceratocystis fimbriata* Ellis Hasteld. Esse agente é patogênico a várias outras espécies vegetais, como o cacaueiro, a mangueira e a crotalária. Os esporos do fungo podem ser disseminados em grande quantidade por respingos de chuva, vento e, principalmente, pela faca de sangria. O período de maior incidência se situa entre abril e junho, para as condições climáticas de Ubatuba, SP (OLIVEIRA et al., 1995). O mofo-cinzento ocorre com maior severidade em plantios localizados no litoral do Estado de São Paulo, em surtos observados em períodos com temperaturas mais baixas e alta umidade.

Cancro-estriado-do-painel

O cancro-estriado-do-painel também é conhecido em várias regiões do globo onde se cultiva a seringueira. Toda a parte aérea da planta pode sofrer o ataque do patógeno, dependendo das cultivares e das condições ambientais, pois os agentes etiológicos do cancro-estriado, no Brasil, são os mesmos da requeima e da queda-anormal-das folhas. A doença é causada por algas, com crescimento micelial, do gênero *Phytophthora*, com várias espécies descritas, como *P. palmivora*, *P. capsici* e *P. citrophthora*. A principal espécie que ocorre em São Paulo é a *P. citrophthora*, porém com baixa intensidade e virulência (FURTADO; SILVEIRA, 1990). Esse pseudo-fungo invade o painel pela superfície exposta no ato de sangria, principalmente em épocas chuvosas, causando a morte dos tecidos do câmbio e prejudicando a renovação do painel. As condições de alta umidade relativa, temperatura amena e chuvas, durante vários dias consecutivos, são condições propícias à ocorrência do cancro-estriado. Para a infecção, esses pseudo-fungos requerem a presença de água livre, temperaturas amenas e baixa luminosidade, comuns em períodos chuvosos. Sua penetração pode ser favorecida se a superfície de corte estiver próxima ao solo.

Seca-da-casca causada por *Fusarium*

Em inspeções realizadas em seringais do clone RRIM 600, nos municípios de Novo Horizonte, Macaubal e Cosmorama, na região de São

José do Rio Preto, SP, foram constatadas plantas com áreas necróticas na casca, que se estendiam para toda a superfície do painel, mesmo em casca não sangrada. Nas áreas adjacentes às lesões, foram observadas alterações no tecido da casca, sendo essas como grânulos que se desprendem facilmente com o tato, e cujo agente causal foi identificado como *Fusarium moniliforme* (STRADIOTTO et al., 1988). Sua importância e seus danos têm crescido nos últimos anos.

Doenças foliares

Mal-das-folhas-da-seringueira

O mal-das-folhas é considerado uma das principais causas de fracassos em empreendimentos heveícolas no País. No entanto, não são observados ataques severos em plantas de extrativismo, na Floresta Amazônica, pois as árvores são encontradas em baixa densidade e dispersas na mata. No Estado de São Paulo, essa doença foliar foi detectada em viveiros no litoral sul, em 1960, e no Planalto Paulista, em 1970, e, atualmente, encontra-se amplamente disseminada nas regiões de cultivo (CARDOSO; ROSSETTI, 1964, CAMARGO et al., 1967). Ataques epidêmicos têm sido observados, principalmente na região litorânea, onde predomina período de molhamento prolongado, na maior parte do ano, sendo esse o fator climático que mais favorece o desenvolvimento da doença. No Planalto Paulista, a moléstia predomina em viveiros irrigados, atingindo alta incidência em determinadas épocas do ano, como observado em 1991 em Votuporanga, Marília, Buritama e Rio Claro (FURTADO; SILVEIRA, 1992). O mal-das-folhas, ou queima-sul-americana-das-folhas, é causado pelo fungo *Microcyclus ulei* (P. Henn) v. Arx, e se encontra disseminado por toda a área de plantio do continente americano. É um patógeno específico do gênero *Hevea*, e já foi encontrado em seis espécies de seringueira (JUNQUEIRA et al., 1986). Estudos efetuados em viveiros no Vale do Paraíba e na Bahia demonstraram que as condições climáticas propícias ao desenvolvimento de epidemias são aquelas em que a umidade relativa do ar é superior a 95 % por 10 horas consecutivas, durante 12 dias ao mês. A doença se manifesta principalmente nos folíolos, podendo surgir nos pecíolos e ramos novos (CAMARGO et al., 1967, ROCHA; VASCONCELOS FILHO, 1978). No Estado de São Paulo, há duas regiões onde se cultiva a seringueira: no litoral (Vale do Ribeira) e no Planalto, principalmente nas regiões de São José do Rio Preto, Marília, Ribeirão Preto, Araçatuba, Presidente Prudente e Bauru. Dessas regiões, a do Vale do Ribeira, que se encontra influenciada por ventos marítimos saturados de

umidade, com temperaturas altas quase o ano todo, apresenta condições favoráveis ao desenvolvimento epidêmico da doença (ORTOLANI et al., 1983; FURTADO, 1991; FURTADO; SILVEIRA, 1992).

Antracnose

Causada por *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc., caracteriza-se por lesões e queda de folhas, morte de inflorescências e seca de ponteiros. Seu primeiro surto em seringueiras, no Estado de São Paulo, foi relatado em 1987 no Município de Porto Feliz (SILVEIRA et al., 1989). A antracnose nas folhas de seringueira tem sido citada, com freqüência, por diversos autores na região amazônica, onde normalmente ocorre associada ao mal-das-folhas. Seus sintomas se manifestam em folíolos jovens, em plantas em viveiros, jardins clonais e em plantios adultos (no período de reenfolhamento), causando, inicialmente, pequenas lesões marrom-avermelhadas, que, em condições propícias, coalescem, atingindo grandes porções desses folíolos, deformando-os. Nos pecíolos e ramos, provocam lesões escurecidas de aspecto necrosado, com depressões. Em ataque severo, causa desfolhamento, morte da gema apical e seca descendente do ramo. Em todos os órgãos afetados, há grande produção de esporos, envoltos em massa de coloração rósea, que, em condições úmidas, caracteriza bastante o fungo. As condições ambientais que favorecem a doença são: temperatura do ar em torno de 21 °C, umidade relativa acima de 90 % e períodos chuvosos, pois requer molhamento dos folíolos para que haja infecção.

Oídio

Essa doença foliar, causada pelo fungo parasita obrigatório *Oidium heveae* Stenn., foi relatada no Estado de São Paulo e erradicada. Passados mais de 30 anos, voltou a ser observada no Município de Tabapuã, SP, em plantas em várias fases de desenvolvimento (FURTADO et al., 1992). Seu sintoma principal é o crescimento do micélio branco superficial em ambas as faces dos folíolos. Quando apenas presente na face inferior, apresenta uma mancha clorótica na face oposta. Em casos severos, pode causar o desfolhamento das plantas. Nos países orientais, essa doença é bastante comum e assume uma importância considerável durante a época de troca de folhas da seringueira. As flores também são atacadas, com perdas na produção de sementes. Nesse novo surto observado, não se verificaram sintomas muito severos, provavelmente por estar o inóculo em baixa concentração.

Avaliação da distribuição das doenças da seringueira, com base nas estimativas de mudanças no cenário climático global

Para se verificar os impactos das mudanças climáticas globais na distribuição do patógeno e no manejo da doença, tomou-se por base os trabalhos de Chakraborty et al. (1998) e Ghini (2005). Os resultados atuais e as previsões futuras estão contidos nas Tabelas 1, 2 e 3.

Mudanças ambientais, além de influenciarem diretamente o desenvolvimento do patógeno, podem comprometer a fisiologia do hospedeiro. As conseqüências vão desde a inviabilização da produção simplesmente por não permitir, por exemplo, a germinação das sementes, o crescimento da árvore, a produção de látex e a frutificação, até o aumento da incidência de doenças pelo fato de os hospedeiros se encontrarem debilitados e, portanto, com maior predisposição ao ataque de patógenos.

Ao se avaliar as alterações ambientais previstas nos próximos 80 anos, três variáveis, a temperatura, a precipitação e a umidade relativa,

Tabela 1. Patógenos foliares de seringueira, observados nas principais regiões de cultivo do Estado de São Paulo. Momento climático atual.

Doença	Região agrícola[1]										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Abiótica											
Brown bast	+	+	-	-	-	+	+	+	++	-	+
Tronco											
Cancro-do-enxerto	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+
Rubelose	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-
Painel											
Antracnose	-	+	++	-	-	+	+	+	++	+	+
Mofo-cinzento	+	-	-	++	++	-	-	-	-	-	-
Cancro-estriado	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
Fusariose	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
Foliares											
Mal-das-folhas	+	+	+	+++	+++	+	+	+	+	+	+
Antracnose	+	+	++	+	++	++	+	+	++	++	++
Oídio	+	++	+	-	-	++	+	+	+	+	+

- = ausência; + = incidência baixa; ++ = incidência alta; +++ = incidência muito alta.
[1] 1 = Araçatuba; 2 = Bauru; 3 = Campinas; 4 = Litoral Norte; 5 = Litoral Sul; 6 = Marília; 7 = Presidente Prudente; 8 = Ribeirão Preto; 9 = São José do Rio Preto; 10 = Sorocaba e 11 = Barretos.

Tabela 2. Patógenos foliares de seringueira, observados nas principais regiões de cultivo do Estado de São Paulo. Momento climático 2020.

Doença	Região agrícola[1]										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Abiótica											
Brown bast	++	++	+	+	+	++	++	++	++	+	+
Tronco											
Cancro-do-enxerto	++	++	+	++	++	+	++	++	+	+	++
Rubelose	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-
Painel											
Antracnose	-	+	++	+	+	+	+	+	++	+	+
Mofo-cinzento	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
Cancro-estriado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fusariose	++	++	++	+	+	++	++	++	++	+	++
Foliares											
Mal-das-folhas	-	-	-	++	++	-	-	-	-	-	-
Antracnose	-	-	+	++	++	+	-	-	+	+	+
Oídio	++	+++	++	+	+	+++	++	++	++	++	++

- = ausência; + = incidência baixa; ++ = incidência alta; +++ = incidência muito alta.
[1] 1 = Araçatuba; 2 = Bauru; 3 = Campinas; 4 = Litoral Norte; 5 = Litoral Sul; 6 = Marília; 7 = Presidente Prudente; 8 = Ribeirão Preto; 9 = São José do Rio Preto; 10 = Sorocaba e 11 = Barretos.

Tabela 3. Patógenos foliares de seringueira, nas principais regiões de cultivo do Estado de São Paulo. Momento climático 2050–2080.

Doença	Região agrícola[1]										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Abiótica											
Brown bast	+++	+++	++	++	++	+++	+++	+++	+++	++	+++
Tronco											
Cancro-do-enxerto	++	++	+	++	++	+	++	++	+	+	++
Rubelose	+	+	+	-	-	++	+	+	+	+	+
Painel											
Antracnose	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-
Mofo-cinzento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cancro-estriado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fusariose	+++	+++	+++	++	++	+++	+++	+++	+++	++	+++
Foliares											
Mal-das-folhas	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
Antracnose	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
Oídio	+++	+++	+++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++

- = ausência; + = incidência baixa; ++ = incidência alta; +++ = incidência muito alta.
[1] 1 = Araçatuba; 2 = Bauru; 3 = Campinas; 4 = Litoral Norte; 5 = Litoral Sul; 6 = Marília; 7 = Presidente Prudente; 8 = Ribeirão Preto; 9 = São José do Rio Preto; 10 = Sorocaba e 11 = Barretos.

apresentam mudanças consideráveis. A temperatura e a umidade aliadas à distribuição das chuvas têm grande influência sobre a cultura da seringueira, na sua produtividade, distribuição geográfica e temporal das doenças (Tabela 4).

Tabela 4. Influência dos fatores térmicos e hídricos no crescimento e produção de látex, adaptados para o Estado de São Paulo.

Precipitação anual (mm)	
1.300–1.500	Favorável para crescimento e produção
> 1.800	Dificuldade de manejo e redução da radiação solar Aumento na incidência de doenças
Temperatura (ºC)	
0	Danos letais em plantas jovens
4	Ocorrência de danos iniciais e disfunções fisiológicas
10	Redução da fotossíntese
15 - 20	Favorável ao fluxo de látex
32	Início de fechamento de estômatos
36	Alta respiração e baixa taxa fotossintética
Temperatura anual (ºC)	
18	Limite inferior para cultivo comercial

Fonte: Ortolani et al. (1983).

Os mapas climáticos utilizados, no presente estudo, são aqueles descritos no Capítulo 2. Os dados climáticos (precipitação, temperatura média mensal e umidade relativa) atuais e do clima futuro (2020, 2050 e 2080), em dois cenários propostos, B2 (otimista) e A2 (com alterações mais radicais), para o Brasil, indicam tendência de aquecimento, associado com grandes precipitações nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, nas regiões amazônicas centro e sul e um período de seca prolongado (julho, agosto e setembro), que corresponde ao período de troca de folhas da seringueira. Essa condição reforça a recomendação para o uso de clones provenientes de *Hevea brasiliensis*, para as diversas regiões heveícolas do Brasil, cuja área de plantio deve se estender mais aos estados do Sudeste e Sul do País, como medida de erradicação do mal-das-folhas. A paralisação da sangria nos períodos mais secos, denominados de veranicos, é obrigatória

para evitar a seca fisiológica do painel. Períodos de seca prolongados podem levar ao secamento de ramos e da copa, em clones muito sensíveis ao déficit hídrico, como é o caso do IAN 873.

Considerações finais

A seringueira (*Hevea brasiliensis)* é considerada muito plástica com relação ao ambiente, sendo cultivada numa extensa faixa do globo terrestre, em áreas próximas ao Trópico de Câncer (na China) até áreas abaixo do Trópico de Capricórnio (sudeste brasileiro), em áreas muito úmidas (Amazônia) e muito secas (Índia, região centro-norte brasileira). O aumento da temperatura e da seca prolongada poderá promover uma diminuição de algumas doenças como o mal-das-folhas, mesmo em regiões onde a doença é considerada epidêmica. Porém, outras doenças podem se tornar muito importantes (Tabelas 1, 2 e 3), como:

a) O oídio, causado por *Oidium heveae*, pouco exigente em molhamento, e já vem crescendo em importância na região Sudeste, principalmente no Estado de São Paulo (FURTADO; SILVEIRA, 1992).

b) Doenças bióticas e abióticas do painel de sangria, como a fusariose e a seca-do-painel, que afetam a produção de látex, nos períodos de seca prolongados; a primeira causada pelo fungo do solo *Fusarium* sp., que se instala na casca e danifica os vasos laticíferos, ocasionando o secamento e o posterior desprendimento da casca, a partir da região do painel de sangria (FURTADO; SILVEIRA, 1992; FURTADO; TRINDADE, 2005), principalmente nas regiões que serão mais quentes (Araçatuba, São José do Rio Preto, Ribeirão Preto e Barretos). A segunda de causa fisiológica, denominada de *brown bast*, ocasionada pela estimulação excessiva à produção de látex, via aplicação de etephon. Em clones mais sensíveis, o *brown bast* ocasiona a seca temporária ou mesmo permanente e irreversível do painel de sangria.

Doenças tradicionalmente conhecidas, como o mal-das-folhas, uma vez seguida a recomendação para utilização de clones oriundos de *H. brasiliensis*, com hábito caduco, terá a sua intensidade reduzida, dentro dos cenários de baixa precipitação e umidade nos meses de agosto e setembro, período correspondente à troca de folhas.

Referências

BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. 919 p.

CAMARGO, A. P.; CARDOSO, R. M. G.; SCHIMIDT, N. C. Comportamento e ecologia do "mal-das-folhas" da seringueira nas condições climáticas do Planalto Paulista. **Bragantia**, Campinas, v. 26, n. 1, p.1-18, 1967.

CARDOSO, R. M. G.; ROSSETTI, V. V. Doenças da seringueira no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA SOCIEDADE DE BOTÂNICA DO BRASIL, 7., 1964, Manaus. **Anais**... Manaus: SBB, 1964. p. 49-50.

CARVALHO, P. C. T. Epidemias. In: GALLI, F. (Coord.) **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1978. v. 1, cap. 12, p. 227-241.

CHAKRABORTY, S.; MURRAY, G. M.; MAGAREY, P. A.; YONOW, T.; BRIEN, R. G. O.; CROFT, B. J.; BARBETTI, M. J.; SIVASITHAMPARAM, K.; OLD, K. M.; DUDZINSKI, M. J.; SUTHERST, R. W.; PENROSE, L. J.; ARCHER, C.; EMMETT, R. W. Potential impact of climate changes onpPlant disease of economic significance to Australia. **Australian Plant Pathology**, Collingwood, v. 28, p. 13-35, 1998.

FURTADO, E. L. Doenças da seringueira e seu manejo no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 237, p. 78-87, 2007.

FURTADO, E. L. Manejo integrado do mal das folhas da seringueira. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE CONTROLE BIOLÓGICO DE DOENÇAS DE PLANTAS, 4., 1991, Campinas. **Anais...** Jaguariúna: EMBRAPA-CNPDA, 1991. p. 145-187.

FURTADO, E. L.; SILVEIRA, A. P. Doenças do painel de sangria da seringueira. In: BERNARDES, M. S. (Ed.). **Sangria da seringueira**. Piracicaba: ESALQ, 1990. p. 111-126.

FURTADO, E. L.; SILVEIRA, A. P. Doenças da seringueira em viveiros e jardim clonal. In: MEDRADO, M. J. S.; BERNARDES, M. S.; COSTA, J. D.; MARTINS, A. N. **Formação de mudas e plantio de seringueira.** Piracicaba: ESALQ, 1992. p. 52-65.

FURTADO, E. L.; SILVEIRA, A. P.; LOEBMANN, G. M.; MARTINS, A. N. Nova ocorrência do Oídio da seringueira no Estado de São Paulo. In: REUNIÃO ANUAL DO INSTITUTO BIOLÓGICO, 5., 1992, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: Instituto Biológico, 1992.

FURTADO, E. L.; TRINDADE, D. R. Doenças da seringueira. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIM FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.(Ed.). **Manual de fitopatologia.** 4. ed. Piracicaba: Agronómica Ceres, 2005. v. 2, p. 456-63.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

GOODING, E. G. B. Studies in the physiology of latex II. Latex flow on tapping *Hevea brasiliensis:* Associated changes in trunk diameter and latex concentration. **New Phytologist**, Oxford, v. 51, p. 11-29, 1952.

JUNQUEIRA, N. T. V.; CHAVES, G. M.; ZAMOBOLIM, L.; GASPAROTTO, L.; ALFENAS, A. C. Variabilidade fisiológica de *Microcyclus ulei*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 11, p. 823-33, 1986.

OLIVEIRA, D. A.; SILVEIRA, A. P. da; CARDOSO, R. M. G.; BRIGNANI NETO, F.; ORTOLANI, A. A.; GODOY JUNIOR, G. Influência da temperatura e da umidade relativa do ar sobre o desenvolvimento do mofo cinzento (*Ceratocystis fimbriata*) em painéis de seringueira (*Hevea brasiliensis*). **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 21, n. 1, p. 31-35, 1995.

ORTOLANI, A. A.; PEDRO JUNIOR, M. J.; ALFONSI, R. R.; CAMARGO, M. B. P.; BRUNINI, O. Aptidão agroclimática para regionalização da heveicultura no Brasil. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE RECOMENDAÇÕES DE CLONES DE SERINGUEIRA, 1983, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DDT, 1983. p. 19-28.

PARANJOTHY, K.; GOMES, J. B.; YEANG, H. Y. Physiological aspects of brown bast development. In: INTERNATIONAL RUBBER CONFERENCE, 1975, Kuala Lumpur. **Proceedings...** Kuala Lumpur: Rubber Research Institute, 1975. v. 2, p. 181-202.

ROCHA, H. M.; VASCONCELOS FILHO, A. P. Epidemiology of the South American leaf blight of rubber in the region of Ituberá, Bahia, Brazil. **Turrialba**, San Jose, v. 28, p. 325-29, 1978.

SILVEIRA, A. P.; FURTADO, E. L.; LOPES, M. E. B. M. **Antracnose da seringueira no estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto Biológico, 1989. 3 p. (Instituto Biológico. Comunicado técnico nº 1).

SILVEIRA, A. P.; FURTADO, E. L.; LOPES, M. E. B. M. Antracnose: nova doença do painel de sangria da seringueira. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 18, n. 2, p. 196-201, 1992.

SILVEIRA, A. P.; OLIVEIRA, D. A.; CARDOSO, R. M. G.; BRIGNANI NETO, F.; ORTOLANI, A. A.; GODOY JUNIOR, G. Caracterização do prejuízo provocado pelo mofo cinzento (*Ceratocystis fimbriata*) em painéis de seringueira (*Hevea brasiliensis* . **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 20, n. 3-4, p.196-199, 1994b.

STRADIOTO, M. F.; FURTADO, E. L.; MENTEN, J. O. M.; CARDOSO, R. M. G. *Fusarium moniliforme*, patógeno da seringueira na região de S. J. do Rio Preto-SP. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 13, n. 2, p. 283, 1988.

Capítulo 16

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a ferrugem-do-eucalipto no Estado de São Paulo

Edson Luiz Furtado
Carlos André Gaspar dos Santos
Marcus Vinicius Masson

Introdução

A cultura do eucalipto é uma das mais importantes do Brasil, constituindo-se em fonte de energia e madeira renovável, além de suportar processos agroindustriais para a produção de papel, celulose e essências. O eucalipto pode ser utilizado, ainda, para fins paisagísticos, preservação de espécies nativas e recuperação de áreas degradadas. As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam notável capacidade de extração de água e nutrientes, assimilação fotossintética e crescimento, permitindo o seu cultivo em ambientes considerados impróprios para muitas outras espécies. O eucalipto é originário da Austrália e considerado um gênero com espécies de rápido crescimento. Entretanto, a formação de povoamentos florestais para fins econômicos originou-se no Brasil, no início do século XX, com a introdução da espécie na região de Rio Claro, Estado de São Paulo, pela Companhia Paulista de Estrada de Ferro, visando à produção de dormentes (SILVA, 1994).

A atividade florestal no Brasil corresponde, atualmente, a 4,5 % do PIB brasileiro, equivalente a US$ 28 bilhões. As exportações do setor totalizaram US$ 5,4 bilhões em 2001, 8 % do total de exportações do País, sendo os derivados de celulose e papel o segundo item entre os produtos industrializados, com geração de divisas de US$ 2,5 bilhões.

Com a crescente demanda de madeira, gerada pelo mercado de celulose nos últimos anos, as áreas reflorestadas com eucalipto se ampliaram para regiões mais quentes e úmidas, e também ocorreu o plantio de espécies mais produtivas, porém suscetíveis, principalmente, à ferrugem. Esse fato associado ao plantio concentrado, em utilização repetitiva de um mesmo clone, criou condições favoráveis à ocorrência de epidemias de ferrugem.

O fungo *Puccinia psidii*, causador de ferrugem-das-mirtáceas, atualmente representa um dos principais agentes responsáveis por prejuízos e injúrias nos reflorestamentos de eucalipto do Estado de São Paulo, passando a doença a ser considerada importante em meados de 1990, em plantios jovens de eucaliptos da região de Itapetininga e do Vale do Paraíba, segundo Camargo et al. (1997).

P. psidii é um fungo nativo da América do Sul e encontra-se amplamente distribuído nas Américas do Sul e Central e nas ilhas do Caribe, havendo ainda relatos da sua presença na Jamaica e na Flórida, EUA. Ainda não existem evidências da presença de *P. psidii* na Austrália, centro de origem do *Eucalyptus* (COUTINHO et al., 1998). Além do eucalipto, o patógeno infecta outras espécies de *Myrtaceae*, como goiabeira, jambeiro, jabuticabeira, araçazeiro, pitangueira e jameloeiro, dentre outras (FURTADO; MARINO, 2003).

Segundo Bergamin Filho e Amorim (1996), epidemia é definida pelo aumento da intensidade e/ou extensão (área geográfica) da doença em uma dada população de plantas e, no caso da ferrugem, essa pode acarretar danos de até 25 %, em média, na produção no Estado de São Paulo (TAKAHASHI, 2002). Frente a essa situação, as estratégias de mitigação devem considerar as hipóteses de que possa ocorrer um impacto econômico ou não, pois as mudanças climáticas podem também variar sobre os diferentes patossistemas, em cada região (GHINI, 2005). Essa interferência climática pode levar à ocorrência de doenças mesmo em áreas livres de epidemias. Segundo a mesma autora, as doenças policíclicas não podem ser estudadas em ambientes fechados, pois os resultados geralmente não são representativos.

Os efeitos das mudanças climáticas em doenças de plantas arbóreas, segundo Lonsdale e Gibbs (1994), podem ser avaliados pela análise das informações já existentes sobre efeitos de flutuações climáticas e ocorrência das doenças.

As mudanças climáticas também podem ter efeitos diretos sobre a planta hospedeira. Um dos mecanismos envolvidos é a alteração da predisposição da planta, que consiste na modificação da sua suscetibilidade às doenças por fatores externos a ela, isto é, fatores não genéticos, que atuam antes da infecção. Para Coakley e Scherm (1996), as culturas perenes, localizadas em regiões marginais, sofrerão um período de estresse crônico, o que desenvolve nas culturas predisposição às doenças e ao ataque de insetos.

Muitas modificações na fisiologia da planta podem alterar os mecanismos de resistência de cultivares obtidos, tanto por métodos tradicionais, como por engenharia genética. Vários trabalhos comprovam tais alterações, como aumento significativo das taxas de fotossíntese, produção de papilas, acúmulo de silício em locais de penetração dos apressórios, maior acúmulo de carboidratos nas folhas, mais cera, camadas adicionais de células epidermais, aumento da quantidade de fibras e redução da concentração de nutrientes.

O presente capítulo teve como objetivos: a) o cálculo do índice de infecção (II), com base em dados climáticos coletados, em diferentes regiões do Estado de São Paulo; e b) fazer inferências quanto ao impacto das mudanças climáticas globais no manejo da doença.

Modelo para cálculo do índice de infecção em regiões estudadas

Os valores do índice de infecção foram estimados pelo modelo proposto por Ruiz et al. (1989a), a partir dos dados diários de temperatura e número

de horas de molhamento foliar, obtidos nas estações meteorológicas do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), nas estações padrões da Votorantim Celulose e Papel (VCP) e na Estação Experimental do Departamento de Recursos Naturais (FCA/Unesp-Botucatu). Essa análise comparativa foi realizada para as seguintes regiões nos referentes períodos: I) 1995–2001: Capão Bonito, Tietê, Itararé; II) 2002–2005: Luiz Antonio e III) 2001–2003: Botucatu.

O índice de infecção constitui uma relação entre a temperatura e o período de molhamento foliar (número de horas de umidade relativa maior ou igual a 90 %), e é representado pela expressão:

$$II = -32{,}2626 + 3{,}6999\ T + 0{,}4613\ H - 0{,}0018\ TH - 0{,}0903\ T^2 - 0{,}0068\ H^2$$

onde:

II – Índice de infecção.

T – Temperatura máxima (°C).

H – Período de molhamento foliar (horas).

O Município de Luiz Antônio está situado na região norte do estado, próximo ao Município de Ribeirão Preto, SP (-21° 33' 18"; -47° 42' 16" e 675 m de altitude), e interligado ao Município de Guatapará, SP, na face nordeste na divisão política, cujos dados históricos apontam para uma baixa incidência da ferrugem (TAKAHASHI, 2002).

O Município de Botucatu situa-se próximo à região central do Estado de São Paulo, com característica de baixa temperatura noturna e uma brisa constante, com média intensidade esperada de doença. Tietê está localizado na região centro-leste do estado, com intensidade de doença semelhante à de Botucatu.

Itararé fica na região sul do estado, na divisa com o Estado do Paraná e possui condições semelhantes à região de Capão Bonito, com baixa temperatura e alto molhamento foliar noturno. A intensidade esperada da doença é alta.

Índice de infecção de ferrugem em regiões com modificação climática sazonal

Luiz Antônio/Guatapará

A partir da aquisição de dados climáticos de temperatura e número de horas de molhamento foliar, do período de março de 2002 a dezembro de 2005, obtidos da estação de coleta de dados climáticos da VCP-Luiz Antônio, estimou-se o índice de infecção mensal para o Município de Luiz Antônio (Fig. 1 a 4). Para a validação do modelo teórico, foram estabelecidas

parcelas de observação, de 550 e 350 plantas (parcelas 1 e 2, respectivamente) em plantios de clones suscetíveis de eucalipto, no ano de 2004, com oito meses de idade.

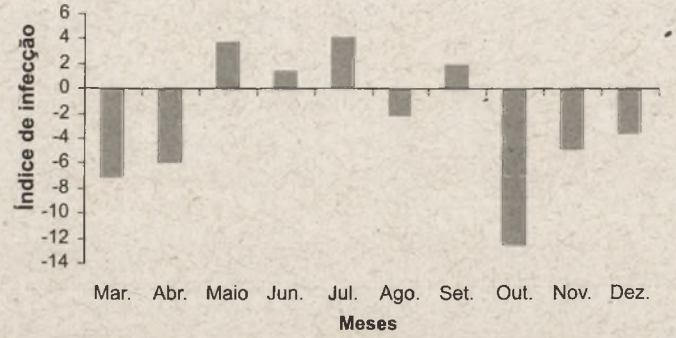


Fig. 1. Índice de infecção para a região de Luiz Antônio, SP, ano 2002.

Fonte: Santos (2006).

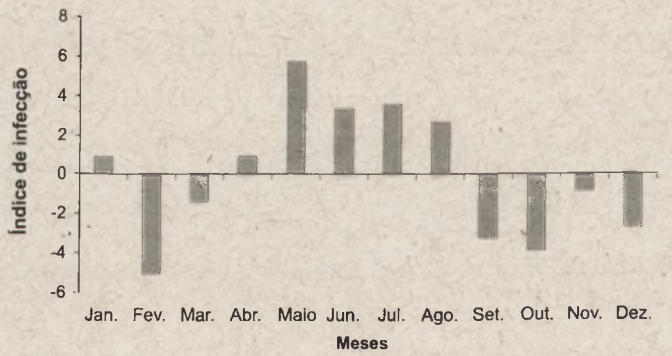


Fig. 2. Índice de infecção para a região de Luiz Antônio, SP, ano 2003.

Fonte: Santos (2006).

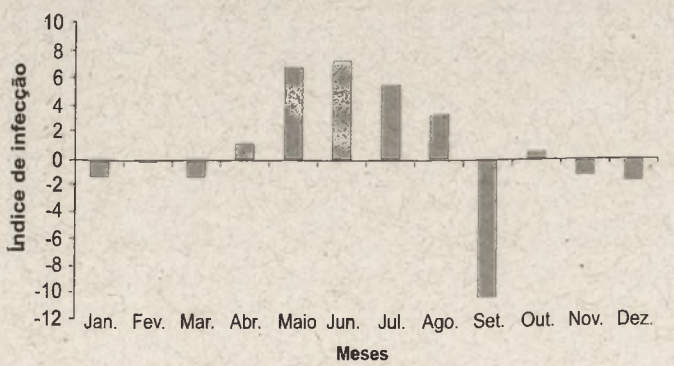


Fig. 3. Índice de infecção para a região de Luiz Antônio, SP, ano 2004.

Fonte: Santos (2006).

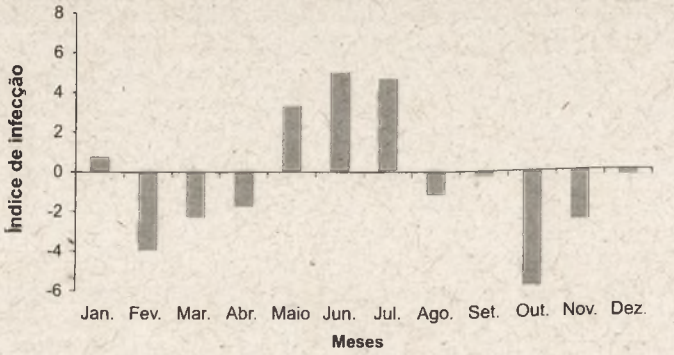


Fig. 4. Índice de infecção para a região de Guatapará, SP, ano 2005.

Fonte: Santos (2006).

A partir da análise do modelo de Ruiz et al. (1989a) para a região de Luiz Antônio, no período de 2002 a 2004, foi possível observar, em linhas gerais, que nos meses de abril a agosto o índice calculado foi positivo, tendo só o ano de 2002 o mês de setembro positivo. A progressão da doença foi evidente, pois o índice de infecção máximo variou do valor 4 em 2002, no mês de julho, passando a próximo de 6 em 2003 no mês de maio, e adquirindo o valor 7,3 em 2004 no mês de junho (Fig. 1, 2 e 3). Para o ano de 2005, os dados foram obtidos em Guatapará (Fig. 4), pois as características climáticas e planialtimétricas são semelhantes às de Luiz Antônio. A partir da análise das Fig. 1, 2, 3 e 4, é possível observar que, para um período comum (mês de março), o índice de infecção apresentou resultados negativos, tendo o ano de 2002 como maior representante dessa aferição. Para o período abrangente de 2002 a 2004, o valor máximo do índice de infecção, o número de valores positivos seqüenciais e os valores médios indicam uma variação significativa que pode ser relacionada com a epidemia no campo, ou seja, da ausência de condições climáticas para epidemia em 2002 para uma condição epidêmica moderada em 2003 e forte em 2004, detectados no campo (Santos, 2006), até então atípicos na região. Esse estudo é bastante interessante para estabelecer a correlação entre os valores obtidos para índice de infecção e a epidemia de ferrugem no campo (Tabela 1); além disso, para mostrar que o efeito de uma modificação climática (aumento da umidade relativa do ar e precipitação em período em que ocorrem temperaturas mais baixas) interferiu no sistema planta-patógeno, redundando em epidemias, onde naturalmente a mesma não ocorreria. Os meses mais favoráveis à infecção foram maio, junho e julho.

Verifica-se a evolução da doença, nos diferentes meses de 2004, em parcelas de observação, onde a parcela 1 teve maior incidência de ferrugem em função do maior sombreamento causado pelos plantios mais antigos de eucalipto, ou seja, efeito de bordadura (Fig. 5).

Tabela 1. Índice de infecção e níveis de epidemia observados na região de Luiz Antônio e Guatapará.

Índices de infecção	2002	2003	2004	2005
Valores positivos	4	6	6	4
Valores máximos	4,1 (Julho)	5,2 (Maio)	7,3 (Junho)	5,48 (Junho)
Valores médios (Abr-Set)	0,47	1,39	2,30	1,76
Meses positivos	4	6	6	4
Epidemia	Ausente	Moderada	Forte	Moderada

Fonte: Santos (2006).

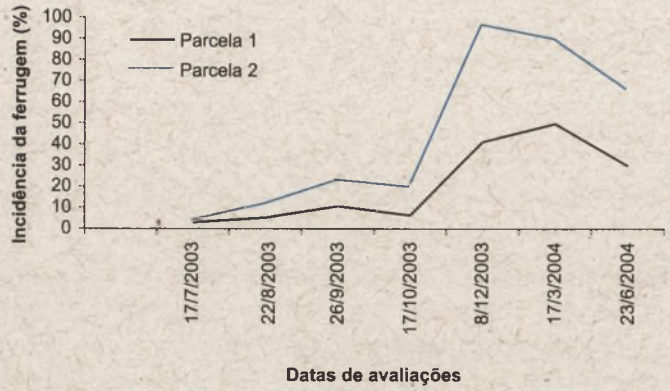


Fig. 5. Incidência da ferrugem nas parcelas de observação 1 e 2.
Fonte: Santos (2006).

Índice de infecção para regiões central e sul do Estado de São Paulo

Região de Botucatu

Com os dados climáticos de temperatura e molhamento foliar, obtidos a partir da estação meteorológica da Faculdade de Ciências Agronômicas (Unesp), estimaram-se os índices de infecção para o mês de maio dos anos de 2001, 2002 e 2003 para a região de Botucatu. Foi feita a seleção do mês de maio para análise comparativa, uma vez que o mês de maio está entre os meses de maior incidência da doença, segundo Takahashi e Furtado (2002) e Santos (2006), como já apresentado em estudos anteriores (Fig. 6).

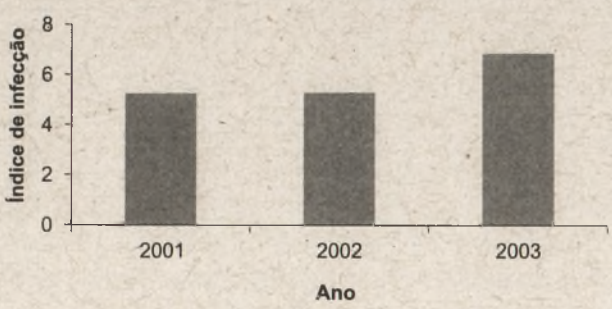


Fig. 6. Índice de infecção para a região de Botucatu, SP, no mês de maio, nos anos 2001, 2002 e 2003.
Fonte: Santos (2006).

Os valores de índice de infecção para esse período são positivos e relativamente altos quando comparados com a região de Luiz Antônio, em decorrência do elevado número de horas de molhamento foliar, bem como temperatura máxima amena, correspondendo a 23,3 °C. Para os anos de 2002 a 2004, na região de Botucatu, os índices de infecção foram 5,2, 5,3 e 6,9, respectivamente, caracterizando a região como sendo favorável ao desenvolvimento do fungo, acarretando em possíveis epidemias quando realizado o plantio com material genético (clone) suscetível.

Região de Tietê

Os dados climáticos da presente região em estudo, referentes ao período de 1995 a 2001, foram obtidos das estações climáticas do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), e determinou-se o índice de infecção para o mês de junho, mês esse selecionado por ser o mediano dentre os meses de pico da doença no campo (abril a setembro) (TAKAHASHI; FURTADO, no prelo). A Fig. 6 apresenta a amplitude do índice de infecção para o período abrangente dessa área estudada.

Como já demonstrado em estudos anteriores e fazendo a análise da Fig. 7, é possível perceber que, se forem considerados os períodos extremos (1995 e 2001), houve uma redução do índice de infecção em 9,83 %, apesar das oscilações existentes dentro do período. Essa redução no índice de infecção tem direta relação com o número de horas de molhamento foliar, pois esse reduziu de 277 (junho 1995) para 257 (junho 2001), representando uma taxa de 7,22 % de redução.

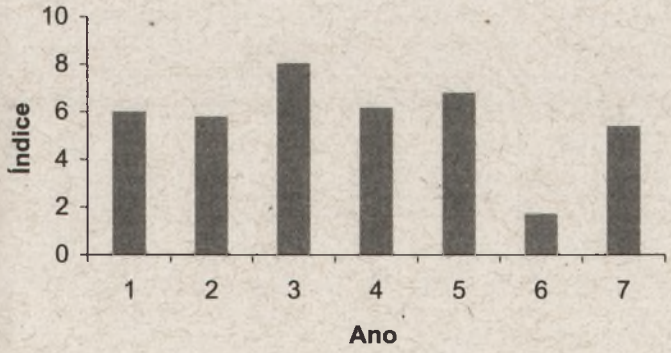


Fig. 7. Índice de infecção no mês de junho, para a região de Tietê, SP, nos anos 1: 1995; 2: 1996; 3: 1997; 4: 1998; 5: 1999; 6: 2000 e 7: 2001.
Fonte: Santos (2006).

Região de Itararé

Semelhantemente às regiões de Tietê e Capão Bonito, SP, a obtenção dos dados de temperatura e molhamento foliar para o período de 1995 a 2001 da região de Tietê, SP, deu-se por meio das estações climáticas do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), para a determinação do índice de infecção.

A região de Itararé apresentou índices de infecção relativamente altos, tendo como o menor deles o valor de 7,9, para o ano de 2000. Esse fato é em decorrência do alto número de horas de molhamento foliar, assim como em Capão Bonito.

A Fig. 8 apresenta uma análise comparativa das regiões de Botucatu, Tietê, Capão Bonito e Itararé para um período comum (junho 2001).

O Município de Botucatu foi o que apresentou condições de plantio melhores, atingindo 5,26 de índice de infecção, seguido por Tietê, para um

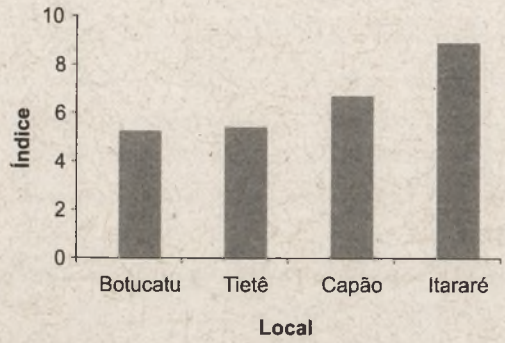


Fig. 8. Índice de infecção calculado para o mês de junho de 2001, em quatro regiões consideradas.
Fonte: Santos (2006).

período da ferrugem considerado crítico (Fig. 8). Para as regiões de Capão Bonito e Itararé, o período de 2001 apresentou alto valor no índice de infecção, enquadrando-se em um perfil não recomendado de plantio com material genético suscetível, a princípio. Esses resultados demonstram que a região sul é mais propícia, do ponto de vista climático, para o desenvolvimento de epidemias de ferrugem que a região central do estado, em conseqüência do elevado período de horas de molhamento foliar e temperatura média mais amena, assumindo um valor médio em torno de 23 °C, posto que é a combinação temperatura-umidade que irá condicionar o sucesso do processo infeccioso da doença ou a incidência de ataque de uma praga, segundo Pereira et al. (2002). A exemplo do efeito combinado temperatura-umidade, por Gasparotto (1988), estudando o mal-das-folhas e verificando que, se a temperatura for de 24 °C, haverá infecção com apenas 6 horas de duração do período de molhamento (DPM); se a temperatura for de 20 °C, haverá infecção se houver de 8 a 10 horas de DPM; se a temperatura for de 16 °C, não haverá manifestação da doença. A combinação que proporcionou a infestação mais intensa foi de 24 °C e DPM de 16 horas, ou seja, temperatura amena e alta umidade.

O modelo matemático para o cálculo do índice de infecção, proposto por Ruiz et al. (1989a), pode ser considerado um bom parâmetro para a regionalização da eucaliptocultura e adoção de medidas de controle para a ferrugem-do-eucalipto, pelo fato de admitir resultados em pequena escala de tempo (diários), visto que interações patógeno-hospedeiro ocorrem em diversos casos de maneira fugaz. No entanto, o modelo requer dados diários de temperatura e número de horas de molhamento foliar, sendo este último considerado de difícil aquisição.

Verificou-se que pequenas variações climáticas ocorridas na região de Luiz Antonio resultaram em valores mais altos do índice de infecção, evidenciando a ocorrência de epidemias de ferrugem em regiões onde não é comum (TAKAHASHI, 2002).

As epidemias de ferrugem tendem a crescer naturalmente no sentido norte para sul e sudeste, do Estado de São Paulo.

Impacto potencial das mudanças climáticas globais sobre as doenças do eucalipto

A mudança climática pode ter efeitos diretos e indiretos, tanto sobre os patógenos, quanto sobre as plantas hospedeiras e a interação de ambos. Sobre os microrganismos fitopatogênicos, a distribuição geográfica, por exemplo, é determinada pela gama de temperaturas nas quais o microrganismo pode crescer, mas muitas espécies prevalecem somente em regiões onde a temperatura e outros fatores climáticos estão próximos aos valores ótimos para permitir um rápido desenvolvimento. A distribuição temporal também pode ser afetada. Diversos patógenos, especialmente os que infectam folhas, apresentam flutuações quanto à incidência e à severidade durante o ano, que podem ser freqüentemente atribuídas às variações de clima, segundo Ghini (2005). Diante disso, a consistência dos estudos, embasados em condições de clima, é evidentemente uma das principais vertentes da idéia de se sugerir determinado método de controle.

A temperatura pode ter um efeito importante em cada componente do patossistema e constitui a variável do ambiente mais comumente correlacionada com a incidência e a severidade das doenças de plantas (VALE; ZAMBOLIM, 1996). Ademais, segundo Ferreira (1981), condições como temperatura baixa e alta umidade são necessárias para infecções, o que ajuda a explicar a ocorrência de surtos esporádicos, de relativa curta duração e de rápida disseminação. Segundo Ruiz et al. (1989b), a ferrugem ocorre quando prevalecem, durante um período mínimo de oito horas, as temperaturas noturnas entre 18 °C e 25 °C e umidade relativa superior ou igual a 90 %. Entretanto, para Alfenas et al. (2000), temperaturas menores ou iguais a 10 °C e temperaturas maiores ou iguais a 30 °C, presença de luz e inexistência de órgãos juvenis limitam os processos iniciais de infecção, e temperaturas abaixo de 15 °C e acima de 30 °C, após incubação, limitam a esporulação do patógeno.

A correlação que se pode admitir entre a temperatura do ambiente e a umidade relativa do ar é determinada nas condições do abrigo meteorológico (1,5 m do solo). Segundo Pereira et al. (2002), nessas condições, a tendência de variação diária de umidade relativa do ar (UR) está relacionada ao fato de que a pressão parcial de vapor (e_a) varia pouco durante o dia, mas a pressão de saturação de vapor (e_s) varia exponencialmente com a temperatura do ar. Assim, a UR terá tendência de evolução inversa à da temperatura, desde que o ar não esteja saturado de vapor d'água. Sucintamente, nas horas mais quentes do dia, a UR atinge seu valor mínimo; em contrapartida, quando a temperatura tende ao valor mínimo, a UR tende

à saturação (100 %). Em condições naturais de campo, quando a UR atinge valores entre 85 % a 95 %, no abrigo meteorológico, pode ocorrer deposição de orvalho na superfície.

O aumento da temperatura do planeta altera as zonas agroclimáticas e interfere diretamente na distribuição geográfica das doenças de plantas, conforme Ghini (2005). Para Coakley e Scherm (1996), as culturas perenes, localizadas em regiões marginais, sofrerão um período de estresse crônico, levando ao aumento da predisposição à ocorrência de doenças. Nesse tipo de cultura é mais difícil adotar medidas de manejo em curto prazo, devido ao alto custo de substituição das plantas.

Considerações finais

As regiões em que se registraram índices elevados de ocorrência de ferrugem em *Eucalyptus* spp. estão contidas em regiões bioclimáticas semelhantes, com temperatura média anual de 20 °C a 25 °C, a precipitação média anual de 1.100 mm a 1.600 mm, algumas apresentando déficit hídrico de 30 mm a 90 mm (FUJIHARA et al., 1994). Nesse caso, condições como temperatura baixa e alta umidade são necessárias para infecções, o que ajuda a explicar a ocorrência de surtos esporádicos, de relativa curta duração e de rápida disseminação (FERREIRA, 1981). No caso de Luiz Antonio, ocorreram períodos chuvosos até maio, com entradas de frentes frias, resultando num período de molhamento maior e uma redução nas médias históricas de temperatura, que propiciaram ataques severos da doença. Deve ser salientado que esse patógeno sobrevive em hospedeiros alternativos, mantendo o inóculo sempre presente na área.

Em condições de infecção natural, altos níveis de intensidade da ferrugem-do-eucalipto são, geralmente, esporádicos sobre procedências e progênies suscetíveis, podendo ocorrer durante um mês apenas, ou de cinco a mais meses durante o ano (CARVALHO et al., 1994). Essa ocorrência é dada, segundo Ruiz et al. (1989a), quando prevalecem, durante um período mínimo de oito horas, as temperaturas noturnas entre 18 °C e 25 °C e umidade relativa superior ou igual a 90 %. Posto isso, no Brasil, as condições favoráveis para a ferrugem ocorrem nos meses de maio a agosto, períodos em que foram registrados altos índices da doença no campo (RUIZ et al., 1989a; TAKAHASHI et al., 1999). Temperaturas menores ou iguais a 10 °C e temperaturas maiores ou iguais a 30 °C, presença de luz e inexistência de órgãos juvenis limitam os processos iniciais de infecção. Temperaturas abaixo de 15 °C e acima de 30 °C, após incubação, limitam a esporulação (ALFENAS et al., 2000).

Como no caso do mal-das-folhas da seringueira (Capítulo 15), as modificações nas estações climáticas com maiores períodos de seca durante os meses de junho, julho, agosto e setembro e o aumento da temperatura apontam para um decréscimo de epidemias de ferrugem na atual região de plantio, porém as epidemias poderão ocorrer, e/ou se intensificar, nos plantios da região mais ao Sul do País (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul).

A produtividade do eucalipto que, no Brasil, atingiu os maiores níveis mundiais, sofrerá um impacto negativo, devido à estação seca prolongada e à temperatura mais alta (semelhante à região mais central da Austrália), onde muitas vezes as plantas não crescem, ou, se crescem, fazem-no com muitos ramos laterais e aspecto mais arbustivo, com secas de ponteiros e deficiência nutricional, principalmente de micronutrientes, como o boro.

O fungo causador da ferrugem-das-mirtáceas, como visto anteriormente, necessita de temperaturas amenas e longo período de molhamento para a infecção e esporulação, por isso sofrerá impacto no seu desenvolvimento sobre o eucalipto, nas regiões mais quentes. Estudos atuais de zoneamento de áreas de evasão para essa doença demonstram que a doença tem baixa incidência nas regiões mais quentes do Estado de São Paulo, como Araçatuba e Presidente Prudente.

Nas regiões de plantio nos estados da BA, ES, MG e SP, com a ampliação da estação seca e elevação da temperatura, outras doenças poderão ganhar importância como: a) as foliares como o oídio; b) as vasculares, como a murcha-bacteriana, causada por *Ralstonia solanacearum* e por *Ceratocystis fimbriatae*; e c) as dos cancros e problemas de casca, ocasionadas por *Crysophorte cubensis*, complexo-cancro-basal (*Crysophorte cubensis, Phomopsis* sp., *Lassiodiplodia theobromae* e *Dothiorella* sp.), além das secas de ponteiros de causa biótica (*Botryosphaeria dothidea* e *B. ribis*) e abiótica, que têm sua ocorrência associada a climas quentes e secos (FURTADO et al., 2001).

Referências

ALFENAS, A. C.; BROMMONSCHENKEL, S. H.; MAFFIA, L. A.; JUNGHANS, D. T.; XAVIER, A. A.; RUIZ, R. A. R.; ODA, S.; MELLO, E. J. Ferrugem do eucalipto: etiologia, epidemiologia e controle. In: SEMINÁRIO DE FERRUGEM DO EUCALIPTO, 2000, Botucatu. **Anais...** Botucatu, 2000. 6 p.

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais**: epidemiologia e controle econômico. São Paulo: Agronômica Ceres, 1996. 296 p.

CAMARGO, F. R. A.; TAKAHASHI, S. S.; FURTADO, E. L.; VALLE, C. F.; BONINE, C. A. V. Ocorrência e evolução da ferrugem do eucalipto em duas regiões do estado de São Paulo. **Fitopatologia Brasileira,** Brasília, v. 22, p. 254, 1997. (Abstract 129).

CARVALHO, A. O.; ALFENAS, A. C.; MAFFIA, L. A.; CARMO, M. G. F. Avaliação do progresso da ferrugem (*Puccinia psidii*) em brotações de *Eucalyptus cloeziana* no sudeste da Bahia, de 1987 a 1981. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 3, n. 18, p. 265-74, 1994.

COAKLEY, S. M.; SCHERM, H. Plant disease in a changing global environment. **Aspects of Applied Biology**, Wellesbourne, v. 45, p. 227-238, 1996.

COUTINHO, T. A.; WINGFIELD, M. J.; ALFENAS, A. C. CORUS, P. W. Eucalyptus rust: a disease with the potencial for serious international implications. **Plant Disease,** St. Paul, v. 82, p. 819-25, 1998.

FERREIRA, F. A. Ferrugem do eucalipto: ocorrências, temperatura para germinação de uredosporo, produção de teliosporo, hospedeiro alternativo e resistência. **Fitopatologia Brasileira,** Brasília, v. 6, p. 603-4, 1981.

FUJIHARA, A. K.; KAZI, M. C. M.; SARTORI, M. S. **Zoneamento de *Eucalyptus* spp. no Brasil e ocorrência de patógenos.** Trabalho apresentado na disciplina de Patologia Florestal, UNESP, Botucatu, 1994. 35 p. Datilografado.

FURTADO, E. L.; MARINO, C. L. Eucalyptus rust management in Brazil. **Forest Research**, New Zealand, v. 16, p. 118-124, 2003. Suppl.

FURTADO, E. L.; SANTOS, C. A. G.; TAKAHASHI, S. S.; CAMARGO, F. R. A. **Doenças de *Eucalyptus* em viveiro e plantio**: diagnose e manejo. [S.l.]: Votorantim, 2001. 48 p. (Votorantim Celulose e Papel, Unidade Florestal. Boletim técnico).

GASPAROTTO, L. **Epidemiologia do mal das folhas (*Microcyclus ulei* (P. Henn) v. Arx) da seringueira (*Hevea* spp.)**. 1988. 124 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

LONSDALE, D.; GIBBS, J. N. Effects of climate changeon fungal diseases of trees. In: FRANKLAND, J. C.; MAGAN, N.; GADD, G. M. (Ed.). **Fungi and environmental change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. p. 1-19.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

RUIZ, R. A .R.; ALFENAS, A. C.; MAFFIA, L. A.; BARBOSA, M. M. Progresso da ferrugem do eucalipto, causada por *Puccinia psidii*, em condições de campo. **Fitopatologia Brasileira,** Brasília, v. 14, p. 73-81, 1989a.

RUIZ, R. A. R.; ALFENAS, A. C.; FERREIRA, F. A.; VALE, F. X. R. do. Influência da temperatura, do tempo de molhamento foliar, fotoperíodo e da intensidade de luz sobre a infecção de *Puccinia psidii* em eucalipto. **Fitopatologia Brasileira,** Brasília, v. 14, p. 55-61, 1989b.

SANTOS, C. A. G. **Estudos epidemiológicos da ferrugem do eucalipto causado por *Puccinia psidii* em plantios irrigados**. 2006. 66 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

SILVA, E. **Avaliação quantitativa de impactos ambientais do reflorestamento no Brasil**. 1994. 309 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

TAKAHASHI, S. S. **Ferrugem do eucalipto**: índice de infecção, análise temporal e estimativas de danos relacionadas à intensidade da doença no campo. 2002. 101 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

TAKAHASHI, S. S.; FURTADO, E. L. Ferrugem do eucalipto: índice de Infecção, análise temporal e estimativas de danos relacionadas à intensidade da doença no campo. **Scientia Forestalis.** No prelo.

TAKAHASHI, S. S.; FURTADO, E. L.; CAMARGO, F. R. A.; RAMIRO, G. A. Teste de modelo para estimativa da incidência e evolução da ferrugem do eucalipto *Puccinia psidii* Winter em duas regiões de plantio no Estado de São Paulo. In: FOREST: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, 5., 1999, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1999. CD-ROM.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L. Influência da temperatura e da umidade nas epidemias de doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas,** Passo Fundo, v. 4, p. 149-207, 1996.

Capítulo 17

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a incidência de fitonematóides no Brasil

Mário Massayuki Inomoto

Introdução

As mudanças climáticas, principalmente a provável elevação da temperatura do ar, sem dúvida terão efeitos significativos sobre a incidência de fitonematóides. Habitantes das camadas superficiais do solo, onde a temperatura reflete a variação diária da temperatura do ar, os fitonematóides são ainda organismos ectotérmicos, cujo nível de atividade apresenta elevada dependência da temperatura do ambiente externo. Como já havia destacado Dropkin (1963), no solo, a temperatura afeta a sobrevivência dos nematóides, a maturação dos ovos e a infectividade dos juvenis; dentro da planta, a temperatura tem efeito sobre o desenvolvimento e a taxa de multiplicação do nematóide, além de afetar a resposta da planta à infecção.

No entanto, se por um lado parece óbvio que os fitonematóides serão afetados pela elevação da temperatura do ar e conseqüente elevação da temperatura do solo, pouco se pode dizer sobre a intensidade desse efeito, pois somente o efeito direto sobre os nematóides pode ser previsto com certa segurança. O componente indireto, por exemplo, aquele que inclui o efeito sobre organismos relacionados com eles, em especial as plantas hospedeiras e os microrganismos do solo, apresenta inúmeras dificuldades para ser estimado ou mensurado.

Portanto, é limitada a capacidade de se realizar prognósticos a respeito do assunto em questão. Apesar disso, tal exercício é de extrema importância, principalmente se o quadro apresentado for de aumento da incidência dos fitonematóides, o que representaria aumento nos custos de produção agrícola ou, em visão mais técnica, necessidade de esforços para a obtenção de informações, visando ao adequado manejo desses patógenos dentro das condições previstas. Foram selecionadas algumas importantes associações entre culturas agrícolas e fitonematóides, em que serão discutidos os prováveis efeitos da elevação da temperatura e alterações da precipitação sobre a incidência desses patógenos.

Soja e a incidência de *Heterodera glycines*

O nematóide-de-cisto-da-soja (*Heterodera glycines* Ichinohe) é o mais importante patógeno da soja nos Estados Unidos (ANAND et al., 1995) e em grande parte do Brasil. Apesar de ser considerado nematóide mais adaptado a climas mesotérmicos, e seus primeiros registros de ocorrência serem de 1992, atualmente encontra-se disseminado em pelo menos três milhões de hectares cultivados com soja, nos estados da Bahia, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo e

Tocantins. Sua elevada capacidade de dispersão é devida, em grande parte, à estrutura característica que lhe serve de qualificativo, o cisto, cuja formação será melhor compreendida após a descrição do seu ciclo vital. De início, é importante destacar que o cisto contém a maior parte dos ovos e a eles serve de proteção.

Como todo nematóide, *H. glycines* é ovíparo, e grande parte da duração do seu ciclo é representado pelo ovo. No interior do ovo, forma-se um indivíduo de formato fusiforme e cerca de 0,5 mm de comprimento, chamado juvenil de primeiro estádio (J1), que dentro do ovo troca de cutícula e passa a juvenil de segundo estádio (J2). Este rompe a casca do ovo e sai do cisto em direção ao solo por meio de uma abertura apropriada, chamada fenestra. No solo, o J2 caminha na película de água das partículas até chegar às raízes da soja ou de outra planta hospedeira. Esse nematóide é endoparasita, portanto penetra as raízes da planta hospedeira; e sua alimentação depende de células do estelo, para onde se encaminha. Ao chegar ao estelo, o J2 de *H. glycines* injeta nas células dessa região, por meio de seu estilete, enzimas ou hormônios que promovem nelas mudanças fisiológicas profundas e as induzem a perder sua função original e a passar a produzir alimento ao nematóide. É somente a partir desse evento que o J2 passa a se alimentar das células do estelo modificadas, daí em diante chamadas de células nutridoras. Alimentando-se, o J2 de *H. glycines* passa por alterações notáveis, a começar pela perda do formato fusiforme que possibilitava sua mobilidade, ou seja, o nematóide passa a ser sedentário. Daí em diante são mais duas trocas de cutícula, ao fim das quais se forma o macho, que readquire a capacidade de movimentação, ou a fêmea limoniforme. Esta produz, ao longo de sua vida, cerca de 400 ovos, dos quais a maior parte fica retida no útero. Com a morte da fêmea, sua cutícula adquire características que lhe dão resistência e capacidade de persistir no ambiente por vários anos. É exatamente a cutícula modificada da fêmea morta, com a função de manter os ovos protegidos e viáveis por vários anos, que é chamada de cisto.

A partir do conhecimento do seu ciclo, depreende-se que a temperatura e a umidade do solo podem afetar o nematóide durante a fase de cisto (efeito sobre a sobrevivência e a eclosão), a fase de J2 no solo (efeito sobre a motilidade e a capacidade de infecção), a fase inicial de parasitismo (efeito duplo, sobre o desenvolvimento inicial do nematóide nas raízes e sobre a reação das células que originarão as células nutridoras) e a fase final de infecção, com destaque para a produção de ovos.

Para melhor avaliação do efeito da temperatura e umidade do solo sobre a incidência de *H. glycines* em soja, torna-se necessário consultar algumas informações disponíveis na literatura. Experimento de laboratório demonstrou

que J2 de *H. glycines* manteve sua motilidade e infectividade por 630 dias (duração total do experimento), quando mantido em água na faixa de 0 °C a 12 °C, tendo ambas as características reduzidas progressivamente com o aumento da temperatura de 12 °C até 40 °C. Sob 16 °C, 24 °C, 36 °C e 40 °C, a infectividade de J2 de *H. glycines* a raízes de soja foi reduzida para 530, 120, 15 e 1 dia, respectivamente. O comportamento do nematóide no solo (cistos + J2) foi similar, mas com sobrevivência mais longa. O nematóide manteve sua infectividade a raízes de soja por 84 a 96 meses quando mantido em solo a 4 °C; por 72 a 84 meses na faixa de 8 °C a 20 °C; por 23 a 30 meses a 24 °C; e 6 a 11 meses a 36 °C. A infectividade do nematóide foi mantida por 90 meses em solo que permaneceu em capacidade de campo por meio de adições diárias de água, mas por somente 29 a 38 meses em solo que foi deixado secar naturalmente ou em solo mantido saturado de água durante todo o experimento (SLACK et al., 1972). Portanto, a condição ideal do solo para a sobrevivência de *H. glycines* seria temperatura entre 0 °C e 20 °C e umidade em capacidade de campo.

Com base nos dados atuais sobre temperatura do solo e precipitação durante os meses de abril a setembro, correspondentes ao período de entressafra da cultura da soja no Brasil, verifica-se que, na região do Cerrado, as condições gerais são desfavoráveis à sobrevivência de *H. glycines*, com baixas precipitações (0 mm a 2 mm por dia) e elevadas temperaturas do ar (20 °C a 28 °C). A temperatura do solo na camada agricultável (até 40 cm de profundidade) é próxima da temperatura do ar, sendo influenciada também pela condutividade térmica do solo, pelo teor de umidade e pela cobertura do solo, seja ela cobertura vegetal viva ou restos culturais. Com a intenção de se obter valores aproximados das temperaturas do solo a partir das temperaturas do ar, embora as variáveis acima citadas sejam da maior importância, utilizaram-se as equações propostas por Alfonsi (1979), citado por Jaehn (1991b), para as profundidades de 5, 10, 20 e 40 cm no Estado de São Paulo. Com base nessas equações, estimou-se entre 23 °C e 34 °C a faixa de temperatura média na camada agricultável do solo, durante os meses de abril a setembro na região do Cerrado. Portanto, nos meses mais quentes e nas camadas mais superficiais (até 10 cm de profundidade), a temperatura do solo é pouco favorável à sobrevivência do nematóide. Entretanto, na região produtora do Sul do País (Rio Grande do Sul, Paraná e sudoeste de São Paulo), há condições mais favoráveis à sobrevivência do nematóide, tanto em relação às temperaturas do ar (14 °C a 20 °C, correspondendo a 16 °C a 23 °C no solo) como à precipitação. O quadro previsto para o ano de 2020, com elevação das temperaturas médias e diminuição da precipitação, indica cenário em que o nematóide terá maiores dificuldades de sobrevivência em todas as regiões em que atualmente se planta soja, seja no Sul do País, mas principalmente no Brasil Central.

Para estimar o efeito da temperatura na capacidade de infecção e desenvolvimento de *H. glycines* em raízes de soja, foram utilizados resultados de um experimento em que plantas de soja foram infectadas com *H. glycines*, e o substrato em que cresciam foram mantidos a temperaturas constantes de 16 °C, 20 °C, 24 °C, 28 °C e 32 °C. A temperatura mais favorável ao desenvolvimento de *H. glycines* em raízes de soja suscetível foi 28 °C, e as menos favoráveis foram 16 °C e 32 °C (MELTON et al., 1986). Em outro experimento dentro da mesma linha, mas testando-se as temperaturas do solo de 20 °C, 26 °C e 32 °C, verificou-se que aquela que propiciou maior produção de fêmeas e cistos do nematóide em raízes de soja suscetível foi 26 °C (ANAND et al., 1995). Portanto, com base nos dois experimentos acima, é possível afirmar que o desenvolvimento de *H. glycines* em raízes de soja é favorecido por temperaturas do solo na faixa de 26 °C a 28 °C.

Considerando as temperaturas médias do ar durante o período de cultivo da soja no Brasil (outubro a março), verifica-se que na região do Cerrado elas variam atualmente entre 24 °C e 28 °C, e no Sul do País (incluindo o sudoeste de São Paulo) entre 20 °C e 26 °C. Assim, estimou-se que a temperatura do solo, no período de outubro a março, na camada agricultável (até 40 cm de profundidade) seja de 28 °C a 34 °C na região do Cerrado, e de 23 °C a 31 °C no Sul do País, ou seja, na região produtora de soja do Sul do Brasil as condições térmicas são mais favoráveis ao desenvolvimento de *H. glycines* em soja que na região do Cerrado. Ressalte-se que, apesar disso, enormes perdas são causadas por *H. glycines* à soja nessa região, o que pode indicar que ocorreu processo de seleção de populações de *H. glycines* mais adaptadas a temperaturas elevadas ou, ainda, que a temperatura do solo nas áreas cultivadas com soja é menor que a estimada, principalmente nas áreas cultivadas sob sistema de plantio direto.

Como projeção para o futuro, tomando-se como provável uma significativa elevação da temperatura do ar nos anos vindouros, as condições térmicas tendem a tornar-se cada vez menos favoráveis ao desenvolvimento de *H. glycines* em raízes de soja no período de outubro a março, tanto na região do Cerrado, como no Sul do Brasil.

Manejo do nematóide-de-cisto-da-soja em 2020

O manejo de *Heterodera glycines*, no Brasil, é feito por meio do uso de cultivares resistentes e rotação de culturas. As alterações climáticas previstas para 2020 podem não afetar a eficácia da primeira técnica, pois há indícios robustos de que há ausência de efeito da temperatura do solo na expressão

da resistência de soja a *H. glycines*. Experimento realizado por Anand et al. (1995), utilizando as raças 3, 5 e 14 de *H. glycines*, demonstrou que cultivares de soja resistentes ao nematóide mantêm esse caráter dentro da faixa de temperatura de solo testada (20 °C a 32 °C). Entretanto, é possível colocar objeção a essa afirmação pelo fato de que temperatura mais alta, testada no experimento citado, ter sido mais baixa que a temperatura que pode ser atingida pelo solo na região do Cerrado em 2020.

Em relação à rotação de cultura, por seu turno, é provável que o cenário previsto para 2020 esteja associado a condições para maior eficácia dessa técnica, seja pelas elevadas temperaturas do solo durante a época chuvosa, 28 °C a 34 °C na região do Cerrado e 23 °C a 31 °C no Sul do País, seja pela redução da precipitação e conseqüente menor umidade do solo, pois ambas as condições são desfavoráveis à sobrevivência de *H. glycines*.

Soja e a incidência de *Meloidogyne incognita*

No Brasil, os nematóides-das-galhas se rivalizam em relevância econômica para a cultura da soja com *Heterodera glycines*. Três espécies do grupo merecem destaque para a cultura da soja no Brasil: *Meloidogyne javanica* (Treub), *M. incognita* (Kofoid & White) e *M. arenaria* (Neal). As três são consideradas habitantes adaptados ao clima tropical úmido e, de fato, são encontradas em elevada freqüência como patógenos de plantas cultivadas nessa zona climática, nos domínios da Mata Atlântica, Cerrado e Floresta Amazônica. Segundo a literatura, há uma pequena diferença entre as três espécies em relação à preferência térmica, com *M. javanica* sendo favorecido por temperaturas do solo ligeiramente mais altas em comparação com *M. incognita* e *M. arenaria*. A grosso modo, o desenvolvimento das três espécies está condicionado ao limite inferior de 8 °C a 10 °C (VRAIN; BARKER, 1978; VRAIN et al., 1978) e superior de 35 °C, sendo a faixa de temperatura mais favorável entre 28 °C e 32 °C.

O ciclo vital de *Meloidogyne* spp. apresenta muitas semelhanças com o de *H. glycines*, diferenciando-se principalmente pela ausência da fase de cisto. Portanto, o período de sobrevivência dos nematóides-das-galhas é menor que o dos nematóides-de-cisto. Algumas espécies, como as três citadas, compensam essa deficiência pela elevada capacidade de parasitar as mais variadas espécies botânicas. Assim, a permanência de *M. incognita*, *M. javanica* e *M. arenaria* na entressafra da soja depende da presença de plantas hospedeiras nesse período e, portanto, de condições climáticas para o crescimento das plantas. Nesse sentido, regiões apresentando outono e inverno quentes e chuvosos serão aquelas que a soja deverá encontrar maiores populações iniciais de nematóide-das-galhas à época do plantio, e assim sofrer perdas mais intensas.

A espécie de nematóide-das-galhas mais disseminada na cultura da soja no Brasil é *M. javanica*, ocorrendo no Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Bahia e Maranhão. Apesar disso, a discussão que se segue terá por base a espécie *M. incognita*, pelo maior volume de informações disponível sobre o efeito da temperatura nas relações do nematóide com a soja.

Em experimento em condições controladas, comparando as temperaturas constantes de 18 °C, 22 °C, 26 °C e 30 °C, verificou-se que a última foi a mais favorável à reprodução de *M. incognita* em raízes de soja 'Lee 68' (suscetível ao nematóide). Partindo da população inicial (Pi) de 3.000 nematóides, os fatores de multiplicação (Pf/Pi = relação entre a população final e a população inicial) em 90 dias a 18 °C, 22 °C, 26 °C e 30 °C foram de, respectivamente, 2,9; 9,7; 17,7; e 83,7. Em experimento semelhante, mas com fotoperíodo de 14 horas de luz e alternância de temperatura durante o dia (quatro tratamentos: 20 °C/16 °C, 24 °C/20 °C, 28 °C/24 °C e 32 °C/28 °C), os fatores de multiplicação em 82 dias, com Pi = 3.000, foram de 0,8; 9,1; 20,0; e 33,7 (NARDACCI; BARKER, 1979).

Comparando os resultados do experimento acima citado com as estimativas das temperaturas do solo durante a safra da soja no Brasil, verifica-se que as condições térmicas na região do Cerrado (28 °C a 34 °C na camada até 40 cm de profundidade, segundo as estimativas feitas acima) são extraordinariamente favoráveis a *M. incognita*, ressaltando-se que talvez as temperaturas na superfície do solo sejam excessivas (34 °C a 5 cm de profundidade), exceto se amenizadas pela cobertura do solo. O gradativo aumento da temperatura nos próximos anos pode, a curto prazo, tornar as condições ainda mais favoráveis, mas a seqüência dessa tendência pode fazer com que as temperaturas do solo cheguem ao limite térmico superior para a atividade de *M. incognita*, ou ainda que tornem inviável a cultura da soja.

No caso da região produtora de soja do Sul do Brasil, observa-se que as temperaturas do solo, durante a safra da soja, são sub-ótimas (estimativa de 23 °C a 31 °C na camada agricultável, para temperatura atual do ar de 20 °C a 26 °C); mas, se seguirem tendência de elevação nos anos vindouros, provavelmente resultarão, nos próximos anos (20 a 40 anos), em condições térmicas próximas do ótimo para *M. incognita*.

Manejo dos nematóides-das-galhas na cultura da soja em 2020

O manejo de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* na cultura da soja, no Brasil, tem como principal componente o uso de cultivares resistentes.

O caráter termo-dependente da resistência dessas cultivares merece a maior atenção, pois, como ela se torna pouco efetiva a partir de temperaturas do solo por volta de 30 °C (DROPKIN, 1963), a provável elevação da temperatura do ar possivelmente diminuirá o valor das cultivares resistentes dentro do manejo de nematóides-das-galhas na cultura da soja. Como estratégias para reduzir tal risco, podem ser citadas a obtenção de resistência a *Meloidogyne* spp. de caráter termo-estável e o desenvolvimento (ou aprimoramento) de outras técnicas de manejo dos nematóides-das-galhas na cultura da soja.

Dentro da preocupação expressa nas linhas anteriores, pode-se citar a rotação com cultura resistente ou não hospedeira a nematóides como técnica que tem sido cada vez menos utilizada e que poderia ser reabilitada. No entanto, considerando o novo panorama apresentado, cuidados devem ser tomados quanto aos paradigmas vigentes em relação ao uso dessa técnica. Por exemplo, a mucuna-preta (*Mucuna pruriens*) foi uma das principais opções de cultura resistente para rotação em áreas infestadas por *M. javanica* e *M. incognita*. Atualmente, entretanto, é sabido que a mucuna-preta é tão somente uma planta muito pouco suscetível a ambas as espécies de nematóide-das-galhas, podendo multiplicá-las em suas raízes. O efeito supressivo, verificado após o cultivo da mucuna-preta, somente ocorre se a parte aérea da planta é incorporada ao solo. Deve-se ainda atentar para o efeito da temperatura na multiplicação desses nematóides em mucuna-preta. Na faixa de 20 °C a 28 °C, o ciclo vital (desde o ovo até o início da atividade de oviposição) de *M. incognita*, raça 2, foi encurtado em mucuna-preta com o aumento da.temperatura (ciclo de 40 a 44 dias a 20 °C; 32 a 36 dias a 24 °C; e 28 a 32 dias a 28 °C). A exceção foi 32 °C, pois o ciclo aumentou para 32 a 36 dias (JAEHN, 1993).

Em conclusão, o quadro que se configura para 2020 é o aumento da incidência dos nematóides-das-galhas e a diminuição da efetividade das atuais técnicas de manejo desses nematóides na cultura da soja.

Cafeeiro e a incidência de *Meloidogyne incognita*

A importância atual de *Meloidogyne incognita*, como patógeno do cafeeiro arábico (*Coffea arabica*), é difícil de ser precisamente mensurada, pois as maiores perdas causadas pelo nematóide se deram na segunda metade da década de 1970. Devido à sua freqüente ocorrência no oeste de São Paulo e norte do Paraná, o cafeeiro deixou de ser cultivado em extensas áreas dessas regiões, que até então possuíam importantes parques cafeeiros. Nos dias de hoje, os principais focos de ocorrência de *M. incognita*, em cafeeiro, ainda se encontram em São Paulo e Paraná, com destaque para as regiões de Bauru, Marília e Londrina.

Por ser cultura perene, os possíveis efeitos da elevação da temperatura sobre a incidência de *M. incognita* em *C. arabica* são mais fáceis de ser estimados que sobre a incidência de nematóides em soja. Os dois experimentos descritos, a seguir, servirão de base para a discussão sobre o assunto. No primeiro deles, verificou-se que, dentro da faixa de 20 °C a 32 °C, o ciclo vital (desde o ovo até o início da atividade de oviposição) de *M. incognita*, raça 1, em raízes de cafeeiro suscetível (*C. arabica* cv. Mundo Novo), foi encurtado com o aumento da temperatura, de 48 para 28 dias; para a raça 2, de 48 para 32 dias; e, para a raça 4, de 56 para 36 dias (JAEHN, 1991a). Com base nesses valores e nas estimativas das temperaturas do solo no Estado de São Paulo, estimou-se que a raça 1 de *M. incognita* completaria 9,5 a 10,6 gerações em cafeeiro, na grande faixa compreendida pela isoterma média anual de 21 °C a 22 °C (temperatura do solo estimada por Jaehn (1991b) em 24,1 °C a 25,8 °C), que inclui os municípios de Presidente Prudente, Bauru, Marília, São José do Rio Preto e Ribeirão Preto. Nessa mesma faixa, o número de gerações para a raça 2 seria de 8,9 a 9,9 por ano, e para a raça 4, de 7,2 a 8,0 por ano.

Se, por hipótese, a temperatura média na região de São Paulo acima mencionada se elevasse em 1 °C, a conseqüência provável para *M. incognita* seria o aumento do número de gerações anuais em *C. arabica* para 10,3 a 11,5 (para a raça 1), 9,6 a 10,8 (para a raça 2) e 7,8 a 8,7 (para a raça 4). Para o cafeeiro infectado por *M. incognita* nessa região, o resultado dessa mudança seria o aumento das perdas causadas pelo nematóide, em decorrência do aumento populacional pelo maior número de gerações do nematóide por ano (aproximadamente uma geração).

Considerações finais

As previsões feitas, nos itens anteriores, não consideram algumas variáveis que são importantes para definir o real efeito da elevação da temperatura sobre a incidência de nematóides nas culturas da soja e café, pois o grau de sua influência é muito difícil de ser mensurado. Uma delas é o sistema de produção dessas culturas. Por exemplo, no sistema de plantio direto, muito utilizado na cultura da soja, a temperatura do solo é menor que no sistema de plantio convencional, como resultado da diminuição da insolação e do aumento da retenção de água, causados pela presença de restos da cultura anterior na superfície do solo. Além disso, é possível que os sistemas de produção se adaptem no sentido de permitir o cultivo de soja e cafeeiro sob temperaturas mais elevadas. Deve-se incluir ainda a hipótese de que, em situações extremas, soja e cafeeiro deixem de ser cultivados nas áreas mais quentes.

Outra variável são os inimigos naturais dos fitonematóides, esses também habitantes do solo e, portanto, sujeitos aos efeitos da elevação de temperatura prevista para os anos vindouros. Por exemplo, foi avaliado o efeito das temperaturas de 15 °C, 18 °C, 20 °C, 23 °C, 25 °C, 28 °C, 30 °C e 35 °C sobre o crescimento micelial de *Arthrobotrys musiformis* e *A. conoides*, fungos comuns em solos do sul de Minas Gerais. A temperatura que propiciou maior crescimento desses fungos foi 28 °C. A temperatura de 35 °C inibiu completamente o crescimento, e 15 °C propiciou crescimento muito lento (NAVES; CAMPOS, 1991). Em outro experimento, foi avaliado o efeito das temperaturas de 15 °C, 18 °C, 20 °C, 23 °C, 25 °C, 28 °C, 30 °C e 35 °C sobre o crescimento micelial de *Paecilomyces lilacinus*, fungo parasita de ovos de *Meloidogyne* spp., muito comum em solos do Brasil. A temperatura que propiciou maior crescimento desses fungos foi 25 °C; as temperaturas de 23 °C, 28 °C e 30 °C foram um pouco menos favoráveis, e a 35 °C o crescimento foi completamente inibido (RIBEIRO; CAMPOS, 1991). No último trabalho a ser citado, foi avaliado o efeito das temperaturas de 16 °C, 20 °C, 25 °C, 28 °C, 32 °C e 36 °C sobre o crescimento micelial de *Arthrobotrys conoides* (dois isolados), *A. musiformis*, *A. irregularis* e *A. robusta*, fungos nematófagos. O efeito da temperatura sobre o crescimento micelial dos quatro fungos seguiu tendência quadrática, com maior desenvolvimento a 25 °C. Para esporulação, a faixa ideal foi de 20 °C a 25 °C (DIAS; FERRAZ, 1993). Segundo Feder (1963), citados por Dias e Ferraz (1993), a temperatura ótima para a captura geralmente é menor que a para crescimento micelial.

Citados dessa forma, há uma aparente contradição entre as informações acima apresentadas e a afirmação de que seria difícil avaliar a variável microrganismos do solo, dentro da previsão sobre os efeitos da elevação da temperatura na incidência de nematóides. Os três experimentos parecem deixar claro que, com o aumento da temperatura do solo, as condições para o desenvolvimento dos inimigos naturais dos fitonematóides se deteriorarão, favorecendo os fitonematóides. Porém, essa conclusão pode ser precipitada, pois deve-se considerar a hipótese de que organismos termofílicos, com atividade nematófaga, beneficiem-se da nova situação e acabem por exercer papel semelhante ao dos organismos que tiveram sua atividade reduzida. Além disso, não se mensurou ainda a contribuição dos microrganismos do solo na regulação populacional dos fitonematóides, fato que sozinho já limita qualquer possibilidade de se prever o efeito desse componente sobre a incidência dos fitonematóides.

Referências

ANAND, S. C.; MATSON, K. W.; SHARMA, S. B. Effect of soil temperature and pH on resistance of soybean to *Heterodera glycines*. **Journal of Nematology**, St. Paul, v. 27, n. 4, p. 478-482, 1995.

DIAS, W. P.; FERRAZ, S. Crescimento e esporulação de *Arthrobotrys* spp. em diferentes substratos, meios de cultura, pH e níveis de temperatura. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 17, n. 2, p. 168-181, 1993.

DROPKIN, V. H. Effect of temperature on growth of root-knot nematodes in soybeans and tobacco. **Phytopathology**, St. Paul, v. 53, n. 6, p. 663-666, 1963.

JAEHN, A. Determinação da constante térmica das raças 1, 2 e 4 de *Meloidogyne incognita* em cafeeiro. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 135-142, 1991a.

JAEHN, A. Estimativa do número de gerações de três raças de *Meloidogyne incognita* em cafeeiro para o estado de São Paulo. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 143-151, 1991b.

JAEHN, A. Efeito da temperatura no desenvolvimento de *Meloidogyne incognita* raça 2 em mucuna-preta. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 17, n. 1, p. 57-65, 1993.

MELTON, T. A.; JACOBSEN, B. J.; NOEL, G. R. Effect of temperature on development of *Heterodera glycines* on *Glycine max* and *Phaseolus vulgaris*. **Journal of Nematology**, St. Paul, v. 18, n. 4, p. 468-474, 1986.

NARDACCI, J. F.; BARKER, K. R. The influence of temperature on *Meloidogyne incognita* on soybean. **Journal of Nematology**, St. Paul, v. 11, n. 1, p. 62-70, 1979.

NAVES, R. L.; CAMPOS, V. C. Ocorrência de fungos predadores de nematóides no sul de Minas Gerais e estudo da capacidade predatória e crescimento in vitro de alguns de seus isolados. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 152-162, 1991.

RIBEIRO, R. C. F.; CAMPOS, V. P. Isolamento, identificação e efeito da temperatura no crescimento in vitro de fungos parasitas de ovos de *Meloidogyne* spp. no sul de Minas Gerais. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 17, n. 2, p. 132-139, 1993.

SLACK, D. A.; RIGGS, R. D.; HAMBLEN, M. L. The effect of temperature and moisture on the survival ot Heterodera glycines in the absence of a host. **Journal of Nematology**, St. Paul, v. 4, n. 4, p. 263-266, 1972.

VRAIN, T. C.; BARKER, K. R. Influence of low temperature on *Meloidogyne incognita* and *M. hapla* eggs in egg masses. **Journal of Nematology**, St. Paul, v. 10, n. 4, p. 311-313, 1978.

VRAIN, T. C.; BARKER, K. R.; HOLTZMAN, G. I. Influence of low temperature on rate of development of *Meloidogyne incognita* and *M. hapla* larvae. **Journal of Nematology**, St. Paul, v. 10, n. 2, p. 166-171, 1978.

Capítulo 18

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre o controle biológico de doenças de plantas

Wagner Bettiol

Introdução

Para todas as interações hospedeiro-patógeno-agentes de controle biológico, o clima tem fundamental importância. Todas as variáveis climáticas (umidade, temperatura, vento, etc.) interferem na incidência de doenças, pois afetam o crescimento, a reprodução e a dispersão das plantas, dos patógenos e dos agentes de biocontrole. Dessa forma, as mudanças climáticas globais afetarão as doenças de plantas e, por conseguinte, interferirão nos agentes de biocontrole.

Doença, na abordagem de controle biológico, é mais do que uma íntima interação do patógeno com o hospedeiro, influenciada pelo ambiente. É o resultado de uma interação entre hospedeiro, patógeno e uma variedade de não patógenos que também repousam no sítio de infecção e que apresentam potencial para limitar ou aumentar a atividade do patógeno, ou a resistência do hospedeiro (COOK; BAKER, 1983; COOK, 1985). Dentro dessa abordagem, o fator ambiente precisa ser considerado agindo sobre o patógeno, o hospedeiro e os demais organismos do sítio de infecção (Fig. 1).

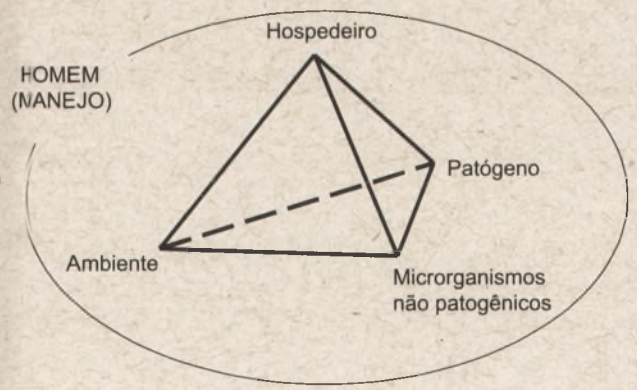


Fig. 1. O tetraedro de doença, destacando as interações entre o ambiente, o patógeno, os microrganismos não patogênicos presentes no sítio de infecção do hospedeiro. O homem pode alterar as relações entre os fatores, favorecendo ou não a ocorrência das doenças.

O controle biológico de doenças de plantas pode ser conceituado como sendo o controle de um microrganismo por meio de outro microrganismo. Os mecanismos de ação dos antagonistas normalmente envolvidos no controle biológico são: antibiose, competição, parasitismo, predação, hipovirulência e indução de defesa do hospedeiro (BETTIOL, 1991). Entretanto, conceitos mais abrangentes são aceitos pelos fitopatologistas. Assim, para Cook e Baker (1983), controle biológico é "a redução da soma de inóculo ou das atividades determinantes da doença, provocada por um patógeno, realizada por ou através de um ou mais organismos que não o

homem". Os mesmos autores explicam que atividades determinantes de doenças envolvem crescimento, infectividade, virulência, agressividade e outras qualidades do patógeno, ou processos que determinam infecção, desenvolvimento de sintomas e reprodução. Os organismos incluem indivíduos ou populações avirulentas ou hipovirulentas dentro das espécies patogênicas. Incluem, ainda, a planta hospedeira manipulada geneticamente, ou por práticas culturais, ou microrganismos, para maior ou mais efetiva resistência contra o patógeno; e antagonistas dos patógenos definidos como microrganismos que interferem na sobrevivência ou em atividades determinantes de doenças causadas por patógenos. Nessa visão, o controle biológico pode ser acompanhado por práticas culturais para criar um ambiente favorável aos antagonistas e à resistência da planta hospedeira ou ambos; maior resistência da planta ao patógeno ou adequação do hospedeiro para as atividades dos antagonistas; introdução em massa de antagonistas, linhagens não patogênicas ou outros organismos ou agentes benéficos.

Predizer os efeitos das mudanças climáticas globais sobre o controle biológico de doenças de plantas é problemático, e atualmente baseado em observações indiretas. Entretanto, com certeza, a vulnerabilidade dos agentes de biocontrole será maior com as mudanças climáticas, pois esse é um dos problemas da aplicabilidade dos antagonistas (GARRETT et al., 2006). Assim, este capítulo tem por objetivo discutir possíveis efeitos das mudanças climáticas globais sobre o controle biológico de doenças de plantas, assumindo os enormes riscos de erros da discussão. Embora uma das conseqüências diretas das modificações, causadas pelas mudanças climáticas, nas relações patógeno-hospedeiro seja na resistência genética de plantas às doenças, pois muitas mudanças na fisiologia da planta podem alterar os mecanismos de resistência (GHINI, 2005), esse aspecto não será considerado neste capítulo. Assim, serão discutidos apenas os aspectos envolvendo os antagonistas no controle biológico de doenças.

A literatura dispõe de poucas informações sobre os efeitos das mudanças climáticas sobre doenças de plantas (GHINI, 2005). Em relação ao controle biológico de doenças de plantas, praticamente não existem informações. Assim, toda e qualquer consideração sofrerá de inconsistência de dados para a sua discussão.

Percy et al. (2002), em um experimento de longa duração desenvolvido em FACE (*Free Air Carbon Dioxide Enrichment*), localizado em Aspen, com dominância de *Populus tremiloides*, estudaram o efeito de enriquecimento atmosférico com CO_2 e O_3 sobre a severidade de *Melampsora* (agente causal da ferrugem), a massa de pupas fêmeas de uma lagarta (*Malacosoma disstria*) e a abundância de afídeos e seus inimigos naturais. Os autores verificaram

que apenas o aumento de CO_2 não interferiu na severidade da ferrugem-das-folhas, o aumento de O_3 apresentou um incremento de quatro vezes na doença, e a mistura de CO_2 e O_3 aumentou a doença em torno de três vezes. Em relação à massa-de-pupas, apenas com o O_3 foi verificado aumento. Entretanto, o CO_2 e o O_3 isolados, ou em mistura, aumentaram a abundância da população de afídeos. Por outro lado, a abundância dos inimigos naturais não acompanhou essa tendência, sendo fortemente reduzida na presença de O_3, e apenas no tratamento controle (atmosfera ambiente) foi maior do que a de afídeos.

As comunidades de organismos da rizosfera e da filosfera, que normalmente não são consideradas no controle de doenças, ganham destaque no controle biológico, pois são os principais atores nessa modalidade de controle, principalmente quando se considera o controle biológico natural. Segundo Coakley et al. (1999), mudanças climáticas podem alterar a composição e a dinâmica da comunidade microbiana do ambiente aéreo e do solo suficientemente para influenciar a saúde dos órgãos das plantas. Mudanças na comunidade microbiana da filosfera e da rizosfera podem influenciar a ocorrência de doenças de plantas por meio do controle biológico (natural ou aumentativo). Esses autores ainda afirmam que o efeito direto da elevação da concentração de CO_2 atmosférico sobre a microbiota do solo é improvável, pois o solo apresenta níveis de 10 a 15 vezes maiores do que a concentração de CO_2 atmosférico. Entretanto, há a necessidade de se considerar que as mudanças climáticas globais envolvem também aspectos fundamentais do solo para a atividade microbiana, como a disponibilidade de nutrientes, o aumento da temperatura e, dependendo da região, a redução na umidade do solo. Aliado a isso, necessita ser considerada a quantidade de nitrogênio que é introduzida nos sistemas naturais e no agroecossistema por meio de fertilizantes e poluentes (NOSENGO, 2003). Grüter et al. (2006) concluíram que a exposição do ambiente à concentração de 600 ppm de CO_2 (aproximadamente o dobro da atual) não alterou quantitativamente a comunidade de bactérias do solo. Entretanto, os mesmos autores concluíram que a diversidade das plantas altera a composição bacteriana do solo (tipos de bactérias e freqüência de ocorrência). Assim, como um dos possíveis efeitos das mudanças climáticas é sobre a diversidade de plantas, conseqüentemente haverá interferência na comunidade microbiana.

Essas alterações deverão causar interferências no tetraedro apresentado na Fig. 1 e, com isso, no controle biológico, não podendo afirmar se serão benéficas, prejudiciais ou neutras. Triltsch et al. (1996), citados por Coakley et al. (1999), verificaram que, em trigo, a alteração da temperatura de 17 °C para 22 °C resultou

num aumento na reprodução de pulgões (*Sitobion avenae*) em 10 %, ao mesmo tempo em que a atividade de predação por joaninhas adultas (*Coccinella septempunctata*) aumentou em 250 %, com redução nos danos causados pelo afídeo. Entretanto, segundo Coakley et al. (1999), resultados similares envolvendo as interações tróficas das doenças de plantas não estão disponíveis.

Trabalhando em experimento tipo FACE para avaliar os efeitos sobre fungos saprófitas, Rezácová et al. (2005) verificaram que *Chlonostachys rosea*, importante agente de controle biológico de *Botrytis* e outros patógenos, e *Metarrhizium anisopliae*, um dos mais importantes entomopatógenos para controle de insetos pragas, mostraram-se fortemente associados com a cultura de trevo em ambiente com alta concentração de CO_2. Os autores sugerem que a abundância dessas espécies de fungos pode indicar aumento da resistência do solo para a colonização por fungos fitopatogênicos e outras pragas.

Patógenos veiculados pelo solo

O solo é um sistema vivo, no qual as plantas, os microrganismos e a fauna interagem mutuamente e com o ambiente abiótico (VERHOEF, 2004). Na Fig. 2 estão apresentados os organismos do solo, bem como sua importância ecológica e seu número aproximado. Todos esses organismos, além de suas funções naturais, interferem no controle biológico (BETTIOL; GHINI, 2005), não só de patógenos veiculados pelo solo, mas também de patógenos da parte aérea, pela indução de resistência.

As três funções chaves relacionadas com a qualidade do solo: dinâmica e mineralização da matéria orgânica, formação e/ou manutenção da estrutura do solo e diversidade das espécies, bem como o suporte e o controle da produção das plantas (VERHOEF, 2004), são totalmente dependentes da atividade dos organismos do solo. Assim, todas as mudanças climáticas que alteram a qualidade do solo (aumento da concentração de CO_2 e de outros gases, aumento ou redução da umidade e aumento da temperatura) indiretamente estarão afetando o controle biológico natural. Entretanto, a sua quantificação não é tarefa simples, pois a do próprio controle biológico natural não existe.

As funções de suporte à vida, os processos e os indicadores de qualidade de solo estão apresentados na Tabela 1 (VERHOEF, 2004). Todos os indicadores apresentados para estabelecer a qualidade do solo são organismos importantes no controle biológico natural e também na indução da supressividade do solo a doenças (BAKER; COOK, 1974; COOK; BAKER, 1983; BETTIOL; GHINI, 2005).

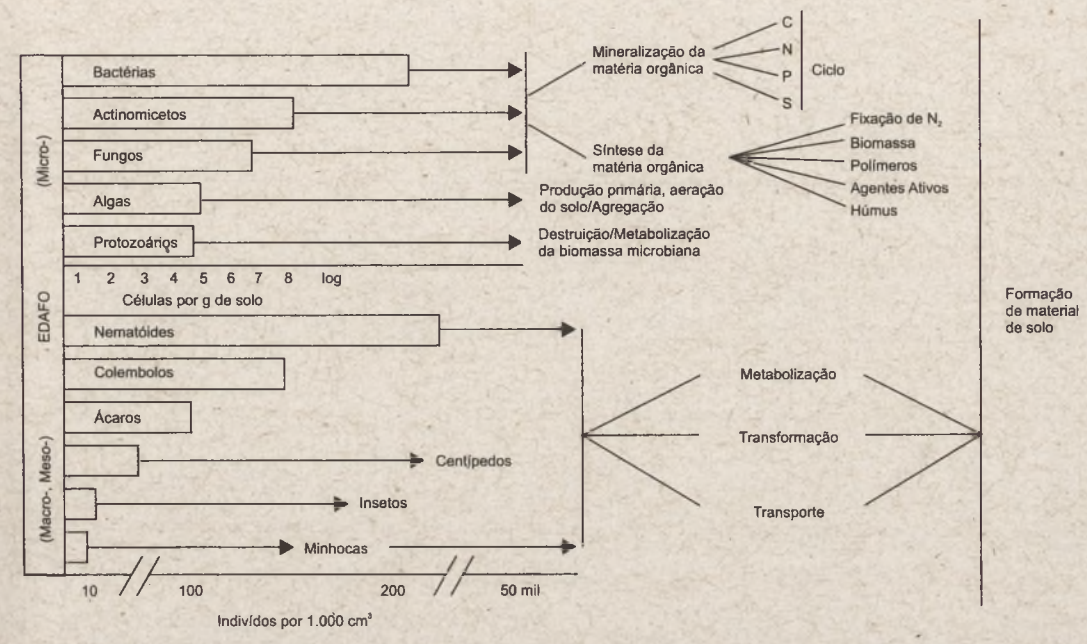


Fig. 2. Organismos do solo, contagem aproximada e atividades ecológicas importantes (VERHOEF, 2004).

Tabela 1. Sistema de indicador de qualidade de solo (VERHOEF, 2004, modificado de SCHOUTEN et al., 2001).

Função de suporte da vida	Processo	Indicador
Decomposição de matéria orgânica	Fragmentação	Vermes + Enchitrideos (1) Ácaros (2)
	Transformação da matéria orgânica	Metabolismo bacteriano (3) Cogumelos (4) Diversidade microbiana (5)
Ciclagem de nutrientes	Mineralização do nitrogênio	Interações tróficas (6) =1+2+7+8+9+10 (em número e biomassa)
	Subprocessos	
	Atividade microbiana	Microrganismos (7) (bactérias e fungos)
	Microbiófovoros	Protozoários (8) Nematóides (9) Colembolos (10) Ácaros (2)
	Herbívoros de raízes	Nematóides (+2+10)
	Predação	Ácaros (+9+10)

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Função de suporte da vida	Processo	Indicador
Biodisponibilidade de nutrientes para as plantas	Absorção de N-, P- e H_2O	Fungos micorrízicos (4)
	Nitrificação	Bactérias nitrificadoras (11)
Formação da estrutura do solo	Bioturbação + formação de agregados	Vermes + enchitrideos
Estabilidade do ecossistema do solo	Interações tróficas	Estrutura da comunidade =1+2+7+8+9+10 (em número e biomassa)

Os grupos de organismos, utilizados como indicadores da qualidade do solo, serão afetados pelas mudanças climáticas, pois, de modo geral, todos sofrem influência de mudanças da temperatura, de gases e regimes de chuvas. Assim, em decorrência dessas alterações, possivelmente as atividades enzimáticas e a biodiversidade dos solos serão afetadas e, com isso, a deposição de matéria orgânica, o ciclo e a disponibilidade de nutrientes, a estrutura e a funcionalidade e, principalmente, a estabilidade do ecossistema solo.

Rønn et al. (2002, 2003) estudaram os efeitos da concentração de CO_2 sobre a comunidade de organismos do solo cultivado com ervilha e trigo, respectivamente, e verificaram aumento no número de protozoários com o aumento da concentração desse gás. Por outro lado, Chakraborty et al. (1983) descreveram que os protozoários *Gephyramoeba, Mayorella, Saccamoeba e Thecamoeba* se alimentam de propágulos de *Gaeumanomyces graminis* var. *tritici* e *Cochliobolus sativus*. Posteriormente, Chakraborty (1983, 1985) e Dwivedi (1986) associaram a supressividade de solos ao mal-do-pé-do trigo com a presença de protozoários. Também Habte e Alexander (1975) reportaram que protozoários reduziram, em torno de cinco vezes, a população de *Xanthomonas campestris* em solo; e Anderson e Patrick (1978, 1980) verificaram que amebas, além de perfurarem, inativaram propágulos de *Cochliobolus sativus* e *Thielaviopsis basicola*, e concluíram que esses organismos têm um importante papel sobre a ecologia dos fungos habitantes do solo e no seu controle biológico. Resultados semelhantes foram obtidos por Homma e Ishii (1984), os quais observaram perfurações em hifas de *Rhizoctonia solani* por amebas (*Arachnula impatiens*). Dessa forma, os resultados de Rønn et al.

(2002, 2003) são importantes não só para a supressividade dos solos às doenças, mas também sobre os simbiontes.

Hoitink e Fahy (1986) discutiram as bases do controle de patógenos habitantes do solo com a incorporação de matéria orgânica compostada. Esses autores consideraram a atividade microbiana a variável mais importante para a obtenção da supressividade. A liberação de substâncias fungitóxicas a determinados patógenos pela decomposição da matéria orgânica e os efeitos sobre os ciclos de nitrogênio e carbono no solo também estão relacionados com a obtenção de supressividade. Na comunidade microbiana, estão envolvidos antagonistas como *Trichoderma, Gliocladium, Penicillium, Pseudomonas, Bacillus* e outros. Chen et al. (1988a, 1988b) e Inbar et al. (1991) encontraram correlação positiva entre a supressividade de substratos a *Pythium ultimum*, causador do tombamento de plântulas de pepino, e a atividade microbiana total. Assim, toda e qualquer mudança climática que altere a qualidade dos solos causará alteração na supressividade do solo a doenças de plantas. Entretanto, com o atual nível de conhecimento, não é possível estabelecer se positivas ou negativas.

A estabilidade do ecossistema solo é o principal fator relacionado à ocorrência e à severidade de patógenos veiculados pelo solo. Considerando os conhecimentos existentes sobre os efeitos das mudanças climáticas sobre as doenças de plantas, é impossível fazer uma previsão adequada. Entretanto, pode-se assumir que a tendência é aumentar a importância do papel do controle biológico natural de patógenos do solo, pois ele depende fundamentalmente das inter-relações existentes no solo, e as atividades microbianas devem ser intensificadas com o aumento da temperatura e da deposição de matéria orgânica pelas plantas. Também o aumento da deposição de nitrogênio no ambiente intensificará a atividade microbiana. Boland et al. (2004), discutindo os possíveis efeitos das mudanças climáticas em doenças de plantas para Ontário, Canadá, consideraram que, para patógenos do solo, um dos aspectos fundamentais para a redução ou manutenção dessas doenças aos níveis atuais é o aumento da competição microbiana. Entretanto, os mesmos autores consideraram outros aspectos que podem levar ao aumento desse tipo de doenças.

Um dos indicadores utilizados, os fungos micorrízicos, além de desempenhar importante papel na nutrição das plantas, também são importantes para o controle de doenças. No ambiente solo, com condições menos favoráveis, são evidentes os efeitos positivos das micorrizas no desenvolvimento das plantas. Apesar de resultados contraditórios quanto aos efeitos das mudanças climáticas globais nos fungos micorrízicos (MONZ et al., 1994; RILLIG; ALLEN, 1998; STADDON et al., 2002), o papel desses fungos é

de grande importância no controle de patógenos veiculados pelo solo e na indução de defesa do hospedeiro. Auer e Krügner (1991), Zambolim (1991) e Rodrigues-Kabana (1994) discutiram amplamente o importante papel das micorrizas (endo e ectomicorrizas) na saúde das plantas.

Staddon et al. (2002) concluíram que não há evidências de que a elevação do CO_2 atmosférico afeta os fungos micorrízicos, além dos efeitos sobre o crescimento do hospedeiro. O potencial dos efeitos indiretos, mediado, por exemplo, pelo aumento dos carboidratos solúveis nas raízes, não está claramente demonstrado. Entretanto, quando se considera as alterações em nível do ecossistema, os efeitos da elevação do CO_2 sobre as micorrizas podem ser mediados por fatores bióticos e abióticos (Tabela 1). Assim, como os efeitos da elevação de CO_2 nas plantas são espécie-específicos, se a estrutura da comunidade de plantas for alterada, poderá causar mudanças na comunidade de fungos micorrízicos. Staddon et al. (2002) consideraram esse o aspecto mais importante. Esses autores afirmaram que o aumento da temperatura pode afetar diretamente os fungos micorrízicos, pois as atividades enzimáticas são dependentes desse fator e, portanto, deverá afetar o papel das micorrizas nas plantas. Além disso, as alterações causadas pela temperatura na comunidade de plantas também devem ser consideradas (STADDON et al., 2002). A umidade do solo é outro fator considerado, pois as micorrizas são dependentes dessa variável climática, que é alterada com o aumento da temperatura.

As mudanças climáticas globais deverão causar alterações na estrutura das espécies dominantes em florestas e, com isso, também nas espécies de fungos ectomicorrízicos, haja vista a associação com determinadas espécies de árvores. Assim, as mudanças climáticas globais, com certeza, alterarão a distribuição das espécies de fungos ectomicorrízicos, pois esses apresentam comportamentos diferentes frente às alterações da temperatura, umidade, concentração de CO_2, disponibilidade de nutrientes e do aumento de outros gases na atmosfera, como o O_3. Como cada espécie de fungo pode apresentar diferente comportamento no controle de doenças de plantas (AUER; KRÜGNER, 1991), não é possível predizer o que ocorrerá com essa interação em relação ao controle natural de doenças. Lonsdale e Gibbs (2002) discutiram os possíveis efeitos de mudanças climáticas nas doenças fúngicas em árvores, e também na ocorrência de micorrizas. Broadmeadow e Randle (2002) afirmam que o enriquecimento da atmosfera com CO_2 aumenta a exsudação de açúcares pelas raízes e as atividades das micorrizas. Assim, esse é mais um aspecto que necessita ser estudado, para avaliar o papel da nova estrutura e funcionamento das micorrizas nos solos sobre as doenças de plantas, principalmente em espécies florestais.

Um dos exemplos bem conhecidos e discutidos de sucesso de controle biológico de patógenos veiculados pelo solo é o controle de *Phytophthora* em abacateiro, com a introdução de matéria orgânica na superfície do solo. Com a introdução da matéria orgânica, existe a manutenção de um equilíbrio do solo e a ação de microartrópodos (colembolos), fungos e bactérias. Assim, com o possível aumento da temperatura média, ocorrerá uma decomposição da matéria orgânica mais acelerada, bem como a alteração no equilíbrio entre os organismos, sendo improvável a manutenção do mesmo equilíbrio. As conseqüências são desconhecidas, mas, se mantidas as características da planta, bem como o nível de controle, possivelmente o aporte de matéria orgânica no sistema deverá ser incrementado para suprir a demanda dos organismos.

Uma das expectativas de Siqueira et al. (2001) é que poderá ocorrer maior acidificação dos solos com as mudanças climáticas. Se essa expectativa for confirmada, com certeza o controle biológico natural de patógenos de solo passará por alterações, pois a biodiversidade poderá ser reduzida (NOSENGO, 2003). Entre os agentes de controle biológico, existentes naturalmente nos solos, encontram-se os actinomicetos. Esses organismos, como todos os demais microrganismos do solo, são dependentes do pH. Assim, uma redução na atividade desse grupo de organismo possivelmente levará a um aumento de problemas com doenças causadas por *Fusarium*. Entretanto, há a necessidade de se considerar se essa potencial redução no pH do solo não será compensada pelo aumento das atividades microbianas.

A disponibilização de N, no solo, causa alterações na comunidade de organismos, pois afeta sua multiplicação, as atividades enzimáticas e outros processos, podendo alterar o equilíbrio microbiano existente e, com isso, afetar o controle biológico. Outro aspecto a ser considerado é a alteração no equilíbrio nutricional, pois os demais nutrientes, como o potássio, o cálcio e o magnésio, poderão ser limitantes se não suplementados.

Patógenos da parte aérea

A comunidade microbiana da filosfera consiste, basicamente, de bactérias e leveduras. A sucessão ecológica no filosfera inicia com as bactérias, posteriormente com o domínio das leveduras e, finalmente, os fungos relacionados com a senescência (BLAKEMAN, 1985). Assim, as populações desses organismos são alteradas com a idade das plantas, as fontes de nutrientes na filosfera e com as estações do ano. Além disso, os tratos culturais podem alterar a comunidade de organismos nesse ambiente. Podem ainda também ser abruptamente alteradas ocasionalmente por algum evento ambiental (SMITH, 1976). Essas alterações, no tempo e por fatores antrópicos,

causarão alterações na ocorrência de doenças de plantas, pois são importantes organismos relacionados com o equilíbrio na filosfera, competindo com os fitopatógenos, produzindo hormônios de crescimento e fitoalexinas, fixando nitrogênio, degradando substâncias presentes no filoplano, entre outras atividades.

Saunders (1971) afirma que os efeitos dos poluentes, na superfície da folha e em seus ambientes, são similares a alguns efeitos causados pelos agrotóxicos, alterando a composição da microbiota por eliminação de membros sensíveis da comunidade e por prover espaço adicional para os membros resistentes. Entretanto, quando afirmaram isso, em setembro de 1970, em simpósio realizado na Universidade de Newcastle, Inglaterra, os problemas com poluentes estavam num grau consideravelmente menor do que os atuais.

Smith (1976), no capítulo intitulado Air pollution - effects on the structure and function of plant-surface microbial-ecosystems, do livro editado por Dickinson e Preece (1976) *Microbiology of aerial plant surfaces*, marco na microbiologia da parte aérea das plantas, discute que as ramificações da poluição do ar podem ser globais na natureza, mas que efeitos agudos são geralmente regionais ou fenômenos locais associados a estradas, instalações comerciais ou industriais e áreas urbanas. Entretanto, nesse período ainda não se discutiam os efeitos das mudanças climáticas globais causadas pelas atividades antrópicas.

Os poluentes podem reduzir o crescimento dos microrganismos e estimular ou matar espécies individualmente, reduzindo ou aumentando a biomassa microbiana (SMITH, 1981). Dessa forma, ocorre alteração na microbiota da superfície foliar, aumentando ou diminuindo as doenças, devido às mudanças nas relações com os saprófitas. Ainda de acordo com Smith (1981), microrganismos que normalmente se desenvolvem na superfície das plantas podem ser especialmente sujeitos à influência de poluentes. Assim, se a comunidade de organismos agentes de controle biológico natural que desenvolvem nas folhas for afetada pelas mudanças climáticas, com certeza ocorrerão alterações no controle biológico natural. Entretanto, a previsão se positiva ou negativa é extremamente difícil de ser feita com o atual nível de conhecimento.

O ambiente na filosfera apresenta maior variabilidade do que o ambiente na rizosfera, sendo que o conhecimento das interações entre patógenos, hospedeiros e comunidade de microrganismos associados à filosfera é indispensável em todos os estudos de controle biológico de doenças da parte aérea. Como esses organismos são influenciados pelo ambiente, o controle biológico da filosfera é influenciado tanto pelo clima,

quanto pelo microclima da superfície da planta que estão em constantes alterações. Dessa forma, as mudanças climáticas globais influenciarão mais acentuadamente o controle biológico na parte aérea do que no solo, pois os organismos neste ambiente são mais expostos às alterações de umidade e temperatura e às radiações. Além disso, o aumento da concentração de CO_2 e de outros poluentes poderá causar alterações nas características químicas dos microsítios das folhas, na disponibilidade de nutrientes aos microrganismos e também nas características de hospitabilidade aos bioagentes.

Segundo Blakeman (1985), possivelmente a umidade relativa do ar e a da filosfera sejam os fatores mais importantes que influenciam o crescimento e a sobrevivência de organismos na superfície foliar da planta. Como a expectativa é de que as plantas apresentem um maior desenvolvimento com o aumento da concentração de CO_2, poderá ocorrer aumento da densidade da copa e, assim, a umidade nesse ambiente ser menos afetada pelas mudanças climáticas. Se isso ocorrer, possivelmente, os organismos agentes de controle biológico natural dessę ambiente serão menos afetados. Entretanto, precisam ser consideradas as alterações como um todo e as interações entre elas e os agentes de biocontrole. Além disso, em algumas regiões, com alterações no regime das chuvas, poderá ocorrer que o ambiente, de um modo geral, atinja umidade relativa baixa e, dessa forma, as condições serão inóspitas para os agentes de biocontrole.

Os poluentes do ar influenciam os sistemas biológicos direta e indiretamente e interativamente (Fig. 3). A influência interativa deve ser especialmente importante na natureza onde misturas de poluentes são comuns (SMITH, 1976). Didaticamente, Smith (1976) divide em três classes as relações entre contaminantes atmosféricos e microrganismos na superfície da plantas: sob exposição à baixa, intermediária e alta dose dos poluentes (Tabela 2). Os aspectos importantes, apresentados na Tabela 2, são as respostas dos microrganismos, os impactos no ecossistema microbiano, bem como a resposta do hospedeiro a essas exposições. Smith (1976) conclui que o filoplano e outras superfícies das plantas provêm habitats para vários microrganismos que interferem nos compartimentos atmosféricos e vegetativos, e que nessa posição os microrganismos são expostos aos poluentes e vulneráveis às suas influências. Assim, aplicando os conceitos de ecossistemas à microbiota do filoplano, é possível estabelecer as potenciais alterações na estrutura e na função da comunidade microbiana na superfície foliar causadas pelos poluentes. Já em 1976, ele conclui ainda que o aumento do entendimento dessas relações é requerido e justificado. Mas, até o momento, dispõe-se de poucas informações sobre os efeitos dos

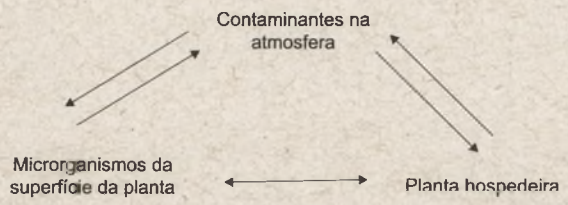


Fig. 3. Interação de contaminantes na atmosfera, microrganismos na superfície das plantas e plantas hospedeiras, num complexo modelo na natureza (SMITH, 1976).

poluentes sobre a comunidade de organismos na superfície foliar que permita tirar conclusões sobre seus efeitos no controle biológico de doenças de plantas. Dessa forma, serão feitas especulações sobre os potenciais efeitos.

Skidmore (1976) considerou que, nas folhas de uma variedade de plantas de clima temperado, as espécies de fungos que comumente ocorrem são membros das Cryptococcaceae (*Rhodotorula, Cryptococcus* e *Torulopsis*), *Sporobolomycetaceae* (*Sporobolomyces* e *Tilletiopsis*) e *Aureobasidium pullulans*, na forma leveduriforme. Atualmente, o conhecimento indica o papel dessas leveduras no controle de patógenos da parte aérea, principalmente por competição.

Valarini et al. (2006), utilizando discos de folhas para determinar a comunidade de leveduras no filoplano de plantas, verificaram que folhas de ipê (*Tabebuia ipe*), originárias de regiões centrais e próximas de cidades, apresentavam um reduzido número de colônias de leveduras quando comparadas com as folhas originárias de regiões rurais. Esse fato demonstra que ocorrem alterações, na filosfera, na presença de poluentes de diversas naturezas. Essas alterações são importantes para o controle biológico natural, pois as leveduras desempenham um importante papel no controle biológico de doenças do filoplano e são sensíveis aos poluentes. As leveduras agem, preferencialmente, por competição por nutrientes e por indução de resistência. Fokkema e Meulen (1976) obtiveram redução de 50 % ou mais na infecção de folhas de trigo por *Septoria nodorum* com aplicação de *Sporobolomyces roseus, Aureobasidium pullulans* e *Cryptococcus laurentii* var. *florescens*, residentes na filosfera de trigo. Também Luz (1985) verificou que leveduras do filoplano de trigo controlaram manchas fúngicas foliares de trigo, tanto em condições controladas, como em campo. O potencial de leveduras em induzir resistência de plantas a fungos fitopatogênicos foi discutido por Stangarlin e Pascholati (1994) e outros.

A indução de resistência do hospedeiro é o mecanismo que deve estar relacionado com a maior porcentagem do controle biológico natural na filosfera. O nível de resistência das plantas pode ser alterado pelas condições ambientais (PASCHOLATI; LEITE, 1994). Em todos os cenários de mudanças climáticas, existe um apontamento para o aumento da temperatura do planeta em muitas regiões. Esse aumento, com certeza, alterará a resposta das plantas

Tabela 2. Influência da poluição do ar no ecossistema microbiano da superfície da planta (SMITH, 1976).

Classe	Dose da poluição do ar	Resposta do microrganismo	Impacto sobre o ecossistema microbiano	Reação da planta hospedeira
I	Baixa	1. Ação sobre as fontes de contaminantes do ar 2. Ação sobre a diminuição de contaminantes do ar	1. Nenhum efeito ou potencialmente alguma influência alelopática 2. Nenhuma ou mínima alteração fisiológica ou potencialmente alguma fertilização ou estímulo	
II	Média	1. Metabolismo anormal, alteração na pigmentação, na morfologia e na atividade enzimática 2. Redução na reprodução (redução na competitividade): a) redução na produção de esporo ou dispersão b)redução ou decaimento na geminação de esporos 3. Redução no crescimento (produtividade e competitividade reduzidas): a) atraso vegetativo b) inibição vegetativa	1. Perturbação não significativa ou muito pequena 2. Alteração na composição e sucessão das espécies 3. Redução na biomassa microbiana, alteração na estrutura e na função (fluxo de energia, ciclagem de nutrientes, competição e sucessão)	Alteração na microbiota da superfície, alteração na relação com saprófitas, aumento/redução de doenças causadas por parasitas
III	Alta	1. Estímulo de espécies individuais 2. Aguda morbilidade de espécies individuais 3. Mortalidade de espécies individuais	1. Aumento da biomassa microbiana, alteração na estrutura e função 2. Redução na biomassa microbiana, alteração na estrutura e função 3. Simplificação	Alteração na microbiota da superfície, alteração na relação com saprófitas, aumento/redução de doenças causadas por parasitas

às doenças, seja devido à própria composição genética do hospedeiro, seja por alterações causadas na comunidade de organismos que induzem resistência. Mayama et al. (1975) verificaram que cultivares de trigo com o alelo *Sr6*, para resistência a *Puccinia graminis*, exibem alta resistência a 20 °C, porém apresentam suscetibilidade ao patógeno a 25 °C.

Ribeiro et al. (1978) verificaram que o tratamento de folhas de café, inoculadas com *Hemileia vastatrix* por 4h a 40 °C, durante quatro dias consecutivos, preveniu o desenvolvimento de urediniosporos em cultivar suscetível. Rodrigues Junior (1984) também discutiu as alterações na resistência e na suscetibilidade de cafeeiros submetidos a diferentes temperaturas.

Além do aspecto da funcionalidade dos genes relacionados com a resistência do hospedeiro e da agressividade do patógeno, precisa ser considerada a alteração da funcionalidade dos genes dos antagonistas. Assim, possivelmente, os organismos que têm a ação relacionada com a produção de alguma substância poderão sofrer maiores conseqüências do que aqueles que agem por predação e competição.

Bradshaw e Holzapfel (2006) discutiram que os efeitos do rápido aquecimento climático têm chegado ao nível de genes em diversos grupos de organismos. Essas alterações nas populações afetam os ciclos dos principais eventos da vida, isto é, desenvolvimento, reprodução, dormência e migração. Os microrganismos que apresentam curtos ciclos de vida e grandes populações, provavelmente, se adaptarão rapidamente. Entretanto, não se tem conhecimento da forma que será a nova estrutura e o novo funcionamento das interações de hospedeiro-patógeno-agentes de biocontrole-ambiente.

Possíveis efeitos sobre os antagonistas comercializados

Considerando que a elevação da temperatura da Terra e a alteração na umidade já são sentidas com as mudanças climáticas globais, e também considerando que os microrganismos, de modo geral, são dependentes desses fatores ambientais, pode-se afirmar que tanto a diversidade quanto as atividades dos antagonistas serão alteradas. Apenas o fator temperatura pode inviabilizar a multiplicação, a distribuição geográfica, bem como a produção de metabólitos dos antagonistas e, por que não, a sua sobrevivência. Dentre os antagonistas bem estudados, encontram-se as bactérias do gênero *Bacillus*. Essas bactérias, apesar de serem afetadas pela temperatura, têm uma faixa de desenvolvimento adequada relativamente ampla. Assim, esse seria um grupo de organismos que possivelmente não

teria problemas sérios com as elevações de temperatura. Logicamente haveria uma alteração na sua distribuição. *Trichoderma* spp., que também têm isolados que crescem em ampla faixa de temperatura, possivelmente não apresentarão problemas de eficiência. Entretanto, para os dois organismos, o efeito da umidade é importante. Por outro lado, em organismos mais sensíveis à temperatura, como *Conyothirium* (MELO, 1998), uma elevação de 5 °C na temperatura poderá afetar a sua sobrevivência e a capacidade de antagonismo. *Chlonostachys rosea,* antagonista comumente encontrado em diferentes condições climáticas (SUTTON et al., 1997), dependendo da região, poderá ter sua eficiência no controle de doenças alterada, pois a faixa adequada está situada entre 15 °C e 25 °C (SUTTON et al., 1997; MORANDI et al., 2001).

Controle biológico em sistemas convencional e orgânico

A proteção de plantas com métodos convencionais, por meio do uso de agrotóxicos, apresenta características bastante atraentes, como a simplicidade, a previsibilidade e a necessidade de pouco entendimento dos processos básicos do agroecossistema para a sua aplicação. Por exemplo, para obter-se sucesso com a aplicação de um fungicida de amplo espectro é importante o conhecimento de como aplicar o produto, sendo necessárias poucas informações sobre a ecologia e a fisiologia das espécies envolvidas. Assim, Stacey (2003) acredita que o uso de fertilizantes químicos, de agrotóxicos e de variedades geneticamente modificadas poderão prover algum tampão às mudanças climáticas na agricultura convencional. Muitos estudos de controle biológico adotam uma abordagem semelhante ao controle químico, em que é enfatizado o encontro entre patógeno-antagonista, sendo inclusive a forma de se realizar o controle biológico em sistemas convencionais. Nesses casos, após a introdução, por exemplo, de um agente microbiano de controle biológico, haverá o seu estabelecimento em um nicho, seguido da interação com o organismo alvo e outras espécies de organismos. Essas complexas interações são fundamentais para o sucesso do controle, devendo ser analisadas de modo holístico e consideradas a longo, e não a curto prazo. Assim sendo, há a necessidade de um amplo conhecimento da ecologia de sistemas (ATKINSON; MCKINLAY, 1995). Entretanto, uma adequada seleção ou um melhoramento de antagonistas para o novo ambiente poderá manter o sucesso da técnica.

Em contraste com a agricultura convencional, os sistemas alternativos, entre eles o orgânico, buscam obter vantagens das interações de ocorrência natural. Os sistemas alternativos dão ênfase ao manejo das relações

biológicas, como a antibiose, a competição, a predação e o parasitismo, e a processos naturais, como a fixação biológica do nitrogênio ao invés do uso de métodos químicos. O objetivo é aumentar e sustentar as interações biológicas nas quais a produção agrícola está baseada, ao invés de reduzir e simplificar essas interações (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989). Dessa forma, Stacey (2003), discutindo os possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre o controle biológico de pragas em sistemas orgânicos em clima temperado, considera que a agricultura orgânica poderá ser mais afetada do que a convencional, isso por ser mais dependente das fontes internas do sistema e, conseqüentemente, mais sensível às mudanças climáticas, pois potencialmente todas as interações poderão ser afetadas. Entretanto, precisa ser considerado que, devido à complexidade dos sistemas orgânicos, com numerosas interações mantendo o seu equilíbrio, esse sistema poderá ser menos afetado por essas mudanças.

Em relação aos patógenos de solo, em cultivo orgânico em clima tropical, é possível que as mudanças climáticas não afetarão consideravelmente a ocorrência desses patógenos, que normalmente não vêm sendo limitantes para os cultivos orgânicos, pois nesses o aporte de matéria orgânica ao solo é considerável e a atividade microbiana intensa. Por outro lado, os patógenos da parte aérea poderão sofrer maiores interferências, porém dependentes da fisiologia do hospedeiro, pois também para esses patógenos a complexidade será fator indispensável para evitar perdas. Entretanto, as indicações de Stacey (2003) sobre a necessidade de estudos nas condições ecológicas de cultivo são indispensáveis para avaliar o potencial efeito das mudanças climáticas sobre o controle biológico.

Segundo Bettiol e Ghini (2003), o desenvolvimento da proteção de plantas, em sistemas alternativos de cultivo com maior grau de sustentabilidade, requer estudos sobre a estrutura e o funcionamento dos agroecossistemas, com atenção especial às condições nutricionais e à biota do solo, à biodiversidade funcional, à elevação dos teores de matéria orgânica do solo e a outros fatores que permitam um adequado manejo dos sistemas produtivos. Esses aspectos serão ainda mais importantes nos cenários apresentados com as mudanças climáticas.

Considerações finais

Considerando o mapa de temperaturas médias previstas para o Brasil (Capítulo 2), o controle biológico pela introdução massal de bioagentes de controle deverá ser beneficiado nas regiões Sul e Sudeste, pois manterá por

um período maior as temperaturas adequadas para o seu desenvolvimento. Entretanto, para as regiões Norte e Nordeste, bem como para a Centro-Oeste, diversos agentes tornar-se-ão inadequados para uso. Assim, obrigatoriamente, para se ter sucesso com essa modalidade de controle, haverá maior necessidade de se selecionar organismos devidamente adaptados para essas regiões. Tal aspecto está sendo trabalhado pelas instituições produtoras de agentes de biocontrole.

Entretanto, ocorrerão problemas se, aliada à temperatura, ocorrer a redução da precipitação e, como conseqüência, maiores períodos de seca. Assim, será exigida uma seleção de antagonistas que considere esses aspectos e o desenvolvimento de práticas culturais que permitam a efetiva atuação desses microrganismos.

No Brasil, o efeito de condições climáticas sobre a eficiência de agentes de controle biológico foi bem relatado por Warwick (2001), que demonstrou os efeitos do regime de chuva e da hora do dia de aplicação de *Acremonium vittelinum* e *A. persicinum*, para o controle da lixa-do-coqueiro causada por *Catacauma torrendiella* e *C. palmicola*.

O mais importante a ser considerado, quando se discutem os efeitos das mudanças climáticas globais sobre o controle biológico, é conhecer quais serão as respostas das doenças de plantas a essas mudanças. Essas respostas é que permitirão conclusões sobre o que poderá acontecer ao biocontrole, tanto natural, quanto pela introdução de bioagentes.

Mudanças climáticas forçam as espécies de todos os seres vivos a se ajustarem ou se adaptarem. Entretanto, como as mudanças climáticas estão ocorrendo num espaço de tempo relativamente curto, necessita ser considerado se as espécies não serão eliminadas antes de se adaptarem às novas condições. Como as previsões atuais para significativas mudanças já são para o ano 2020, talvez não haja tempo suficiente para a adaptabilidade das plantas cultivadas pela agricultura e também para os organismos que co-evoluíram com elas, como os fitopatógenos e os agentes de biocontrole.

A previsão do que ocorrerá a um ecossistema com a introdução de qualquer fonte de mudança não é uma tarefa simples, pois todo o sistema sofre alterações na tentativa de caminhar para um equilíbrio. No caso de mudanças climáticas e suas alterações nas comunidades de organismos, tanto do solo, como da parte aérea das plantas, a previsão está muito longe de ser visualizada. Assim, nesse momento, qualquer que seja a conclusão do capítulo, os riscos de erros são enormes. Pode-se afirmar que as mudanças climáticas serão benéficas para o controle biológico, tanto natural, quanto ao introduzido, pois as atenções da sociedade para os problemas ambientais

exigirão o caminhamento em direção a um determinado equilíbrio. Mesmo que não se conheça, corretamente, qual equilíbrio deseja-se atingir, a tendência é minimizar o lançamento de poluentes. Com isso, o equilíbrio biológico dos sistemas agrícolas será beneficiado, levando a um aumento da complexidade do sistema e, conseqüentemente, ao controle biológico.

Referências

ANDERSON, T. R.; PATRICK, Z. A. Mycophagous amoeboid organisms from soil that perforate spores of *Thielaviopsis basicola* and *Cochliobolus sativus*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 68, p.1618-1626, 1978.

ANDERSON, T. R.; PATRICK, Z. A. Soil vampyrellid amoebae that cause small perforations in conidia of *Cochliobolus sativus*. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 12, p.159-167,1980.

ATKINSON, D.; MCKINLAY, R. G. Crop protection in sustainable farming systems. In: MCKINLAY, R. G.; ATKINSON, D. **Integrated crop protection:** towards sustainability. Farnham: British Crop Protection Council, 1995. p. 483-488. (BCPC Symposium Proceedings, 63).

AUER, C. G.; KRUGNER, T. L. Potencial de controle de doenças de plantas com fungos ectomicorrízicos. In: BETTIOL, W. (Ed.). **Controle biológico de doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1991. p. 71-85.

BAKER, K. F.; COOK, R. J. **Biological control of plant pathogens**. San Francisco: Freeman and Company, 1974. 433 p.

BETTIOL, W. Componentes do controle biológico de doenças de Plantas. In: BETTIOL, W. (Ed.). **Controle biológico de doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1991. p. 1-5.

BETTIOL, W.; GHINI, R. Proteção de plantas em sistemas agrícolas alternativos. In: CAMPANHOLA, C.; BETTIOL, W. **Métodos alternativos de controle fitossanitário**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. p. 79-95.

BETTIOL, W.; GHINI, R. Solos supressivos. In: MICHERREF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: UFRPE, 2005. p. 125-152,

BLAKEMAN, J. P. Biological succession of leaf surface microorganisms in relation to biological control. In: WINDELS, C. E.; LINDOW, S. E. (Ed). **Biological control on the phyllophane**. St Paul: APS, 1985. p. 6-30.

BOLAND, G. J.; MELZER, M. S.; HOPKIN, A.; HIGGINS, V.; NASSUTH, A. Climate change and plant diseases in Ontario. **Canadian Journal of Plant Pathology**, Ottawa, v. 26, p. 335-350, 2004.

BRADSHAW, W. E.; HOLZAPTEL, C. M. Evolutionary response to rapid climate change. **Science**, Washington, v. 312, p. 1477-1478. 2006.

BROADMEADOW, M.; RANDLE, T. The impacts of increased CO_2 concentrations on tree growth and function. In: BROADMEADOW, M. (Ed.). **Climate change**: impacts on UK forests. Edinburgh: ICF, 2002. p. 119-148.

CHAKRABORTY, S. Population dynamics of amoebae in soils suppressive and non-suppressive to wheat take all. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.15, p. 661-664. 1983.

CHAKRABORTY, S. Survival of wheat take-all fungus in suppressive and non-suppressive soils. **Pedobiologia**, Jena, v.28, p.13-18, 1985.

CHAKRABORTY, S.; OLD, K. M.; WARCUP, J. H. Amoebae from a take-all suppressive soil which feed on *Gaeumannomyces graminis tritici* and other soil fungi. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.15, p.17-24, 1983.

CHEN, W.; HOITINK, H. A. J.; MADDEN, L. V. Microbial activity and biomass in container media for predicting suppressiveness to damping-off caused by *Pythium ultimum*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 78, p. 1447-1450, 1988a.

CHEN, W.; HOITINK, H. A. J.; SCHMITTHENNER, F.; TUOVINEN, O. H. The role of microbial activity in suppression of damping-off caused by *Pythium ultimum*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 78, p. 314-322, 1988b.

COAKLEY, S. M.; SCHERM, H.; CHAKRABORTY, S. Climate change and plant disease management. **Annual Review Phytopathology**, Palo Alto, v. 37, p. 399-426, 1999.

COOK, R. J. Biological control of the pathogens: theory to application. **Phytopathology**, St. Paul, v. 75, n. 1, p. 25-29, 1985.

COOK, R. J.; BAKER, K. F. **The nature and practice of biological control of plant pathogens**. St. Paul: APS, 1983. 539 p.

DWIVEDI, R. S. Role of soil amoebae in take-all decline of wheat. **Indian Phytopathology**, New Delhi, v. 39, p.550-560, 1986.

FOKKEMA, N. J.; MEULEN, F. van der. Antagonism of yeast like phyllosphere fungi against *Septoria nodorum* on wheat leaves. **Netherlands Journal of Plant Pathology**, Wageningen, v. 82, p. 13-16, 1976.

GARRETT, K. A.; DENDY, S. P.; FRANK, E. E.; ROUSE, M. N.; TRAVERS, S. E. Climate change effects on plant disease: Genomes to ecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 44, p. 489-509, 2006.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

GRÜTER, D.; SCHMID, B.; BRANDL, H. Influence of plant diversity and elevated atmospheric carbon dioxides level on belowground bacterial diversity. **BMC Microbiology,** v. 6; p. 68-75, 2006.

HABTE, M.; ALEXANDER, M. Protozoa as agents responsable for the decline of *Xanthomonas campestris* in soil. **Applied Microbiology**, Washington, v. 29, p.159-164, 1975.

HOITINK, H. A. J.; FAHY, P. C. Basis for the control of soilborn plant pathogens with composts. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 24, p. 93-114, 1986.

HOMMA, Y.; ISHII, M. Perforation of hyphae and sclerotia of *Rhizoctonia solani* Kuhn by mycophagous soil amoebae from vegetable field soils in Japan. **Annals of the Phytopathological Society of Japan,** Tokyo, v. 50, p. 229-240, 1984.

INBAR, Y.; BOEHM, M. J.; HOITINK, H. A. J. Hydrolysis of fluorescein diacetate in sphagnum peat container media for predicting suppressiveness to damping-off caused by *Pythium ultimum*. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 23, p. 479-483, 1991.

LONSDALE, D.; GIBBS, J. Effects of climate change on fungal diseases of trees. In: BROADMEADOW, M. (Ed.). **Climate change:** impacts on UK forests. Edinburgh: ICF, 2002. p. 83-97.

LUZ, W. C. Efeito de microrganismos do filoplano sobre as manchas fúngicas foliares de trigo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.10, p. 79-84, 1985.

MAYAMA, S.; DALY, J. M.; REHFELD, D. W.; DALY, C. Hypersensitive response of near-isogenic wheat carrying the temperature-sensitive *Sr6* allele for resistance to stem rust. **Physiology Plant Pathology**, London, v. 7, p. 35-47, 1975.

MELO, I. S. Agentes microbianos de controle de fungos fitopatogênicos. In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. **Controle biológico**. Jaguariúna: Embrapa, 1998. p. 17-68.

MONZ, C. A.; HUNT, H. W.; REEVER, F. B.; ELLIOTT, E. T. The response of mycorrhizae colonization to elevated CO_2 and climate change in *Pascopyrum smithii* and *Boteloua gracilis*. **Plant and Soil**, The Hague, v. 165, p. 75-80, 1994.

MORANDI, M. A. B.; MAFIA, L. A.; SUTTON, J. C. Development of *Clonostachys rosea* and interations with *Botrytis cinerea* in rose leaves and residues. **Phytoparasitica**, Bet Dagan, v. 29, p. 103-113, 2001.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Alternative agriculture**. Washington, D.C.: National Academy Press, 1989. 448 p.

NOSENGO, N. Fertilized to death. **Nature**, London, v. 425, p. 894-895, 2003.

PASCHOLATI, S. F.; LEITE, B. Mecanismos bioquímicos de resistência às doenças. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 2, p. 1-51, 1994.

PERCY, K. E.; AWMACK, C. S.; LINDROTH, R. L.; KUBISKE, M. E.; KOPPER, B. J.; ISEBRANDS, J. G.; PREGITZER, K. S.; HENDREY, G. R.; DICKSON, R. E.; ZAK, D. R.; OKSANEN, E.; SOBER, J.; HARRINGTON, R.; KARNOSKY, D. F. Altered performance of forest pests under atmospheres enriched by CO2 and O3. **Nature**, London, v. 420, p. 403-407, 2002.

REZÁCOVÁ, V.; BLUM, H.; HRSELOVÁ, H.; GAMPER, H.; GRYNDLER, M. Saprobic microfungi under *Lolium perenne* and *Trifolium repens* at different fertilization intensities and elevated atmospheric CO2 concentration. **Global Change Biology**, Berne, v. 11, p. 224-230, 2005.

RIBEIRO, I. J. A.; MÔNACO L .C. TISSEL FILHO, O.; SUGIMORI, M. H. Efeito de alta temperatura no desenvolvimento de *Hemileia vastatrix* em cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 37, p. 11-16, 1978.

RILLIG, M. C.; ALLEN, M. F. Arbuscular mycorrhizae of *Gutierrezia sarothrae* and elevated carbon dioxide: evidence for shifts in C allocation to and within the mycobiont. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 30, p. 2001-2008, 1998.

RODRÍGUEZ-KABANA, R.; CALVET, C. Capacidad del suelo para controlar enfermidades de origen edafica. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 19, p. 129-138, 1994.

RODRIGUES JUNIOR, C. J. Coffee rust races and resistance. In: FULTON, R. H. **Coffee rust in the Americas**. St Paul: APS, 1984. p. 41-58.

RØNN, R.; EKELUND, F.; CHRISTENSEN, S. Effects of elevated atmospheric CO_2 on protozoan abundance in soil planted with wheat and on decomposition of wheat roots. **Plant and Soil**, The Hague, v. 251, p. 13-21, 2003.

RØON, R.; GAVITO, M.; LARSEN, J.; JAKOBSEN, I.; FREDERIKSEN, H.; CRISTENSEN, S. Response of free-living protozoa soil and microorganisms to elevated atmospheric CO2 and presence of mycorrhiza. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 34, p. 923-932, 2002.

SAUNDERS, P. J. W. Modification of the leaf surface and its environment by pollution. In: PREACE, T. F.; DICKINSON, C. H. **Ecology of leaf surface micro-organisms**. London: Academic Press, 1971. p. 81-89.

SIQUEIRA, O. J. W.; SALLES, L. A. B.; FERNANDES, J. M. Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. (Ed.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 33-63.

SKIDMORE, A. M. Interactions in relation to biological control of plant pathogens. In: DICKINSON, C. H.; PREECE, T. F. **Microbiology of aerial plant surfaces**. London: Academic Press, 1976. p. 507-528.

SMITH, W. H. Air pollution - effects on the structure and functions of plant-surface microbial-ecosystems. In: DICKINSON, C. H.; PREECE, T. F. **Microbiology of aerial plant surfaces**. London: Academic Press, 1976. p. 75-105.

SMITH, W. H. **Air pollution and forests**: interactions between air contaminants and forest ecosystems. New York: Springer-Verlag, 1981.

STACEY, D. A. Climate and biological control in organic crops. **International Journal of Pest Management**, London, v. 49, p. 205-214, 2003.

STADDON, P. L.; HEINCMEYER, A.; FITTER, A. H. Mycorrizas and global environmental change: research at different scales. **Plant and Soil**, The Hague, v. 244, p. 252-261, 2002.

STANGARLIN, J. R.; PASCHOLATI, S. F. Proteção de plântulas de milho pipoca contra *Exserohilum turcicum* pelo uso de *Saccharomyces cerevisae*. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 20, p. 16-21, 1994.

SUTTON, J. C.; LI, D.; PENG, G.; YU, H.; ZHANG, P.; VALDEBENITO-SANHUEZA, R. M. *Gliocladium roseum* a versatile adversary of *Botrytis cinerea* in crops. **Plant Disease**, St. Paul, v. 81, p. 316-328, 1997.

VALARINI, G.; MELO, I. S.; VALARINI, M. J. Utilização de leveduras habitantes de superfície de folha como bioindicador de poluição do ar. In: SIMPÓSIO MINEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 2., 2006, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2006. CD-ROM.

VERHOEF, H. Soil biota and activity. In: DOELMAN, P.; EIJSACKERS, H. **Vital soil**: function, value and properties. Amsterdan: Elsevier, 2004. p. 99-125.

WARWICK, D. R. N. Colonização de estromas de *Sphaerodothis acrocomiae* agente causal da lixa grande do coqueiro por *Acremonium persicinum*. **Fitopatologia Brasileira**, Fortaleza, v. 26, p. 220, 2001.

ZAMBOLIM, L. Potencial de fungos micorrízicos vesículo-arbuscular no controle de fitopatógenos e implicações com a nutrição fosfatada. In: BETTIOL, W. (Ed). **Controle biológico de doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1991. p. 87-120.

Capítulo 19

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre o controle químico de doenças de plantas

Raquel Ghini

Introdução

O controle químico de doenças de plantas constitui, para muitos problemas fitossanitários, a principal medida de controle. A sociedade tem pressionado os mercados em favor de alimentos produzidos sem o uso de agrotóxicos, ou com certificados de que esses foram utilizados adequadamente, e, ao mesmo tempo, pressiona por maiores produtividades. Em curto prazo, o controle químico deverá continuar a ser um dos responsáveis pela alta produtividade de várias culturas. Tal prática é essencial quando estão esgotadas todas as medidas preventivas, como a rotação de culturas, a escolha da época e do local de plantio, ou quando não há variedades resistentes ou outros métodos alternativos economicamente viáveis para o controle da doença.

Quando utilizado adequadamente, trata-se de um método eficaz, com resultados imediatos e consistentes. Por essas características, se comparado com outros métodos de controle de doenças de plantas, o controle químico deverá ser o menos afetado pelas mudanças climáticas. O controle químico é mais flexível e móvel, segundo Stacey (2003), que os métodos usados na agricultura orgânica, cujas características dificultam mudanças rápidas na população da praga ou do patógeno. O modo de ação dos diversos ingredientes ativos, de um modo geral, depende pouco do ambiente, porém outros fatores envolvidos no uso e na eficiência dos produtos podem ser afetados.

As mudanças climáticas causarão alterações na distribuição geográfica e época de ocorrência de doenças e, como conseqüência, o controle químico deverá acompanhar a nova realidade. Mudanças na temperatura e precipitação podem alterar a dinâmica de resíduos de fungicidas na parte aérea das plantas e a degradação dos produtos pode ser modificada. Alterações na morfologia ou fisiologia das plantas, resultantes do crescimento em atmosfera com maior concentração de CO_2 ou diferentes condições de temperatura e precipitação, podem afetar a absorção, o translocamento e o metabolismo de fungicidas sistêmicos. Além disso, as mudanças no crescimento das plantas podem alterar o período de maior suscetibilidade das plantas aos patógenos, o que poderá determinar um novo calendário de aplicação de fungicidas (COAKLEY et al., 1999; CHAKRABORTY; PANGGA, 2004; PRITCHARD; AMTHOR, 2005). Poucos trabalhos discutem como o controle químico será afetado, apesar da importância de todos esses impactos.

Este capítulo abordará os efeitos das mudanças climáticas sobre o mercado de fungicidas e sobre a eficácia e o uso dos produtos, com a finalidade de demonstrar a necessidade de estudos a respeito do manejo de doenças de plantas nas próximas décadas.

Alterações no mercado de fungicidas

O mercado de agrotóxicos envolve grandes interesses econômicos. No Brasil, no ano de 2004, o valor comercializado foi de, aproximadamente, 4,5 bilhões de dólares, dos quais os fungicidas foram responsáveis por 31 %, os herbicidas representaram 40 %, e os inseticidas, 24 % (SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA AGRÍCOLA, 2004). Trata-se de um mercado extremamente dinâmico, sujeito às alterações decorrentes do aparecimento de novas doenças, como as epidemias de ferrugem-da-soja (causada por *Phakopsora pachyrhizi*) que foram responsáveis pelo aumento das vendas nos últimos anos, assim como as causadas por flutuações nos preços dos produtos agrícolas, que podem estimular ou retrair as vendas. A quantidade de produto comercial, ou ingrediente ativo, ou valor de vendas de fungicidas para cada cultura varia de ano para ano, como resultado da influência de todos esses fatores no mercado (Tabelas 1 e 2). Também há variação quanto aos produtos químicos comercializados, devido à descoberta de novas moléculas ou à retirada de produtos de pouco interesse do mercado.

Cheng e McCarl (2001) realizaram uma análise de regressão entre o uso de agrotóxicos (fornecidos pelo United States Department of Agriculture - Usda) e as variações do clima em diversas localidades dos Estados Unidos, a partir de dados climáticos disponibilizados pela National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA). A intenção foi quantificar as alterações no gasto com agrotóxicos no clima futuro, por meio de uma avaliação econômica, tendo como premissa o fato do aumento da incidência de um determinado problema fitossanitário resultar em maiores gastos com o controle químico e vice-versa. As culturas estudadas foram milho, algodão, batata, soja e trigo. Diversos herbicidas e inseticidas foram incluídos no trabalho, porém os fungicidas (chlorotalonil, mancozeb, maneb e metalaxyl) são os usados somente na cultura da batata. Os autores concluíram que aumentos na precipitação causarão aumentos no custo de agrotóxicos, por área, para as cinco culturas. Aumentos na temperatura causarão incrementos no custo de agrotóxicos para as culturas de batata, milho, soja e algodão, porém haverá redução para o trigo.

Alterações no cenário fitossanitário no Brasil devem resultar em mudanças no consumo de fungicidas nas diversas culturas. A soja, por exemplo, deteve mais de 60 % do valor comercializado com fungicidas no País no ano de 2004. Qualquer alteração na ocorrência de doenças dessa cultura terá reflexos imediatos na comercialização de fungicidas. Se, no futuro, ocorrerem condições climáticas desfavoráveis à ocorrência da ferrugem-asiática, por exemplo, certamente causarão alterações no mercado de fungicidas.

Tabela 1. Quantidade de ingrediente ativo de fungicidas (t) comercializados no Brasil, no período de 2000 a 2004.

Cultura	2000	2001	2002	2003	2004
Algodão	518	565	554	526	1.107
Alho	33	36	51	54	45
Amendoim	43	48	103	87	132
Arroz irrigado	97	112	68	152	85
Arroz sequeiro	89	79	65	133	146
Banana	98	25	16	15	47
Batata inglesa	2.797	2.953	2.642	2.872	3.060
Cacau	42		7	0	
Café	3.680	1.762	1.302	1.676	1.947
Cana-de-açúcar		1	6	6	1
Cebola	121	216	170	133	204
Citros	2.130	2.382	2.485	2.933	3.101
Feijão	821	946	1.042	978	974
Floricultura	57	93	88	181	95
Fruticultura	385	569	517	516	580
Fumo	45	80	173	199	180
Horticultura	948	1.209	1.097	1.167	1.099
Maçã	846	1.200	962	905	1.145
Melão	37	52	86	52	50
Milho	29	46	43	43	253
Reflorestamento			1		
Soja	1.626	2.049	2.409	2.842	6.879
Tomate rasteiro	789	605	596	678	653
Tomate envarado	1.125	1.119	998	1.285	1.324
Trigo	299	430	326	563	690
Uva	465	723	558	643	538
Tratamento de sementes					
Algodão	31	29	26	34	56
Arroz	10	18	11	62	89
Feijão	14	25	24	24	23
Milho	129	119	76	54	99
Soja	934	601	453	483	903
Trigo	26	32	27	44	73
Outras sementes	8	7	3	1	1
Outras culturas	800	476	277	22	52
Total	19.072	18.607	17.262	19.363	25.631

Fonte: Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola (2004).

Tabela 2. Valor de fungicidas (US$1.000) comercializados no Brasil no período de 2000 a 2004.

Cultura	2000	2001	2002	2003	2004
Algodão	18.498	20.607	19.890	51.748	72.971
Alho	363	341	719	1.196	720
Amendoim	1.419	1.413	2.365	3.307	6.776
Arroz irrigado	3.085	2.527	1.497	5.564	6.821
Arroz sequeiro	2.565	2.310	2.286	4.622	6.499
Banana	1.514	1.710	589	1.554	5.056
Batata inglesa	34.963	35.179	29.515	34.640	43.518
Cacau	291		39	0	
Café	65.701	20.648	17.185	32.614	57.908
Cana-de-açúcar		40	228	62	48
Cebola	2.102	3.751	2.165	1.795	3.542
Citros	14.292	12.960	13.632	20.249	23.224
Feijão	25.697	31.679	33.957	39.187	39.898
Floricultura	1.268	1.241	897	1.470	1.382
Fruticultura	5.471	6.730	5.175	6.887	9.758
Fumo	735	903	1.455	1.737	1.768
Horticultura	17.467	18.358	14.057	16.442	20.911
Maçã	9.406	13.854	10.343	11.168	15.411
Melão	831	1.454	1.662	1.146	1.754
Milho	2.613	3.501	2.912	5.850	8.261
Reflorestamento			16	3	47
Soja	64.078	77.237	116.189	346.505	877.578
Tomate rasteiro	10.533	6.677	6.658	7.403	7.952
Tomate envarado	14.392	12.114	10.215	14.587	18.593
Trigo	36.086	47.441	40.674	68.156	94.557
Uva	6.415	8.430	6.212	7.905	8.219
Tratamento de sementes					
Algodão	1.321	1.379	977	1.911	3.058
Arroz	363	937	538	3.310	2.941
Feijão	454	677	976	983	930
Milho	1.849	2.142	1.004	928	3.499
Soja	21.723	14.342	11.054	15.907	36.239
Trigo	3.958	4.330	2.416	4.593	6.661
Outras sementes	332	502	80	10	675
Outras culturas	10.633	7.192	2.815	105	1.002
Total	380.418	362.606	360.392	713.544	1.388.177

Fonte: Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola (2004).

Entretanto, o principal impacto das mudanças climáticas globais sobre o controle químico deverá ser de ordem cultural. O fato de toda a humanidade estar sofrendo as conseqüências das atividades antrópicas, na exploração do planeta, despertará a conscientização de que tal atividade deve ser rigorosamente realizada de forma sustentável. Certamente deverão aumentar as pressões da sociedade pelo uso de métodos não químicos para o controle de doenças de plantas.

Mudanças na eficácia de fungicidas

Os fungicidas podem ser classificados, segundo o princípio em que se fundamenta sua aplicação, em erradicantes ou de contato, protetores ou residuais e curativos ou terapêuticos (KIMATI, 1995). Os erradicantes atuam diretamente sobre a fonte de inóculo, entre eles estão o dazomet, metam sódio e outros. Esses produtos são empregados principalmente no tratamento do solo, de sementes e de plantas que entram em repouso vegetativo no período do inverno. Por se tratarem de produtos extremamente tóxicos, a eficácia dos erradicantes deve ser pouco alterada com as mudanças climáticas.

Os fungicidas protetores atuam formando uma camada protetora superficial nas partes suscetíveis do hospedeiro antes da deposição do inóculo, sem serem absorvidos pela planta. Os fungicidas sistêmicos, por outro lado, penetram e translocam do local de aplicação para outras partes da planta, o que permite a ação curativa, além da protetora, pois boa parte do produto não penetra e fica depositada na superfície da planta (KIMATI, 1995).

Os mapas dos cenários futuros do clima do Brasil indicam, de modo geral, redução da precipitação (Capítulo 2), o que pode levar à redução da lavagem dos fungicidas e ao melhor controle. Entretanto, as interações de freqüência e intensidade de precipitação e dinâmica de fungicidas são complexas. Para fungicidas protetores, a ocorrência de chuvas intensas promove a lavagem do produto e, conseqüentemente, a redução da eficácia. Por outro lado, para fungicidas sistêmicos, os resultados podem ser variáveis. Pode resultar até mesmo em aumento de controle da doença por causa da redistribuição do ingrediente ativo na planta, como descrito no trabalho de Schepers (1996). O autor verificou que ocorreu aumento da eficácia de fluazinam no controle de *Phytophthora infestans* em batata, após a ocorrência de precipitação.

A ocorrência de ventos pode afetar a aplicação dos produtos, e temperaturas extremas podem alterar a ação dos produtos, ou causar fitotoxicidade (STRAND, 2000). A redução da umidade do ar pode reduzir

a redistribuição dos fungicidas protetores, fato importante para garantir uma melhor cobertura da superfície da planta. Novas formulações podem ser necessárias para compensar essa perda.

A outra forma de alteração da eficácia de fungicidas, como resultado das mudanças climáticas, é por meio de alterações na morfologia ou fisiologia das plantas. O aumento da espessura da camada cerosa epicuticular das folhas pode reduzir a absorção do fungicida pela planta, enquanto que o crescimento, freqüentemente observado com o aumento do CO_2, pode afetar negativamente a cobertura e levar a uma diluição do ingrediente ativo nos tecidos da planta hospedeira. Ambos os fatores sugerem uma redução de eficácia com o aumento da concentração de CO_2. Por outro lado, aumentos na taxa de metabolismo causados pelo aumento de temperatura podem resultar em maior velocidade de absorção e maior toxicidade ao organismo alvo. Num ensaio com o herbicida chlorotoluron, Edis et al. (1996) demonstraram que o biótipo resistente da planta invasora *Alopecurus myosuroides* se tornou mais sensível ao produto em ambiente com maior concentração de CO_2. Em experimentos conduzidos em ambiente controlado com concentração de 700 µmol/mol, as plantas tratadas com o herbicida apresentaram significativa redução no crescimento, enquanto que, em ambiente com 350 µmol/mol, não houve diferenças entre as plantas tratadas e as não tratadas. Possivelmente, alterações nos estômatos e no metabolismo da planta, decorrentes do aumento da concentração do gás, podem ter resultado em modificações na absorção e no translocamento do herbicida. Nessa linha de pesquisa, não foram encontrados trabalhos com fungicidas.

Considerações finais

Técnicas tradicionais de manejo de pragas e doenças, como a escolha da cultura e cultivar apropriadas, o local e a época de plantio, os tratos culturais, além de outras decisões, dependem de informações climáticas. O manejo da água e a modificação do microclima da planta por meio de podas, por exemplo, podem reduzir os danos ocasionados pelas doenças. Os fungicidas devem ser usados após um monitoramento que indica sua necessidade, de forma adequada e segura. Tal manejo pode sofrer profundas alterações com as mudanças climáticas (STRAND, 2000).

A mudança na distribuição espacial e temporal das doenças e as novas combinações de plantas e patógenos alterarão significativamente o controle de doenças de plantas. No cenário climático futuro, o uso de fungicidas consistirá numa alternativa de controle, especialmente, até que haja alguma estabilização nas alterações ou até o desenvolvimento de outros métodos.

A resistência às doenças deve ser prioridade nos programas de melhoramento, visando à obtenção de cultivares produtivas adaptadas às mudanças climáticas. Outro aspecto que deve receber maior atenção é o fato da introdução de patógenos exóticos ser a maior causa de doenças emergentes (ANDERSON et al., 2004). A existência de barreiras para evitar as introduções desses patógenos e o treinamento de técnicos para diagnóstico de novas doenças são fundamentais para amenizar o problema.

Nos últimos anos, um número crescente de publicações a respeito de mudanças climáticas e doenças de plantas está sendo disponibilizado. Isso representa uma maior preocupação com o problema na comunidade fitopatológica, o que certamente resultará no manejo sustentável de doenças de plantas no futuro (CHAKRABORTY, 2005).

Referências

ANDERSON, P. K.; CUNNINGHAM, A. A.; PATEL, N. G.; MORALES, F. J.; EPSTEIN, P. R.; DASZAK, P. Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. **Trends Ecology and Evolution**, Amsterdam, v. 19, n. 10, p. 535-544, 2004.

CHAKRABORTY, S. Potential impact of climate change on plant-pathogen interactions. **Australasian Plant Pathology**, Collingwood, v. 34, n. 4, p. 443-448, 2005.

CHAKRABORTY, S.; PANGGA, I. B. Plant disease and climate change. In: GILLINGS, M.; HOLMES, A. **Plant microbiology**. London: BIOS Scientific, 2004. p. 163-180.

CHEN, C. C.; McCARL, B. A. An investigation of the relationship between pesticide usage and climate change. **Climatic Change**, Netherlands, v. 50, n. 4, p. 475-487, 2001.

COAKLEY, S.M.; SCHERM, H.; CHAKRABORTY, S. Climate change and plant disease management. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 37, p. 399-426, 1999.

EDIS, D.; HULL, M. R.; COBB, A. H.; SANDERS-MILLS, G. E. A study of herbicide action and resistance at elevated level of carbon dioxide. **Aspects of Applied Biology**, Cambridge, v. 45, p. 205-210, 1996.

KIMATI, H. Controle químico. In: BERGAMIN, A.; KIMATI, H; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia.** São Paulo: Agronômica Ceres1995. v. 1, p. 761-785.

PRITCHARD, S. G.; AMTHOR, J. S. **Crops and environmental change**. Binghamton: Food Products Press, 2005. 421 p.

SCHEPERS, H. T. A. M. Effect of rain on efficacy of fungicide deposits on potato against *Phytophthora infestans*. **Potato Research**, Wageningen, v. 39, p. 541-550, 1996.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA AGRÍCOLA. **Vendas**: classes. 2004. Disponível em: <http://www.sindag.com.br/upload/vendas-classe04-us-porcentagem.xls>. Acesso em: 21 nov. 2007.

STACEY, D. A. Climate and biological control in organic crops. International **Journal of Pest Management**, London, v. 49, p. 205-214, 2003.

STRAND, J. F. Some agrometeorological aspects of pest and disease management for the 21st century. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 103, p. 73-82, 2000.

Impressão e acabamento
Embrapa Informação Tecnológica

Embrapa

Meio Ambiente



As mudanças climáticas globais podem alterar, com graves conseqüências econômicas, sociais e ambientais, o atual cenário fitossanitário da agricultura brasileira. A obra traz uma discussão sobre esse tema, abrangendo as doenças das principais plantas cultivadas no País. A análise apresentada é fundamental para que diferentes segmentos da sociedade - pesquisadores, agricultores e tomadores de decisão e outros - elaborem estratégias que evitem prejuízos futuros.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

BRASIL UM PAÍS DE TODOS GOVERNO FEDERAL

ISBN 978-85-7383-427-7