

Mudanças Climáticas GLObais e a Produção de Hortaliças

EDITOR TÉCNICO

Ítalo M. R. Guedes

 **brapa**

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Hortaliças
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

**Mudanças Climáticas Globais e a
Produção de Hortaliças**

Ítalo Moraes Rocha Guedes
Editor Técnico

**Brasília, DF
2009**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Hortaliças
BR 060, Rodovia Brasília-Anápolis, Km 09
Caixa Postal 218, 70359-970, Brasília, DF
Fone: (61) 3385-9009
Fax: (61) 3556-5744
sac@cnph.embrapa.br
www.cnph.embrapa.br

Comitê de Publicações da Embrapa Hortaliças
Presidente: Warley Marcos Nascimento
Editora-Técnica: Mirtes Freitas Lima
Membros: Jadir Borges Pinheiro, Miguel Michereff Filho, Milza Moreira Lana,
Ronessa Bartolomeu de Souza

Normalização bibliográfica
Rosane Mendes Parmagnani

1ª edição
1ª impressão (2009): 500 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 Hortaliças

Guedes, Ítalo Moraes Rocha

Mudanças climáticas globais e a produção de hortaliças / Ítalo
Moraes Rocha Guedes, editor técnico. – Brasília : Embrapa Hortaliças,
2009.

132 p.

ISBN 978-85-86413-17-9

1. Hortaliça – Produção – Clima. I. Título.

CDD 635.0469

©Embrapa, 2009

Comissão Organizadora do Evento:

Carla Timm

Celso Luiz Moretti

Jairo Vidal Vieira

Warley Marcos Nascimento

Coordenador:

Ítalo Moraes Rocha Guedes

Realização:

Embrapa Hortaliças

**Patrocinadora do Workshop “Efeitos das Mudanças
Climáticas na Produção de Hortaliças”,
realizado em 20 de novembro de 2009:**

Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal – FAPDF

Apresentação

O clima na Terra mudou diversas vezes durante a existência de nosso planeta. Desde a era do gelo, passando por períodos transientes de aquecimento, a temperatura e a concentração de gases de efeito estufa variaram consideravelmente. Nas últimas décadas, entretanto, o aquecimento global e seus efeitos associados tem ganhado cada vez mais importância em diversos fóruns de discussão em todo o mundo. Destacam-se neste cenário os efeitos documentados especificamente na agricultura, um dos primeiros setores da atividade econômica global onde os impactos das mudanças climáticas têm sido estudados mais profundamente, sobretudo em função da sua importância para a existência da humanidade.

Apesar de todos os esforços envidados para o entendimento dos efeitos das mudanças climáticas globais e seus impactos na atividade agrícola, poucos estudos tem focado o agronegócio de hortaliças, atividade que gera emprego, renda e desenvolvimento em todas as regiões brasileiras. Tendo este cenário como pano de fundo, é com grande satisfação que apresentamos à sociedade brasileira, em mais uma ação pioneira da Embrapa Hortaliças, a obra *“Mudanças Climáticas Globais e a Produção de Hortaliças”*. Organizado em sete capítulos, o livro é um dos primeiros produtos obtidos a partir do também inédito Workshop sobre o tema, organizado pela Embrapa Hortaliças no mês de Novembro de 2009 que reuniu especialistas brasileiros e estrangeiros.

A obra enfoca diferentes temas afeitos às mudanças climáticas globais, discutindo em profundidade assuntos como patologia de plantas, alterações metabólicas e de qualidade, medidas para mitigar os efeitos das mudanças climáticas na produção de hortaliças, dentre outros relevantes assuntos.

Sem sombra de dúvida, o livro *“Mudanças Climáticas Globais e a Produção de Hortaliças”* aquecerá, com o perdão do trocadilho, ainda mais o debate sobre os reais efeitos das mudanças climáticas no agronegócio de hortaliças, indicando novos caminhos que deverão ser trilhados em pesquisa, desenvolvimento e inovação. São esses novos rumos que contribuirão para a mitigação dos possíveis efeitos negativos das mudanças climáticas globais sobre a produção de alimentos no Brasil.

Celso Luiz Moretti
Chefe – Geral
Embrapa Hortaliças

Conteúdo

Introdução.....	11
Mudanças climáticas e agricultura: Uma abordagem agroclimatológica	13
Uma análise do efeito do aquecimento global na produção de batata no Brasil.....	29
Como as mudanças climáticas poderão afetar as doenças das hortaliças?.....	43
Impactos do aquecimento global nas doenças de tomateiro e meloeiro no Brasil.....	57
Potential impacts of climate changes on the quality offruits and vegetables.....	65
The Role of Florida Cooperative Extension Services in the Climate Challenge	83
Medidas para mitigar os efeitos das mudanças climáticas na produção de hortaliças	95
Glossário.....	127

Introdução

Em novembro de 2009, a Embrapa Hortaliças realizou o Workshop “Efeitos das Mudanças Climáticas na Produção de Hortaliças”, no qual reuniu os principais pesquisadores brasileiros da área e, ainda, um pesquisador americano da Universidade da Flórida, especialista em extensão rural. O Workshop teve como objetivo criar oportunidades para o conhecimento das atividades de pesquisa que estão sendo conduzidas no País, com relação aos impactos reais e potenciais, das mudanças climáticas sobre a produção de hortaliças. As palestras apresentadas neste evento foram reunidas neste livro.

As mudanças climáticas, em decorrência do aumento na concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera, devem afetar a agricultura de várias maneiras. Mudanças nos valores de temperaturas médias e na distribuição de chuvas podem, mesmo, já estar influenciando a incidência de doenças em plantas, as épocas de plantio e colheita e a localização regional de certas espécies cultivadas.

A agricultura como um todo contribui para o agravamento das alterações ambientais de natureza climática de diversas maneiras, como mudanças no uso da terra, utilização intensa de maquinário consumidor de combustíveis fósseis e de insumos cuja produção consome estes combustíveis, adoção de práticas de manejo de solo que aceleram e intensificam a mineralização da matéria orgânica e manejo inadequado da irrigação. Ao mesmo tempo, com a prática da agricultura, pode-se mitigar de forma significativa as mudanças climáticas, pelo sequestro ou pela menor emissão de gases de efeito estufa. Algumas das práticas mitigadoras, como o plantio direto, que propicia o sequestro de carbono nos solos, ainda são pouco utilizadas na produção de hortaliças, mas as perspectivas são promissoras.

Além da mitigação, há necessidade da realização de pesquisas de adaptação das olerícolas e também dos empreendimentos agrícolas, quanto aos novos cenários de mudanças climáticas que se delineiam. Diante disso, será necessário incluir nos programas de melhoramento, o desenvolvimento de variedades tolerantes a altas temperaturas e que utilizem água e nutrientes de forma mais eficiente, além de maior resistência a pragas e doenças.

Como a fotossíntese depende tanto da interceptação da luz, quanto da absorção de dióxido de carbono, alguns pesquisadores sugerem que o aumento da concentração de CO₂ atmosférico poderia causar um aumento na produção de algumas espécies agrícolas, principalmente, aquelas que utilizam

a rota fotossintética C_3 , como as hortaliças, embora o concomitante aumento de temperatura possa ser danoso a essas espécies.

Além da migração dos cultivos, há evidências de que a qualidade da matéria orgânica vegetal produzida em ambientes com maiores concentrações de CO_2 atmosférico, também, mudaria. A maior disponibilidade de dióxido de carbono para fotossíntese poderia favorecer a produção de compostos ricos em carbono, tais como lignina e polifenóis. Teores mais altos de lignina, provavelmente, afetariam a palatabilidade do material vegetal, a dinâmica da matéria orgânica do solo, assim como também, a reciclagem de nutrientes.

Com base em pesquisas realizadas em condições de clima tropical, o que está previsto para estas regiões são aumentos de temperatura e, também, da frequência de eventos extremos, como chuvas torrenciais, enchentes e secas, cuja ocorrência afetam, diretamente, a produção e a qualidade de hortaliças. As consequências, para o mercado de hortaliças, por exemplo, no qual a qualidade do produto importa tanto ou mais que a quantidade produzida, poderiam ser desastrosas. Neste contexto, a suscetibilidade das plantas a pragas e a doenças, assim como também, a qualidade pós-colheita e o valor nutricional das hortaliças seriam, afetados, consequentemente.

O setor de pesquisa sobre este assunto não pode de forma alguma estar alheio à extensão agrícola, sob o risco de que os mesmos erros continuem a ser indefinidamente cometidos, ainda que as soluções existam nas proverbiais estantes da academia. Uma das razões para o workshop e para este livro é exatamente disponibilizar resultados confiáveis de pesquisa ao redor da interação mudanças climáticas-produção de hortaliças para que o técnico extensionista, cada vez mais cobrado pelo produtor, possa não só ter uma idéia razoavelmente clara do estado da arte, mas também propor alternativas para que o produtor possa lidar mais eficientemente com o problema.

Apesar da existência de informações acerca dos efeitos que as mudanças climáticas globais possam ter sobre a produção de hortaliças, muitas das informações geradas estão ainda disperso e não coordenado, dificultando uma visão de conjunto que possibilite o planejamento não apenas de demandas de pesquisa ainda não atendidas, mas até mesmo de medidas futuras visando a segurança alimentar nacional em termos de produção de hortaliças. Este livro é uma primeira tentativa por parte da Embrapa Hortaliças de reunir e disponibilizar este conhecimento.

Ítalo Moraes Rocha Guedes

Editor Técnico

Mudanças climáticas e agricultura: Uma abordagem agroclimatológica¹

Eduardo Delgado Assad², Hilton Silveira Pinto³,
Jurandir Zullo Junior³,ábio Marin²

² Embrapa Informática Agropecuária, ³ CEPAGRI/UNICAMP

Introdução

A discussão sobre as mudanças climáticas tem reflexo em toda sociedade. Afirma-se que a terra está aquecendo, que a chuva está diminuindo, que o inverno é mais intenso e que determinados fenômenos, como vendavais, furacões, chuvas de granizo, “*nunca dantes vistos*”, acontecem com maior frequência. Algo mudou? O que mudou? É verdade que a capacidade do homem poluir a atmosfera aumentou e muito, desde o início da revolução industrial nos idos de 1780. É evidente que as florestas e outros tipos de vegetação natural têm sido derrubados num ritmo acelerado e substituídos por áreas agricultáveis. Somente nos cerrados brasileiros, nos últimos 25 anos, 45 milhões de hectares de vegetação natural foram substituídos por culturas intensivas ou pastagens (EMBRAPA, 1997). Atualmente o projeto PRODES, coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) indica que as taxas de desmatamento na Amazônia são muito altas, da ordem de 24.865 km² em 2002-2003, 27.361 km² entre 2003-2004 e 18.900 km² entre 2004-2005.

Na maioria dos casos as florestas são substituídas por pastagens ou agricultura, após a queimada. (INPE, 2006).

Aliado a esses fatos, vem o avanço tecnológico e a, cada vez mais impressionante, capacidade do homem de coletar, armazenar e analisar as informações do ambiente.

Por que a meteorologia, nas últimas duas décadas, tem estado em evidência?

¹ Capítulo publicado originalmente sob forma de artigo em 2007, no volume 34 da Revista Ciência & Ambiente e reproduzido aqui com a permissão do editor.

Em um primeiro momento, porque a capacidade de se coletarem dados climáticos aumentou exponencialmente. Segundo, porque o desenvolvimento e os produtos de modelos de previsão têm oferecido às sociedades, informações importantes de amplo espectro, desde o turismo, passando pela aviação, agricultura, defesa civil etc. Determinados *vilões climatológicos*, como o “El niño” ou a “La niña”, apesar da sua difícil previsão, são bem conhecidos no que diz respeito aos seus efeitos sendo também possível minimizá-los. A mídia divulga periodicamente a previsão do tempo e faz alertas climáticos, fundamentados em pesquisas e modelos meteorológicos. Bolsas de cereais têm as atenções voltadas para os possíveis “*sinistros climáticos*”, que podem ocorrer alterando significativamente os mercados de importação e exportação de alimentos. Portanto, quando se fala em mudanças climáticas, toda a sociedade é afetada e a correta informação deve ser repassada, procurando-se evitar tumultos desnecessários e incertezas que podem ter reflexos econômicos e sociais incalculáveis.

A proposta desse trabalho é a de avaliar os possíveis cenários climáticos provocados pela emissão de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, notadamente o dióxido de carbono, e apontar o que está acontecendo, o que aconteceu e o que poderá acontecer na agricultura, se ocorrer um aumento de temperatura e mudanças na precipitação pluviométrica no Brasil.

Assim, a estrutura desse trabalho está dividida em três partes: uma primeira que abordará a evolução do clima; a segunda que deverá analisar longas séries de dados de temperatura e as possíveis evidências de ocorrência de mudanças climáticas; e a terceira e última parte, que utilizará modelos agrometeorológicos para analisar os efeitos do aumento da temperatura na produção agrícola e em seus reflexos no zoneamento de riscos climáticos utilizado no Brasil.

Evolução do clima e as mudanças globais

Para abordar as questões referentes à evolução do clima poder-se-ia discorrer sobre teorias conhecidas ou procurar buscar na literatura informações já amplamente veiculadas. Nesse sentido decidiu-se pela segunda opção e selecionou-se o parte do texto de Guyot (1997):

“Os resultados de análise de calotas de gelo da Groenlândia e da Antártica, mostram que as flutuações do clima que se produziram ao longo dos 160.000 últimos anos estão estreitamente ligadas aos teores da atmosfera em gás, notadamente o gás carbônico e o metano.”

Atualmente, todos os resultados obtidos tanto pelos glaciólogos (LORIOUS, 1991), como pelos geólogos (PETIT-MARIE, 1992) e paleoclimatologistas (DUPLESSY, 1992), ou os especialistas da modelagem do clima (LE TREUT; KANDEL, 1992), confirmam que as flutuações climáticas que se produziram nos últimos milhões de anos são principalmente devidas às variações de insolação. A origem destas variações é puramente astronômica, conforme a proposição feita pelo geofísico Milutin Milankovich, citado por Duplessy (1992). Como todas as teorias inovadoras, elas foram objeto de controvérsias, mas atualmente, são plenamente validadas graças ao desenvolvimento recente da análise isotópica dos sedimentos marinhos. As flutuações climáticas observadas são então explicadas pela combinação de dois fatores:

1. O primeiro corresponde à variação da inclinação do eixo da terra sobre o plano da sua órbita, de mais ou menos $1^{\circ}30'$ em torno de um valor médio de $23^{\circ}30'$ com uma periodicidade de 41.000 anos. Quando a inclinação é forte, as zonas de altas latitudes recebem mais energia no verão e menos no inverno, o que amplifica os contrastes sazonais. O fenômeno inverso também aparece em períodos de pequena inclinação.
2. O segundo fator é a posição da terra sobre sua órbita em torno do sol, numa determinada data que varia com uma pseudo-periodicidade, que compreende os períodos dominantes entre 19.000 e 23.000 anos. Assim a terra está mais próxima atualmente do sol durante o inverno boreal do que durante o verão. Esta configuração provoca verões mais quentes e invernos mais frios. Vivemos neste período há alguns milhares de anos.

As variações astronômicas da insolação provocam uma série de outros fenômenos que tem por efeito amplificar as modificações climáticas. Neste caso, evidências sobre as atividades solares começam a ser comprovadas.

Trabalhos desenvolvidos pela Organização Meteorológica Mundial – OMM (1992) mostram um crescimento da temperatura no hemisfério norte da ordem de $0,5^{\circ}\text{C}$. Este aumento não é contínuo, mas concentrado principalmente em dois períodos: o primeiro de 1920 a 1940 e o segundo a partir de 1976, com um aquecimento rápido que culmina em 1990. Por outro lado, observa-se um resfriamento após 1940, sobretudo durante os anos 60 e 70.

No hemisfério sul, a série temporal mostra um aquecimento mais progressivo após 1930, com aumento mais forte até os anos 70.

Guyot (1997) mostra com clareza a teoria em que se baseiam as afirmações das alterações climáticas globais. Entretanto, fica evidente que **mudanças climáticas significativas** foram observadas na escala de tempo geológico e que, no último século, foram observadas **flutuações climáticas** comprovadas pelos dados das séries históricas analisadas. Está comprovado que houve aquecimento e resfriamento, para períodos diferentes, nos últimos 150 anos, o que é bem diferente das claras mudanças climáticas identificadas no espaço de tempo geológico.

Trabalhos similares foram feitos no Brasil. Salgado Laboriau et al. (1997), analisando as mudanças climáticas e vegetação no final do quaternário no cerrado e veredas do Brasil central, mostra que a vegetação antes de 32.400 anos era similar a atual com clima subúmido; entre 32.400 e 20.000 anos predominou a vegetação rasteira, sugerindo que a umidade aumentou, mas que a temperatura provavelmente diminuiu; a fase úmida foi consistente com o Pleniglacial médio que terminou em 28.000 anos nos Andes tropicais; a umidade começou a decrescer a partir de 18.500 anos, passou por um período muito seco entre 18.500 e 11.000. A umidade aumentou entre 6.500 a 5.000 anos coincidindo com o aumento da precipitação em outras partes do Brasil central. Em outro artigo Salgado Laboriau et al. (1998) mostram que de 4600 anos até o presente, na região do Brasil central, as diversidades palinológicas atuais não evidenciam mudanças climáticas.

Fica então a questão: é real ou não o aquecimento da atmosfera? As séries da OMM (1992) evidenciam um aumento de 0,5° C no planeta, desde o início da revolução industrial, ou seja, numa série de 130 anos, observa-se um aumento de temperatura. Grandes flutuações interanuais acontecem, com aquecimento e resfriamentos em períodos diferentes. Como é feita essa determinação? Recupera-se uma série histórica de dados de temperatura obtidos por estações climatológicas localizadas em várias partes do globo e determina-se a média anual da temperatura de cada estação. De posse da temperatura média anual de cada estação em vários pontos calcula-se o valor médio da temperatura da terra. A questão é que 0,5° C é um valor muito inferior ao desvio padrão da média da série histórica. Fica, portanto, uma dúvida: existe realmente um aquecimento do planeta devido às ações antrópicas do homem (desmatamento, queimadas, emissão de gases etc.) ou esse aumento de temperatura pode ser explicado como um fenômeno normal atrelado aos desvios de origem estatística no pequeno intervalo de tempo analisado?

Portanto, antes de se afirmar que o planeta está aquecendo, é importante verificar se no período atual, o possível aquecimento médio de 0,5° C, não está ligado às flutuações de insolação, conforme apresentado por Guyot (1997), ou procurar quantitativamente verificar se a emissão de gases de diversas origens tem provocado essas alterações. Um exemplo representativo dessa hipótese pode ser ilustrado analisando-se a série histórica de dados de temperatura de Campinas, SP. Nesse sentido, o relatório do IPCC (2001), International Panel of Climate Change, é incontestável. As mudanças estão ocorrendo, as concentrações de CO₂ na atmosfera aumentaram e a contínua emissão de gases de efeito estufa tem promovido um aumento na temperatura mínima, com forte evidência como o degelo da Groenlândia, a redução das neves eternas do Kilimanjaro, a evidente redução das geleiras na Patagônia e as forte ondas de calor que nos últimos anos assolaram a Europa.

Quando se analisa a temperatura média, como é o caso da figura abaixo, essa evidência não é clara. Percebe-se uma flutuação oscilando entre 20.0 e 21.0° C

A análise dessa série mostra algumas flutuações interessantes. No período de 1930 a 1937, a temperatura média anual esteve abaixo de 20,5° C. Entre 1938 e 1941, houve um aquecimento e a temperatura média anual ficou acima de 20,5° C. Novamente no período de 1942 a 1954, houve um novo resfriamento e a temperatura média anual ficou abaixo de 20,5° C.

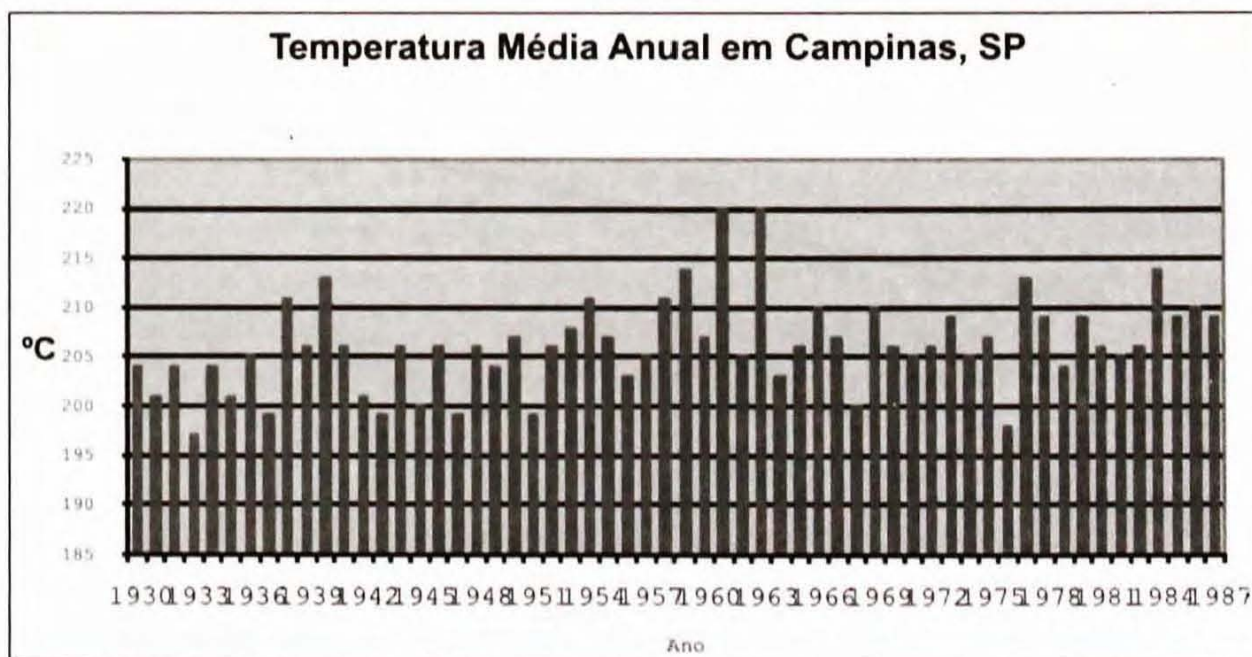


Figura. 1. Variação da Temperatura média anual de Campinas. Período 1930 a 1987. Fonte: IAC e CEPAGRI/UNICAMP.

Após esse período observa-se uma tendência de aumento de temperatura entre os anos de 1952 a 1960, chegando à 22° C. Finalmente entre 1960 e 1987 a temperatura fica oscilando entre 20° C e 21° C. Nesse caso, como em vários outros, o desvio padrão das temperaturas máximas anuais é da ordem de 2 graus Celsius, e das temperaturas médias anuais, entre 1,5 e 2,0° C, o que é pelo menos quatro vezes superior ao aumento da temperatura média do globo. Não foram verificadas nessas séries tendências contínuas de aquecimento, mas sim flutuações normais associadas aos valores absolutos observados. É difícil afirmar, analisando séries históricas da temperatura média como a de Campinas, que houve tendência de aquecimento na região. Entretanto, quando se analisa a temperatura mínima média nos últimos 115 anos, na mesma região (Figura 2) percebe-se uma forte tendência de elevação da ordem de 2,5° C.

Para evitar os problemas de análise induzidas por aumento de área urbana, maior impermeabilização do solo provocando forte influência nas medições de temperatura etc., a mesma análise foi feita em Passo Fundo e Pelotas no RS e em Sete Lagoas em MG, em áreas rurais. A tendência é a mesma. A explicação mais plausível, apesar de algumas controvérsias, aceita

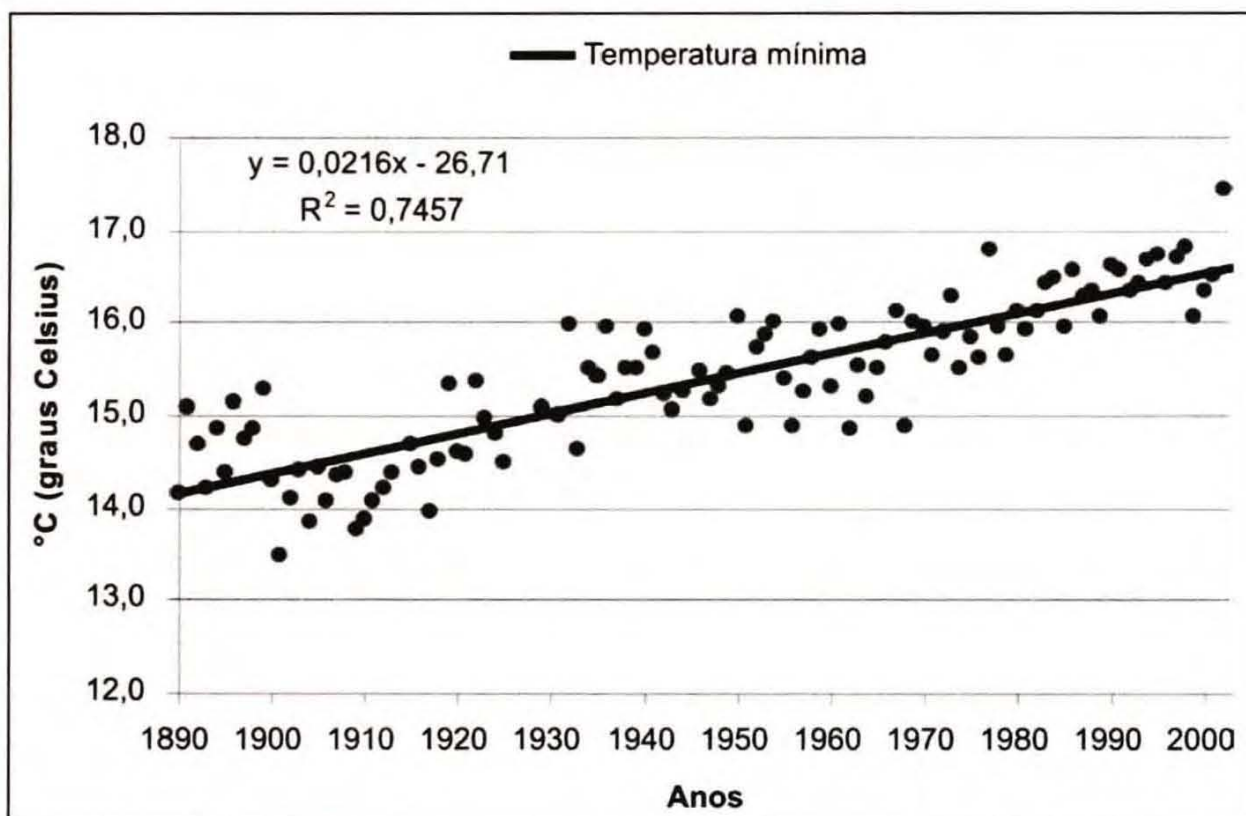


Figura. 2. Variação da Temperatura mínima média anual de Campinas. Período de 1890 a 2002. Fonte IAC e CEPAGRI/UNICAMP.

pela maioria dos cientistas do globo, é que a concentração dos gases de efeito estufa está aumentando, provocando esse nítido aumento de temperatura mínima.

Efeito do aumento do dióxido de carbono na atmosfera

O efeito do aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera tem sido intensamente estudado pelos especialistas em fisiologia vegetal. O seu funcionamento é bem conhecido no que diz respeito à atividade fotossintética e a sua ação no crescimento das plantas. A concentração do CO_2 na atmosfera, sendo próxima de 300 ppm está bem abaixo da saturação para a maioria das plantas. Essa concentração, quando em níveis excessivos, (próximos de 1000 ppm), passa a ser fitotóxica. A atividade fotossintética é maior nas plantas tipo C3 do que nas C4. Altas concentrações de CO_2 podem aumentar a fotorrespiração nas plantas C3. Conseqüentemente, a taxa fotossintética, especialmente nos experimentos que procuram enriquecer o ambiente com CO_2 , pode ter uma resposta maior nas plantas C3 do que nas plantas C4. Nesses mesmos experimentos, não se observa evidências de aumento de produtividade. Da mesma maneira, a transpiração (diretamente relacionada com a temperatura), tende a ser mais reduzida nas plantas C4 do que nas plantas C3. Este fato deixa evidente que existe uma maior eficiência no uso da água, nas plantas C4 do que nas plantas C3.

Para entender o funcionamento combinado do aumento da temperatura e da concentração de CO_2 na atmosfera, utilizam-se modelos que tentam explicar os possíveis incrementos ou reduções de produtividade, provocados por estes dois fatores, diretamente ligados à atividade fotossintética.

Assad e Luchiari (1989), utilizando modelos fisiológicos simplificados, mostraram que essas variações são significativas nos cerrados brasileiros. Por exemplo, a temperatura média durante a estação chuvosa nessa região (outubro a abril) é de 22° C, tendo um máximo de 26,7° C e um mínimo de 17,6° C. Considerando uma variação térmica regional foram simulados dois cenários:

1. Aumento de 5° C na temperatura média. Nesse caso, para as plantas C4 (milho e sorgo) haveria um incremento potencial de pelo menos 10 kg/ha/dia de grãos secos na produtividade média observada hoje. Para as plantas tipo C3 (soja, feijão, trigo) esse aumento seria menor, da ordem de 2 a 3 kg/ha/dia de grãos secos.

2. Redução média de 5° C. A perda de produtividade nas plantas tipo C4 seria da ordem de 20 kg/ha/dia e nas plantas tipo C3, da ordem de 10 kg/ha/dia.

Neste tipo de abordagem, ficou claro que se aumentando a concentração de CO₂, em níveis não superiores a 1000 ppm, provocando um aumento de temperatura de até 5° C na atmosfera, o resultado seria um aumento de produtividade nas plantas C4, (da ordem de 20%) e nas plantas C3, (da ordem de 10%).

Posteriormente, alguns modelos mais precisos foram desenvolvidos como é o caso do CERES-WHEAT versão 2.10 (GODWIN et al., 1989), CERES MAIZE (JONES; KINIRY, 1989) e SOYGRO-SOYBEAN (JONES et al., 1988). Esses modelos foram utilizados pelo IBSNAT, International Benchmark Sites Network for Agrotechnology, (JONES et al., 1989) e permitiram considerar, de forma integrada, fatores do solo, da planta e do clima para verificar as variações de produtividade em diversas condições ambientais. No modelo desenvolvido pelo IBSNAT existe uma opção de simular os efeitos fisiológicos provocados pela variação na concentração de CO₂ da atmosfera.

Modelos como esses são testados em diversas regiões do globo e têm servido de orientação para suporte à decisão na agricultura. No Brasil, Siqueira et al. (1994), utilizando esses modelos e trabalhando com vários

Tabela 1. Comparação entre as plantas C3 e C4

	C ₃ (soja, feijão)	C ₄ (milho, cana, sorgo)
Anatomia	Células esponjosas e paliçádicas	Mesófilo e células da bainha do feixe vascular
Taxa de crescimento (g.dm ⁻² .dia ⁻¹)	1	4
Estômatos	Abertos durante o dia e fechados à noite	Abertos durante o dia e fechados à noite
Eficiência do uso da água (gCO ₂ kg ⁻¹ H ₂ O)	1-3	2-5
Taxa fotossintética ótima (mgCO ₂ dm ⁻² .h ⁻¹)	30	60
Temperatura ótima	20-30° C	30-45° C
Ponto de compensação de CO ₂	50 ppm	5 ppm
Fotorespiração	Alta	Baixa

cenários diferentes, em 13 locais, desde baixas latitudes, como Manaus até latitudes altas como Pelotas, encontraram respostas bem próximas e mais exatas do que aquelas propostas por Assad e Luchiari (1989). Trabalhando com os modelos de equilíbrio atmosférico conhecidos com GISS, GFDL e UKMO- associados aos modelos do IBSNAT, Siqueira et al. (1994), mostraram que todas as simulações projetavam aumento na temperatura, algumas mudanças de precipitação e efeitos menores na radiação solar. Em decorrência da elevação de temperatura, foram mostrados encurtamentos nos ciclos fenológicos do milho e do trigo e aumentos nas produtividades de milho, soja e trigo, quando aumentos nas concentrações de CO₂ passaram dos atuais 330 ppm para 550 ppm. Em alguns casos foram projetados ganhos superiores a 500 kg/ha para o milho e trigo e mais de 1.000 kg/ha para a soja.

O que é importante destacar em todos esses modelos, com maior ou menor detalhamento é que, havendo aumento da concentração de CO₂, fica evidente um aumento de produtividade tanto para as plantas C3 como para as C4, até o nível de fitotoxicidade. Ou seja, até uma determinada concentração o efeito é positivo, depois as plantas morrem. A questão é saber como será o comportamento dessas plantas com relação ao fator hídrico, uma vez que o aumento de temperatura provocará um aumento na eficiência fotossintética com reflexos no consumo de água e maior vulnerabilidade aos estresses hídricos, comuns em regiões tropicais, durante o período das chuvas.

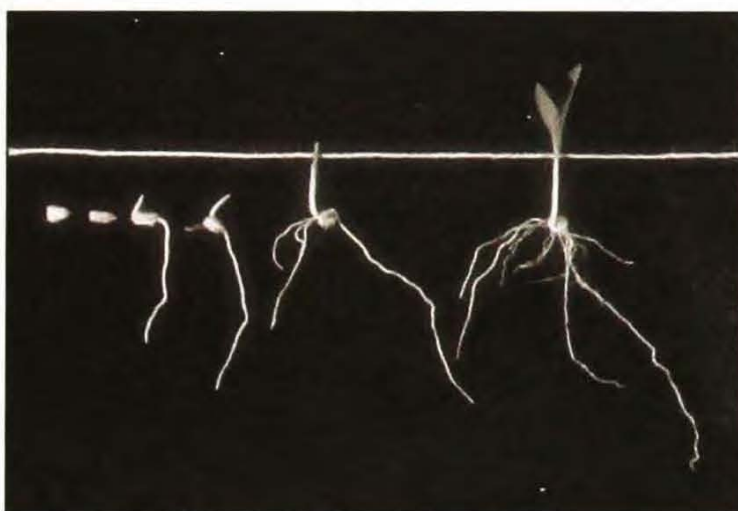
Possíveis efeitos das mudanças climáticas na agricultura brasileira

No início dos anos 90, o Ministério da Agricultura solicitou ao Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA) do Ministério do Desenvolvimento, um estudo que pudesse identificar as principais causas das perdas na agricultura brasileira. Os números indicaram que 95% das perdas eram por seca ou excesso de chuva. A partir dessas indicações e fundamentado nos resultados da pesquisa agropecuária brasileira, foi implantado o Zoneamento Agrícola do Brasil, nome adotado pelos estudos de riscos climáticos que hoje orientam parte da liberação dos créditos agrícolas, responsáveis atualmente por 95 bilhões de dólares/ano, referentes ao PIB da agricultura brasileira. Na verdade, trata-se de indicações de datas de plantio, para vários tipos de solos, várias culturas em 21 estados do país, atingindo anualmente em torno de 5300 municípios. Essas indicações são baseadas nas análises de séries históricas de chuva e de temperatura, que variam entre um mínimo de 20 anos de dados diários até as séries mais longas com 100 anos.

Para indicação das datas de plantio, com pelo menos 80% de probabilidade de sucesso, (ou seja, no máximo 20% de ocorrência de seca ou de excesso de chuvas), são considerados a capacidade de retenção de água nos solos, a profundidade das raízes das plantas cultivadas, a duração do ciclo, a chuva e a variação desse conjunto de dados no período. Na região Nordeste do Brasil, as datas de plantio variam de novembro a junho e no sul do Brasil, de julho a dezembro. Assim, as indicações do zoneamento são feitas para as condições climáticas de cada município, para as culturas de arroz, feijão, milho, trigo, soja, café, algodão, e, mais recentemente, caju, mamona, mandioca e maçã.

O princípio para determinação do risco climático é simples. As áreas de menor risco são aquelas onde não há deficiência hídrica o que garante a germinação e, principalmente, a fase de floração-enchimento de grãos, que reúne as condições fenológicas referentes (condicionantes da produtividade das culturas). Esse risco não deve ultrapassar 20%.

Para definir os riscos são utilizados índices agrometeorológicos determinados no balanço hídrico, calculados a partir da evapotranspiração das culturas, que é a soma entre a transpiração das folhas e a evaporação do solo. Também pode ser definida como a quantidade total de água perdida de



A



B

Figura 2. Na fase de germinação (A) e no início do período de florescimento (B), o risco de faltar água deve ser inferior a 20%. Cultura de milho. Fonte EMBRAPA CNPMS.

uma superfície coberta com vegetação através da evaporação direta da água de interceptação e da superfície do solo. Cada planta tem sua condição ótima de consumo de água, regulada pela fotossíntese, que depende diretamente da quantidade de água e da temperatura do ar. Sendo satisfeitas essas condições, o plantio é recomendado.

Por esses critérios é então conhecida a área em que se pode, potencialmente, plantar qualquer cultura no território nacional, com riscos determinados. A pergunta que se faz, é o que aconteceria com o atual zoneamento agrícola e conseqüentemente com a agricultura, havendo aumento de temperatura nos patamares indicados pelo IPCC (2001), com um mínimo de 1,4° C e um máximo de 5,8° C na temperatura média do globo em 100 anos?

A primeira conseqüência é o aumento nas taxas evapotranspirativas, promovendo maior consumo de água das plantas e, portanto, esvaziando o reservatório “solo” mais rapidamente. A segunda conseqüência seria a redução do ciclo das culturas, principalmente nas plantas C4, tornando-as mais eficientes em termos de assimilação e transformação energética, porém mais sensíveis à deficiência hídrica. A análise dos impactos do aumento da temperatura e da chuva na agricultura deve, então, ser feita no tempo e no espaço.

Tomando como exemplo o caso da soja no Brasil, e considerando que a maioria dos plantios é feita entre os meses de outubro e dezembro, os impactos esperados para o aumento de 1, 3 e 5,8° C são consideráveis. O exemplo da Figura 3 refere-se ao plantio no mês de novembro.

Nesse mês, considerado o de menor risco para o plantio das culturas de sequeiro, há uma redução média de 60% na área favorável para cultivo da soja. Mantido o calendário agrícola atual, a região sul do Brasil sofreria o maior impacto, com forte redução de produção. Por outro lado havendo aumento da temperatura, o calendário de plantio nas altas latitudes tenderá a se deslocar, sendo possível o plantio de soja e milho até o final do mês de janeiro com colheita em junho. No caso das regiões com baixas latitudes, haverá redução de área, sem opções de deslocamento de calendário.

A mesma análise para os três cenários é feita para várias culturas indicando redução na produção e na área plantada.

No caso específico do café arábica, são considerados os riscos de geada, de abortamento de flores sob (temperatura maior que 34° C) e de deficiência hídrica. O aumento na temperatura reduziria o risco de geada, mas aumentaria os riscos de abortamento de flores. Quanto maior a temperatura,

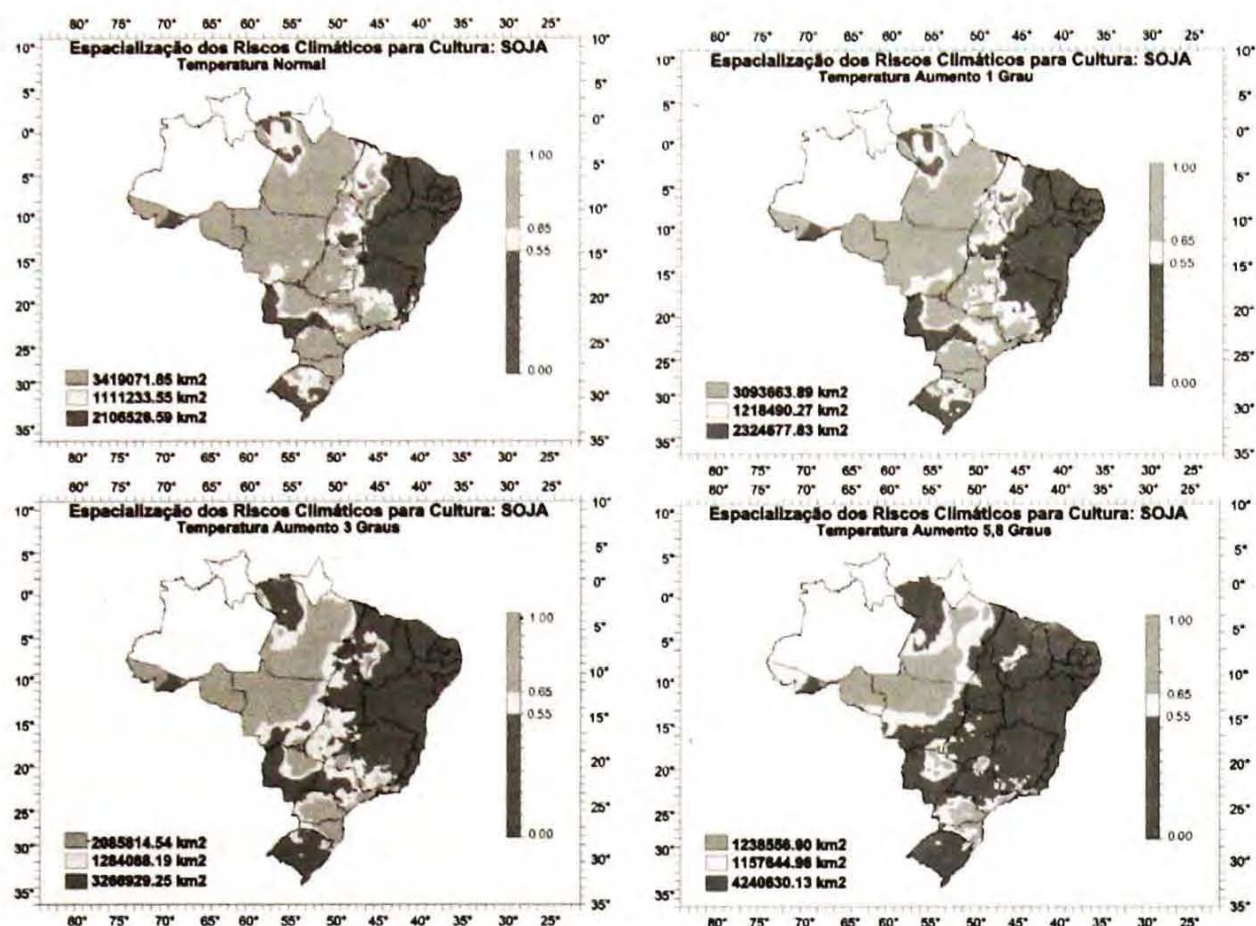


Figura 3. Impacto do aumento da temperatura nas áreas potencialmente favoráveis (verde) para cultivo de soja no Brasil. Quanto mais próximo de 1.0 menor o risco de plantio.

maior será o deslocamento da cultura do café em direção ao sul do país. Essas mesmas considerações são válidas para a cultura de citros. Considerando os resultados do primeiro cenário, com aumento de 1,0° C e a redução das áreas cultivadas com café nos Estados de Minas Gerais, Paraná e São Paulo, o impacto econômico previsto é estimado em US\$ 375 milhões por ano, equivalente à redução de 4 milhões de sacas de café/ano.

No caso do milho, há uma possibilidade de redução de produção de 39 para 33 milhões de toneladas com impacto de US\$900 milhões ao ano. Porém, o maior impacto seria na produção da soja, com redução de 38 milhões de toneladas/ano, o que significaria uma perda de cerca de US\$ 8.5 bilhões/ano, aos preços atuais.

As considerações feitas a partir de simulações de riscos climáticos de longo prazo levam em conta os principais efeitos com possibilidade de mensuração e com reflexos na agricultura, ou seja, aumento da temperatura, com observações mais frequentes de dias quentes e ondas de calor; aumento

Tabela 2. Áreas atuais e futuras de cultivo de grãos no Brasil de acordo com o acréscimo das temperaturas previsto pelo IPCC e consequente redução das produções.

Cultura	Potencial Atual Área Km ²	Área após T+1C Km ²	Área após T+3C Km ²	Área após T+5,8C Km ²	Redução da produção %	Produção atual e futura
Arroz	4,755,204	4,560,347	3,875,734	2,792,430	41	13 mil tons 7,7 mil tons
Feijão	5,141,047	4,992,366	4,575,250	3,972,723	23	2,8 mil tons 2,2 mil tons
Soja	3,419,072	3,093,664	2,085,815	1,238,557	64	60 mil tons 22 mil tons
Milho	5,169,034	5,079,497	4,808,833	4,421,934	15	39 mil tons 33 mil tons
Café Arábica	904,971	698,720	381,414	73,915	92	30 mil bags 2,4 mil bags
Popul. Brasil	165 mil. 2000	190 mil. 2020	300 mil. 2050	400 mil. 2100	-	-

na temperatura mínima, e observação de eventos de precipitação mais intensos.

Conclusões

A análise dos cenários foi feita com intenção de identificar a vulnerabilidade multidimensional do sistema agrícola brasileiro e sua fragilidade diante das mudanças climáticas. É fundamental construir a capacidade de adaptação à mudança global do clima, utilizando “novos princípios” que basicamente seriam: a adoção do princípio da precaução, evitando-se risco de um dano sério e irreversível, mesmo na ausência da completa certeza científica; a adoção do desenvolvimento econômico sustentável, e, no caso brasileiro, adotar o comércio de emissões de carbono como base de discussões comerciais.

O potencial de absorção de gases de efeito estufa por comunidades agrícolas é grande e, no Brasil, esses sistemas têm escala, como por exemplo, as técnicas de plantio direto, reflorestamentos e a integração pecuária-lavoura. Somente o incentivo à adoção dessas práticas de maneira integrada, permitirá a absorção de 10,55 milhões de toneladas de carbono ao ano e um

aumento da produção agrícola em pelo menos 50%, sem haver necessidade de expansão de área. Essas medidas devem ser incentivadas para minimizar, no curto e médio prazos, o aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

Mantido o cenário atual, a adaptabilidade das atuais culturas deve ser perseguida nos seguintes aspectos: tolerância ao calor, para todo o Brasil; tolerância à seca, para as Regiões Sul e Nordeste, e manejo de solos buscando aumentar a capacidade de conservação de água. No caso específico da adaptação aos estresses ambientais, tolerância à seca e ao calor, o país tem uma situação ainda privilegiada, que é sua grande biodiversidade. Certamente na biodiversidade dos Cerrados e da Amazônia é que se encontram os genes necessários que permitirão a adaptação das atuais culturas exóticas às mudanças climáticas, mantendo o mesmo nível de produção agrícola.

Bibliografia

ASSAD, E. D.; LUCHIRARI JÚNIOR, A. Future scenarios and agricultural strategies against climatic changes: the case of tropical savannas. In: **Mudanças climáticas e estratégias futuras**. São Paulo: USP, 1989.

ASSAD, E. D. **Chuva nos cerrados**: análise e espacialização. Brasília, DF: Embrapa-SPI. 1994. 424 p.

ASSAD, E. D. Novas técnicas de zoneamento agrícola no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SEGURIDADE E ZONEAMENTO AGRÍCOLA DO MERCOSUL, 1., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1998. p. 29-31.

DUPLESSY, J. C. Les certitudes des paleoclimatologues. **La Recherche**, Paris, v. 243, p. 558-565, 1992.

EMBRAPA. **Embrapa Cerrados e a região dos Cerrados**: informações básicas e dados estatísticos. Planaltina, DF : Embrapa-CPAC, 1998. 24 p.

GUYOT G. **Climatologie de l'environnement : de la plante aux écosystèmes**. Paris: Masson, 1997. 505 p.

GODWIN, R. B.; RITCHIE, J.; SINGH, U. **A user guide to CERES wheat v. 2.10**. Michigan: Michigan State University: IFDC: IBSNAT, 1989. 86 p.

INPE. **Projeto Prodes**: monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>>. Acesso em> jul. 2006

IPCC. **Climate change 2001**: working group II: impacts, adaptations and vulnerability. Disponível em: <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/005.html>. Acesso em: jul. 2006.

JONES, C. A, KINIRY, J. R. **Ceres-maize**: a simulation model of maize growth and development. Texas: University Press, 1989. 194p.

JONES, J. W.; BOOTE, K. J.; JAGTAP, S. S. **Soygro v. 5.41**: soybean crop growth simulation user's guide. Gainesville: Agriculture Experimental Station Journal, 1988. n. 8304.

JONES, J. W.; JAGTAP S. S.; HOOGENBOOM, G. The structure and function of DSSAT. In: IBSNAT SYMPOSIUM, 1989, Las Vegas. **Proceedings...** Honolulu: University of Hawaii, 1990.p 1-14.

LORIUS, C. Climat et gaz à l'effet de serre: les données des archives glaciaires. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, Seire III , Sciences de la Vie, Montrouge, v. 8, p. 108-124, 1991.

LE TREUT, H.; KANDEL, R. Que nous apprennent les modèles du climats? **La Recherche**, Paris, v. 243, p. 572-583, 1992.

ORGANISATION METEOROLOGIQUE MONDIALE. **The global climate system monitoring**: december 1988 - may 1991. Geneve, 1992. 110 p.

SALGADO LABORIAU, M. L.; CASSETI, W.; FERRAZ-VICENTINI, K. R.; MARTIN, L.; SOUBIÉS, F.; SUGUIO, K.; TURCQ, B. Late quaternary vegetational climatic changes in cerrado and palm swamp from central Brazil. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**, v. 128, p. 215-226, 1997.

SALGADO LABORIAU, M. L.; BARBERI, M.; FERRAZ-VICENTINI, K. R.; PARIZZI, M. G. A dry climatic event during the late quaternary of tropical Brazil. **Review of Paleobotany and Palynology**, v. 99, p. 115-129, 1998.

SIQUEIRA, O. J. F.; FARIAS, J. R. B.; SANS, L. M. Potential effects of global climate change for Brazilian agriculture and adaptative strategies for Wheat, Maize and Soybean. **Revista Brasileira de Agroclimatologia**, Santa Maria, v. 2, p. 115-129, 1994.

Uma análise do efeito do aquecimento global na produção de batata no Brasil

Carlos Alberto Lopes¹, Giovani Olegário da Silva¹,
Eduardo Machado Cruz¹, Eduardo Assad², Arione da Silva Pereira³

¹ Embrapa Hortaliças, ² Embrapa Informática Agropecuária, ³ Embrapa Clima Temperado.

Observações sobre o incremento gradual das médias das temperaturas do ar e dos oceanos, degelo generalizado em regiões polares e aumento do nível do mar parecem ser provas inequívocas do aquecimento global, conforme indicado no relatório do “Intergovernmental Panel on Climate Change”, divulgado pela OMM/WMO-Pnue/Unep (McCARTHY et al., 2003), recentemente atualizado na França (IPCC, 2007). Levantamento de dados de vários anos, que proporcionaram simulações em complexos modelos climáticos, permitiu a previsão, constante desse relatório, de que a temperatura global deverá aumentar, nos próximos 100 anos, entre 1,4° C e 5,8° C. Webster et al. (2001), com base em avaliações probabilísticas da sensibilidade do modelo, chegaram a valores similares, de 0,9° C a 5,3° C. Da mesma forma, análises efetuadas por Wigley e Raper (2001) mostraram que, sem uma política de limitação dos efeitos antrópicos para minimizar o aquecimento global, o aumento da temperatura até 2100 deverá ficar entre 1,7° C e 4,9° C.

Os efeitos do aquecimento global na agricultura têm sido constantemente explorados na mídia, com grande ênfase na cafeicultura, pela sua importância na economia brasileira. Segundo Assad et al. (2004) e Assad (2007), se nada for feito no Brasil nos próximos oito anos para aliviar o atual nível de aquecimento global, a atividade cafeeira poderá perder quase a metade da área plantada com café arábica - hoje de 2,3 milhões de hectares - com o aumento de um grau na temperatura. E, em 30 anos, a temperatura deverá aumentar 3° C, exterminando mais de 70% da área de café arábica no País.

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é o quarto alimento mais consumido no mundo, após o arroz, o trigo e o milho (HIJMANS, 2001; ABBA, 2006). Cultivada nas montanhas andinas há mais de 7.000 anos, somente por volta

de 1.500 foi introduzida na Europa, onde se popularizou, difundindo-se daí para outros continentes. Chegou ao Brasil trazida por colonizadores europeus que se instalaram na Região Sul, onde perceberam que as temperaturas mais amenas e chuvas bem distribuídas eram adequadas para a bataticultura (ABBA, 2006). É cultivada no Brasil predominantemente nas regiões de clima temperado no sul e sudeste do País, embora com significativa expansão em áreas de clima tropical de altitude durante o outono/inverno (WREGGE et al., 2004). Mas, mesmo sendo encontrada em grande amplitude geográfica no País, é considerada particularmente vulnerável ao aquecimento global em virtude da faixa relativamente pequena de temperatura, entre 10° C e 30° C, na qual pode ser cultivada. Fora destes limites, o desenvolvimento de tubérculos é significativamente inibido (NEW-AG INFO, 2008).

A bataticultura requer climas amenos para que ocorra tuberação abundante, que garanta boa produtividade aliada à qualidade de tubérculos. Por exemplo, Menezes et al. (1999) comprovaram que o cultivo na safra das águas, em Minas Gerais, sob temperaturas mais altas, resultou em produção cerca de 25% menor e em qualidade inferior dos tubérculos em comparação com o cultivo de inverno.

A temperatura acima da faixa ideal afeta diretamente o metabolismo da planta e interage com outros fatores ambientais, tendo, assim, efeito significativo no seu desenvolvimento. No caso específico da batata, temperaturas altas não só reduzem a síntese de fotoassimilados essenciais ao desenvolvimento da planta como também a sua partição aos tubérculos (BURTON, 1981; EWING, 1981; KRAUSS; MARSCHNER, 1984; KHEDLER; EWING, 1985; PRANGE et al., 1990; DENYER et al., 1994; DAM et al., 1996; TIMLIN et al., 2006; HAVERKORT; VERHAGEN, 2008). Como consequência, ocorre queda de rendimento e redução da matéria seca dos tubérculos (HUGHES, 1974; MARINUS; BODLAENDER, 1975).

Haverkort e Harris (1987) relacionaram temperatura a conteúdo de matéria seca e verificaram que sua concentração nos tubérculos decresceu 0,45% a cada 1° C de aumento na temperatura, partindo de uma porcentagem inicial de 20% e temperatura média de 14° C. Os mesmos autores indicaram ainda que o tamanho de tubérculos, também, diminui com o aumento na temperatura devido à correlação negativa com número de tubérculos por planta. O número de tubérculos por planta aumentou em 1,68 tubérculo a cada 1° C de aumento na temperatura, também partindo de uma temperatura inicial de 14° C.

Em regiões tropicais, Souza et al. (2003) observaram que, sob altas temperaturas em pós-emergência inicial, as folhas são menores e mais numerosas, com formação de área foliar mais rápida do que em regiões frias. Entretanto, a longevidade das folhas é menor, as hastes são mais reduzidas e com formação de folhagem abaixo do suficiente para aproveitar a energia luminosa disponível para a produção de matéria seca. O crescimento das raízes é também mais reduzido, o que é uma desvantagem pela maior necessidade de absorção de água e nutrientes para possibilitar o metabolismo mais rápido da planta.

Antunes e Fortes (1981) analisaram a farta literatura sobre a temperatura ideal para o cultivo da batata e concluíram que, embora haja divergência de valores, a faixa de 10° C a 20° C acomoda significativa porção dos resultados obtidos em várias partes do mundo, levando em conta ainda que a maioria das cultivares comerciais tuberizam melhor em temperaturas médias um pouco acima de 15° C (FAO, 1991). Dados mais precisos apontam esta faixa entre 15° C e 18° C, e que temperaturas noturnas acima de 22° C reduzem significativamente a produção de tubérculos (INFO-RESOURCES FOCUS, 2008). Burton (1981), entretanto, afirmou que regiões com temperaturas máximas entre 20° C e 30° C e mínimas entre 8° C e 15° C são mais favoráveis ao cultivo do que regiões com pouca amplitude térmica. Marinus e Bodlaender (1975) relataram que a produção de tubérculos e de biomassa da planta de oito cultivares de batata foi menor quando cultivadas a 27° C em comparação com 16° C e 22° C. Em estudos realizados no Brasil, Fontes e Finger (1999) sugeriram 25° C como a temperatura diurna máxima recomendada, desde que associada a temperaturas noturnas mais baixas.

A redução da produtividade a partir de um limite máximo de temperatura pode ser explicada pela inibição da fotossíntese à medida que a temperatura aumenta. Burton (1981) relatou que a temperatura ótima para a fotossíntese está em torno de 20° C e que, para cada 5° C de elevação na temperatura da parte aérea, há uma redução de aproximadamente 25% na taxa fotossintética, e a respiração foliar pode ser dobrada pelo aumento de 10° C. Completa inibição de fotossíntese líquida foi observada a temperaturas acima de 30° C (BURTON, 1981).

Em estudo similar, porém mais detalhado com dez cultivares de batata e em intervalos menores de temperatura, Prange et al. (1990) observaram que a taxa de fotossíntese decresceu 34% quando a temperatura foi elevada de 18° C para 21° C. Da mesma forma, Hammes e Dejager (1990), em pesquisa realizada em câmaras de crescimento com temperaturas de 15° C a 40° C, concluíram que a taxa fotossintética sofreu redução em temperaturas acima

de 20° C em todas as cultivares de batata analisadas, a ponto de, a 40° C, ser de apenas 37% daquela apresentada a 20° C. Relatos independentes de Dwelle et al. (1981) e Ku et al. (1977) concordam que a temperatura ótima para a fotossíntese líquida na planta não ultrapassa 25° C. Por sua vez, Epstein (1966) observou que, aos 30 dias após a emergência, plantas crescidas em temperaturas constantes de 9° C, 16° C e 22° C apresentavam tubérculos, ao passo que nenhum tubérculo foi encontrado em temperaturas de 29° C.

Além de provocar redução de produtividade, altas temperaturas ainda afetam negativamente a aparência do tubérculo devido à ocorrência de doenças e distúrbios fisiológicos tais como lenticeloses, rachaduras, embonecamento e manchas internas (HUGHES, 1974; MARINUS; BODLAENDER, 1975; HOOKER, 1990; MENEZES et al., 1999), acompanhados ou não de crescimento exuberante da parte aérea e senescência precoce das folhas, com redução no crescimento de tubérculos pelo encurtamento do período de acúmulo de reserva (MARINUS; BODLAENDER, 1975; FONTES; FINGER, 1999).

Embora o efeito do aquecimento global na agricultura tenha sido exaustivamente discutido nos últimos anos, poucos são os modelos agroclimatológicos que tratam da influência das mudanças climáticas na bataticultura. Em um deles, simulação realizada por Hijmans (2003) indicou que o aumento de 1,2°C a 3,2°C entre 2010 a 2060 resultará em queda de produção da batata nas regiões tradicionais de cultivo, principalmente em locais de baixa altitude. Em países de clima tropical e subtropical, a queda de produtividade esperada está entre 20% e 30% (INFO-RESOURCES FOCUS, 2008). Para o Brasil, a queda de produção prevista é de 23%, no período de 2040-2069 (HIJMANS, 2003).

Recentemente, o Centro Internacional de la Papa (CIP) anunciou o desenvolvimento um modelo que simula e visualiza o efeito de diferentes cenários climáticos na produção de batata (HIJMANS; GRAHAM, 2006). Ao associar as respostas de diferentes cultivares com informações geográficas precisas relacionadas ao solo e às principais variáveis climáticas (temperatura e precipitação), este modelo permite estimar o futuro da bataticultura na região e até mesmo as produtividades nas diferentes épocas do ano. Além de uso direto pelo produtor, esse modelo pode ser útil em programas de melhoramento de batata na busca de cultivares resistentes a condições adversas de cultivo.

É fácil imaginar, por outro lado, que o aumento de temperatura não só traz efeitos negativos, pois pode ser favorável à bataticultura em regiões

de elevadas altitudes e latitudes ao permitir a extensão da época de cultivo. Além de aumentar a produtividade em lavouras conduzidas em climas mais frios, a produção de inverno, normalmente inviabilizada pela presença de geadas, pode se tornar realidade. Não se deve negligenciar, entretanto, o fato de cultivos em terrenos declivosos dificultarem a mecanização e resultarem na degradação do solo.

Outro ponto relevante nessa discussão é o fato de que as mudanças climáticas aumentarão problemas com pragas e doenças devido ao aumento no período do ano com temperaturas altas, permitindo maior quantidade de ciclos de multiplicação de patógenos (HAVERKORT; VERHAGEN, 2008). Além disso, provocará alterações no nível de resistência das plantas a doenças e na virulência dos patógenos, bem como nas interações hospedeira - patógeno (CHAKRABORTY et al., 1998; COAKLEY et al., 1999; RUNION, 2003; LOPES et al., 2008).

Desviando a atenção do lado econômico da bataticultura em direção ao não menos importante plano estratégico, o aquecimento global ameaça seriamente algumas espécies silvestres de *Solanum*, de grande importância aos programas de melhoramento genético. Prevê-se que entre 16% e 22% das 108 dessas espécies estejam ameaçadas de extinção até o ano de 2055 (INFO-RESOURCES FOCUS, 2008).

Neste trabalho, é analisado o efeito do aquecimento global na produção de batata nos principais municípios produtores do Brasil a partir de informações contidas na literatura. Não se propôs realizar prognóstico dos riscos da bataticultura nacional, e sim tecer comentários sobre a posição de cada um dos principais municípios produtores de batata face ao eventual aumento de temperatura resultante do aquecimento global. Seu intuito é alertar sobre o assunto para que eventuais medidas corretivas possam ser tomadas o quanto antes, sempre com a preocupação de não alarmar a cadeia produtiva da batata.

A análise do impacto do eventual aquecimento global na produção de batata no país feita a seguir é baseada no cenário descrito no relatório do IPPCC, sem entrar no mérito da sua pertinência, e na situação atual da produção brasileira, descrita por Wrege et al. (2004).

As informações climáticas que possibilitaram a confecção das figuras seguintes foram extraídas do trabalho de Wrege et al. (2004) e as épocas de plantio disponibilizadas na página web da Associação Brasileira da Batata (www.abbabatatabrasileira.com.br).

Em virtude da grande amplitude de temperaturas máximas e mínimas indicadas na literatura nacional e internacional e como sendo favoráveis

ao desenvolvimento da batata, foi considerada neste trabalho a indicação de Fontes e Finger (1999), que sugerem 25° C como a temperatura diurna máxima, desde que associada a temperaturas noturnas mais baixas, com limite inferior de 10°C, limites que acomodam a maioria dos resultados obtidos em várias partes do mundo (ANTUNES; FORTES, 1981). Também não foram levadas em conta as diferenças de adaptação das cultivares em virtude de haver pequena variabilidade deste caráter em função da estreita base genética utilizada nos programas de melhoramento da batata que originaram as principais cultivares plantadas no Brasil (PEREIRA et al., 2003).

Para facilitar a análise, foram gerados gráficos de temperaturas mínima e máxima mensais dos principais municípios produtores de batata no Brasil. Considerou-se somente um município no caso de apresentar situação climática similar a outros eventualmente também importantes. Na atual condição climática no Brasil, mesmo para as regiões onde prevalece clima mais ameno, pode ser verificado que apenas o município de São Joaquim, SC, nos meses mais frios do ano, temperaturas mínimas abaixo de 10° C são fator limitante para a cultura da batata em função da ocorrência de geadas (Figuras 1 e 2). Raciocínio semelhante é válido para os vários municípios não constantes da lista com a mesma limitação por geadas, principalmente nos estados de maior latitude sul, como Ibiraiaras no Rio Grande do Sul e Água Doce em Santa Catarina, ou de altitude, como Senador Amaral em Minas Gerais. Conforme indicado na Figura 1, para estes municípios, o aumento de temperatura poderá viabilizar plantios de inverno. Por outro lado, o plantio nos meses de novembro a fevereiro, bem como a colheita antecipada do final de dezembro, poderão apresentar problemas fisiológicos e patológicos com as temperaturas muito altas. Em resumo, por ter como característica climática um inverno com temperaturas muito baixas, a bataticultura no município de São Joaquim poderá aumentar em relação à área plantada atual, mesmo com elevação de temperatura preconizada pelo IPCC, devido à possibilidade de cultivo em épocas tradicionalmente mais frias no outono e no inverno. Haveria necessidade, portanto, de ajustes nas épocas de plantio em tal situação.

Para os municípios da região de Guarapuava e Ponta Grossa, PR, e Itapetininga, SP, os três primeiros e os três últimos meses do ano se tornariam impróprios para o desenvolvimento normal das plantas de batata após aumento de 5° C (Figura 1). O plantio de cultivares mais precoces, entretanto, ainda possibilitaria plantios para o desenvolvimento das plantas de maio a agosto.

A situação é mais preocupante para os municípios que atualmente não sofrem restrições de temperaturas baixas de inverno, o que permite o cultivo

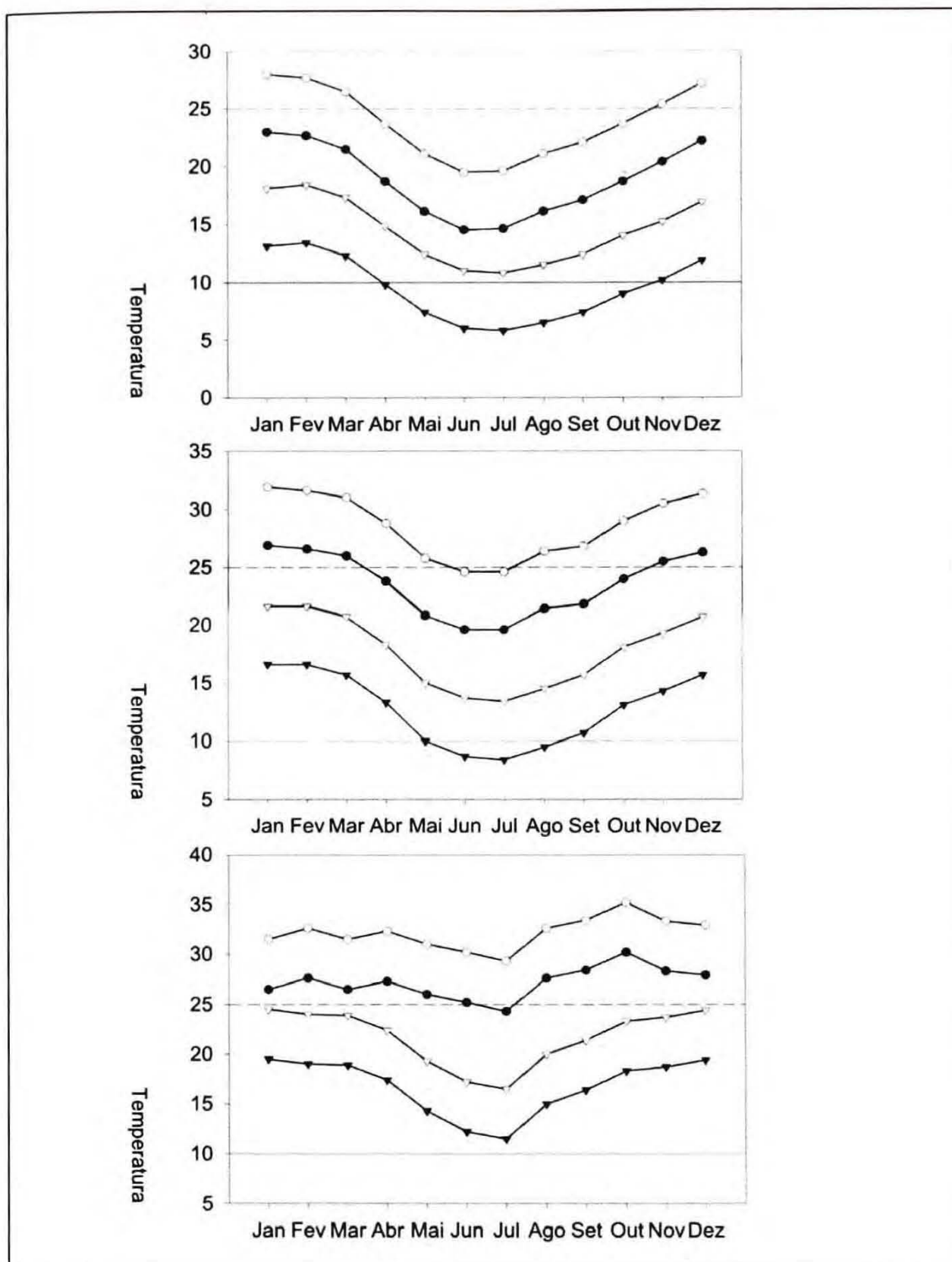


Figura 1. Temperaturas máximas e mínimas mensais atuais (símbolos cheios) e acrescidas de 5°C (símbolos vazios) para São Joaquim (SC), Guarapuava (PR) e Cristalina (GO). Brasília, 2007. (Gráficos elaborados a partir de dados extraídos de WREGGE et al., 2004). O intervalo entre as linhas horizontais é delimitado pela temperatura máxima e temperatura mínima ideais para a cultura da batata.

de batata praticamente o ano todo, com alguma dificuldade para os municípios com verão chuvoso. Assim, Vargem Grande do Sul, SP, Araxá, MG (Figura 2), Cristalina, GO (Figura 1), e Mucugê, BA (Figura 2), teriam sérias restrições climáticas de alta temperatura para o cultivo da batata, comprometendo a possibilidade de permitirem as três safras atuais (de janeiro a abril, de abril a julho e de agosto a dezembro).

Um resumo do efeito do aumento de temperatura esperado até o final do século, de aproximadamente 5°C, é mostrado na Tabela 1, que mostra o número de meses em que a média das temperaturas máxima e mínima se encontra dentro da faixa ótima (10° C a 25° C) assumida neste artigo, para os seis municípios representantes dos maiores produtores do Brasil. Em relação à limitação por temperaturas baixas, somente os municípios de São Joaquim e Guarapuava apresentam restrições de seis e três meses, respectivamente, e que deixariam de existir após o aumento da temperatura. Entretanto, a preocupação maior pode ser verificada quando se observam as temperaturas máximas, que restringiriam a cultura em todos os meses do ano para os municípios de Cristalina, Mucugê, Vargem Grande do Sul e Araxá após o aumento de 5° C. De fato, percebe-se, pelas Figuras 1 e 2, que estes quatro últimos já apresentam temperaturas máximas bem próximas ao limite da faixa ótima para a cultura da batata.

Para que não fique a idéia de que este documento apresenta somente um cenário pessimista para a bataticultura brasileira, deve ser esclarecido que as inferências desse trabalho foram feitas a partir de temperaturas médias. Isso leva a uma análise que pode ser, em parte, mais pessimista, ao não levar totalmente em conta que associação de temperaturas diurnas altas com temperaturas noturnas amenas, conforme indicado por Burton (1981), é favorável à bataticultura, face às altas produtividades obtidas em cultivos de verão, como observado na região da Chapada Diamantina, BA (ABBA, 2006), onde essas condições ocorrem com frequência.

Há que se considerar ainda que os produtores que protagonizam o desenvolvimento da bataticultura nacional empreendem suas atividades com a cultura em mais de uma região/estado para estender o período de safra, visando o atendimento regular da clientela, a obtenção de melhores cotações médias de preço do produto no mercado e a utilização da infra-estrutura (Natalino Shimoyama, comunicação pessoal). Além da importância para o sucesso do negócio da batata, esta estratégia certamente facilitará os ajustes necessários em relação a épocas e regiões de produção, na medida em que os efeitos do provável aquecimento global se efetivarem.

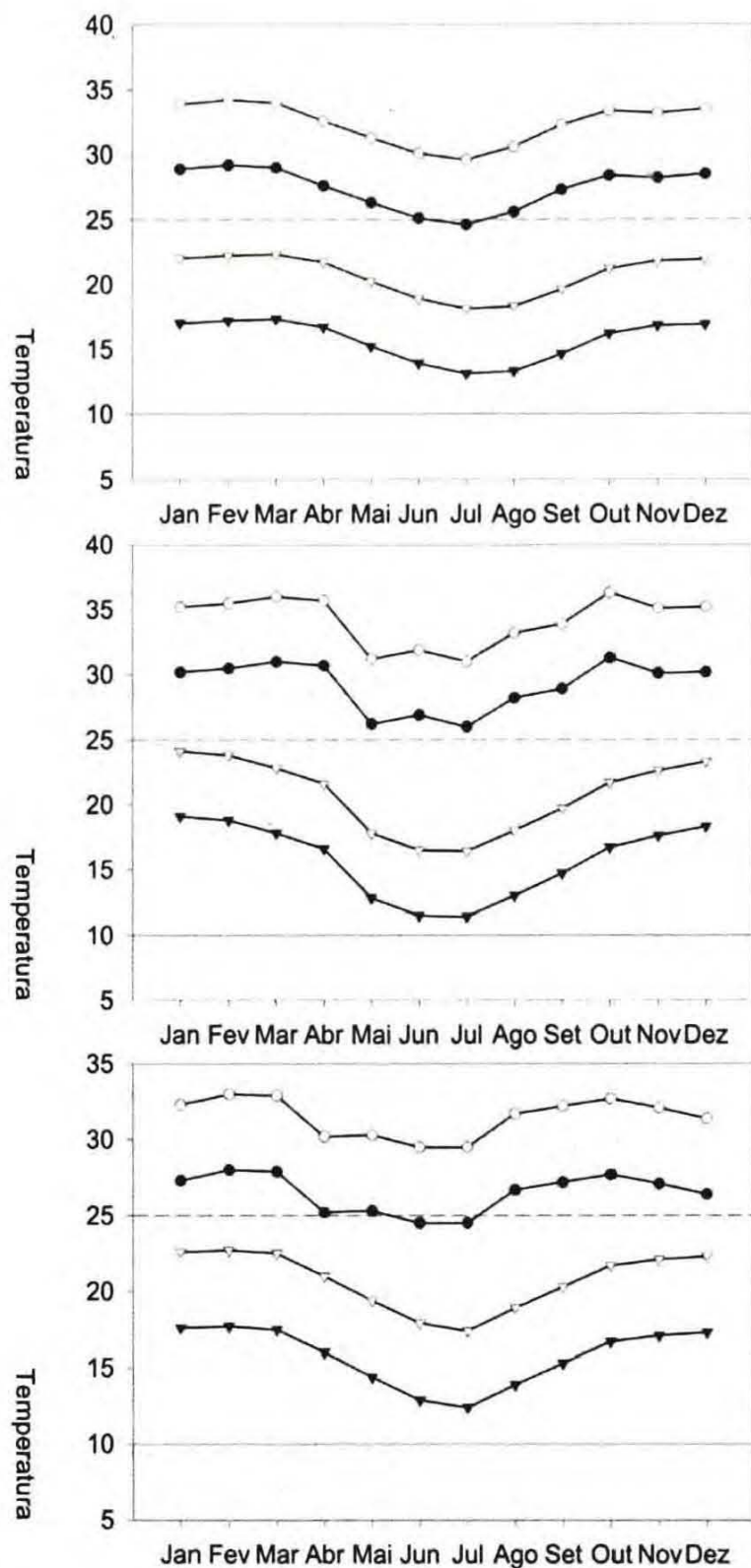


Figura 2. Temperaturas máximas e mínimas mensais atuais (símbolos cheios) e acrescidas de 5°C (símbolos vazios) para Mucugê (BA), Vargem Grande do Sul (SP) e Araxá (MG). Brasília, 2007. (Gráficos elaborados a partir de dados extraídos de WREGGE et al., 2004). O intervalo entre as linhas horizontais é delimitado pela temperatura máxima e temperatura mínima ideais para a cultura da batata.

Tabela 1. Número de meses do ano em que a média de temperatura se encontra dentro da faixa ótima (10° C a 25° C) para a cultura da batata, na situação atual e após o aumento de 5° C.

Município	Temp. mínima		Temp. máxima		Amplitude atual (°C)
	Atual	+ 5° C	Atual	+ 5° C	
São Joaquim, SC	6	12	12	7	5-23
Guarapuava, PR	9	12	7	2	7-27
Cristalina, GO	12	12	1	0	12-30
Mucugê, BA	12	12	2	0	12-30
Vargem Grande do Sul, SP	12	12	0	0	11-32
Araxá, MG	12	12	4	0	12-27

Finalmente, os efeitos do aumento da temperatura certamente ressaltarão a necessidade de esforços nos programas de melhoramento genético no sentido de priorizar o desenvolvimento de cultivares tolerantes ao calor. É importante que clones avançados dos programas nacionais de melhoramento genético de batata sejam desenvolvidos considerando também a resistência às principais doenças e sejam avaliados em diferentes localidades e épocas de plantio, visando 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.

Conclusões

1. Algumas regiões brasileiras produtoras de batata que hoje permitem o cultivo durante todo o ano sofrerão os efeitos do aquecimento global, com perspectiva de concentração da produção somente nos meses de temperaturas mais baixas, de redução de produtividade e de aumento da intensidade de algumas doenças;
2. Municípios produtores de batata localizados em regiões mais frias não serão afetados significativamente, embora se preveja uma mudança nas épocas de plantio;
3. Busca de variedades resistentes ao calor e outros efeitos advindos do aquecimento global deverá ter prioridade em programas de melhoramento genético da batata.

Bibliografia

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

ANTUNES, F. Z.; FORTES, M. Exigências climáticas da cultura da batata. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 7, p. 19-23, 1981.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café (*Coffea arabica*) no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 1057-1064, 2004.

ASSAD, E. D. Aquecimento global põe em risco produção de café e soja. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 31 de maio de 2007. Disponível em: <<http://www.portaldogronegocio.com.br/conteudo.php?id=17843>>. Acesso em: 16 set. 2009.

BIODIVERSITY INTERNATIONAL. **Headquarters**: via dei tre denari. Disponível em: <<http://www.biodiversityinternational.org>>. Acesso em: 22 maio 2007.

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

BURTON, W. G. Challenges for stress physiology in potato. **American Potato Journal**, Orono, v. 58, p. 3-14, 1981.

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.; 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**, Sydney, v. 27, p. 15-35, 1998.

CHAKRABORTY, S.; DATTA, S. How will plant pathogens adapt to host plant resistance at elevated CO₂ under a changing climate? **New Phytologist**, Cambridge, v. 159, p. 733-742, 2003.

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

DENYER, K.; HYLTON, C. M.; SMITH, A. M. The effect of high temperature on starch synthesis and the activity of starch synthase. **Australian Journal of Plant Physiology**, Sydney, v. 21, p. 783-789, 1994.

DWELLE, R. B.; KLEINKOPF, G. E.; PAVEK, J. J. Stomatal conductance and gross photosynthesis of potato (*Solanum tuberosum* L.) as influenced by irradiance, temperature and growth stage. **Potato Research**, Wageningen, v. 24, p. 49-59, 1981.

- EPSTEIN, E. Effect of soil temperature at different growth stages on growth and development of potato plants. **Agronomy Journal**, Orono, v. 58, p. 2, p. 169-171, 1966.
- EWING, E. E. Heat stress and the tuberization stimulus. **American Potato Journal**, Orono, v. 58, p. 31-49, 1981.
- EWING, E. E.; STRUIK, P. C. Tuber formation in potato: induction, initiation and growth. **Horticultural Reviews**, New York, v. 14, p. 189-198, 1992.
- FAO. **Potato production and consumption in developing countries**. Rome, 1991. n. 110, 47 p.
- FONTES, P. C. R.; FINGER, F. L. Dormência dos tubérculos, crescimento da parte aérea e tuberização da batateira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, p. 24-29, 1999.
- HAMMES, P. S.; DEJAGER, J. A. Net photosynthetic rate of potato at high temperatures. **Potato Research**, Wageningen, v. 33, p. 515-520, 1990..
- HAVERKORT, A. J.; HARRIS, P. M. A model for potato growth and yield under tropical highland conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 39, p. 271-282, 1987.
- HAVERKORT, A. J.; VERHAGEN, A. Climate change and its repercussions for the potato supply chain. **Potato Research**, Wageningen, v. 51, p. 223-237, 2008.
- HETHERINGTON, S. E.; SMILLIE, R. M.; MALAGAMBA, P.; HUAMÁN, Z. Heat tolerance of cultivated potatoes measured by the chlorophyll-fluorescence method. **Planta**, Berlin, v. 159, p. 119-124, 1983
- HIJMANS, R. J. Global distribution of the potato crop. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 78, p. 403-412, 2001.
- HIJMANS, R. J. The effect of climate change on global potato production. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 80, p. 271-280, 2003.
- HIJMANS, R. J.; GRAHAM, C. H. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. **Global Change Biology**, Oxford, v. 12, p. 2272-2281, 2006.
- HOOKE, W. J. **Compendium of potato diseases**. St. Paul: APS Press, 1990. 125 p.
- HUGHES, J. C. Factors influencing the quality of ware potatoes. 2. Environmental factors. **Potato Research**, Wageningen, v. 17, p. 512-547, 1974.

INFO-RESOURCES FOCUS. **Potatoes and climate change**. Disponível em: <http://www.inforesources.ch/pdf/focus08_1_e.pdf 2008>. Acesso em: 10 nov. 2008.

KHEDHER, M. B.; EWING, E. E. Growth analysis of eleven potato cultivars grown in the greenhouse under long photoperiods with and without heat stress. **American Potato Journal**, Orono, v. 62, p. 537-554, 1985.

KRAUSS, A.; MARSCHNER, H. Growth rate and carbohydrate metabolism of potato tubers exposed to high temperatures. **Potato Research**, Wageningen, v. 27, p. 297-303, 1984.

KU, S. B.; EDWARDS, G. E.; TANNER, C. B. Effects of light, CO₂, and temperature on photosynthesis, O₂ inhibition of photosynthesis, and transpiration in *Solanum tuberosum*. **Plant Physiology**, Washington, v. 59, p. 868-872, 1977.

LOPES, C. A.; REIS, A.; SHIMOYAMA, N. Y. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças da batata no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 75-92

MARINUS, J.; BODLAENDER, K. B. A. Response of some potato varieties to temperature. **Potato Research**, Orono, v. 18, p. 189-201, 1975.

McCARTHY, J. J.; CANZIANI, O. F.; LEARY, N. A.; DOKKEN, D. J.; WHITE, K. S. Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of working group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Global Ecology & Biogeography**, Oxford, v. 12, p. 87-88, 2003.

MENEZES, C. B.; PINTO, C. A. B. P.; NURMBERG, P. L.; LAMBERT, E. 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, p. 776-783, 1999.

NEW-AG INFO. **Climate change: can potato stand the heat?** Disponível em: <<http://www.new-ag.info/08/05/focuson/focuson2.php>>. Acesso em: 10 nov. 2008.

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

PEREIRA, A. S.; SOUZA, Z. S.; CHOER, E. Principais cultivares. In: PEREIRA, A. da S.; DANIELS, J. (Ed.). **O cultivo da batata na Região Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p.143-153.

PRANGE, R. K.; MCRAE, K. B.; MIDMORE, E. D. J.; DENG, R. Reduction in potato growth at high temperature: role of photosynthesis and dark respiration. **American Potato Journal**. Orono, v. 67, p. 357-369, 1990.

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

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

TIMLIN, D.; LUTFOR RAHMAN, S. M.; BAKER, J.; REDDY, V. R.; FLEISHER, D.; QUEBEDEAUX, B. Whole plant photosynthesis, development, and carbon partitioning in potato as a function of temperature. **Agronomy Journal**, Madison, v. 98, p. 1195-1203, 2006.

DAM, J. van; KOOMAN, P. L.; STRUIK, P. C. Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tuber in potato (*Solanum tuberosum* L.). **Potato Research**. Wageningen, v. 39, p. 51-62, 1996.

KEULEN H.W. van; STOL, W. Agro-ecological zonation for potato production. In: HAVERKORT, A. J.; MACKEMON, D. J. L. (Ed.). **Potato ecology and modeling of crops under conditions limiting growth**. Dordrecht: Kluwer, 1995. p. 357-372, 1995.

WEBSTER, M. D.; FOREST, C. E.; REILLY, J. M.; SOKOLOV, A. P.; STONE, P. H.; JACOBY, H. D.; PRINN, R. G. **Uncertainty analysis of global climate change projections: joint program on the science and policy of global change**. Disponível em: <<http://web.mit.edu/globalchange/www/rtp73.html>>. Acesso em: 12 fev. 2001.

WIGLEY, T. M. L.; RAPER, S. C. B. Interpretation of high projections for global mean warming. **Science**, Washington, v. 293, p. 451-454, 2001.

WREGE, M. S.; HERTER, F. G.; PEREIRA, A. S.; CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, S. L.; BRAGA, H. J.; PANDOLFO, C.; MATZENAUER, R.; CAMARGO, M. B. P.; BRUNINI, O.; STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, C.; FERREIRA, J. S. A.; SANS, L. M. A. **Caracterização climática das regiões produtoras de batata no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 35 p. (Embrapa Clima Temperado, Documentos, 133).

Como as mudanças climáticas poderão afetar as doenças das hortaliças?

Raquel Ghini
Embrapa Meio Ambiente

Introdução

As atividades antrópicas estão alterando as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, causando mudanças no clima do planeta (IPCC, 2007). O efeito estufa é um processo natural que permite a manutenção da temperatura necessária para o estabelecimento e sustento da vida na Terra. O vapor de água, o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), o ozônio (O_3) e outros gases presentes na atmosfera, denominados gases de efeito estufa, retêm parcialmente a radiação térmica que é emitida quando a radiação solar atinge a superfície do planeta.

As atividades antrópicas, intensificadas após a Revolução Industrial, no final do século XVIII, caracterizam-se pela emissão de gases na atmosfera devido ao uso dos recursos naturais, como a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento. Como consequência, há uma maior retenção de radiação que resulta na intensificação do efeito estufa, elevando a temperatura média da superfície do planeta, além de outros efeitos. Durante o século XX, houve um aumento na temperatura média da superfície do planeta, de aproximadamente $7,4^\circ\text{C}$. Porém, esse aumento não foi homogêneo, isto é, algumas regiões do planeta apresentaram maiores incrementos de temperatura que outras. Recentemente, o fenômeno tem se acelerado, pois as maiores temperaturas médias anuais foram registradas nos últimos anos (IPCC, 2007).

Rockström et al. (2009) identificaram e quantificaram limites planetários que não devem ser transpostos com a finalidade de evitar danos ambientais. Embora muitos sistemas do planeta atuem de forma não linear, muitas vezes abrupta, os autores estabeleceram limites nos quais podem ocorrer sérios danos para o ser humano. Dos sistemas propostos, três se encontram operando acima do limite proposto: mudança climática, perda de biodiversidade e ciclo do nitrogênio (Tabela 1).

Processos do planeta	Parâmetros	Limite Proposto	Situação atual	Valor Pré-Industrial
Mudança climática	Concentração de CO ₂ atmosférico (ppmv)	350	387	280
	Mudança no forçamento radiativo (W/m ²)	1	1,5	0
Taxa de perda da biodiversidade	Taxa de extinção (número de espécies/milhão de espécies por ano)	10	> 100	0,1-1
Ciclo do nitrogênio	Quantidade de N ₂ removido da atmosfera para uso humano (milhões de ton/ano)	35	121	0
Ciclo do fósforo	Quantidade de P que flui para os oceanos (milhões ton/ano)	11	8,5-9,5	1
Destruição da camada de ozônio	Concentração de ozônio (Unidade Dobson - (DU))	276	283	290
Acidificação dos oceanos	Estado de saturação média global de aragonita na água da superfície do mar	2,75	2,9	3,44
Uso global de água doce	Consumo de água doce por seres humanos (km ³ /ano)	4000	2600	415
Mudança no uso da terra	Porcentagem de cobertura global da terra convertida em terras agrícolas	15	11,7	Baixo
Carga de aerossol atmosférico	Concentração de partículas na atmosfera, numa base regional			A ser determinado
Poluição química	Por exemplo, a quantidade emitida ou a concentração de poluentes orgânicos persistentes, plásticos, metais pesados e resíduos nucleares, o ambiente global ou os efeitos sobre o ecossistema e do seu funcionamento			A ser determinado

Tabela 1. Limites planetários adaptados de Rockström et al. (2009).

Para quantificar os limites da ação antrópica sobre o clima do planeta, os autores propuseram o valor de 350 ppmv de concentração atmosférica de CO₂ e o forçamento radiativo de 1 W/m² acima dos níveis pré-industriais. Transgredir esses limites causará danos irreversíveis ao clima do planeta, como perda de significativas áreas cobertas com gelo, aumento do nível do mar e mudanças abruptas em sistema florestais e agrícolas. Atualmente, a concentração atmosférica de CO₂ encontra-se por volta de 387 ppmv e o forçamento radiativo superou 1,5 W/m² acima dos níveis pré-industriais. Quanto aos demais sistemas alterados, vale ressaltar que a extinção de espécies é um fenômeno natural, porém os níveis observados atualmente estão 100 a 1000 vezes superiores à taxa natural de extinção. Além deste, as quantidades de nitrogênio adicionadas no sistema com a finalidade de adubação de culturas já são suficientes para modificar o ciclo desse elemento no planeta. Boa parte desse nitrogênio acaba poluindo o solo e a água, liberando numerosos gases para a atmosfera. O N₂O, por exemplo, é um dos mais importantes gases de efeito estufa, além do CO₂.

A mudança climática tem se manifestado de diversas formas, dentre as quais se destaca o “aquecimento global”, termo usado para identificar o fenômeno. Porém, também estão sendo observadas maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, alterações na precipitação, perturbações nas correntes marítimas, retração de geleiras e elevação do nível dos oceanos (IPCC, 2007). Quanto à temperatura, estão comprovados: aumento da temperatura superficial da Terra e temperatura do ar, aumento da temperatura da troposfera, aumento da temperatura dos oceanos, pelo menos, até a profundidade de 3000 m, degelos dos glaciais, degelo das calotas glaciais (especialmente no Hemisfério Norte) e redução na frequência de dias frios e noites frias. Quanto ao ciclo hidrológico, comprovadamente já ocorreram: aumentos de precipitação na parte leste da América do Norte e do Sul, norte da Europa e norte e centro da Ásia; secas mais intensas e longas nos trópicos e subtropicais; aumento da frequência de chuvas intensas; aumento da frequência de eventos extremos e aumento da quantidade de vapor de água na atmosfera (IPCC, 2007).

Os microrganismos estão entre os primeiros organismos a demonstrar os efeitos da mudança climática devido às numerosas populações, facilidade de multiplicação e dispersão, além do curto tempo entre gerações. Dessa forma, constituem um grupo fundamental de indicadores biológicos para o estudo dos impactos da mudança climática. Além disso, a importância de fitopatógenos e de outros microrganismos atuantes no agroecossistema faz

com que o assunto assumira grande importância para garantir a sustentabilidade dos sistemas.

No caso das hortaliças, as doenças abióticas, causadas por falta ou excesso de um determinado fator do ambiente deverão consistir num dos principais problemas nas próximas décadas. O aumento da frequência de extremos de temperatura ou precipitação, em limites acima ou abaixo dos tolerados pelas plantas, certamente causará graves prejuízos se não forem adotadas medidas de adaptação. Porém, a presente discussão abordará somente os impactos da mudança climática sobre doenças bióticas.

Impactos sobre doenças de plantas

O ambiente pode influenciar o crescimento 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. Por esse motivo, a mudança climática constitui uma séria ameaça especialmente à agricultura, pois podem promover significativas alterações na ocorrência e severidade de doenças de plantas. Tais alterações podem representar graves consequências econômicas, sociais e ambientais. A análise desses efeitos é fundamental para a adoção de medidas mitigadoras, com a finalidade de evitar prejuízos futuros (CHAKRABORTY; PANGGA, 2004; GHINI, 2005).

O clássico triângulo de doença ilustra um dos paradigmas da Fitopatologia, que estabelece as condições para o desenvolvimento de doenças, isto é, a interação entre o hospedeiro suscetível, o patógeno virulento e o ambiente favorável. Consequentemente, a doença não ocorre se houver



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

eliminação de um dos componentes. Outro aspecto a ser considerado é que a alteração de um determinado fator climático pode ter efeitos positivos, em uma das partes do triângulo da doença, e negativos, em outra. Além disso, os efeitos podem ser também contrários nas diversas fases do ciclo de vida do patógeno (COAKLEY, 1995). Assim sendo, somente a análise completa do sistema pode definir se a doença será estimulada ou não.

O ambiente influencia todos os estádios de desenvolvimento, tanto do patógeno quanto da planta hospedeira, assim como da doença, nas diversas etapas do ciclo das relações patógeno-hospedeiro. Além desses, também pode afetar outros organismos com os quais a planta e o patógeno interagem, como microrganismos endofíticos, saprófitas ou antagonistas. Assim, numa área onde tanto a planta hospedeira como o patógeno estão presentes, o aparecimento e o desenvolvimento da doença são determinados pelo ambiente. Importantes doenças podem se tornar secundárias se as condições ambientes não forem favoráveis. Discussões sobre os impactos da mudança climática sobre doenças de importantes culturas do Brasil, dentre elas algumas hortaliças, foram publicadas no livro editado por Ghini e Hamada (2008).

As mudanças globais podem 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. Muitos desses patógenos são favorecidos pelo aumento da umidade durante a estação de crescimento, devido ao aumento da produção de esporos. Por outro lado, doenças como os oídios são favorecidas por condições de baixa umidade. As condições favoráveis são específicas para cada patossistema e, assim, não podem ser generalizadas.

Em muitos casos, o aumento da precipitação permite uma maior dispersão de propágulos por gotas de chuva. A redução do número de dias de chuva durante o verão, por exemplo, pode diminuir a dispersão de diversos patógenos. Os ventos também exercem importante papel na disseminação de

propágulos, tanto à curta como à longa distância. Fatores relacionados com a turbulência do ar, intensidade e direção dos ventos podem influenciar a liberação, o transporte e a deposição do inóculo.

Os efeitos diretos da mudança climática também podem ser observados na fase de sobrevivência dos patógenos. Patógenos de plantas anuais, por exemplo, necessitam suportar longos períodos de tempo sem tecido da planta hospedeira disponível. Nesses casos, a fase de sobrevivência é fundamental para garantir a presença de inóculo para o ciclo seguinte da doença. As condições durante a estação de inverno, por exemplo, são importantes para determinar o sucesso da sobrevivência saprofítica (LONSDALE; GIBBS, 1996).

A mudança climática também pode 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 (SCHOENEWEISS, 1975).

Orth et al., (1990) estudaram os efeitos do UV-B em três cultivares de pepino, antes e após inoculação com *Colletotrichum lagenarium* e *Cladosporium cucumerinum*. O tratamento antes da inoculação aumentou a suscetibilidade das plantas aos dois patógenos, indicando a alteração de mecanismos de defesa da planta. O tratamento pós-inoculação não apresentou os mesmos resultados. Os autores concluíram que os efeitos do UV-B foram mais acentuados na planta que nos patógenos, já que não houve diferenças entre a severidade das doenças em plantas que receberam o tratamento somente antes da inoculação e as que receberam antes e após a inoculação.

O desenvolvimento de uma planta é resultante da interação entre o seu genótipo e o ambiente. Assim, as mudanças no clima interferem na morfologia, fisiologia e metabolismo das plantas, resultando em alterações na ocorrência e severidade de doenças. Alterações morfológicas e fisiológicas que podem ocorrer com o aumento da concentração de CO₂ e afetar as interações patógeno-hospedeiro incluem redução da densidade de estômatos, maior acúmulo de carboidratos nas folhas, maior camada de ceras e de células epidérmicas, com aumento no teor de fibras, produção de papilas e acúmulo de silício, nos locais de penetração de apressórios, e aumento do número de células do mesófilo (CHAKRABORTY et al., 2000).

A elevação da concentração de CO₂ altera o início e a duração dos estádios de desenvolvimento do patógeno. O período latente, isto é, o período entre a inoculação e a esporulação, pode ser alterado, assim como a

capacidade de multiplicação de alguns patógenos. Dessa forma, os mecanismos de resistência das plantas podem ser quebrados mais rapidamente, como resultado do desenvolvimento acelerado das populações dos patógenos (CHAKRABORTY, 2001).

Manning e Tiedemann (1995) analisaram os efeitos potenciais do aumento da concentração de CO₂ sobre doenças de plantas, baseados nas respostas das plantas nesse novo ambiente. O aumento de produção de biomassa da planta, isto é, o aumento de brotações, folhas, flores e frutos, representa uma maior quantidade de tecido que pode ser infectado pelos fitopatógenos. O aumento do teor de carboidratos pode estimular o desenvolvimento de patógenos dependentes de açúcares, como ferrugens e oídios. O aumento da densidade da copa e tamanho das plantas pode promover um maior crescimento, esporulação e disseminação de fungos foliares, que requerem alta umidade do ar, mas não chuva, como as ferrugens, oídios e fungos necrotróficos.

O aumento de resíduos das culturas pode significar melhores condições para a sobrevivência de patógenos necrotróficos. A redução da abertura de estômatos pode inibir patógenos que penetram por essa abertura, como ferrugens, míldios e alguns necrotróficos. A redução do período de vegetação da planta, com colheita e senescência precoces, pode diminuir o período de infecção de patógenos biotróficos e aumentar os necrotróficos. O aumento da biomassa de raízes amplia a quantidade de tecido a ser infectado por micorrizas ou patógenos veiculados pelo solo, mas pode compensar a perda causada pelos patógenos. A maior exsudação das raízes pode estimular tanto patógenos quanto antagonistas (promotores de crescimento da planta).

No Brasil, a aplicação de CO₂ em cultivo protegido foi estudado para algumas hortaliças, como tomate (CARARO; DUARTE, 2002), pimentão (FURLAN et al., 2002; REZENDE et al., 2003), melão (PINTO et al., 2001) e alface (FURLAN et al., 2001), mas não foram avaliados os efeitos sobre as doenças. Liu et al., (2008), na Itália, estudaram o efeito do aumento da concentração atmosférica de CO₂ e da temperatura sobre a infecção de abobrinha italiana (*Cucurbita pepo*) com oídio (*Podosphaera xanthii*) e verificaram que o gás não teve efeito sobre a doença; porém, quando associado com aumento da temperatura, resultou no aumento do desenvolvimento e da severidade do oídio. O efeito do aumento da concentração de CO₂ associado ao aumento da concentração de O₃ sobre a requeima da batata foi estudado por Pressl et al., (2007).

Osozawa et al., (1994) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar os efeitos do CO₂ da fase gasosa em um solo supressivo e outro conducente à hérnia das crucíferas, causada por *Plasmodiophora brassicae* em repolho e verificaram que a concentração do gás do solo conducente era duas a quatro vezes maior que a do solo naturalmente supressivo à doença.

Outros organismos que interagem com o patógeno e a planta hospedeira também podem ser afetados pela mudança climática, resultando em modificações na incidência das doenças. Doenças que requerem insetos ou outros vetores podem sofrer uma nova distribuição geográfica ou temporal, que será resultante da interação ambiente-planta-patógeno-vetor (SUTHERT et al., 1998). Aumentos na temperatura ou incidência de secas podem estender a área de ocorrência da doença para regiões onde o patógeno e a planta estão presentes, mas o vetor ainda não atuava.

Casos de alterações causadas pela mudança climáticas sobre problemas fitossanitários

Ainda há um pequeno número de casos comprovados de alteração na ocorrência de problemas fitossanitários em decorrência da mudança climática. Esse fato é devido à necessidade de registro de mudança na ocorrência de pragas ou doenças por um período relativamente longo, com significativa correlação com alguma variável climática alterada em decorrência da mudança climática. A ausência de séries históricas de problemas fitossanitários é outra razão para o pequeno número de casos comprovados. Além disso, é sabido que diversos fatores, além do clima, causam flutuações nas populações de patógenos e pragas, como por exemplo, tratos culturais, nutrição da planta, cultivares utilizadas, entre outros, dificultando a correlação entre a mudança climática e os problemas fitossanitários.

Uma das evidências em ecossistema natural é o caso de *Dothistroma septosporum*, causador de queima das acículas em *Pinus contorta* var. *latifolia*, na florestas da British Columbia no Canadá. O primeiro relato da doença data do início dos anos 1960, sendo que entre 1984 e 1986 foram observados árvores com sintomas da queima das acículas em 10 ha. Woods et al., (2005) avaliaram uma área de 40898 ha e observaram que 37664 ha apresentavam plantas infectadas, com árvores mortas em 2741 ha. Os autores afirmam que a epidemia coincide com aumento da frequência de chuvas de verão na região.

Mais recentemente, Kurz et al., (2008) relataram que epidemias do besouro *Dendroctonus ponderosae*, causadas pelas alterações de precipitação e

aumento da temperatura, estão resultando no aumento de emissões de gases de efeito estufa pela floresta. O inseto parasita as árvores, levando-as à morte e à decomposição, liberando o carbono para a atmosfera. Com a mudança climática traduzida pelo aumento da temperatura e redução da precipitação, houve o aumento da área favorável ao desenvolvimento à praga e as projeções indicam que o crescimento da floresta não será suficiente para compensar a quantidade de emissões.

O declínio do *Pinus sylvestris* nos Alpes italianos e suíços é outra evidência de alteração de problemas fitossanitários em decorrência da mudança climática. Dobbertin et al., (2007) correlacionaram séries climáticas históricas da região e a incidência de declínio nas árvores e concluíram que a seca predisps as árvores ao ataque de besouros e as altas temperaturas da primavera e do verão favoreceram o desenvolvimento dos insetos, o qual contribuiu para a alta taxa de mortalidade.

Utilizando dados de 69 anos de incidência de requeima da batata na Finlândia, Hannukkala et al., (2007) associaram epidemias da doença com a mudança climática e com a ausência de rotação de cultura. O clima se tornou mais favorável à doença no final da década de 90, resultando em um aumento da venda de fungicidas de aproximadamente quatro vezes, de 1980 a 2002.

Considerações finais

Os efeitos da mudança climática sobre os danos causados pelas doenças são determinados pelas interações de um grande número de fatores que, direta ou indiretamente, influenciam a ocorrência e a severidade das doenças. Algumas regiões podem se tornar menos aptas para determinadas hortaliças e causar a necessidade de migração para novas áreas, onde provavelmente os patógenos deverão migrar também. Mas, um novo cenário fitossanitário será estabelecido a partir do novo balanço entre espécies resultante da mudança climática (CHAKRABORTY et al., 2008).

Métodos de controle de doenças, como o controle químico, também devem ser alterados (GHINI; HAMADA, 2008). Cheng e McCarl (2001) realizaram uma análise de regressão entre o uso de agrotóxicos (fornecidos pelo USDA) e as variações do clima em diversas localidades dos Estados Unidos, a partir de dados climáticos disponibilizados pelo 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.

A mudança climática representa um desafio global e interdisciplinar. As doenças de plantas representam sérios impactos econômicos para o agronegócio, colocando em risco a sustentabilidade dos cultivos, devido às perdas na produtividade e aos custos do manejo fitossanitário. A abordagem desse problema deve ser por meio de trabalhos interdisciplinares, que evitam a duplicidade de esforços e facilitam a divulgação de informações, para a obtenção de medidas de adaptação.

Bibliografia

CARARO, D. C.; DUARTE, S. N. Injeção de CO₂ e lâminas de irrigação em tomateiro sob estufa. **Horticultura brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 3, p. 432-437, 2002.

CHAKRABORTY, S. Effects of climate change. In: WALLER, J. M. L.; WALLER, S. J. (Ed.). **Plant pathologist's pocketbook**. Wallingford: CAB International, 2001. p. 203-207.

CHAKRABORTY, S.; PANGGA, I. B. Plant disease and climate change. In: Gillings, M.; Holmes, A. **Plant microbiology**. London: BIOS Scientific Publishers, 2004. Cap. 9, p. 163-180.

CHAKRABORTY, S.; TIEDEMANN, A. V.; TENG, P. S. Climate change: potential impact on plant diseases. **Environmental Pollution**, Barkin, v. 108, p. 317-326, 2000.

CHAKRABORTY, S.; LUCK, J.; HOLLAWAY, G.; FREEMAN, A.; NORTON, R.; GARRETT, K. A.; PERCY, K.; HOPKINS, A.; DAVIS, C.; KARNOSKY, D. F. Impacts of global change on diseases of agricultural crops and forest trees. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, Wallingford, v. 3 p. 1-15, 2008.

CHENG, C. C.; MCCARL, B. A. An investigation of the relationship between pesticide usage and climate change. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 50, p. 475-487, 2001.

COAKLEY, S. M. Biospheric change: will it matter in plant pathology? **Canadian Journal of Plant Pathology**, Ontario, v. 17, p. 147-153, 1995.

DOBBERTIN, M.; WERMELINGER, B.; BIGLER, C.; BÜRGI, M.; CARRON, M.; FORSTER, B.; GIMMI, U.; RIGLING, A. Linking increasing drought stress to scots pine mortality and bark beetle infestations. **The Scientific World Journal**, Kirkkonummi, v. 7, p. 231-239, 2007.

FURLAN, R. A., ALVES, D. R. B., FOLEGATTI, M. V., BOTREL, T. A.; MINAMI, K. Dióxido de carbono aplicado via água de irrigação na cultura da alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, p. 25-29, 2001.

FURLAN, R. A., REZENDE, F. C., ALVES, D. R. B.; FOLEGATTI, M. V. Lâmina de irrigação e aplicação de CO₂ na produção de pimentão cv. Mayata, em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, p. 547-550, 2002.

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

GHINI, R.; HAMADA, E. **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa SCT, 2008. 331 p.

HANNUKKALA, A. O.; KAUKORANTA, T.; LEHTINEN, A.; RAHKONEN, A. Late-blight epidemics on potato in Finland, 1933-2002; increased and earlier occurrence of epidemics associated with climate change and lack of rotation. **Plant Pathology**, Oxford, v. 56, p. 167-176, 2007.

IPCC. **Climate change 2007: the physical science basis**. Geneva: IPCC: WMO, 2007.

JWA, N. S.; WALLING, L. L. Influence of elevated CO₂ concentration on disease development in tomato. **New Phytologist**, Oxford, v. 149, p. 509-518, 2001.

KURZ, W. A.; DYMOND, C. C.; STINSON, G.; RAMPLEY, G. J.; NEILSON, E. T.; CARROLL, A. L.; EBATA, T.; SAFRANYIK, L. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. **Nature**, London, n. 452, p. 987-990, 2008.

LIU, J. Z.; TITONE, P.; GARIBALDI, A.; GULLINO, M. L. Effects of elevated CO₂ and temperature on infection of zucchini by powdery mildew. **Journal of Plant Pathology**, Bari, v. 90, n. 2, p. 106, 2008. Supplement.

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.

MANNING, W. J.; TIEDEMANN, A. V. Climate change: potential effects of increased atmospheric carbon dioxide (CO₂), ozone (O₃), and Ultraviolet-B (UV-B) radiation on plant diseases. **Environmental Pollution**, College Park, v. 88, p. 219-245, 1995.

ORTH, A. B.; TERAMURA, A. H.; SISLER, H. D. Effects of ultraviolet-B radiation on fungal disease development in *Cucumis sativus*. **American Journal of Botany**, New York, v. 77, p. 1188-1192, 1990.

OSOZAWA, S.; IWAMA, H.; KUBOTA, T. Effect of soil aeration on the occurrence of clubroot disease of crucifers. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 40, p. 445-455, 1994.

PINTO, J. M.; BOTREL, T. A.; MACHADO, E. C.; FEITOSA FILHO, J. C. Aplicação de CO₂ via água de irrigação em relação à produtividade de meloeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 33-38, 2001.

PLESSL, M.; ELSTNER, E. F.; RENNENBERG, H.; HABERMEYER, J.; HEISER, I. Influence of elevated CO₂ and ozone concentrations on late blight resistance and growth of potato plants. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 60, p. 447-457, 2007.

REZENDE, F. C.; FRIZZONE, J. A.; OLIVEIRA, R. F. D. CO₂ and irrigation in relation to yield and water use of the bell pepper crop. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, p. 7-12, 2003.

ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, A.; CHAPIN, F. S.; LAMBIN, E. F.; LENTON, T. M.; SCHEFFER, M.; FOLKE, C.; SCHELLNHUBER, H. J.; NYKVIST, B.; WIT, C. A. D.; HUGHES, T.; LEEUW, S. V. D.; RODHE, H.; SÖRLIN, S.; SNYDER, P. K.; COSTANZA, R.; SVEDIN, U.; FALKENMARK, M.; KARLBERG, L.; CORELL, R. W.; FABRY, V. J.; HANSEN, J.; WALKER, B.; LIVERMAN, D.; RICHARDSON, K.; CRUTZEN, P.; FOLEY, J. A. A safe operating space for humanity. **Nature**, London, n. 461, p. 472-475, 2009.

SCHOENEWEISS, D. F. Predisposition, stress, and plant disease. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 11, p. 193-211, 1975.

SUTHERST, R. W.; INGRAM, J. S. I.; SCHERM, H. Global change and vector-borne diseases. **Parasitology Today**, Essex, v. 14, p. 297-299, 1998.

WOODS, A.; COATES, K. D.; HAMANN, A. Is an unprecedented *Dothistroma* needle blight epidemic related to climate change? **BioScience**, Washington, D.C., v. 55, p. 761-769, 2005.

Impactos do aquecimento global nas doenças de tomateiro e meloeiro no Brasil

Ricardo Gioria¹, Kátia Regiane Brunelli¹, Rômulo Fujito Kobori¹

¹ Sakata Seed Sudamerica Ltda., C. Postal 427, CEP 12906-840, Bragança Paulista/SP,

Teorias sobre as alterações climática futuras vêm sendo propostas por vários grupos de cientistas. Neste contexto, cartas preditivas produzidas pelo SIG (Sistema de Informações Geográficas) baseadas em dados reais de temperatura e precipitação e previsões futuras realizadas pelo IPCC-DDC (2004) foram geradas e indicam mudanças consideráveis para estas variáveis no Brasil (IPCC, 2004).

Mudanças ambientais podem alterar significativamente a fisiologia da planta. 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 na incidência de doenças pelo fato do hospedeiro encontrar-se debilitado e com maior predisposição. Mudanças no binômio temperatura/ umidade podem influenciar diretamente a suscetibilidade do hospedeiro, genes de resistência podem ser silenciados ou ativados, modificando os padrões de resistências esperados para os genótipos.

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 qualquer quadro previsto, permitindo ou mesmo viabilizando o plantio em regiões tidas como inóspitas.

Além dos fatores intrínsecos à fisiologia da planta, as alterações nas condições ambientais podem diminuir, aumentar ou não ter efeito sobre os problemas fitossanitários, favorecendo ou desfavorecendo, por exemplo, etapas do ciclo vital do agente causal (taxa de reprodução, de infecção e colonização). Esses efeitos podem minimizar ou comprometer ainda mais as culturas hoje já assoladas por um número considerável de patógenos. Quaisquer alterações climáticas que venham a ocorrer podem tornar secundárias doenças hoje consideradas importantes, e outras, não limitantes à produção, em epidêmicas.

Ao se avaliar as alterações ambientais previstas para os próximos 80 anos, duas variáveis, a temperatura e a precipitação, apresentam mudanças consideráveis. A segunda mais facilmente suplantada quando em falta, sob condições de campo, por meio de irrigação. As condições climáticas previstas para o ano de 2080 podem influenciar o surgimento e desenvolvimento de doenças e epidemias. A seguir são discutidas algumas doenças em tomate e melão, importantes na atualidade e as alterações previstas diante de um novo cenário climático.

Vale ressaltar que as projeções de impacto das alterações climáticas nos próximos anos sobre as culturas do tomate e do melão são baseadas em uma visão momentânea considerando, principalmente, as variáveis temperatura e umidade hoje ideais para o patógeno e para a cultura. O surgimento de, por exemplo, novas raças, estirpes ou biótipos de patógenos em função da constante pressão de seleção, bem como a obtenção de híbridos ou variedades com maior tolerância a condições ambientais extremas, poderão afetar diretamente este quadro previsto.

Impactos do aquecimento global nas doenças do tomateiro

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 são destinadas ao plantio de tomate para consumo *in natura* (mesa) sendo a restante (24%) destinada ao mercado de processamento ou indústria (ALVARENGA, 2004).

Disseminada no país, a cultura do tomate para consumo *in natura* encontra-se atualmente distribuída, principalmente, em quatro pólos produtores. 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 com a possibilidade de plantio ao longo de todo o 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.

As semelhanças climáticas observadas nos quatro pólos produtores permitem desmembrá-los em seis grandes regiões climáticas distintas: Região 1: centro-norte do Rio Grande do Sul; Região 2: Santa Catarina, Paraná e sul de São Paulo; Região 3: Rio de Janeiro, Espírito Santo e extremos sul e leste de Minas Gerais; Região 4: cerrado de Minas Gerais, Goiás e norte de São Paulo; Região 5: zona da mata de Pernambuco; Região 6: semi-árido do Ceará

Hoje 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 (MINAMI; HAAG, 1980).

Baseada nas alterações ambientais previstas para as próximas décadas pelo IPCC-DDC (2004), a tomaticultura nas regiões que hoje são referências na produção se encontrará em um estágio alarmante no ano de 2080. Haverá comprometimento na fisiologia da planta em todas as regiões climáticas caracterizadas. Grande prejuízo será observado na produção de mudas, no pegamento e na qualidade de frutos com alterações na coloração interna e externa; aparecimento de podridão apical e presença de rachaduras.

Além dos fatores intrínsecos à fisiologia da planta, as alterações nas condições ambientais previstas nas diferentes áreas hoje destinadas à cultura do tomateiro permitem a classificação das doenças, em cada região, em três grupos: doenças com decréscimo de importância; doenças cuja importância será mantida à atualmente reinante e doenças que aumentarão de importância.

As previsões para as próximas décadas são desfavoráveis, por exemplo, a epidemias de requeima (*Phytophthora infestans*). A doença terá, em média, um decréscimo em sua importância na maior parte das regiões produtoras principalmente no primeiro semestre pela elevação das temperaturas. Requeima 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 com ótimo 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 deste oomiceto (JONES et al., 1981; KUROZAWA; PAVAN, 2005; LOPES; ÁVILA, 2005; VALE et al., 2000).

Como doença que não terá sua importância alterada em todas as regiões está, por exemplo, o mosaico do tomateiro causado pelo *Tomato mosaic virus* (ToMV). A transmissão dessa virose é exclusivamente mecânica e o vírus altamente infectivo e estável (FAJARDO et al., 2000; KUROZAWA; PAVAN, 2005). As operações manuais associadas à condução e 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 funcionários.

Em contraposição as doenças acima citadas, algumas hoje consideradas de baixa importância, ou mesmo, restritas a condições ambientais muito específicas podem ser consideravelmente favorecidas seja pela elevação da temperatura, seja pelos extensos períodos de déficit hídrico. Míldio pulverulento (*Leveillula taurica*) é favorecido por condições de baixa umidade relativa e alta temperatura e sob nenhuma circunstância encontrará condições menos propícias para seu desenvolvimento (JONES et al., 1991; KUROZAWA; PAVAN, 2005). Em todas as regiões produtoras, em pelo menos parte do ano, a doença terá maior incidência/ severidade do que a atualmente observada.

Impactos do aquecimento global nas doenças do meloeiro

O meloeiro 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. 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 (850mm/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 (BRASIL, 2003).

Na área produtora de melão do Ceará e Rio Grande do Norte 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 mínimas e máximas 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. São previstas também alterações na sazonalidade e na quantidade de chuvas para a região. A estação chuvosa, onde as precipitações norteiam os 90 a 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.

Semelhante ao tomateiro as alterações nas condições ambientais previstas nas áreas de produção de melão permitem a classificação das doenças, em três grupos: doenças com decréscimo, acréscimo e manutenção de importância.

Diante do cenário futuro, haverá tendência na diminuição da importância das viroses transmitidas por afídeos: 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) e o mosaico amarelo da abobrinha de moita (*Zucchini yellow mosaic virus* - ZYMV) (KUROZAWA et al., 2005).

Pulgões necessitam de períodos secos e temperaturas amenas para sobrevivência e dispersão. O aumento do período chuvoso associado ao acréscimo na temperatura deverá reduzir a população do inseto vetor ao longo do ano.

Em contraposição ao decréscimo na incidência das viroses citadas, a antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *cucurbitae*), hoje de restrita importância na cultura do meloeiro, encontrará uma nova realidade em 2080. Projeta-se um aumento significativo na importância da doença com a ampliação do período chuvoso e o incremento no volume de precipitação acompanhado de regularidade na distribuição das chuvas. Tanto a germinação dos esporos quanto a colonização do hospedeiro são favorecidas por temperaturas entre 21° C e 27° C e alta umidade relativa com a presença de filme d'água por no mínimo 24 horas. A presença de água é fator determinante para disseminação e desenvolvimento da doença (KUROZAWA et al., 2005).

Oídio causado por *Podosphaera xanthii* é hoje uma das principais doenças fúngicas da cultura do melão no semi-árido nordestino. Apesar de altamente adaptado às condições de baixa umidade relativa, o prolongamento da estação chuvosa na região, não afetará a epidemiologia da doença, uma vez que não é projetada redução na evaporação potencial. O aumento da temperatura

também não deve interferir na ocorrência da doença e sobrevivência do patógeno uma vez que as médias anuais previstas permanecem dentro da faixa ideal para infecção e colonização do hospedeiro. 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% (9). Pelo menos sete raças de *P. xanthii* já foram descritas ocorrendo nas regiões produtoras de melão no mundo, com prevalência de uma ou outra a depender das condições climáticas de cada região. No Brasil já foram relatadas as raças 1, 2, 3, 4 e 5 sendo prevalente a raça 3 e 5 (FAZZA, 2006; KOBOYI et al., 2002; REIS et al., 2005).

Bibliografia

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

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Melão**. Brasília, DF, 2003. 12 p. (FrutiSéries. Ceará. Melão 2).

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, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. v. 2, p. 843-877.

FAZZA, A. C. **Caracterização e ocorrência de agentes causais de oídio em cucurbitáceas no Brasil e reação de germoplasma de meloeiro**. 2006. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

IPCC. **Nova Dehli**. Disponível em: <<http://www.ipcc-data.org>>. Acesso em: 4 dez. 2007.

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

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**, Brasília, DF, v. 27, p. 123, 2002. Suplemento.

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. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2005. v. 2, p. 607-626.

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: doença das plantas cultivadas**. 4. ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2005. v. 2, p. 293-302.

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

MINAMI, K.; HAAG, H. P. **O tomateiro**. Piracicaba: Fundação Cargil, 2005. 397 p.

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, DF, v. 23, p. 362, 2005. Suplemento.

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, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. v. 2, p. 699-756.

Potential impacts of climate changes on the quality of fruits and vegetables

C. L. Moretti¹, L. M. Mattos¹, A.G. Calbo², S.A. Sargent³

¹ Embrapa Vegetables, ² Embrapa Agricultural Instrumentation, ³ Horticultural Sciences Department, University of Florida, Gainesville

Introduction

Climate on Earth has changed many times during the existence of our planet, ranging from the ice ages to periods of warmth. During the last several decades increases in average air temperatures have been reported and associated effects on climate have been debated worldwide in a variety of forums. Due to its importance around the globe, agriculture was one of the first sectors to be studied in terms of potential impacts of climate change (ADAMS et al., 1990). Many alternatives have been proposed to growers aimed at minimizing losses in yield. However, few studies have addressed changes in postharvest quality of fruits and vegetable crops associated with these alterations. Nowadays, climate changes, their causes and consequences, gained importance in many other areas of interest for sustainable life on Earth. The subject is, however, controversial.

According to studies carried out by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), average air temperatures will increase between 1.4 and 5.8° C by the end of this century, based upon modeling techniques that incorporated data from ocean and atmospheric behavior (IPCC, 2001). The possible impacts of this study, however, are uncertain since processes such as heat, carbon, and radiation exchange among different ecosystems are still under investigation. Less drastic estimates predict temperature increase rates of 0.088° C per decade for this century (KALNAY; CAI, 2003). Other investigators forecast for the near future that rising air temperature could induce more frequent occurrence of extreme drought, flooding or heat waves than in the past (ASSAD et al., 2004).

Higher temperatures can increase the capacity of air to absorb water vapor and, consequently, generate a higher demand for water. Higher

evapotranspiration indices could lower or deplete the water reservoir in soils, creating water stress in plants during dry seasons. For example, water stress is of great concern in fruit production, because trees are not irrigated in many production areas around the world. It is well documented that water stress not only reduces crop productivity but also tends to accelerate fruit ripening (HENSON, 2008).

Exposure to elevated temperatures can cause morphological, anatomical, physiological, and, ultimately, biochemical changes in plant tissues and, as a consequence, can affect growth and development of different plant organs. These events can cause drastic reductions in commercial yield. However, by understanding plant tissues physiological responses to high temperatures, mechanisms of heat tolerances and possible strategies to improve yield, it is possible to predict reactions that will take place in the different steps of fruit and vegetable crops production, harvest and postharvest (KAYS, 1997).

Besides increase in temperature and its associated effects, climate changes are also a consequence of alterations in the composition of gaseous constituents in the atmosphere. Carbon dioxide (CO_2) and ozone (O_3) concentrations in the atmosphere are changing during the last decade and are affecting many aspects of fruit and vegetable crops production around the globe (FELZER et al., 2008).

Carbon dioxide concentrations are increasing in the atmosphere during the last decades (MEARNS, 2000). The current atmospheric CO_2 concentration is higher than at any time in the past 420,000 years (PETIT et al., 1999). Further increases due to anthropogenic activities have been predicted. Carbon dioxide concentrations are expected to be 100% higher in 2100 than the one observed at the pre-industrial era (IPCC, 2007). Ozone concentration in the atmosphere is also increasing. Even low levels of ozone in the vicinities of big cities can cause visible injuries to plant tissues as well as physiological alterations (FELZER et al., 2007).

The above mentioned climate changes can potentially cause postharvest quality alterations in fruit and vegetable crops. Although many researchers have addressed climate changes in the past and, in some cases, focused postharvest alterations, the information is not organized and available for postharvest physiologists and food scientists that are interested in better understanding how these changes will affect their area of expertise.

In the present article we review how changes in ambient temperature and levels of carbon dioxide and ozone can potentially impact the postharvest quality of fruit and vegetable crops.

Harvest and postharvest

Harvest of fruit and vegetable crops occurs in different times of the year depending on cultivar, water regime, climate conditions, pest control, cultural practices, exposure to direct sunlight, temperature management and maturity index, among other important pre-harvest factors.

After crops are harvested, respiration is the major process to be controlled. Postharvest physiologists and food scientists do not have many options to interfere with the respiratory process of harvested commodities, since they are largely dependent on the product specific characteristics (SALTVEIT, 2002).

In order to minimize undesirable changes in quality parameters during the postharvest period, growers and entrepreneurs can adopt a series of techniques to extend the shelf life of perishable plant products. Postharvest technology comprises different methods of harvesting, packaging, rapid cooling, storage under refrigeration as well as modified (MA) and controlled (CA) atmospheres and transportation under controlled conditions, among other important technologies. This set of strategies is of paramount importance to help growers all over the world to withstand the challenges that climate changes will impose throughout the next decades.

Effects of temperature

Fruit and vegetable growth and development are influenced by different environmental factors (BINDI et al., 2001). During their development, high temperatures can affect photosynthesis, respiration, aqueous relations and membrane stability as well as levels of plant hormones, and primary and secondary metabolites (BEWLEY, 1997).

Most of the physiological processes go on normally in temperatures ranging from 0° C to 40° C. However, cardinal temperatures for the development of fruit and vegetable crops are much narrower and, depending on the species and ecological origin, it can be pushed towards 0° C for temperate species from cold regions, such as carrots and lettuce. On the other hand, they can reach 40° C in species from tropical regions, such as many cucurbits and cactus species (WENT, 1953).

A general temperature effect in plants involves the ratio between photosynthesis and respiration (WENT, 1953). High temperatures can increase the rate of biochemical reactions catalyzed by different enzymes. However, above a certain temperature threshold, many enzymes lose their

function, potentially changing plant tissue tolerance to heat stresses (BIETO; TALON, 1996).

Temperature is of paramount importance in the establishment of a harvest index. The higher the temperature during the growing season, the sooner the crop will mature. Hall et al. (1996) and Wurr et al. (1996) reported that lettuce, celery, cauliflower and kiwi grown under higher temperatures matured earlier than the same crops grown under lower temperatures.

Rapid cooling

Fruit and vegetable crops are generally cooled after harvest and before packing operations. Cooling techniques have been used since the 1920's to remove field heat from fresh produce, based on the principle that shelf life is extended 2- to 3-fold for each 10° C decrease in pulp temperature. Rapid cooling optimizes this process by cooling the product to the lowest safe storage temperature within hours of harvest. By reducing the respiration rate and enzyme activity, produce quality is extended as evidenced by slower ripening/senescence, maintenance of firmness, inhibition of pathogenic microbial growth and minimal water loss (TALBOT; CHAU, 2002).

Rapid cooling methods such as forced-air cooling, hydrocooling and vacuum cooling demand considerable amounts of energy (THOMPSON, 2002). Therefore, it is anticipated that under warmer climatic conditions, fruit and vegetable crops will be harvested with higher pulp temperatures, which will demand more energy for proper cooling and raise product prices.

Fruit Ripening

High temperatures on fruit surface caused by prolonged exposure to sunlight hasten ripening and other associated events. Ripening of 'Hass' avocados was also affected by exposure to high temperatures during growth and development (WOOLF et al., 1999).

Tomato ripening occurred normally in terms of color development, ethylene evolution, and respiratory climacteric after three days at temperatures above 36 °C. However, ripening was slower than freshly harvested fruit (LURIE; KLEIN, 1991).

The immediate effects of heat treatments have generally been to inhibit respiration and ethylene production, reduce protein synthesis, and increase protein breakdown (EAKS, 1978; LURIE; KLEIN, 1990, 1991; FERGUSON et al., 1994).

Eaks (1978) determined the respiratory rate of mature 'Hass' avocado fruits at 20 to 40 °C. Typical climacteric patterns occurred at 20, 25, 30 and

35° C with the climacteric maximum increasing with temperature, but only a decreasing respiratory rate with time was observed at 40° C. The exposure to exogenous ethylene or propylene hastened the ripening response up to 35° C. However, at 40° C the respiratory rate was increased, but ethylene production and normal ripening did not occur.

Although there are few reports in the literature on other specific effects of exposure to high temperatures during the growing season and subsequent changes in ripening behavior, extrapolations can be made from reports on postharvest ripening (WOOLF; FERGUSON, 2000). High temperatures on fruit surface caused by pronounced exposure to sunlight can hasten ripening and other associated events. The above studies suggest that changes in ripening behavior are likely to occur when fruit and vegetable crops are exposed to higher temperatures prior to harvest. Chan et al. (1981); Picton and Grierson (1988) observed that high temperature stresses inhibited ethylene production and cell wall softening in papaya and tomato fruits. On the other hand, cucumber fruits showed increased tolerance to high temperature stress (32.5 °C) with no change in *in vitro* ACC oxidase activity (CHAN; LINSE, 1989).

Quality parameters

Extensive work has been carried out for more than three decades focusing quality properties of fruit and vegetable crops exposed to high temperatures during growth and development. Flavor is affected by high temperatures. Apple fruits exposed to direct sunlight had a higher sugar content compared to those fruits grown on shaded sides (BROOKS; FISHER, 1926). Grapes also had higher sugar content and lower levels of tartaric acid when grown under high temperatures (KLIEWER; LIDER, 1968, 1970).

Dry matter content is used as a harvest indicator for avocados due to its direct correlation with oil content, a key quality component (LEE et al., 1983). For example, the State of California produces about 80% of the avocados grown in the USA (Mexican and Guatemalan strains and their hybrids) and requires a minimum oil content from 19% to 25% depending upon the cultivar (KADER; ARPAIA, 2002). Avocados with higher dry matter content take longer to ripen which could pose a serious problem for growers planning to market their fruits immediately after harvest (WOOLF et al., 1999, 2000). Thus, fruit and vegetable growers, packers and shippers must pay close attention to ambient temperatures during growth and development as well as maturity indices to assure harvest at the appropriate time.

Antioxidant activity

Antioxidants in fruit and vegetable crops can also be altered by exposure to high temperatures during the growing season. Wang and Zheng (2001) observed that 'Kent' strawberries grown in warmer nights (18 to 22° C) and warmer days (25° C) had a higher antioxidant activity than berries grown under cooler (12° C) days. The investigators also observed that high temperature conditions significantly increased the levels of flavonoids and, consequently, antioxidant capacity. McKeon et al. (2006) also addressed the effects of climate changes in functional components. They verified that higher temperatures tended to reduce vitamin content in fruit and vegetable crops.

Physiological disorders and tolerance to high temperatures

Exposure of fruit and vegetable crops to high temperatures can result in physiological disorders and other associated internal and external symptoms.

Exposure of tomato fruits to temperatures above 30° C suppresses many of the parameters of normal fruit ripening including color development, softening, respiration rate and ethylene production (BUESCHER, 1979; HICKS et al., 1983). It is also well known that exposure of fruit to temperature extremes approaching 40° C can induce metabolic disorders and facilitate fungal and bacterial invasion.

In general, visible evidence of heat injury on tomatoes appears as yellowish-white patches on the side of fruits (MOHAMMED et al., 1996). Electrolyte leakage in harvested 'Dorado' tomatoes exposed to direct sunlight ($34 \pm 2^\circ \text{C}$) for 5 h was 73% higher than fruits held in shaded ($29 \pm 2^\circ \text{C}$) conditions. Although no significant changes in firmness were observed for either treatments following storage at 20° C for 18 days, the percentage of infected fruits was 35% higher in fruits exposed to direct sunlight (MOHAMMED et al., 1996).

Frequent exposure of apple fruit to high temperatures, such as 40° C, can result in sunburn, development of watercore and loss of texture (FERGUSON et al., 1999). Moreover, exposure to high temperatures on the tree, notably close to or at harvest, may induce tolerance to low temperatures in postharvest storage. Avocado fruit grown in New Zealand and exposed to direct sunlight had pulp temperatures at harvest that frequently exceeded 35° C (WOOLF et al., 1999). During subsequent storage at 0 °C (below the recommended temperature), these fruit had lower incidences of chilling injury than fruit harvested from shaded parts of the tree.

Practical effects of climate change have already been experienced in some parts of the globe. For example, increased temperatures in Sambalpur, India, have delayed the onset of winter. As a consequence, cauliflower yields have dropped significantly (Pani, 2008). Where growers commonly harvested 1-kg heads, inflorescences are now smaller, weighing 0.25 - 0.30 kg each. Reductions in yield drive up production costs, an effect also observed for tomato, radish and other native Indian vegetable crops. In Brazil, the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa) has estimated a 50% reduction in soybean yield in the center-west region ("cerrado") by 2020, assuming an average increase of 0.3 and 0.5° C per year (unpublished data).

Effects of carbon dioxide exposure

The Earth's atmosphere consists basically of nitrogen (78.1%) and oxygen (20.9%), with argon (0.93%) and carbon dioxide (0.031%) comprising next most abundant gases (LIDE, 2009). Nitrogen and oxygen are not considered to play a significant role in global warming because both gases are virtually transparent to terrestrial radiation. The greenhouse effect is primarily a combination of the effects of water vapor, CO₂ and minute amounts of other gases (methane, nitrous oxide, and ozone) that absorb the radiation leaving the Earth's surface (IPCC, 2001). The warming effect is explained by the fact that CO₂ and other gases absorb the Earth's infrared radiation, trapping heat. Since a significant part of all the energy emanated from Earth occurs in the form of infrared radiation, increased CO₂ concentrations mean that more energy will be retained in the atmosphere, contributing to global warming (LOYD; FARQUHAR, 2008). Carbon dioxide concentrations in the atmosphere have increased approximately 35% from pre-industrial times to 2005 (IPCC, 2007).

Besides industrial activities, agriculture also contributes to the emission of greenhouse gases. In 2007 the agricultural sector in the United States was responsible for the emission of 413.1 teragrams of CO₂ equivalents (Tg CO₂ Eq.), or 6% of the total production of greenhouse gas emissions. Methane and nitrous oxide were the primary sources emitted by USA agricultural activities (EPA, 2009).

Growth and physiological alterations

Many papers published during the last decade have clearly associated global warming with the increase in carbon dioxide concentration in the atmosphere. Changes in CO₂ concentration in the atmosphere can alter plant

tissues in terms of growth and physiological behavior. Many of these effects have been studied in detail for some vegetable crops (CURE; ACOCK, 1986; BAZZAZ, 1990; IDSO; IDSO, 1994). These studies concluded, in summary, that increased atmospheric CO₂ enhances net photosynthesis, biomass production, seed yield, light, water, and nutrient use efficiency and plant water potential.

As noted previously in the present review, this theme remains controversial. Clark (2004), working on tropical forests, argued that increasing atmospheric CO₂ has no or little result in biomass production rates. In other words, she stressed the growth of tropical forests is not carbon limited and, additionally, that since higher temperatures increase respiration and other metabolic processes, that increased atmospheric CO₂ can reduce forest productivity.

Quality parameters

Högy and Fangmeier (2009) studied the effects of high CO₂ concentrations on the physical and chemical quality of potato tubers. They observed that increases in atmospheric CO₂ (50% higher) increased tuber malformation in approximately 63%, resulting in poor processing quality, and a trend towards lower tuber greening (around 12%).

Higher (550 µmol CO₂ / mol) concentrations of CO₂ increased glucose (22%), fructose (21%) and reducing sugars (23%) concentrations, reducing tubers quality due to increased browning and acryl amide formation in French fries. They also observed that proteins, potassium and calcium levels were reduced in tubers exposed to high CO₂ concentrations, indicating loss of nutritional and sensory quality.

Bindi, Fibbi and Miglietta (2001) studied the effects of high atmospheric CO₂ during growth on the quality of wines. These authors observed that elevated atmospheric CO₂ levels had a significant effect on fruit dry weight, with increases ranging from 40 to 45% in the 550 mmol CO₂ / mol treatment and from 45 to 50% in the 700 mmol CO₂ / mol treatment. Tartaric acid and total sugars contents increased around 8 and 14%, respectively, by rising CO₂ levels up to a maximum increase in the middle of the ripening season. However, as the grapes reached the maturity stage, the CO₂ effect on both quality parameters almost completely disappeared.

Overall wine quality was not significantly affected by elevated CO₂. Furthermore, no significant differences were detectable among plants grown in the two enriched treatments, and the effects of elevated CO₂ concentration

were similar in the two growing seasons. The researchers concluded that the expected rise in CO₂ concentrations may strongly stimulate grapevine production without causing negative repercussions on quality of grapes and wine.

Effects of ozone exposure

Formation and distribution

Ozone in the troposphere is the result of a series of photochemical reactions involving carbon monoxide (CO), methane (CH₄) and other hydrocarbons in the presence of nitrogen species (NO + NO₂) (SCHLSINGER, 1991). It forms during periods of high temperature and solar irradiation, normally during summer seasons (MAUZERALL; WANG, 2001). It is also formed, naturally during other seasons, reaching the peak of natural production in the spring (SINGH et al., 1978). However, higher concentrations of atmospheric ozone were found during summer due to increase in nitrogen species and emission of volatile organic compounds (MAUZERALL; WANG, 2001).

Visible injury and physiological effects

The effects of ozone on vegetation have been studied both under laboratory and field experiments. Stomatal conductance and ambient concentrations are the most important factors associated with ozone uptake by plants. Ozone enters plant tissues through the stomates, causing direct cellular damage, especially in the palisade cells (MAUZERALL; WANG, 2001). The damage is probably due to changes in membrane permeability and may or may not result in visible injury, reduced growth and, ultimately, reduced yield (KRUPA; MANNING, 1988).

Visible injury symptoms of exposure to low ozone concentrations include changes in pigmentation, also known as bronzing, leaf chlorosis, and premature senescence (FELZER et al., 2007). Since leafy vegetable crops are often grown in the vicinity of large metropolitan areas, it can be expected that increasing concentrations of ozone will result in increased yellowing of leaves. Leaf tissue stressed in this manner could affect the photosynthetic rate, production of biomass and, ultimately, postharvest quality in terms of overall appearance, color and flavor compounds.

Using modeling tools, Fuhrer et al. (1997) concluded that ozone concentrations higher than 40 nmol O₃ / mol can result in a 10% yield

reduction in different tree species in Southern Europe. In open field studies a 2-fold increase in CO₂ concentration caused a 15% increase in soybean yield, whereas a 20% increase in the atmospheric ozone offset the yield increasing effect of CO₂ (HENSON, 2008).

Grulke and Miller (1994) and Tjoelker, Volin, Oleksyn and Reich (1995) observed that higher ozone concentrations can affect both the photosynthetic and respiratory processes. They verified that branches within the upper canopy of sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) submitted to ozone concentrations of 95 nmol O₃ / mol (twice-ambient concentrations) showed reduced light-saturated rates of net photosynthesis by 56% and increased dark respiration by 40%. These researchers also observed that ozone reduced net photosynthesis and impaired stomatal function, with these effects depending on the irradiance environment of the canopy leaves.

The present review of the pertinent literature related to plant responses to ozone exposure reveals that there is considerable variation in species response. Greatest impacts in fruit and vegetable crops may occur from changes in carbon transport. Underground storage organs (e.g., roots, tubers, bulbs) normally accumulate carbon in the form of starch and sugars, both of which are important quality parameters for both fresh and processed crops. If carbon transport to these structures is restricted, there is great potential to lower quality in such important crops as potatoes, sweet potatoes, carrots, onions and garlic.

Exposure of other crops to elevated concentrations of atmospheric ozone can induce external and internal disorders, which can occur simultaneously or independently. These physiological disorders can lower the postharvest quality of fruit and vegetable crops destined for both fresh market and processing by causing such symptoms as yellowing (chlorosis) in leafy vegetables, alterations in starch and sugars contents fruits and in underground organs. Decreased biomass production directly affects the size, appearance and other important visual quality parameters. Furthermore, impair stomatal conductance due to ozone exposure can reduce root growth, affecting crops such as carrots, sweet potatoes and beet roots (FELZER et al., 2007).

Quality parameters

Skog and Chu (2001) carried out a set of experiments to determine the effectiveness of ozone in preventing ethylene-mediated deterioration and postharvest decay in both ethylene-sensitive and ethylene-producing

commodities, when stored at optimal and sub-optimal temperatures. On mushrooms, which have no known site of ethylene activity (ABELES, 1984), effects from ozone would be antimicrobial only. Ozone at the concentration of 0.04 $\mu\text{L} / \text{L}$ appeared to have potential for extending the storage life of broccoli and seedless cucumbers, both stored at 3 °C. When mushrooms were stored at 4° C and cucumbers at 10 °C, response to ozone was minimal.

Quality attributes and sensory characteristics were evaluated on tomato fruits cv. Carousel after ozone exposure (concentration ranging from 0.005 to 1.0 $\mu\text{mol} / \text{mol}$) at 13° C and 95% RH. Soluble sugars (glucose, fructose), fruit firmness, weight loss, antioxidant status, $\text{CO}_2 / \text{H}_2\text{O}$ exchange, ethylene production, citric acid, vitamin C (pulp and seed) and total phenolic content were not significantly affected by ozone treatment when compared to fruits kept under ozone-free air. Sensory evaluation revealed a significant preference for fruits subjected to low-level ozone-enrichment (0.15 $\mu\text{mol} / \text{mol}$) (TZORTZAKISA et al., 2007).

The quality of persimmon (*Diospyros kaki* L. F.) fruits (cv. Fuyu) harvested at two different harvest dates was evaluated after ozone exposure. Fruits were exposed to 0.15 $\mu\text{mol} / \text{mol}$ (vol/vol) of ozone for 30 days at 15° C and 90% relative humidity (RH). Astringency removal treatment (24 h at 20° C, 98% CO_2) was performed and fruits were then stored for 7 days at 20° C (90% RH), imitating commercial conditions. Flesh softening was the most important disorder that appeared when fruit were transferred from 15 °C to commercial conditions. Ozone exposure was capable to maintain firmness of second harvested fruits, which were naturally softer than first harvested fruits, over commercial limits even after 30 days at 15° C plus shelf-life. Ozone-treated fruit showed the highest values of weight loss and maximum electrolyte leakage. However, ozone exposure had no significant effect on color, ethanol, soluble solids and pH. Furthermore, ozone-treated fruits showed no signs of phytotoxic injuries (SALVADOR et al., 2006).

Conclusions

Understanding how climate changes will impact mankind in the decades to come is of paramount importance for our survival. Temperature, carbon dioxide and ozone directly and indirectly affect the production and quality of fruit and vegetable crops grown in different climates around the world. Temperature variation can directly affect crop photosynthesis, and a rise in global temperatures can be expected to have significant impact on

postharvest quality by altering important quality parameters such as synthesis of sugars, organic acids, antioxidant compounds and firmness.

Rising levels of carbon dioxide also contribute to global warming, by entrapping heat in the atmosphere. Prolonged exposure to CO₂ concentrations could induce higher incidences of tuber malformation and increased levels of sugars in potato and diminished protein and mineral contents, leading to loss of nutritional and sensory quality. Increased levels of ozone in the atmosphere can lead to detrimental effects on postharvest quality of fruit and vegetable crops. Elevated levels of ozone can induce visual injury and physiological disorders in different species, as well as significant changes in dry matter, reducing sugars, citric and malic acid, among other important quality parameters.

References

ADAMS, R. M.; ROSENZWEIG, C.; PEART, R. M.; RITCHIE, J. T.; MCCARL, B.A.; GLYER, J. D.; CURRY, R. B.; JONES, J. W.; BOOTE, K.J.; ALLEN JÚNIOR, L. H. Global climate change and US agriculture. **Nature**, London, v. 345, p. 219-224, 1990.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 1057-1064, 2004.

BAZZAZ, F. A. The response of natural ecosystems to the rising global CO₂ levels. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 21, p. 167-196, 1990.

BEWLEY, J. D. Seed germination and dormancy. **Plant Cell**, Rockville, v. 9, p. 1055-1066, 1997.

BIETO, J. A.; TALON, M. **Fisiologia y bioquímica vegetal**, Madrid: McGraw-Hill, 1996. 581 p.

BINDI, M.; FIBBI L.; MIGLIETTA, F. Free air CO₂ Enrichment (FACE) of grapevine (*Vitis vinifera* L.): II. Growth and quality of grape and wine in response to elevated CO₂ concentrations. **European Journal of Agronomy**, v. 14, n. 2, p. 145-155, Mar. 2001.

BROOKS, C.; FISHER, D. F. Some high temperature effects in apples: contrasts in the two sides of an apple. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 23, p. 1-16, 1926.

BUESCHER, R. W. Influence of high temperature on physiological and compositional characteristics tomato fruits. **Lebensmittel-Wissenschaft Technology**, Geneve, v. 12, p. 162- 164, 1979.

CHAN, H. T.; TAM, S. Y. T.; SEO, S. T. Papaya polygalacturonase and its role in thermally injured ripening fruit. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 46, n. 1, p. 190-197. 1981.

CHAN, H. T.; LINSE, E. Conditioning cucumbers to increase heat resistance in the EFE system. **Journal of Food Science**, Chicago, v, 54, n. 6, p. 1375-1376, 1989.

CLARK, D. A. Sources or sinks? The responses of tropical forests to current and future climate and atmospheric composition. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, London, v. 359, p. 477-491, 2004.

CURE, J. D.; ACOCK, B. Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey. **Agricultural Forest and Meteorology**, Amsterdam, v. 38, p. 127-145, 1986.

EAKS, I. L. Ripening, respiration and ethylene production of 'Hass' avocado fruit at 20 to 40°C. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 103, p. 576-578, 1978.

EPA. **Climate change**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/climatechange/emissions/downloads09/Agriculture.pdf>>. Acesso em: 19 Feb. 2009.

FERGUSON, I. B.; LURIE, S.; BOWEN, J. H. Protein synthesis and breakdown during heat shock of cultured pear (*Pyrus communis* L.) cells. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 104, p. 1429-1437, 1994.

FERGUSON, I.; VOLZ, R.; WOOLF, A. Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 15, p. 255-262, 1999.

FELZER, B. S.; CRONIN, T.; REILLY, J. M.; MELILLO, J. M.; WANG, X. Impacts of ozone on trees and crops. **Compte Rendus Geoscience**, v. 339, p. 784-798, Oct. 2007.

FUHRER, J.; SKARBY, L.; ASHMORE, M. R. Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe, **Environmental Pollution**, v. 97, n. 1-2, p. 91-106, 1997.

GRULKE, N. E.; MILLER, P. R. Changes in gas exchange characteristics during the lifespan of giant sequoia: implications for response to current and future concentrations of atmospheric ozone, **Tree Physiology**, Victoria, v. 14, p. 659-668, 1994.

HALL, A. J.; MCPHERSON, H.G.; CRAWFORD, R. A.; SEAGER, N. G. Using early-season measurements to estimate fruit volume at harvest in kiwifruit. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, Wellington, v. 24, p. 379-391, 1996.

HENSON, R. **The rough guide to climate change**. 2nd ed. London: Penguin Books, 2008.

HICKS, J. R.; MANZANO-MENDEZ, J.; MASTERS, J. F. Temperature extremes and tomato ripening. In: TOMATO QUALITY WORKSHOP, 4., 1983, Miami, **Proceedings...** p. 38-51, 1983.

HÖGY, P.; FANGMEIER, A. Atmospheric CO₂ enrichment affects potatoes: 2. tuber quality traits. **European Journal of Agronomy**, v. 30, p. 85-94, 2009.

IDSO, K. E.; IDSO, S. B. Plant responses to atmospheric CO₂ enrichment in the face of environmental constraints: a review of the past 10 years' research. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 69, p. 153-203, 1994.

IPCC. **Climate change 2001: impacts, adaptations and vulnerability**. Disponível em: < http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg2/ > Acesso em: 13 mar. 2009.

IPCC. **Climate change 2007: the physical science basis**. Geneva: IPCC: WMO, 2007.

KADER, A. A.; ARPAIA, M. L. Postharvest handling systems: subtropical fruits. In: KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 3rd ed. Oakland: University of California Agriculture Natural Resources, 2002. p. 375-384. Pub. 3311

KALNAY, E.; CAI, M. Impact of urbanization and land-use change on climate. **Nature**, London, v. 423, p. 528-531, 2003.

KAYS, S. J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. Athens: AVI, 1997. 532 p.

KLIEWER, M. W.; LIDER, L. A. Influence of cluster exposure to the sun on the composition of Thompson seedless fruit. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 19, p. 175-184, 1968.

KLIEWER, M. W.; LIDER, L. A. Effects of day temperature and light intensity on growth and composition of *Vitis vinifera* L. fruits. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v. 95, p. 766-769, 1970.

KRUPA, S. V.; MANNING, W. J. Atmospheric ozone: formation and effects on vegetation. **Environmental Pollution**, Essex, v. 50, p. 101-137, 1988.

LEE, S. K.; YOUNG, R. E.; SHIFFMAN, P. M.; COGGINS JÚNIOR, C. W. Maturity studies of avocado fruit based on picking date and dry weight. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v.108, p. 390-394, 1983.

LIDE, D. R. **CRC handbook of chemistry and physics**. 90th ed. Boca Raton: CRC Press, 2009. 2804 p.

LLOYD, J.; FARQUHAR, G. D. Effects of rising temperatures and [CO₂] on the physiology of tropical forest trees. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, London, v. 363, p. 1811-1817, 2008.

LURIE, S.; KLEIN, J. D. Heat treatment of ripening apples: Differential effects on physiology and biochemistry. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 78, p. 181-186, 1990.

LURIE, S.; KLEIN, J. D. Acquisition of low-temperature tolerance in tomatoes exposed to high-temperature stress. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 116, p. 1007-1012, 1991.

MAUZERALL, D. L.; WANG, X. Protecting agricultural crops from the effects of tropospheric ozone exposure: reconciling science and standard setting in the United States, Europe, and Asia. **Annual Review of Energy and the Environment**, Palo Alto, v. 26, p. 237-268, 2001.

MCKEON, A.W.; WARLAND, J.; MCDONALD, M. R. Long-term climate and weather patterns in relation to crop yield: a minireview. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 84, p. 1031-1036, 2006.

MEARNS, L.O. Climatic change and variability. In: Reddy, K.R.; Hodges, H. F. (Ed.), **Climate change and global crop productivity**. Wallingford: CABI Publishing, p. 7-35. 2000.

MOHAMMED, M.; WILSON, L. A.; GOMES, P. I. Influence of high temperature stress on postharvest quality of processing and non-processing tomato cultivars. **Journal of Food Quality**, Wastport, v. 19, p. 41-55, 1996.

PANI, R. K. **Climate change hits vegetable crop**. Disponível em: <<http://www.expressbuzz.com/edition/story.aspx?title=Climate%20change%20hits%20vegetable%20crop&artid=dDeJDNRCJJw=&type>>. Acesso em: 22 maio 2009.

PETIT, J.R.; JOUZEL, J.; RAYNAUD, D.; BARKOV, N.I.; BARNOLA, J.M.; BASILE, I.; BENDER, M.; CHAPPELAZ, J.; DAVIS, M.; DELAYGUE, G.; DELMOTTE, M.; KOTLYAKOV, V.M.; LEGRAND, M.; LIPENKOV, V.Y.; LORIUS, C.; PÉPIN, L.; RITZ, C.; SALZTMAN, E.; STIEVERNARD, M. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. **Nature**, London, v. 399, p. 429-436, 1999.

PICTON, S.; GRIERSON, D. Inhibition of expression of tomato-ripening genes at high temperature. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 11, p. 265-272, 1988.

SALTVEIT, M. E. **Respiratory metabolism**. Disponível em: <<http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/019respiration.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2009

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry**: an analysis of global change. New York: Academic Press, 1991. 443 p.

SINGH, H. B.; LUDWIG, F. L.; JOHNSON, W. B. Tropospheric ozone: concentrations and variabilities in clear remote atmospheres. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 12, p. 2185-2196, 1978.

TALBOT, M. T.; CHAU, K. V. **Precooling strawberries**. Florida: University of Florida, 2002. 11 p. (EDIS Bulletin 942).

THOMPSON, J. E. Cooling horticultural commodities. In: KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 3rd ed.. Oakland: University of California Agricultural. And Natural Resources, 2002. Ch. 11, p. 97-112. (Pub. 3311).

TJOELKER, M. G.; VOLIN, J. C.; OLEKSYN, J.; REICH, P. B. Interaction of ozone pollution and light effects on photosynthesis in a forest canopy experiment. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 18, p. 895-905, 1995.

WANG, S. Y.; ZHENG, W. Effect of plant growth temperature on antioxidant capacity in strawberry. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, Washington, D.C., v. 49, p. 4977-4982, 2001.

WOOLF, A. B.; BOWEN, J. H.; FERGUSON, I. B. Preharvest exposure to the sun influences postharvest responses of 'Hass' avocado fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 15, p. 143-153, 1999.

WOOLF, A. B.; FERGUSON, I. B. Postharvest responses to high fruit temperatures in the field. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 21, p. 7-20, 2000.

WOOLF, A. B.; FERGUSON, I. B.; REQUEJO-TAPIA, L. C.; BOYD, L.; LAING, W. A.; WHITE, A. Impact of sun exposure on harvest quality of 'Hass' avocado fruit. In: Proc. IV World Avocado Congress, Uruapan, Mexico. **Revista Chaingo Serie Horticultura**, v. 5, p. 352-358, 1999.

WOOLF, A. B.; WEXLER, A.; PRUSKY, D.; KOBILER, E.; LURIE, S. Direct sunlight influences postharvest temperature responses and ripening of five avocado cultivars. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 125, p. 370-376, 2000.

WURR, D. C. E.; FELLOWS, J. R.; PHELPS, K. Investigating trends in vegetable crop response to increasing temperature associated with climate change. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 66, p. 255-263, 1996.

The Role of Florida Cooperative Extension Services in the Climate Challenge

Clyde W. Fraisse

Agricultural and Biological Engineering, University of Florida

Introduction

Climate changes in response to natural phenomena across a range of time-scales. Natural, long-term changes occur in response to fluctuations in the amount of solar energy reaching the Earth, changing ocean currents, formation or loss of ice sheets, and many other causes. Global climates also vary naturally in response to shorter-term events, such as volcanoes, which send sun-blocking particles into the stratosphere to cool the Earth, or the Pacific Ocean event known as El Niño Southern Oscillation (ENSO), which affects global wind patterns, rainfall, temperatures, and other climate features thousands of miles away (SECC, 2008).

In addition to these natural causes of climate change, human activities influence climate in many ways. Land use changes, such as irrigation of historically semi-arid areas for farmland, paving and development of sprawling urban areas, and draining of wetlands, as well as emissions of greenhouse gases or aerosols into the atmosphere are all human activities that can affect Earth's climate system. Perhaps the most significant human influence today is the increasing concentrations of greenhouse gases (GHGs) in the atmosphere, including carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), and nitrous oxides (NO_x), which contribute to a general warming of our planet and are driven mainly by the use of fossil fuels and land use changes. Concentrations of GHGs in the atmosphere such as CO_2 increased from its pre-industrial levels of about 280 ppm to current levels of approximately 390 ppm. The fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) concluded that global average mean temperature and the frequency of hot extremes, heat waves, and heavy precipitation, will very likely increase in response to increased concentrations of greenhouse gases in the atmosphere. The IPCC report also concluded that the globally averaged net effect of

human activities since 1750 has been one of warming. The combination of long-term change (warmer average temperatures) and greater extremes (heat waves, droughts, and floods) suggests that climate change could have negative impacts on agricultural production (FRAISSE et al., 2009).

Historical Climate Trends in Florida

Most of Florida lies within the extreme southern portion of the Northern Hemisphere's humid subtropical climate zone, noted for its long hot and humid summers and mild and wet winters. The southern-most portion of the state is generally designated as belonging to the tropical savanna region, a climate that it shares with most of the Caribbean islands. Sometimes also called the wet and dry tropics, tropical savanna precipitation is highly concentrated in the warmer months (WINSBERG, 2003).

The main factors governing Florida's climate are latitude, land and water distribution, prevailing winds, storms and pressure systems, and ocean currents. Although no place in Florida is far from sea level, during the winter, altitude can be a significant local factor in affecting temperature. Early grove owners quickly learned that the citrus trees they planted in depressions were much more susceptible to freezes than those that were planted on higher ground. Mean average temperatures during Florida's coldest month (January), range from the 10° C in the north to 20° C in the south. In the hottest month (usually July, but in places August), average temperatures are almost the same throughout the entire state, between 27° C and 29° C.

According to the Intergovernmental Panel on Climate Change fourth assessment report (IPCC, 2007), the observed increase in surface temperature is widespread over the globe and is greater at higher northern latitudes with a 100-year linear temperature trend (1906-2005) of 0.74 [0.56 to 0.92]° C. At continental, regional and ocean basin scales, numerous long-term changes in other aspects of climate have also been observed. Trends from 1900 to 2005 have been observed in precipitation amount in many large regions. Over this period, precipitation increased significantly in eastern parts of North and South America, northern Europe and northern and central Asia whereas precipitation declined in the Sahel, the Mediterranean, southern Africa and parts of southern Asia.

In the case of Florida, climate data from several long-term weather stations show that annual average temperatures fluctuate widely from year to year. Relatively warm periods occurred in the 1930's, 1940's, and the past decade, whereas the 1960's and 1970's were relatively cool (Figure 1).

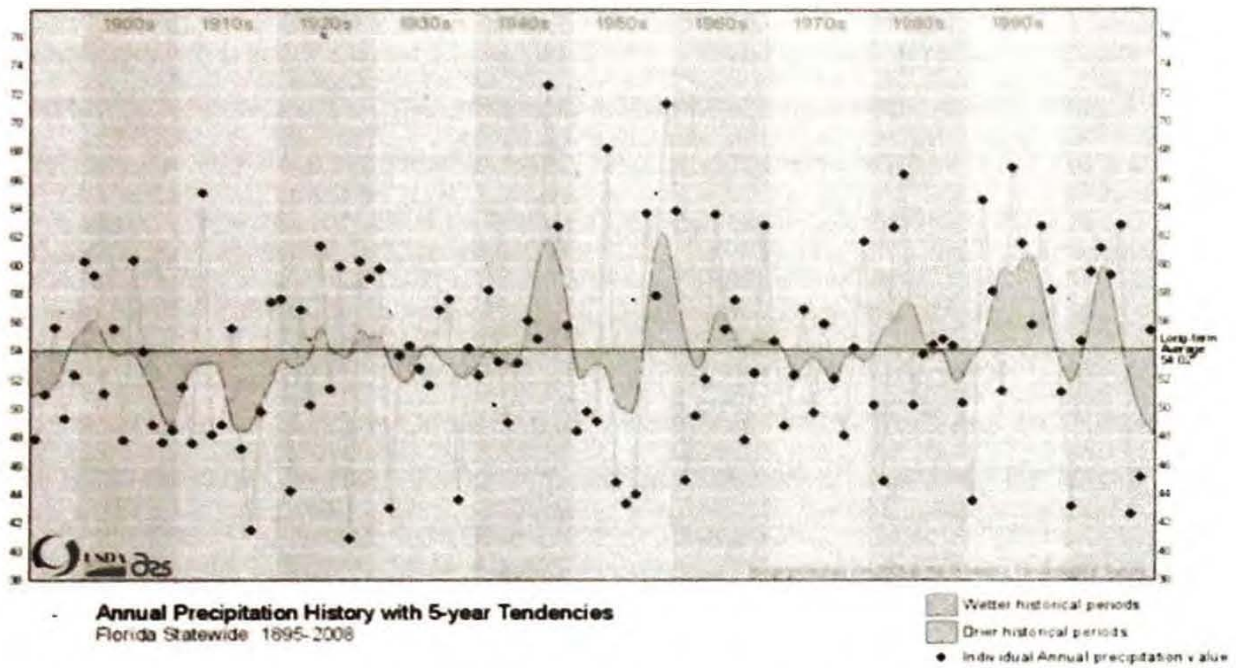


Figure 3. Annual precipitation history for the State of Florida (1895-2008) with 5-year tendencies. Brown and green areas represent dryer and wetter historical periods, respectively (Source: USDA-ARS)

Potential Impacts of Climate Change on Agriculture

Potential impacts of climate change on agriculture are broad and not completely understood. Despite the potential challenges such as increased disease pressure and more frequent occurrence of extreme climate events, climate change may also bring opportunities for the introduction of new crops and increased yields. The southeast region is subject to seasonal droughts, seasonally extreme temperatures, hurricane activity, and flooding rainfall events that have major effects on agricultural production. Farmers are concerned about climate change, how it might affect their systems, and what they should be doing or planning in response to anticipated changes in climate.

Temperature is important for plant growth and development. There is an optimum temperature range for maximum yield for any crop. Warmer temperatures speed annual crops through their developmental phases and also increase their water requirements. If a crop variety is being grown in a climate near its temperature optimum, a temperature increase of several degrees could reduce photosynthesis and shorten the growing period. High temperature during flowering may lower grain number, size, and quality (THOMAS et al., 2003; BAKER, 2004; CALDWELL et al., 2005). Most crops

cultivated in the southeastern U.S. are at, or near, optimal temperatures for the CO₂ and water conditions that currently prevail. Substantial temperature increases could have significantly negative impacts, limiting potential benefits of increased CO₂ concentrations. In addition, expected increase in average temperature may cause accumulated winter chill to decrease across temperate fruit production areas of the southeast. This may result in insufficient levels of chill accumulation to ensure homogeneous flowering, adequate fruit set, and economically sufficient yields of important fruit and nut tree species grown in the region, such as peaches, strawberry, blueberry, and pecans.

An increase in the frequency and intensity of extreme events such as tropical storms or hurricanes, floods, drought, heat waves, and freezes, can also have very adverse effect on crop production. Hurricanes have played an important role in recent spread of diseases however there is a intense ongoing debate about a potential connection between the increase of greenhouse gases and an increase in the number or intensity of hurricanes. Hurricane Ivan, which landed in the U.S. in September of 2004, is believed to have carried spores of Asian Soybean Rust from infected fields in Colombia [<http://www.ceal.psu.edu/ivan04.htm>]. The citrus industry in Florida has also suffered during recent hurricane seasons. The United States Department of Agriculture (USDA) announced in January of 2006 that it is no longer possible to eradicate citrus canker, a disease that is considered the greatest threat to the industry. Based on USDA analysis, the unprecedented 2004 and 2005 hurricane seasons spread the pathogen that causes citrus canker to the extent that a new management plan must be devised (FRAISSE et al., 2009).

Plan of Action for the Climate Extension Services at the University of Florida

Society will have to make decisions in the coming years about how to adapt to a changing climate. The Florida Extension network is well positioned to provide information and tools Floridians need to prepare for and respond to the challenges of climate change and variability. These challenges are multi-sectored and over-arching; solving them requires a multi-disciplinary approach. Extension is the most cost-effective, multi-disciplinary way to provide outreach to local and regional constituents. Extension is also the link between the research community and those needing information to develop local adaptation and mitigation strategies

for responding to climate change. The challenge is to provide these diverse stakeholders with trusted, useful, science-based information so that they in turn can make informed decisions.

Extension at the University of Florida is organized in statewide goals and focus areas. A new focus area, Climate variability and change, has been created under the Florida Environment goal area. The overall goal of this Focus Area is to prepare Floridians to face the challenges posed by climate variability and change by increasing relevant knowledge and motivation of citizens, professionals, and agency personnel, to collaborate on the development of solutions and take actions that reduce impacts on Florida's natural and build environment. The primary impact of this work will be increased efforts to develop and apply sustainable management to Florida's agriculture, natural resource, coastal and marine resources, as well as changing individual and community actions and activities. This impact hinges on promoting increased awareness and understanding of ecological, economic, social, and management principles and processes among citizen, professionals, and agency personnel. Specific objectives of the Climate Focus Area Extension group are:

- Increase climate literacy of clientele;
- Help clientele understand inter-relationships between climate, agriculture, natural resources and society based on scenarios:
 - Seasonal to decadal climate projections and their implications for agriculture and natural resources, diseases of humans, plants, and animals
 - Sea-level rise scenarios for Florida and their implications to costal areas and marine ecosystems
- Disseminate science-based information on regional climate change and associated societal response options to a diverse audience;
- Characterize potential impacts (risk assessment) of climate variability and change in all sectors of society;
- Translate existing scientific findings into potential solutions for testing, with science broadly defined to include physical, chemical, biological, economic, social, and political approaches;
- Highlight critical gaps in our knowledge and research efforts to fill them;
- Facilitate innovative decision-making processes;
- Encourage public involvement and stewardship.

Climate science literacy is defined as an understanding of one's influence on climate and climate's influence on society. A climate-literate person understands the essential principles of Earth's climate system, knows how to assess scientifically credible information about climate, communicate about climate variability and change in a meaningful way, and is able to make informed decisions with regard to actions that may affect climate. Increasing climate literacy of clientele will be achieved through the implementation of in-service training sessions aimed at County and State Extension faculty, development of online Extension bulletins EDIS (<http://edis.ifas.ufl.edu/>), development of climate workshops aimed at youth (4-H), and participation in outreach activities.

Climate Scenarios

Partnerships with the Southeast Climate Consortium (SECC), the Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies (COAPS) at Florida State University, and National Aeronautics and Space administration (NASA) are being established for the development of climate change scenarios based on outputs of global climate models (GCMs).

Outputs from IPCC AR4 (IPCC, 2007) do not give sufficient detail for local and regional users. Florida, for example, is covered by only 5 to 8 grid cells. Though coarse in resolution, IPCC AR4 simulations have established the state-of-the-art in use of GCMs for projecting climate change at the global scale. Regional climate change information has been gleaned from two important sources: climate change commitment (WIGLEY, 2005) and increasing greenhouse gas (GHG) concentrations (LEE et al., 2006). The former implies that even if GHG concentrations were stabilized today, the climate system would continue to warm by about 0.1° C per decade owing to the large thermal inertia of the oceans (MEEHL et al., 2007). However, land cover and land use change could have a greater impact on the surface temperatures and precipitation than would GHGs over some regions, including the southeast USA (MARSHALL et al., 2004; PIELKE et al., 1999).

Researchers in the SECC have shown that statistical downscaling of GCM and regional climate model (RCM) outputs (BAIGORRIA et al., 2007a, 2007b, 2008a, 2008b) and climate indices (MARTINEZ et al., 2008) significantly improve skill of summer and fall forecasts and are thus potentially highly useful. Further research is planned to explore the use of ensemble forecasts, including from the NASA GISS GCM (HANSEN, 1983) and additional regional climate models (RCMs), such as Weather Research and Forecasting (WRF) model.

Assessing Impacts on Agricultural Commodities

There is a need to assess impacts of projected climate change scenarios on the main agricultural commodities in Florida and across the southeastern U.S.A. Recent studies have relied both on experimental approaches under controlled environments and on modeling in which crop models have been tested under variable climate conditions and subsequently used to analyze and manage risks of growing crops in an uncertain climate. Climate change brings additional challenges, the effects of CO₂ on crop growth and yield in crop models are based on very limited data, particularly noting the complex interactions among CO₂, water, nutrient, and pest conditions.

Our approach in Florida is to use the climate change scenarios produced by our cooperators to understand when critical thresholds of temperature and rainfall may be exceeded for specific crops, and also create input data to run crop-soil models to estimate climate change effects on crop yield. The DSSAT Cropping System Model; (JONES et al., 2003; HOOGENBOOM et al. 2004, 2008; BOOTE; JONES, 1998) will be used to simulate impacts on some of the main row crops grown in the region including peanut, cotton, and corn. These models take into account the lower CO₂ responsiveness and also temperature sensitivities presented in Hatfield et al. (2008), as derived from previous studies (ALAGARSWAMY et al., 2006; BOOTE et al., 2005; PRASAD et al., 2003).

Crop responses to climate change scenarios will include the following situations: 1) irrigated and rainfed crops, 2) with and without CO₂ effects, and 3) adaptation options of planting date and variety changes. These results will be analyzed to evaluate changes in production and irrigation water demand associated with climate change and the effectiveness of simple adaptation strategies.

Stakeholder Involvement

Stakeholder involvement is a key factor for a successful development and implementation of mitigation and adaptation strategies. In parallel with providing education and increasing the climate literacy of stakeholders it is necessary to understand their needs and concerns as related to climate change. Identifying local needs is a necessary first step in helping farmers prepare for climate change. Providing in-service training opportunities to County and Extension faculty must be combined with panel discussions that involve decision makers such as farmers, agribusiness representatives, commodity associations, cooperatives, water management districts, insurance industry, and County and State governments.

Providing decision makers with a predictive understanding of the global climate system downscaled to the local level and jointly discussing adaptation strategies greatly enhances the probability of developing adaptation strategies that are realistic and will be adopted. Our success developing web-based decision support systems to help agricultural managers reduce risks associated with climate variability (FRAISSE et al., 2006) can be expanded to climate change provided that we maintain strong stakeholder involvement in the project (FRAISSE et al., 2009). Figure 4 shows a potential flow path for developing adaptation strategies and decision support systems with the involvement of stakeholders in the process. Periodic meetings with stakeholders are designed to share historical trends and understand needs, evaluate climate scenarios downscaled to the local level, evaluate impacts and jointly develop adaptation strategies that are realistic and in accordance with needs and socioeconomic aspects of the community and region.

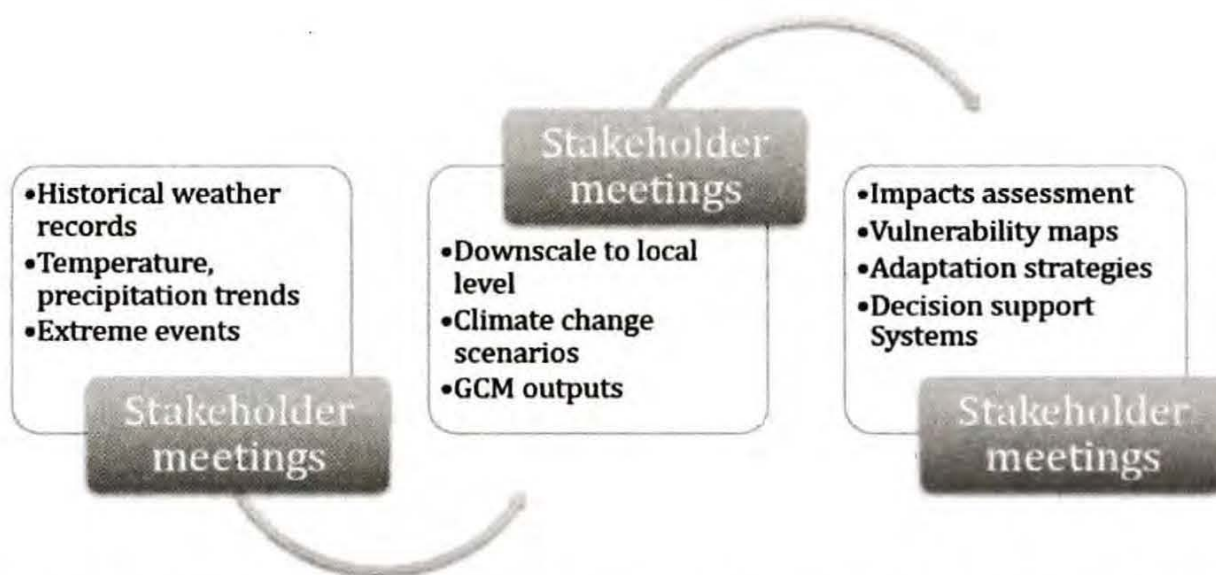


Figure 4. Potential flow path to develop adaptation strategies to cope with climate change and decision support systems involving stakeholders in the process.

In Conclusion

Cooperative Extension Services have an important role to play helping Floridians face the climate challenge. A plan of action has been developed to increase the climate literacy of stakeholders, understand their needs, communicate knowledge gaps to the research community, and ultimately develop adaptation and mitigation strategies that carry a high probability of being successfully adopted by the agricultural industry.

References

- ALAGARSWAMY, G.; BOOTE, K. J.; ALLEN JUNIOR, L. H.; JONES, J. W. Evaluating the CROPGRO-Soybean model ability to simulate photosynthesis response to carbon dioxide levels. **Agronomy Journal**, Madison, v. 98, p. 34-42, 2006.
- BAIGORRIA, G. A.; JONES, J. W.; SHIN, D. W.; MISHRA, A.; O'BRIEN, J. J. Assessing uncertainties in crop model simulations using daily bias-corrected regional circulation model outputs. **Climate Research**, Oldendorf, v. 34, n. 3, p. 211-222, 2007a.
- BAIGORRIA, G. A.; JONES, J. W.; O'BRIEN, J. J. Understanding rainfall spatial variability in the southeast USA. **International Journal of Climatology**, Sussex, v. 27, n. 6, p. 749-760, 2007b
- BAIGORRIA, G. A.; HANSEN, J. W.; WARD, N.; JONES, J. W.; O'BRIEN, J. J. Assessing predictability of cotton yields in the Southeastern USA based on regional atmospheric circulations and surface temperatures. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, Boston, v. 47, n. 1, p. 76-91, 2008a.
- BAIGORRIA, G. A.; JONES, J. W.; O'BRIEN, J. J. Potential predictability of crop yield using an ensemble climate forecast by a regional circulation model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, n. 148, p. 1353-1361, 2008b.
- BAKER, J. T. Yield responses of southern U.S. rice cultivars to CO₂ and temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, n. 122, p. 129-137, 2004.
- BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PICKERING, N. B. The CROPGRO model for grain legumes. In: TSUJI, G. Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P. K. (Ed.). **Understanding options for agricultural production: systems approaches for sustainable agricultural development**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. p. 99-128.
- BOOTE, K.; ALLEN, L. P. P.; BAKER, J.; GESCH, R.; SNYDER, A.; PAN, D.; THOMAS, J. Elevated temperature and CO₂ impacts on pollination, reproductive growth, and yield of several globally important crops. **Journal of Agricultural Meteorology**, Tokyo, v. 60, p. 469-474.
- CALDWELL, C. R.; BRITZ, S. J.; MIRECKI, R. M. Effect of temperature, elevated carbon dioxide, and drought during seed development on the isoflavone content of

dwarf soybean [*Glycine max* (L.)Merrill] grown in controlled environments. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, D.C., v. 53, p. 1125-1129, 2005.

FRAISSE, C. W.; BREUER, N.; BELLOW, J. G.; CABRERA, V.; HATCH, U.; HOOGENBOOM, G.; INGRAM, K.; JONES, J. W.; O'BRIEN, J.; PAZ, J.; ZIERDEN, D. AgClimate: a climate forecast information system for agricultural risk management in the southeastern USA. **Computers & Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 53, n. 1, p. 13-27.

FRAISSE, C. W.; BREUER, N. E.; ZIERDEN, D. ; INGRAM, K.T. From climate variability to climate change: Challenges and opportunities to extension. **Journal of Extension**, Madison, v. 47, n. 2, Apr. 2009.

HANSEN, J.; FUNG, I.; LACIS, A.; RIND, D.; LEBEDEFF, S.; RUEDY, R.; RUSSELL, G.; STONE, P. Global climate changes as forecast by Goddard Institute for Space Studies three-dimensional model. **Journal of Geophysical Research**, Washington, D.C., v. 93, p. 9341-9364, 1983.

HATFIELD, J.; BOOTE, K.; FAY, P.; HAHN, L.; IZARRALDE, C.; KIMBALL, B. A.; MADER, T.; MORGAN, J.; ORT, D.; POLLEY, W.; THOMSON, A.; WOLFE, D. Agriculture. In: **THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON AGRICULTURE, LAND RESOURCES, WATER RESOURCES, AND BIODIVERSITY**: a report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Washington, D.C.: U. S. Department of Agriculture, 2008. 362 p.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; WILKENS, P. W.; PORTER, C. H.; BATCHELOR, W. D. ; HUNT, L. A.; BOOTE, K. J.; SINGH, U.; URYASEV, O.; BOWEN, W. T.; GIJSMAN, A. J.; DU TOIT, A.; WHITE, J. W.; TSUJI, G. Y. **Decision support system for agrotechnology transfer**. Version 4.0. Honolulu: University of Hawaii, 2004. 1 CD-ROM.

IPCC. **Climate change 2007**: the physical science basis. Geneva: IPCC: WMO, 2007.

JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; BOOTE, K. J.; BATCHELOR, W. D.; HUNT, L. A.; WILKENS, P. W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A. J.; RITCHIE, J. T. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v. 18, n. 3, p. 235-265, Jan. 2003.

LEE T. C.K., F.W. ZWIERS, X. ZHANG, M. TSAO. Evidence of decadal climate prediction skill resulting from changes in anthropogenic forcing. **Journal of Climate**, Boston, v. 19, p. 5305-5318, 2006.

MARSHALL, C. H.; R.; PIELKE, A.; STEYAERT, L. T.; WILLARD, D. A. The impact of anthropogenic land cover change on the Florida peninsula sea breezes and warm season sensible weather. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 132, p. 28-52, 2004.

MARTINEZ, C. J.; BAIGORRIA, G. A.; JONES, J. W. Use of indices of climate variability to predict corn yields in the Southeast USA. **International Journal of Climatology**, Chichester, 2008.

MEEHL G. A.; STOCKER, T. F.(Coord.). Global climate projections. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**, Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 747-845.

PIELKE R, A.; WALKO, R. L.; STEYAERT, L.; VIDALE, P. L.; LISTON, G. E.; LYONS, W. A. The influence of anthropogenic landscape changes on weather in south Florida. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 127, p. 1663-1673, 1999.

PRASAD, P. V. V.; BOOTE, K. J.; ALLEN JUNIOR, L. H.; THOMAS, J. M. G. Supra-optimal temperatures are detrimental to peanut (*Arachis hypogaea* L) reproductive processes and yield at ambient and elevated carbon dioxide. **Global Change Biology**, Oxford, v. 9, p. 1775-1787, 2003.

Agroclimate: a service of the southeast climate consortium: agroclimate provides important. Disponível em: <http://agroclimate.org/climate_change/>.

THOMAS, J. M. G.; BOOTE, K. J.; ALLEN JUNIOR, L. H.; GALLO-MEAGHER, M.; DAVIS, J. M. Elevated temperature and carbon dioxide effects on soybean seed composition and transcript abundance. **Crop Science**, Madison, v. 43, p. 1548-1557, 2003.

WIGLEY, T. M. L. The climate change commitment. **Science**, London, v. 307, p. 1766-1769, 2003.

WINSBERG, B.; ZIERDEN, D.; O'BRIEN, J. **Florida weather**. University Press of Florida, 2003. 192 p.

Medidas para mitigar os efeitos das mudanças climáticas na produção de hortaliças

Adonai Gimenez Calbo¹, Silvia Calbo Aroca²

¹ Embrapa Instrumentação Agropecuária, ² Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo

Introdução

O efeito esperado das atuais concentrações de gases de efeito estufa é um gradual aumento na temperatura da superfície da Terra de cerca de 2°C acima da linha de base pré-industrial, durante os próximos anos. Este aumento de temperatura deverá ocorrer mesmo no improvável evento de que as queimadas de florestas e toda a queima de combustíveis fósseis cessassem imediatamente. Assim, climas com temperaturas elevadas deverão prevalecer por longo tempo dado que a vida média do CO₂ na atmosfera atual é estimada em mais de mil anos.

A horticultura é influenciada de maneira muito desigual por este aquecimento nas diferentes regiões ao redor do globo. Assim, em cada região haverá necessidade de procedimentos de aclimatação específicos, que poderão envolver a introdução de novas espécies e variedades, que possam atender aos consumidores. Adicionalmente, mesmo nas áreas que serão menos afetadas, ainda assim é provável que se tenha de conviver com temperaturas noturnas mais elevadas e com reduções da produtividade vegetal induzidas pelo maior poder evaporativo do ar e pelo aumento de poluentes troposféricos.

No repositório de tecnologias e estratégias para manter a produtividade hortícola, o melhoramento vegetal e a escolha de novas espécies e cultivares parecem ser as soluções mais diretas e gerais, porém é importante considerar as alternativas de aproveitamento e de melhoria dos microclimas. Na abordagem de microclima há boas ferramentas hortícolas fundamentadas no balanço entre a energia de ondas curtas absorvida, e a irradiação líquida de ondas longas (calor), enquanto, ao mesmo tempo, se trabalham estratégias para favorecer a perda de condução, convecção e evaporação/condensação nas planta e na infra-estrutura de produção e de pós-colheita. Neste sentido,

as principais alternativas fitotécnicas de modulação da temperatura são os tratamentos que aumentam o albedo, ou refletividade, aqueles que elevam a emissividade de calor das superfícies, os que aumentam a convecção de calor, os que elevam a taxa de evaporação e aqueles que influem nas dimensões e na geometria dos objetos.

A modulação da temperatura no microclima deverá se tornar ainda mais importante no futuro para a produção, a manutenção do conforto térmico, a melhoria da economia energética, a manutenção da qualidade e para extensão da vida pós-colheita de frutas e hortaliças. Outros aspectos relativos à redução do consumo de combustíveis fósseis, aplicação de formas alternativas de energia e o aumento na sua eficiência de uso são tratados de maneira indicativa, apontando que são estas as questões essenciais que estão arrastando a humanidade rumo a um pesadelo provocado por mudanças climáticas do qual é difícil escapar.

Balanco de energia

A temperatura de um organismo precisa ser aproximadamente constante ao longo do tempo, já que não pode viver com uma temperatura que cresce indefinidamente e nem com uma que decresce abaixo de certo valor mínimo. A temperatura de um organismo se ajusta de acordo com as condições do ambiente até que a energia que entra seja igual à energia que sai. Tal idéia pode se expressa por:

$$M + Q_a = R + C + \lambda E + G + X \quad [\text{eq. 1}]$$

onde M é a taxa em que a energia metabólica é produzida, Q_a é a quantidade de energia radiante absorvida pela superfície do organismo, R é a radiação de ondas longas emitida pela superfície do organismo, C é a energia transferida por convecção, λE é a energia trocada por evaporação de água ou condensação de umidade, G é a energia trocada por condução (contato direto do organismo com o meio) e X é a energia colocada ou retirada de armazenamento dentro do organismo.

Pode-se aproximar uma folha de uma planta no ar por uma área plana de pequena espessura que absorve e irradia radiação eletromagnética e que possui uma resistência específica ao transporte de vapor de água. O balanço de energia para folhas pode ser escrito de maneira mais simples do que o balanço de energia geral para organismos, pelo fato do metabolismo em plantas consumir pouca energia tornando-o desprezível no cálculo da

temperatura da folha. A energia trocada por condução numa folha ligada ao pecíolo também pode ser desprezada. Adicionalmente, para situações envolvendo um estado estacionário o termo X de armazenamento de energia também pode ser tomado como nulo.

A expressão do balanço de energia para folhas seria, portanto, resumido a:

$$Q_a = R + C + \lambda E \quad [\text{eq. 2}]$$

Nesta equação os termos são:

Radiação (R): A irradiação numa superfície qualquer que é dada por:

$$R = \varepsilon \sigma [T_s + 273]^4 \quad [\text{eq. 3}]$$

Onde σ é constante de radiação de Stefan-Boltzmann [$\sigma = 5,673 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$], T_s é a temperatura em graus centígrados, e ε é a emissividade da superfície. A emissividade de uma folha é próxima de 1, ou para ser mais exato é geralmente, 0,96 podendo atingir valores tão baixos quanto 0,92.

Convecção (C): A taxa de calor transferido por convecção entre a folha e o ar é proporcional à diferença de temperatura entre a superfície da folha e o fluido.

$$C = h_c [T_s - T_a] \quad [\text{eq. 4}]$$

Onde T_s é a temperatura na superfície da folha e T_a é a temperatura do ar e h_c é o coeficiente de convecção. O coeficiente de convecção (h_c) é uma função complexa da velocidade de vento e característica da superfície pela qual o vento flui. A taxa de fluxo de calor por convecção é proporcional à velocidade do vento (V) e inversamente proporcional às dimensões (D) da folha. Portanto, podemos escrever:

$$h_c = k_1 (V^n / D^m) \quad [\text{eq. 5}]$$

Onde k_1 é uma constante de proporcionalidade para o transporte de calor por convecção. A taxa na qual uma folha, considerada plana, troca calor com o ar é proporcional à raiz quadrada da velocidade do ar (V), proporcional à diferença de temperatura entre a folha e o ar ($T_s - T_a$) e é inversamente proporcional à raiz quadrada da espessura da folha (D) na direção do fluxo de ar.

$$C = k_1 (V^{1/2} / D^{1/2}) [T_s - T_a] \quad [\text{eq. 6}]$$

Evaporação (λE): A perda de energia por evaporação ou transpiração resulta na perda de energia, de aproximadamente $2,430 \times 10^6 \text{ J/ kg}$ a 30 graus Celsius, que corresponde ao calor latente de vaporização da água, uma quantidade que depende da temperatura na qual a água evapora. A taxa na qual a planta perde água por transpiração é proporcional à diferença entre a pressão de vapor da água dentro da planta e a do ar logo acima dela. A pressão de vapor de água da planta é função da temperatura no sítio de vaporização bem como da concentração de solutos e da tensão da água. Já, a pressão de vapor de água no ar é função da temperatura do ar e de sua umidade relativa (h). Por simplicidade a pressão de vapor na folha será escrita como função somente de sua temperatura. Portanto, a taxa de calor transferido por transpiração é função da temperatura da folha, temperatura do ar e da umidade relativa. O calor necessário para converter água líquida em vapor, o calor latente de vaporização, $\lambda(T_f)$, é função da temperatura na superfície da folha. Este valor deve ser multiplicado pela quantidade de água que é perdida por unidade de área e tempo ($E(T_f, T_a, h, r^{-1})$). Onde r indica a resistência imposta à taxa de vaporização de água pela superfície da planta.

$$\lambda E = \lambda(T_f)E(T_f, T_a, h, r^{-1}) \quad [\text{eq. 7}]$$

O termo multiplicando o calor latente de vaporização depende da resistência interna da folha (r_f) ao fluxo de vapor de água. Há também uma resistência sobre a superfície da folha r_a que depende da espessura de ar estagnado sobre ela. Seja $d_f(T_f)$ a densidade de saturação de vapor de água nos volumes intercelulares da folha como função de sua temperatura. Seja, $d_a(T_a)$ a densidade de saturação do vapor de água no ar como função da temperatura. Portanto, se a umidade relativa do ar for h , a densidade de vapor de água do ar será $h d_a(T_a)$.

A taxa com que o vapor de água escapa da folha é dada, por:

$$E = \frac{d_f(T_f) - h d_a(T_a)}{r_f + r_a} \quad [\text{eq. 8}]$$

Onde E é expresso em $[\text{kg}/(\text{m}^2 \text{ s})]$, que é a quantidade de água perdida por unidade de área e tempo.

Considerando-se estes termos R , C e λE (eq. 3, 6, 7 e 8) o balanço total de energia na folha segundo Gates (1980) pode ser representada na forma:

$$Q_a = \varepsilon\sigma(T_f + 273)^4 + \frac{k_1 V^{1/2}}{D^{1/2}}(T_f - T_a) + \lambda(T_f) \frac{d(T_f) - h_s d_a(T_a)}{r_f + r_a} \quad [\text{eq. 9}]$$

Esta equação (9) é um balanço sumarizado que representa como a temperatura da folha aumenta em função da quantidade de energia radiante absorvida (Q_a). Na equação 9 além dos parâmetros já especificados, ε , k_p , r_f e r_a também é importante a absorptividade (a_c) da folha para a luz de ondas curtas (300 a 2500nm), parâmetro que representa a fração da energia solar incidente que é absorvida. Adicionalmente, há também um termo de absorptividade de ondas longas (a_l), ou calor, que atinge a folha, em geral, proveniente da irradiação de calor pelo solo e pela atmosfera. A quantidade de energia radiante (Q_a) absorvida pela folha a cada instante é dada por esta absorção de radiação de ondas curtas e de radiação de ondas longas. É também importante mencionar o albedo de banda larga (300 a 2500nm) ou refletividade que é numericamente igual a 1 menos a absorptividade para radiação de ondas curtas.

O balanço de energia da equação 9 além de servir para determinar a temperatura das folhas também pode ser utilizado como uma forma simplificada para estimar a temperatura de coberturas, pavimentos e outras superfícies. Como simplificação ainda maior, aplicável particularmente para coberturas e pavimentos é comum utilizar-se a denominação superfície fria quando o albedo é elevado $\eta > 0,5$ e a emissividade também é elevada $\varepsilon > 0,9$. No caso oposto se tem as superfícies quentes, como o são o asfalto negro e as superfícies metálicas ainda que polidas (Tabela 1). Estas superfícies quentes e frias são relevantes na propriedade agrícola, por que influenciam o conforto térmico e contribuem para determinar a temperatura das plantas no campo, em cultivo protegido e durante os procedimentos de pós-colheita.

Outro aspecto importante relativo à noção de albedo de banda larga, e não apenas o albedo para luz visível, é que apenas cerca de 40% da radiação solar que atinge o solo, com o sol no zênite é visível, complementam 3% de radiação ultravioleta (<300 nm) e cerca de 57% de radiação infravermelha (>700 nm), um tipo de radiação para o qual as plantas usualmente possuem elevada refletância (PEREIRA et al., 2002).

Gases de efeito estufa e o aquecimento global

O balanço de energia da atmosfera na Terra certamente é muito mais complexo e envolve muito mais componentes que o balanço de energia que determina a temperatura de uma folha. Ainda assim este balanço de energia também envolve primariamente a absorção de radiação de ondas curtas

Tabela 1: Emissividade térmica e albedo de alguns materiais

Material	Albedo	Emissividade	Aquecimento (°C) *	Observações
Asfalto de ruas e estradas	0,1 a 0,2	0,95	>30	Valores maiores são obtidos em estradas antigas, aquecimento com suspensão aquosa de cimento aumenta substancialmente o albedo e causa redução da temperatura e da liberação de gases orgânicos tóxicos (VOCs).
Telhas	0,1 a 0,5	0,9	>20	Valores maiores de albedo e menores de temperatura são obtidos em telhas de cerâmica nova e clara.
Pintura branca	0,5 a 0,90	0,9	<3	Superfície fria cujo albedo depende dos pigmentos e da base. Tintas a base de PVA tem maior albedo, menor aquecimento, porém menor durabilidade do que as tintas a base de acrílico.
Pintura preta	0,2 a 0,15	0,9 a 0,97	>30	Superfícies quentes cujo albedo depende do pigmento, da base (e.g. PVA) e do estado de conservação.
Chapa ondulada	0,1 a 0,16	0,13 a 0,28	>50	Superfície quente, cujas propriedades dependem muito do estado de conservação.
Concreto	0,3 a 0,6	0,71 a 0,90	>10	Em geral são superfícies frias cujo albedo tende a diminuir ao longo do tempo.
Concreto com cimento portland branco	0,7 a 0,8	0,9	>3	Superfície fria que pode ser efetivamente utilizada para reduzir a temperatura de microclimas de controle.
Manta térmica de alumínio nova	0,7 a 0,9	0,06	>30	Dever ser usada como barreira a passagem de calor entre superfícies que assegurem limpeza e ausência de incidência de radiação solar direta. Não usar exposta ao sol.

* Entre as 13 e 14 horas de dias claros.

** Não se encontrou produtos com "infrared reflective pigmentation technology" no mercado brasileiro.

provenientes do Sol que é seguido de diversos tipos de transporte de energia, por irradiação, condução e convecção na atmosfera, no solo e nos oceanos, que fazem com que a entrada de energia no sistema em intervalos de tempo suficientes sejam equivalentes à quantidade de energia irradiada por e através da atmosfera para o espaço.

Se o planeta Terra não tivesse atmosfera a temperatura dependeria apenas da quantidade de ondas curtas absorvidas e a temperatura média da Terra poderia ser determinada por aplicação da equação 3, levando-se em consideração que o albedo da Terra é aproximadamente 0,3 e que a constante solar, radiação recebida do Sol no topo da atmosfera, é $\sim 1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Calculada desta forma a temperatura média na superfície da Terra seria de gélidos $-18,3^\circ \text{ C}$, em comparação com os atuais $14,4^\circ \text{ C}$, uma temperatura muito mais confortável para os organismos vivos. Esta diferença de $32,7^\circ \text{ C}$ corresponde ao efeito "manta ou cobertor térmico" provido pelos gases de efeito estufa na atmosfera.

Exceto por uma pequena quantidade de gás argônio (0,9%) os demais gases que compõem a atmosfera foram formados e tem seu volume controlado

por uma complexa mescla de atividades biológicas, a principal componente, e de atividades geológicas. Assim graças à vida na Terra desfrutamos hoje de uma atmosfera com pressão de 760mm de Hg ao nível do mar. Mais de 99% desta pressão atmosférica é gerada pela ação de gases quase transparentes às radiações de ondas curtas do Sol e também quase transparentes ao calor. Estes gases dominantes são o argônio, já mencionado, com 0,9%, o N₂ com 78,1% e o O₂ com 20,9% do conteúdo seco do volume da atmosfera. Destes gases “transparentes” o argônio é um gás nobre e inerte, o N₂ é um reservatório não tóxico e O₂ é um subproduto da ação conjugada da fotossíntese e do aprisionamento geológico de matéria orgânica que gera uma molécula de O₂ a cada duas moléculas de carboidrato aprisionadas. A concentração destes e de outros gases na atmosfera são estreitamente regulados por sofisticados sistemas da biogeoquímica (LOVELOCK, 2000, 2006).

Para o balanço de energia que determina a temperatura na Terra os gases presentes em menor quantidade é que são responsáveis pelo efeito estufa, enquanto que os gases mais abundantes são importantes geradores de pressão. Tirando-se a água cuja pressão de vapor e formação de gotículas nas nuvens é função da temperatura os demais gases de efeito estufa importantes estão listados na tabela 2, e suas concentrações não são medidas em porcentagem, já que são pouco abundantes, e sim em partes por milhão ou partes por bilhão, em termos do volume total na pressão em que se faz a medição.

Na tabela 2, verifica-se que os gases de efeito estufa mais importantes são o CO₂, o metano (CH₄) e o ozônio (O₃). O aumento global de temperatura devido ao nível de gases de efeito estufa de 2005, após se atingir o estado estacionário, corresponderia a um aquecimento global de 2,36° C em relação ao período pré-industrial (FOSTER et al., 2007). Na atmosfera a água, desempenha também um importante papel de efeito estufa, no entanto a sua distribuição é bem menos homogênea, variando de cerca de 4% em volume em ar úmido sobre regiões equatoriais a praticamente zero, nas regiões polares e acima da troposfera. O papel da água no aquecimento global entra, por conseguinte, como um efeito de sensibilidade, tempo de resposta e amplificação, que é apreendido nos sofisticados modelos climatológicos de previsão da temperatura em função do aumento da concentração dos gases de efeito estufa.

Outro aspecto muito importante dos gases de efeito estufa é a sua vida média na atmosfera, este é um aspecto cuja descoberta envolveu tremendas dificuldades associadas ao desconhecimento dos efetivos padrões

Tabela 2: Forçantes radioativas e efeitos térmicos causados pelas variações de concentração dos principais gases de efeito estufa na atmosfera terrestre entre a era pré-industrial e o ano de 2005.

Componente	Concentração pré-industrial	Concentração 2005	Forçante (watts/m ²)	ΔT^{**} (°C)
CO ₂	278 ppmv	379 ppmv	1,66	1,328
CH ₄	0,715 ppmv	1,774 ppmv	0,48	0,384
O ₃	***	varia com altitude e longitude	0,32	0,256
N ₂ O	0,270 ppmv	0,319 ppmv	0,16	0,128
CFC(11, 12 e 113)	40 pptv	868 pptv	0,18	0,144
Outros	-	-	0,17	0,136
Total	-	-	2,63	2,36

* Dados baseados no relatório do IPCC (FOSTER et al., 2007)

** o efeito térmico foi estimado multiplicando-se cada forçante pela sensibilidade de aproximadamente 0,8K/(W/m²).

*** A contribuição do vapor de água 36-72% do efeito estufa e do ozônio 3-7%, além dos efeitos ainda mais variáveis das partículas condensadas de água das nuvens não foram incluídas nesta tabela.

de circulação dos oceanos e as suas interações com os diferentes sistemas biológicos e com a atmosfera. Das estimativas da vida média dos principais gases de efeito estufa na tabela 3 verifica-se que estes períodos tendem a ser muito longos, na ordem de dezenas, centenas ou até de milhares de anos. Assim, para o CO₂, o principal gás de efeito estufa, estima-se que sua vida média seja de mais de 1000 anos. Dados deste tipo significam que teremos de conviver com temperaturas 2° C acima das do período pré-industrial, por vários séculos, de acordo com as medições correntes destes gases compiladas pelo IPCC (FOSTER et al., 2007).

Outros gases de efeito estufa como o metano (CH₄) e o ozônio (O₃) possuem uma vida média muito mais curta que o CO₂ na atmosfera. Esta vida mais curta destes dois gases, que também desempenham papéis biológicos importantes, está associada a um controle cibernético com menor tempo de resposta (anos e meses, respectivamente). O ozônio, por exemplo, filtra a maior parte da radiação ultravioleta e protege os organismos dos efeitos nocivos desta componente da radiação solar. O efeito estufa deste gás ocorre principalmente na estratosfera, onde a absorção de radiação determina a elevada temperatura nesta camada da atmosfera. A maior temperatura e conseqüentemente a menor densidade dos gases na estratosfera possui uma grande importância para circulação das massas de ar troposféricas, funciona

Tabela 3. Vida média e aspectos hortícolas relevantes de alguns gases de efeito estufa.

Componente	Fórmula	Vida	Condicionantes	Modulação
Dióxido de carbono	CO ₂	>1000 anos	Temperaturas, intemperismo, correntes marinhas e sua acidez.	Biológica somada à queima de combustíveis fósseis.
Metano	CH ₄	12 anos	Produzido em ambientes anaeróbicos, é um gás 23 vezes mais efetivo que o CO ₂ para absorver calor. A evolução de metano é um controle para o aumento da concentração atmosférica do O ₂ .	O aquecimento global poderá vaporizar reservas de metano sob a Sibéria e o Alasca.
Ozônio	O ₃	≈1 mês	Gás importante para manter a temperatura da estratosfera e para filtrar a luz ultravioleta. Na troposfera é produzido em maiores quantidades em cidades que consomem grandes quantidades de combustíveis fósseis. A concentração varia com a altitude e a degradação é mais rápida em ambientes úmidos.	Na troposfera a produção de ozônio aumenta com o efeito ilha de calor e na estratosfera a degradação do ozônio é acelerada pelos CFCs e outros compostos.
Oxido nitroso	N ₂ O	114 anos		
CFC		>45 anos	Depende do composto em particular.	Produtos de "sprays" e de gases para refrigeração

como um teto para a altura das principais nuvens. Assim, o papel do ozônio é muito importante no estabelecimento do clima, como tem demonstrado a freqüente preocupação dos climatologistas com o aumento no "buraco" na camada de ozônio.

Na lista da tabela 3 os únicos gases de efeito estufa produzidos industrialmente são os CFCs, que podem ter vida média de centenas de anos e uma ação prejudicial na estratosfera onde catalisam a degradação do O₃. Atualmente, a produção de CFCs está, aparentemente, bem controlada de acordo com regulamentos internacionais vigentes.

Temperaturas, microclimas e fisiologia vegetal

As mudanças climáticas estão ocorrendo como uma sucessão não homogênea de eventos diferenciados sobre a superfície da Terra. Em latitudes elevadas os aumentos de temperatura tem sido maiores, tipicamente na faixa de 1 a 4° C que já vem sendo causa de novas demandas por espécies e cultivares adaptados (FOSTER, 2007). Na maioria das regiões tropicais, por outro lado, os efeitos sobre a temperatura têm sido menores, porém consideráveis alterações nos padrões de distribuição de chuva e de evapotranspiração potencial tem sido observados na Austrália, Ásia, África e até no Brasil. O enfraquecimento das monções vem ocorrendo através da

Ásia e da África e está tornando as chuvas mais escassas e irregulares, a ponto de que as alterações de clima sejam apontadas como causa importante de recentes eventos de fome e desnutrição em vastas regiões como o Sahel, uma faixa com mais de 800km de largura localizada abaixo do deserto do Saara (HENSON, 2008).

Um efeito adicional das mudanças climáticas tem sido a redução da temperatura diurna e o aumento das temperaturas noturnas causadas pelo aumento da prevalência de nuvens cirriformes, principalmente em regiões com elevado tráfego aéreo. Estas nuvens cirriformes denominadas de “contrails” representam uma sementeira de nuvens induzida pelo tráfego de aviões a jato a cerca de 1.0000 m de altitude. Este problema de noites quentes é adicionalmente agravado próximo a centros urbanos afetados pelo efeito de ilha de calor causados por pisos e pavimentos escurecidos e agravados pelos numerosos prédios altos, que além de reter massivas quantidades de calor, ainda prejudicam a remoção do calor local pela ação dos ventos.

Entre as mudanças climáticas que deverão ter fortes efeitos crescentes nas próximas décadas estão: variações de temperatura ao longo das estações do ano; alterações regionais no padrão multianual de variações climáticas; redução na diferença entre as temperaturas diurnas e noturnas, caso a tendência para o aumento do uso de transporte aéreo não seja revertida; variações nos padrões de advecção global, regional e local; aumento no teor médio de umidade absoluta do ar; aumento do poder evaporativo médio do ar; chuvas mais intensas e menos frequentes, aumento na concentração de CO₂ e gases de efeito estufa; grande aumento dos níveis de ozônio troposférico, um gás que causa de 90% dos prejuízos da poluição sobre os vegetais (NARSTO, 2009), porque é extremamente tóxico para plantas e o homem. O ozônio causa prejuízos para as plantas em concentrações um pouco maior do que o nível médio deste gás na troposfera que é da ordem de 40ppbv (VORNE et al., 2002).

Ao se pensar em mudanças climáticas para horticultura é interessante estressar que cada planta responde basicamente ao microclima de sua imediata vizinhança o qual é fisiologicamente integrado em ciclos diários e estacionais ao longo do ano. Assim, um vale e uma cordilheira, mesmo quando fazem parte do mesmo clima representativo, ainda assim, tendem a constituir-se em micro climas distintos (GATES, 1980), de modo que em um deles a espécie produz bem e no outro é prejudicada, por exemplo, devido a temperaturas excessivas que podem induzir o florescimento precoce no verão, por exemplo, em alface (RADIN et al., 2004; SILVA et al., 1999).

As mudanças climáticas correntes apresentam diversos efeitos, não apenas sobre variáveis atmosféricas, mas também sobre as plantas. Isto ocorre porque a temperatura é um fator de energia vibracional fundamental, que de acordo com a equação de Arrhenius governa a taxa de todos os processos bioquímicos. Assim, a velocidade das reações bioquímicas é importante para o ajuste do crescimento das plantas e mais ainda sobre processos específicos relacionados com sua reprodução. Plantas anuais e perenes integram os efeitos de fotoperíodo e as flutuações estacionais da temperatura e utilizam estes sinais acumulados para a definição do momento do florescimento, do momento do pegamento dos frutos, do momento do amadurecimento e para antecipar a necessidade do repouso vegetativo que será necessário em estações secas ou durante invernos rigorosos (WENT, 1953). Adicionalmente, as temperaturas do dia e da noite tendem a ser um fator qualitativo para muitas espécies, como a batata e o tomateiro, que são plantas originadas de áreas continentais nas quais há substanciais diferenças entre a temperatura diurna e a temperatura noturna.

A fixação do CO_2 em carboidratos na fotossíntese é acelerada pela temperatura de uma maneira diferente do que é acelerada a conversão de carboidratos em CO_2 e água pela respiração. Estas diferentes respostas do metabolismo fotossintético e do metabolismo respiratório em função da temperatura somam-se a outras adaptações específicas para modular as respostas de cada planta ao ambiente prevalecente na região. Uma curva de adaptação de cada espécie à temperatura, tipicamente pode ser ilustrada como um gráfico em forma de sino tendo a temperatura na abscissa e a produtividade ou outra variável dependente na ordenada. Este tipo de curva é diferente para cada espécie e variedade de fruta ou hortaliça e é dependente das adaptações acumuladas durante a seleção natural e também durante os trabalhos de melhoramento vegetal, que são feitos para plantas de maior interesse econômico.

Evapotranspiração, irrigação e o aquecimento global

O aquecimento global não tem causado aumento da evapotranspiração de acordo com leituras de tanque classe A (HENSON, 2008). Segundo Wild et al. (2007) isto vem ocorrendo porque a evapotranspiração depende mais da radiação solar incidente do que da temperatura média na superfície da Terra. Sabe-se também que a quantidade de água para saturar um volume de ar aumenta $\sim 6\%$ por grau Celsius de acordo com a equação de Tetens

(PEREIRA et al., 2002) e que, conseqüentemente, um aumento de temperatura de 2° C, presumidamente, aumenta em mais de 12% a quantidade de vapor de água contido na atmosfera terrestre. Estes dois efeitos compostos conduzem à preocupante constatação de que a constante de tempo para repor a água na atmosfera vem aumentando e em decorrência as previsões de mudanças climáticas atuais sugerem chuvas mais intensas e menos frequentes, o que é desfavorável para a produção agrícola em muitas regiões.

Evidentemente, mesmo com mudanças climáticas, ainda assim, poderá se continuar cultivando a grande variedade de hortaliças e frutas disponíveis, algumas das quais listadas na tabela 4, com certos ajustes regionais de acordo com as condições de ambiente requeridas para cada uma. Uma dificuldade adicional, contudo, é que os produtores, de certa forma, são demandados a produzir as espécies e cultivares, atualmente, mais consumidas e para isto, precisam buscar locais e tecnologias que possibilitem a produção, por exemplo, de alface e couve-flor ainda que as temperaturas locais sejam de certa forma inadequadas. Apesar desta tendência, para o cenário de rápidas mudanças climáticas, possivelmente deva-se dar mais ênfase às pesquisas com hortaliças e frutas tropicais e em particular àquelas que suportem melhor o déficit hídrico ainda que, possivelmente, por uma questão de produtividade vegetal não devam ser plantas xerófilas, como a cactácea pitaya-do-cerrado, conforme argumentação Prisco, (1986) sobre os problemas do aproveitamento comercial de plantas xerófilas.

Tabela 4. Hortaliças que requerem condições amenas de temperatura (temperadas) e outras que requerem temperaturas mais elevadas (tropicais) e suas diferentes tolerância/resistência a déficits hídricos.

Temperadas			Tropicais		
Baixa	Intermediária	Elevada	Baixa	Intermediária	Elevada
agrião	aspargo	alho	taioba	abóbora	batata-doce
alface	brócolis	beterraba		berinjela	mandioca
chicória	cenoura	cebolinha		feijão-de-vagem	pitaya-do-cerrado (cactácea)
	couve	cebola		jiló	
	pimentão	ervilha		melão	
	repolho	hortelã		melancia	
	tomate	sálvia		milho-verde	
				moranga	
				pepino	
				quiabo	

Diferentemente do clima global, no mesoclima e microclima efeitos de albedo, como aqueles que ocorrem nas ilhas de calor, causam substancial aumento do poder evaporativo do ar, que podem ser estimados com a equação Tétens (PEREIRA et al., 2002), e que dentre outras consequências importantes provocam o esgotamento mais rápido da água do solo. Para propriedades agrícolas localizadas em áreas urbanas, enquanto não são tomadas ações executivas para reduzir o efeito ilha de calor, resta ao agricultor utilizar tecnologias locais de melhoria do microclima. Adicionalmente, é preciso também utilizar bons sistemas de irrigação e de manejo de irrigação, que conjuguem os efeitos aditivos destas tecnologias para que a melhoria no microclima seja acompanhada de aumento na produtividade e na eficiência do uso da água.

Quanto aos procedimentos de manejo de irrigação alguns que tem sido utilizados com muito sucesso são o tensiômetro, o Irrigas e o tanque classe A (MAROUELLI et al., 1996; MAROUELLI; CALBO, 2009). Dentre os sistemas de irrigação em geral os mais eficientes são os que envolvem a aplicação localizada da água como ocorre com diversos dos sistemas de gotejamento atualmente disponíveis. No sentido de reduzir a temperatura local também merecem atenção as possibilidades de aumento de albedo o que pode ser obtido, por exemplo, fazendo-se uso do gotejamento subsuperficial, que além de reduzir a competição de plantas invasoras, ainda causa economia de água mediante a redução da temperatura local, por seu efeito de aumentar o albedo do solo (LEITÃO; OLIVEIRA, 2000). Quando o gotejamento é aplicado superficialmente a redução da temperatura causada pela evaporação da água é em parte balanceada pelo aumento da absorção de radiação solar na superfície escurecida pela umidade, que apresenta menor albedo.

Da argumentação contida nos parágrafos anteriores, segundo a qual a pressão de vapor aumenta em cerca de $6\%/^{\circ}\text{C}$, e imaginando que em um dado dia a umidade média nas horas mais quentes é de 40% , então se pode calcular que a economia de água de irrigação é da ordem de $10\%/^{\circ}\text{C}$. Quando a umidade relativa é maior a economia de água obtida pela redução de cada grau de temperatura é ainda maior, por exemplo, da ordem de $15\%/^{\circ}\text{C}$ quando a umidade relativa do ar que entra no microclima é de 60% . Evidentemente, este efeito se dá porque a temperatura das superfícies das folhas e do solo é menor na condição microclimática considerada. Veja-se que este é um efeito hortícola localizado que pode ser facilmente obtido alterando-se um pouco o albedo e a emissividade das superfícies com pintura e escolha adequada de materiais, de modo a influenciar o balanço de energia de áreas específicas de campo ou de cultivo protegido.

Os aspectos micrometeorológicos considerados nesta seção referem-se à economia de água em pequenas áreas e não válidos para áreas maiores, para as quais se deve utilizar métodos que sejam válidos em áreas homogêneas maiores, onde o balanço hídrico, um balanço de energia, pode ser obtido pelo método de Penman-Monteith (MAROUELLI et al., 1996; PEREIRA et al., 2002), uma formulação para ambientes nos quais o perfil de vento, o perfil do gradiente vertical de temperatura e o perfil do gradiente vertical de umidade são considerados homogêneos sobre a cultura.

Na tabela 5 procura-se resumir os efeitos potenciais, grosseiramente estimados, que algumas das tecnologias consideradas nesta seção teriam sobre o consumo de água de irrigação. Evidentemente, o assunto é por demais detalhado e seria pouco útil, neste momento, compilar dados particulares mais exatos da economia de água que se obteria, por exemplo, utilizando uma hortaliça xerófila, ou quanto poderiam ser diminuídos o consumo de água e a temperatura diurna com o uso de tratamentos adequados com tipos específicos de coberturas (“mulching”).

Mesmo nesta discussão sobre mudanças climáticas é importante uma palavra sobre a definição do momento da paralisação da irrigação, em dias antes da colheita. Com esta prática se melhora a capacidade de conservação das folhas, melhora-se a qualidade dos frutos em termos de teor de açúcares, teor de matéria seca e sanidade, ao mesmo tempo em que se economiza água. Assim, por exemplo, para a alface este intervalo deve ser de pelo menos um

Tabela 5. Alternativas para reduzir o consumo de água por unidade de área.

Alternativa	Economia	Limitações técnicas
Aspersão/turno de rega	0 %	Superadas
Aspersão/tanque classe A	30%	Superadas
Aspersão/tensiometria	40%	Superadas em grande parte
Gotejamento/turno de rega	50%	Superadas
Gotejamento/tanque classe A	65%	Superadas
Gotejamento/ tensiometria	70%	Superadas em grande parte
Aumento de 10% no albedo	20%	Requer áreas passíveis de tratamento
Aumento de 10% no albedo e aumento de 5% na emissividade	28%	Aumentar 5% na emissividade somente é possível em aplicações específicas.
Cultivo protegido/aspersão/tensiometria	70%	Cultivo protegido envolve passivo ambiental
Cultivo protegido/aspersão/aumento 10% no albedo	80%	Cultivo protegido envolve passivo ambiental
Cultivo protegido/aspersão/aumento 10% no albedo/aumento de 5% na emissividade	83%	Cultivo protegido envolve passivo ambiental e mesmo em casas de vegetação com estrutura metálica é difícil aumentar a emissividade em mais de 5%.
Hortaliças xerófilas à campo	90%	Plantas com baixa produtividade e baixa capacidade de competir com plantas invasoras
“Mulching”	10 a 50%	Particularmente, no “mulching” feito com plástico há um problema de passivo ambiental.

dia antes em solos de textura grossa, dois dias para solos de textura média e 4 dias antes em solos de textura fina.

Agricultura orgânica

Segundo Rockström et al., (2009) a humanidade já ultrapassou os limiares que começam a por em risco nossa vida confortável sobre a Terra. O primeiro limiar superado foi o de CO_2 na atmosfera, já que estamos com cerca de 387 ppmv, quando o limiar para causar um aumento de 2°C na temperatura da Terra sobre o nível pré-industrial seria de 350 ppmv. O segundo fator é mais difícil de interpretar, que consiste no perigo de termos ultrapassado em mais de dez vezes o limiar da taxa de extinção de espécies que está atualmente acima de 100 por milhão por ano, enquanto na era pré-industrial isto era da ordem de 1 por milhão por ano. Terceiro, também, superamos o limiar seguro quanto ao consumo de nitrogênio, pois estamos consumindo mais de 120 milhões de toneladas por ano, enquanto que o nível seguro para evitar efeitos como o observado no aumento da turbidez dos lagos e oceanos e para manter os níveis de óxido nítrico em níveis aceitáveis seria de 35 milhões de toneladas por ano. Sobre o nitrogênio é importante mencionar que a forma mais estável é o nitrato, que é muito reativo e tóxico. Assim, o N_2 é um grande reservatório de nitrogênio, um gás inerte importante na manutenção da pressão atmosférica e que é produzido graças a um grande dispêndio de energia realizado por microrganismos de ambiente anaeróbio.

Além das transgressões de limiares mencionadas, também estamos mal na questão do fósforo, cujo limiar é de aproximadamente 11 milhões de toneladas por ano e já estamos consumindo ao redor de 8,5 a 9,5 milhões de toneladas por ano. No caso do fósforo temos os agravantes de que suas reservas mais ricas estão estimadas para apenas mais 100 anos, além disso, os níveis excessivos de P nos oceanos causam diminuição da camada aeróbica (ROCKSTRÖM et al., 2009).

Para uso de água doce o limiar está estimado em $4000 \text{ km}^3/\text{ano}$ e o consumo atual está em $2600 \text{ km}^3/\text{ano}$, porém já há problemas de insuficiência de água para agricultura e outras aplicações em todos os continentes. A humanidade também está bem próxima do limiar de uso da Terra, visto que atualmente 11,7% dos continentes já são utilizados, enquanto que o limiar de transgressão é estimado em $\sim 15\%$.

Assim, é evidente que a agricultura agora mais do que antes é importante causa de mudanças climáticas tendo-se em vista o balanço médio negativo

que tem sobre a quantidade de carbono fixado na biosfera, principalmente por causa da derrubada de florestas para plantio. A importância da agricultura também não deve ofuscar o fato de que ela tem causado problemas devido ao manejo inadequado. Um dos efeitos importantes desta incúria tem sido a poluição das águas subterrâneas, rios, lagos e principalmente de oceanos. Nos lagos e oceanos em particular os efeitos de mal uso de N e P tem causado aumento de turbidez e de formas reativas do nitrogênio. Não é difícil imaginar a agricultura sem afetar tanto os ciclos do N e do P na biosfera, no entanto, para isto há de haver grande melhoria no manejo de água e fertilizantes, principalmente em setores como a horticultura e a agropecuária intensiva.

Tendo a humanidade já ultrapassado alguns dos limites seguros preconizados por Rockström et al., (2009) e lembrando que na Terra operam vários sistemas cibernéticos cujas respostas são em geral abruptas e violentas, então mais importante do que nunca são o emprego dos princípios conservacionistas, que até os dias de hoje tem sido mais efetivamente aplicados pelos vários adeptos de formas de agricultura orgânica.

Efeito ilha de calor

Antes da metade do século XIX, muito antes das mudanças climáticas globais serem consideradas, o aquecimento das cidades denominado efeito ilha de calor já era um fenômeno percebido e que ao descrevê-lo para a cidade de Londres, Howard em 1833, já postulou as prováveis causas do problema. Howard foi um químico notável pela forma cuidadosa com que observava o tempo, característica que possibilitou a ele idealizar a atual nomenclatura das nuvens e também sugerir as causas para o efeito ilha de calor (GARTLAND, 2008). Este aquecimento nas ilhas de calor é em geral causado por pavimentos e coberturas escuras, remoção da vegetação e prédios que estão insuficientemente espaçados, que bloqueiam a circulação de ar e tem elevada capacidade de retenção de calor.

Nas ilhas de calor é comum a ocorrência de grandes variações diárias na produção de ozônio e peroxi acetil nitrato (PAN) dois poluentes cuja produção depende da combustão de combustíveis fósseis, da radiação solar e cuja produção aumenta com um elevado Q_{10} em função da temperatura. Conseqüentemente, a síntese destes poluentes é bastante acelerada sobre as superfícies quentes das ruas e coberturas cuja temperatura pode diariamente superar 60° C (CERMAK et al., 1995). Elevadas concentrações de ozônio atmosférico potencialmente causa redução da taxa de fotossíntese, do

crescimento e da acumulação da biomassa. Dado a possuir uma vida média da ordem de horas até meses, dependendo das condições prevalentes, o ozônio pode ser problema mesmo em áreas distantes das ilhas de calor. A integral dos níveis de ozônio acima de um valor limiar, 40 nL L⁻¹ na Europa, tem sido utilizado nos estudos para acessar o efeito, em geral escondido, deste gás sobre a produtividade e a qualidade de produtos como a alface, a batata, a ervilha, o feijão e o milho (MARTINS; RODRIGUES, 2001; VORNE et al., 2002). Enquanto a concentração de CO₂ vem presentemente aumentando a uma taxa de 0.4% ao ano a concentração troposférica do ozônio vem crescendo muito mais rapidamente a cerca de 1% por ano. Sabe-se que os níveis troposféricos atuais de ozônio mesmo em regiões distantes das áreas urbanas vêm causando perdas “escondidas” de produtividade e qualidade das principais culturas (FELZER et al., 2007).

Um dos importantes problemas do efeito ilha de calor é o aumento local da convecção, que associado ao aumento da temperatura causam substancial aumento da evapotranspiração e por consequência o esgotamento mais rápido da água do solo. Evidentemente este problema pode ser superado, se houver água disponível com adequada irrigação e aplicada com apropriado uso de manejo de irrigação. Há, porém, outros aspectos adicionais, da ilha de calor, um dos quais é o aumento da probabilidade da formação de nuvens de convecção, *Cumulos congestus* e *Cumulos nimbos*, que causam chuvas mais pesadas nestas regiões (BORNSTEIN; LIN, 2000), o que é uma das sabidas causas da severidade de enchentes. Enchentes que também são causa recorrente de perdas nas áreas agrícolas próximas de corpos de água.

Em tese, ilha de calor é um problema que pode ser resolvido administrativamente com o uso de soluções com ou sem o envolvimento direto de água. Duas soluções que envolvem o uso de água diretamente são o aumento da cobertura vegetal e o aumento da fração de área com pisos e pavimentos permeáveis a água. Nestas opções os benefícios são a melhor interceptação e infiltração da água das chuvas nos aquíferos de um lado e um efeito benéfico de mitigação do aquecimento urbano pela dissipação do calor latente da água que é evaporada diretamente dos pisos e através da transpiração de plantas. Uma alternativa mais exótica e menos frequente defensável são as coberturas verdes e as paredes vivas (TRÉPANIÉ et al., 2009), pela complexidade e pelos elevados custos de instalação e manutenção. Outros dois fatores para diminuir a temperatura são os pisos e as coberturas frias, isto é pisos e coberturas com elevado albedo de banda larga (300 nm a 2500 nm) e elevada emissividade. Se este problema for resolvido nos

próximos anos não só aumentará o conforto nas cidades como também haverá importante aumento da produtividade agrícola pelos positivos sobre a redução da temperatura, da poluição e aumento da eficiência do uso da água pelas plantas.

Economia de energia e pós-colheita

O problema das mudanças climáticas decorre principalmente do consumo excessivo de combustíveis fósseis e da queima de florestas tropicais que podem conter mais de 300ton de carbono por hectare (LOBELL, 2006; HENSON, 2008; NOW, 2009). Em outras palavras, este problema é decorrente da necessidade humana de obter recursos alimentares e energéticos para viver com conforto em uma sociedade cada vez mais tecnológica e mais dependente de energia. A preservação do sistema biogeológico que nos mantém agora é muito mais de que uma questão de respeito e de ética (CLARK, 2008; LOVELOCK, 2006). Temos um enorme desafio de manter nossa sociedade altamente dependente de energia dentro de um cenário em que os modelos físicos suportem a noção de que precisaremos reduzir o consumo de derivados de petróleo em mais de 80%, visto que já extrapolamos os limites seguros e que seremos castigados por um clima progressivamente quente e inóspito. Para isto, será muito importante mudarmos completamente a matrix energética inclusive no campo. Uma revisão das alternativas mais efetivas que deverão ser utilizadas nos próximos anos pode ser vista em Monbiot (2006).

Na produção agrícola, as etapas que envolvem mais uso de recursos financeiros e energéticos e perdas ocorrem a partir da colheita no beneficiamento, transporte, armazenamento, a comercialização e principalmente no armazenamento e preparo doméstico. Estima-se, por exemplo, que para produzir uma caloria de alimento gasta-se 1,6 cal no campo, 2,2 cal no transporte e processamento, 1,3 cal de embalagem refrigeração e manuseio e mais de 2,3 cal para armazenamento e preparo doméstico dos alimentos (HEINBERG; BOMFORD, 2009). Neste cenário, evidentemente, há muitos segmentos nos quais é mais fácil reduzir perdas e economizar energia. enquanto se melhora o conforto dos trabalhadores e se aumenta a conservação das frutas e hortaliças. Uma lista com indicações de algumas destas ações neste sentido é apresentada na tabela (5), que não contempla alternativas para redução de perdas e para a economia de energia no ambiente doméstico, o que mereceria uma abordagem específica.

Tabela 6. Alternativas para economizar energia, melhorar o conforto e diminuir perdas.

Alternativa	Implementação	Efeito	Custo	Dificuldade
Coberturas brancas	Telhas, lages de cor branca ou pintadas	Redução da temperatura diurna	Pequeno	Pequena, pode ser implementado a qualquer tempo.
Mantas térmicas	Tecido de baixa emissividade térmica revestido com alumínio impregnado por fibras que lhe confere resistência mecânica.	Aplicado sob coberturas, e entre paredes diminui a condução de calor. Economiza energia.	Médio	Não pode pegar sujeira e deve ser instalada de modo a não possibilitar transporte de calor por condução.
Isolamento térmico convencional	Câmaras frias e salas climatizadas.	Utilizado para economizar energia em prédios, armazéns e refrigeradores.	Médio	Os isolantes térmicos mais baratos pegam fogo com facilidade.
Exaustores eólicos	Instalados sobre a cobertura, protege da chuva e dirige o movimento de ar para fora de acordo com a velocidade do vento.	Aumentar a ventilação interna. Pode causar pequena melhoria de conforto térmico de ambientes não refrigerados sem utilizar energia elétrica.	Diminuto	Requer construção com suficientes aberturas laterais.
Resfriadores evaporativos	Aplicados em coberturas e nas laterais, de casas-de-vegetação.	Reduz a temperatura e aumenta a umidade relativa.	Médio	Funciona melhor sob baixa umidade relativa do ar.
Lâmpadas de led	Ambientes internos.	Reduz consumo de eletricidade.	Diminuto	Ainda é um produto novo.
Cultivo mínimo	Viável em muitas culturas.	Reduz o consumo de combustíveis, favorece a estrutura do solo e a economia de água e fertilizantes.	Diminuto	Depende da cultura.
Energia solar	Painéis de células fotovoltaicas, secadores simples e híbridos e aquecedores de água.	Fonte alternativa de energia.	Variável com a aplicação.	Pode ser simples ou envolver sofisticação tecnológica.
Reaproveitamento de resíduos	Variável.	Compostos para solo, energia térmica para aquecimento e eletricidade.	Variável com a aplicação	Variável com a aplicação.
Coleta de água da chuva	Doméstica ou para cultivo protegido.	Suplementação para regiões com suprimento insuficiente de água.	Elevado	Variável com a aplicação.
Agricultura orgânica	Específica para cada fruta ou hortaliça.	Melhoria no uso e reciclagem de insumos, fertilizantes e da energia contida nos resíduos.	Pode ser alto quando se pleiteia certificação dos produtos.	Envolve sofisticação tecnológica para ser bem sucedido.

“Mulching” e cultivo protegido

Uma forma evidentemente prática de influenciar o balanço de energia e de água no campo ou em ambiente protegido é mediante o uso de coberturas com diferentes propriedades, de albedo, de emissividade, de permeabilidade

e de capacidade de retenção de água Streck et al., (1994). Estas coberturas de uma maneira geral são denominadas de “mulching” e podem ter inúmeras aplicações.

Em campo é comum que hortaliças sejam cultivadas em canteiros com coberturas de solo opacas à luz solar com diferentes refletâncias (preto, branco, aluminizado) que visam, dentre outros aspectos, diminuir a competição com plantas invasoras, propiciar um microclima mais favorável ao desenvolvimento da cultura e evitar o contato direto das folhas com o solo. O “mulching” influi no balanço de energia e na transferência de água entre o solo e a atmosfera sendo, portanto, uma técnica importante pelos seus efeitos sobre o perfil da temperatura, da umidade e da radiação incidente na copa e sobre o perfil de temperatura e da disponibilidade de água para as raízes. Dentre os materiais, frequentemente, utilizados como “mulching” estão as coberturas com plástico preto e branco, e a cobertura morta ou palhada. Com uso de “mulching”, as mencionadas amplitudes térmicas no solo tendem a ser menores do que sob solo nu, enquanto que as temperaturas médias para as plantas podem ser em média maiores ou menores, dependendo das propriedades físicas da cobertura empregada.

Dentre as características físicas que determinam os efeitos do “mulching”, que também são importantes em cultivo protegido, as mais importantes são:

a) O albedo, refletância, ou simplesmente a cor. Para aumentar a temperatura próxima da planta são utilizadas, frequentemente, coberturas de baixo albedo, isto é superfícies de cores escuras, ou de baixa refletância, enquanto que para reduzir as temperaturas, cores claras de plástico opaco branco e de palhada são usadas.

b) Uma outra propriedade física muito importante do “mulching” é a condutividade térmica. Para reduzir a temperatura noturna das plantas, usa-se “mulching” de baixa condutividade térmica e baixo calor específico volumétrico, como é o caso de palhada, por exemplo. Observa-se, no entanto, que as palhadas por serem coberturas claras e de baixa densidade não devem ser utilizadas épocas/regiões sujeitas a geadas. “Mulching” também pode ser uma ferramenta adicional para modular o microclima em cultivo protegido seja para diminuir as temperaturas diurnas seja para evitar os riscos de temperaturas muito baixas em noites claras e frias.

c) Opacidade ou translucência também é uma propriedade relevante. “Mulchings” transparentes e translúcidos tendem a serem menos úteis do que os opacos, porque a translucência facilita a entrada de luz e o desenvolvimento

de plantas invasoras. Apesar disto, no entanto, filmes transparentes são utilizados em tratamentos preliminares, para a desinfestação de solos por solarização, graças ao eficiente aquecimento do solo que propicia. Filmes translúcidos, brancos e pouco espessos, por outro lado, podem ser utilizados diretamente sobre as folhas, presos com o peso de solo colocado sobre o filme, nas entrelinhas, para reduzir problemas de “queima” das folhas em regiões/épocas sujeitas a geadas.

d) Uma propriedade física menos valorizada em “mulching” e mais valiosa em cultivo protegido é a emissividade térmica, que para a maioria das coberturas agrícolas tem valor ao redor de 0,95. Os metais diferentemente, apresentam baixa emissividade térmica (Tabela 1) e por esta razão, ainda que apresentem elevado albedo para a luz visível proveniente do sol, formam superfícies quentes porque apresentam pequena emissividade de calor. Assim, por exemplo, o alumínio com emissividade da ordem de 0,06 é uma superfície quente, da mesma forma são denominadas superfícies quentes as coberturas em ferro, latão e zinco. As superfícies metálicas quando expostas ao sol atingem temperaturas muito maiores do que superfícies negras equivalentes. Do ponto de vista prático superfícies metálicas quentes, podem ser utilizadas quando o intuito é aumentar a temperatura em climas frios. Em regiões em que o interesse é diminuir as temperaturas, por outro, lado, deve-se tomar o cuidado de pintar estas superfícies metálicas com tintas de cores claras que refletem bem a radiação solar de ondas curtas e ao mesmo tempo emitem o calor ao invés de retê-lo. A questão de emissividade de superfícies metálicas é particularmente importante no caso de cultivo protegido, que pode ter áreas significantes de suporte e de bancadas feitas de materiais metálicos como lata e alumínio.

Para o cultivo protegido de hortaliças em particular, este tem sido realizado em casas-de-vegetação cobertas de plástico ou de vidro e em telados com desenhos variados para atender aos vários tipos de exploração agrícola e, principalmente, de acordo com condições climáticas de exposição à radiação, ventos, temperatura, umidade e chuvas prevalentes na região. Evidentemente, as variáveis anteriormente consideradas para “mulching” são aplicáveis para o balanço de energia em cultivo protegido com as apropriadas adaptações às diferentes formas de condução e convecção de calor no interior destas estruturas.

O ambiente de cultivo protegido é sempre bastante modificado com relação a campo aberto na mesma área não apenas em termos temperatura e exposição à chuva. No ambiente protegido é comum que as velocidades

de vento sejam muito diminutas, a umidade relativa seja elevada e radiação fotossinteticamente ativa seja menor. Assim, as plantas em ambiente protegido tendem a apresentar alterações morfológicas, como folhas mais finas e com menor teor de matéria seca (RADIN et al., 2004; SEGOVIA et al., 1997), o que pode representar, por exemplo, uma menor capacidade de armazenamento de produtos como a alface.

Nas regiões Sul e Sudeste, durante o inverno podem ser usadas estruturas que concentram calor, como os modelos “fechados”, tipo “estufa”, que tem menor provisão de áreas de ventilação. Possivelmente, haverá necessidade de adaptações para acomodar mudanças climáticas principalmente em ilhas de calor. Em áreas tropicais, com períodos de chuva concentrados, como nas regiões Norte e Centro-Oeste têm sido construídas estruturas com cobertura de material plástico para servir como um ‘guarda-chuva’ nos quais amplas aberturas para a circulação de ar nas laterais, por advecção e no topo por convecção são importantes para facilitar a remoção do calor nas plantas que é gerado pela absorção de radiação solar. Deste modo mantém-se a temperatura dentro de valores mais adequados. Como este é o maior problema do cultivo protegido no Brasil, com o aquecimento global mais cuidados precisarão ser tomados neste sentido. Soluções que poderão reduzir substancialmente a temperatura no interior de ambientes protegidos são muito similares ao já considerados para “mulching” e envolvem pintura e/ou uso de materiais de baixo albedo e elevada emissividade para aumentar o albedo, a emissividade e o aproveitamento da luz (o principal insumo de produção) nestes ambientes. Assim, podem ser consideradas como alternativas adicionais de redução da temperatura interna durante o dia, e praticamente sem efeitos durante a noite, a pintura de branco de corredores bancadas e a pintura de todas as superfícies metálicas internas ou externas destas estruturas com tinta branca ou palha de elevado albedo de banda larga.

Soluções locais e regionais

Para o agricultor, soluções de mitigação de mudanças climáticas que possibilitem manter produtividade econômica e melhoria do conforto no trabalho é fundamental. Ao menos parcialmente, este objetivo pode ser alcançado mediante algumas aplicações fundamentadas na física do balanço de energia que determina a temperatura dos objetos, sejam eles, corpos inanimados, plantas, animais, ou estruturas relativamente complexas como casas-de-vegetação, casas-de-embalagem, veículos, armazéns ou uma área cultivada.

Para o homem rural a aplicação de noções de balanço de energia é fundamental para que trabalhe em ambiente com condições mínimas de bem estar necessárias para que o agronegócio seja realizado sem restrições ambientais. Assim, para o homem rural as seguintes alternativas de conforto e produtividade fundamentadas em aplicações do balanço de energia devem ser aplicadas:

a) Uso de chapéu e roupas leves, de cor clara (branco ou cor pastel), que cubram adequadamente a pele, especialmente do rosto, pescoço e costas, protegendo-a da ação dos raios ultravioleta e diminuindo o aquecimento corporal e o suor induzido pela exposição direta à radiação solar;

b) Utilizar veículos com cobertura clara, para melhorar o conforto térmico nas cabines. Caso o fabricante disponha, deve-se dar preferência às pinturas que façam uso da “*infrared reflective pigmentation*”. Estas pinturas especiais com alta refletância no infravermelho melhoram substancialmente o conforto em comparação com tintas de mesma cor convencionais. Nos implementos com ar condicionado, estas coberturas claras também são importantes porque reduzem o consumo de energia na refrigeração;

c) As construções, pavimentos e coberturas devem aproveitar a exposição ao Sol e à ventilação natural. Nesta abordagem estressa-se a importância do uso de coberturas claras e de pavimentos e pisos claros e sempre que possível permeável à água da chuva, que possam ser incluídos na definição de pisos, pavimentos e tintas frias (EPA, 2009). Coberturas escuras, especialmente se envelhecidas devem ser recobertas com pinturas apropriadas disponíveis no mercado, de preferência de cor branca. Pisos asfálticos podem ser clareados com o uso de caldeamento com cimento, o que aumenta a durabilidade, reduz o aquecimento e evita a evolução de compostos orgânicos tóxicos (VOCs);

d) Os trabalhadores devem ser “heat hunters” e para fazer isto precisam ter à mão um termômetro infravermelho, instrumento de baixo custo que é fundamental para se localizar as superfícies “quentes”, que precisarão de ajustes para melhoria do conforto térmico no trabalho e para buscar soluções de produtividade agrícola no campo. A temperatura deve ser periodicamente lida em toda a propriedade sem deixar de lado as pessoas. No ambiente deve-se ler a temperatura dos pavimentos, dos pisos, das paredes, das coberturas, dos veículos e das plantas nas diferentes exposições. Para as pessoas as temperaturas devem ser medidas sobre os chapéus, roupas e sapatos durante vários tipos de atividades realizadas ao Sol nas horas mais quentes do dia;

Para a mitigação dos efeitos do aquecimento global em hortaliças e outras plantas a abordagem pode diferir um pouco do que foi apresentado no parágrafo anterior. Neste caso, o importante é ter em mente que as plantas somente conseguem aproveitar a radiação solar para fazer fotossíntese líquida e produzir adequadamente com elevado índice de colheita, dentro de estreitas e adequadas condições de temperatura diurna e noturna, para as quais foram selecionadas. Assim, para que as hortaliças façam bom uso da água e de outros insumos agrícolas é importante utilizar variedades adaptadas e reduzir exposição das plantas a estresses considerando-se as recomendações:

1- *Sobre adaptação varietal:*

a) Em micro climas quentes, como aqueles de ilhas de calor, pode ser importante dar-se preferência ao cultivo de variedades de hortaliças mais tolerantes ao calor, especialmente no verão, enquanto que para o cultivo de variedades de hortaliças de inverno deve-se dar preferência aos microclimas mais amenos, e longe de áreas urbanas de ilha de calor;

b) Genótipos de frutas e hortaliças com folhas estreitas e curtas devem ser preferidos para suportar ambientes com alta incidência de radiação solar em locais com temperaturas elevadas. É interessante enfatizar que esta mesma característica também auxilia para evitar o resfriamento radioativo excessivo que ocorre em noites frias claras e propícias à ocorrência de geadas. A razão física deste tipo de melhoramento é que quanto menores e mais estreitas são as folhas melhor elas trocam calor com o ar por convecção, de acordo com as equações 5 e 6. Adicionalmente, a seleção de plantas com folhas menores pode ter o efeito benéfico adicional de melhorar a distribuição da luz fotossinteticamente ativa na copa, o que pode causar aumento de produtividade. Um potencial efeito negativo seria uma tendência para maiores taxas de transpiração (eq. 8);

c) O emprego de genótipos com folhas e outras estruturas aéreas com maior albedo de banda larga. Se medidas de albedo de banda larga não puderem ser feitas no processo de melhoramento, que ao menos sejam selecionadas as plantas mais claras e reflexivas. Na maioria das espécies com folhas não horizontais o aumento da reflexão da luz visível nas folhas é compensado mediante uma melhor penetração da radiação fotossinteticamente ativa no dossel. Em plantas que saturam com baixos níveis de radiação a seleção de genótipos com maior refletividade pode melhorar a distribuição da luz na copa, reduzir a temperatura, reduzir a ocorrência de foto oxidação, melhorar a eficiência do uso da água e aumentar a produtividade. Por analogia, é

interessante citar que a aplicação de partículas de caulinita aumentou a refletividade de macieira causando redução da temperatura da copa (2 a 3° C), o que melhorou a eficiência do uso da água e aumentou a produtividade das plantas no Chile e nos Estados Unidos (GLENN et al., 2001). Uma aparente limitação para o melhoramento vegetal voltado para se obter plantas com maior albedo de banda larga é a falta de uso de câmaras hiperespectrais e de micro albedômetros de banda larga e de leitura instantânea necessárias nas medições deste comportamento espectroscópico em folhas e em plantas individuais;

d) Seleção de genótipos menos sensíveis aos elevados níveis de O₃ prevaletentes em regiões de ilhas de calor. Convém ressaltar que a realização do melhoramento vegetal em áreas próximas a centros urbanos, que são ilhas de calor e geradoras deste poluente, pode estar auxiliando no sentido de diminuir a relevância deste poluente que prejudica a produtividade vegetal;

e) Prioridade para o melhoramento vegetal voltado ao desenvolvimento de cultivares de ciclo longo, que demandem menores concentrações de fertilizantes e que possuam melhor eficiência no uso da água. Adicionalmente, as plantas de ciclo mais longo, com maior duração de área folhar, sabidamente tendem a formar partes comestíveis com maior teor de matéria seca, o que para algumas hortaliças significa produto mais robusto, mais fácil de transportar por ser menos sensível a danos mecânicos e à desidratação pós-colheita.

2- Sobre ajustes fitotécnicos a campo

Reduzir a exposição das plantas a temperaturas excessivas no campo que pode ser viável, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento. Algumas destas alternativas de mitigação de temperaturas excessivas já vêm sendo utilizadas, e precisarão ser mais desenvolvidas e aplicadas tendo-se em vista o cenário de aquecimento global. Algumas das aplicações de ajustes fitotécnicos para diminuir a temperatura que se pode utilizar a campo são:

a) Uso de “mulching” de plástico branco opaco, que diminui a temperatura do solo e do ar ao redor das plantas e auxilia no controle de plantas invasoras e melhora o uso da luz no dossel;

b) Uso de palha com elevado albedo, que possui efeitos similares ao plástico branco, porém é menos eficiente pelo menor albedo. Como efeitos adicionais, a palha proporciona estabilização da temperatura do solo e ao mesmo tempo favorece a infiltração da água e a sua absorção pelas raízes;

c) Utilizar pavimentos de cor clara em todos os acessos e substratos claros nas entrelinhas. Estes caminhos são uma fração apreciável da área da

maioria das propriedades agrícolas e por esta razão podem ser utilizados para obter significativa redução da temperatura e por conseguinte, também uma significativa melhora no aproveitamento da água e da radiação solar;

d) Manter matas nativas e arborização nas cercanias das áreas cultivadas;
e) Utilizar métodos de adubação fundamentados no uso de fontes de baixa solubilidade e/ou a baixa concentração, que possibilite o uso adequado e sem os correntes problemas de severa poluição dos aquíferos, incluindo os oceanos;

f) Desenvolvimento de sistemas de irrigação mais duráveis, que possibilitem maior economia de água e que possibilitem um melhor uso de águas contaminadas com impurezas orgânicas e nutrientes minerais;

g) Desenvolvimento de novos métodos de manejo de microclima/ irrigação que possibilitem maior economia de água em relação aos sistemas de manejo de irrigação atualmente disponíveis.

3- Sobre ajustes fitotécnicos em cultivo protegido

Preferencialmente, o piso, as bancadas e as faces internas e externas dos suportes e todas as superfícies metálicas devem ser pintadas de branco para reduzir os picos diários de temperatura máxima. Os objetivos destes tratamentos são aumentar a refletividade, para diminuir a temperatura e melhorar o aproveitamento da luz pelas plantas e aumentar a emissividade de calor, no caso das superfícies metálicas, que por sua baixa emissividade tendem a aquecer muito mais que os demais materiais. A alternativa, de pintar externamente a casa-de-vegetação com tinta branca não opaca reduz a temperatura, porém causa substancial prejuízo a produtividade vegetal porque reduz a disponibilidade de radiação solar fotossinteticamente ativa. Estes cuidados podem e devem ser utilizados juntamente com sistemas convencionais de redução da temperatura em cultivo protegido como, por exemplo: aqueles que fazem uso de aberturas (lanternins) para promover convecção interna do ar, importante em regiões úmidas e com pouca advecção; e aqueles sistemas com evaporadores e convecção valiosos em regiões mais secas.

4- Sobre cuidados fitotécnicos em pós-colheita

Após a colheita a temperatura das frutas e hortaliça precisa ser reduzida para que as qualidades organolépticas sejam conservadas durante o transporte, o armazenamento e a comercialização. Assim, mesmo quando há tecnologia e viabilidade econômica para se usar pré-resfriamento e refrigeração, ainda

assim, os aspectos de balanço de energia abordados são importantes. Mais importante ainda se tornam estes cuidados caso o uso de refrigeração não possa ser aplicado imediatamente após a colheita. Assim, alguns pontos-chaves de mitigação do aquecimento global ou do efeito de ilha de calor em pós-colheita são:

- a) colocar o produto na sombra imediatamente após a colheita;
- b) Usar de pisos e pavimento frios, isto é de cor branca ou clara e com elevada emissividade de calor nas áreas de circulação e de manuseio;
- c) Nas casas-de-embalagem os pavimentos, paredes e pisos devem ser de cor clara por questões de higiene e de aproveitamento da iluminação natural;
- d) telhados de casas-embalagem, armazéns e de pontos de venda de frutas e hortaliças devem ser pintados com cores claras, preferencialmente com tintas que façam uso da tecnologia “*infrared reflective pigmentation*” para diminuir a temperatura interna durante o dia;
- e) Arborização apropriada perto das edificações mencionadas também tende a ser uma alternativa valiosa para diminuir a temperatura e aumentar a umidade relativa, dois fatores importantes para o manuseio bem sucedido de frutas, hortaliças e de plantas ornamentais;
- f) transportar os produtos em veículos refrigerados, ou ao menos de cor clara, por exemplo, mediante o uso de lonas de cor branca, de preferência tingidas com tinta com “*infrared reflective pigmentation*”.

Percepção, tendências e engajamento

Com a descoberta e a percepção cada vez mais nítida de que as mudanças climáticas chegaram, começou nos últimos anos o desenvolvimento de uma nova consciência, uma nova ética de consumo na qual a busca de alimento e conforto ocorre com substancial aumento de reciclagem, de aproveitamento mais adequado da energia, da água e dos fertilizantes. Tudo, tendo-se em vista uma sociedade que causa menos deteriorações no meio ambiente e nos mecanismos de inclusão social.

A inteligência, as pressões legais, sociais, financeiras e de qualidade de vida conspiram agora para que as pessoas morem próximo do trabalho e para que reduzam o uso combustível por pessoa. As fontes de energia alternativas e independentes da Rede Nacional (grid) são mais e mais alavancadas por subsídios e por uma forte redução dos custos fabricação, causado pelo avanços tecnológicos. Para citar um exemplo, as células fotovoltaicas vêm tendo a sua

produção aumentada em mais de 50% por ano, enquanto os preços diminuem. Para o agricultor de regiões distantes esta energia fora do “grid” é auspiciosa e vem se somar à insuficiente disponibilidade de sistemas tradicionais de aproveitamento de recursos energéticos como o ariete hidráulico, o secamento solar puro ou híbrido e alguns sistemas de cogeração de eletricidade, trabalho e calor. Os aprimoramentos tecnológicos e o barateamento destas fontes de energia favorecem a uma melhoria na qualidade de vida dos agricultores, dentre outras razões por facilitar a comunicação, e por facilitar muitas tarefas como a secagem, o controle das condições de armazenamento, o controle da irrigação e o manejo mais eficiente dos implementos agrícolas.

Menos animador tem sido o aumento dos custos dos fertilizantes e defensivos em função do grande aumento do preço do barril de petróleo e do depauperamento reservas mundiais de fertilizantes fosfatados. Estes são outros indicativos de que há necessidade de substancial melhoria a eficiência no uso do N, S e P, tendo-se em vista que o consumo excessivo destes elementos está causando importantes prejuízos na biosfera e já se argumenta que estes nutrientes estão sendo utilizados em quantidades muito superiores aos limiares seguros, tendo-se em vista delicada natureza dos controles biogeofísico no planeta Terra (ROCKSTRÖM et al., 2009). Também não tem sido animadora a tendência de aumento populacional excessivo, que segundo Lovelock (2000, 2006) deveria ter sido mantido abaixo de 2 bilhões de pessoas. Segundo este autor uma questão mais importante do quantas pessoas podem viver no planeta é quantas pessoas podem viver com sustentabilidade e com uma qualidade mínima de vida. Atualmente estamos exaurindo os recursos do planeta a uma taxa três vezes maior do que seria sustentável de acordo com os processos biológicos e geoquímicos. Questões deste tipo vêm causando um aumento mundial dos preços dos alimentos, que é um grande ônus para os

Tabela 7. Condições limite para o planeta Terra, adaptado de Rockström et al., (2009).

Processo	Parâmetro	Limite “seguro”	Estado atual	Estado pré-industrial
Mudanças climáticas	CO ₂	350ppmv	387ppmv	280ppmv
Taxa de perda de biodiversidade	Número de espécies extintas por ano e por milhão de espécies	10	>100	0,1-1
Nitrogênio (N)	Removido da atmosfera pelo homem em milhões de toneladas por ano	35	121	0
Fósforo (P)	Quantidade de fósforo fluindo para os oceanos (milhões de toneladas por ano)	11	8,5-9,5	? 1
Uso de água	Consumo humano (km ³ por ano)	4000	2600	415
Alteração do uso do solo	Porcentagem da cobertura de solo na Terra convertida para cultivo	15	11,7	baixo

mais pobres. A questão da produção de alimentos, adicionalmente parece que vai ser agravada pelo aumento do uso das terras agricultáveis e da água doce disponível para a produção de energia, principalmente os biocombustíveis liquefeitos.

Há, portanto, necessidade de grandes soluções de administração global, para as quais os intelectuais precisarão contribuir para que seja estabelecida uma sociedade mais sustentável, capaz de utilizar melhor os fatores de produção a bem das pessoas e a bem de todo o sistema biogeológico em que vivemos.

Na produção de hortaliças também precisaremos nos manter engajados nestas tendências, procurando dar nossa efetiva contribuição. Enquanto isto, possivelmente, as áreas de cultivo hortícola continuarão a se distanciar dos centros urbanos no Brasil, por questões de custo das terras, roubos e o efeito ilha de calor, que vem sempre acompanhado da elevação das concentrações de ozônio, um gás tóxico que também causa grandes perdas de produtividade nas plantas (MARTINS; RODRIGUES, 2001). Tanto as ilhas de calor quanto a evolução excessiva de ozônio nas áreas urbanas poderão ser mitigados nos próximos anos mediante ações administrativas, já bem conhecidas que incluem o uso de maciço de coberturas claras, de pavimentos claros, de cobertura vegetal e pisos permeáveis nas cidades. Estas soluções simples que já vem sendo utilizadas em diversas cidades, principalmente nos EUA, tem sido bem sucedidas para reduzir as temperaturas médias e por consequência também a produção do ozônio cuja síntese é estimulada pela queima de combustíveis e cuja velocidade aumenta exponencialmente em função da temperatura na superfície dos pavimentos e das coberturas na área urbana.

Enquanto cresce a temperatura média na Terra, ao mesmo tempo tem-se a esperança de que deverão crescer também o número de alternativas tecnológicas para diminuir localmente, em microclima, a temperatura. Assim, novos procedimentos racionais deverão ser somados ao atual uso do cultivo mínimo e do cultivo na palha que têm beneficiado a agricultura e tem melhorado as condições climáticas não só no Brasil (SIX et al., 2004). Estes e outros métodos deverão colaborar para a fixação e ou retenção carbono fixado, enquanto, ao mesmo tempo se aumenta o rendimento dos cultivos mediante a manutenção de condições microclimáticas mais favoráveis da temperatura do ar, da temperatura do solo e do poder evaporativo do ar.

Bibliografia

BAKKER, J. C. Energy saving greenhouses. **Chronica Horticulturae**, The Hague, v. 49, p. 19-23, 2009.

BORNSTEIN, R.; LIN, Q. Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: three case studies. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 34, p. 507-516, 2000.

CERMAK, J. E.; DAVENPORT, A. G.; PLATE, E. J.; VIEGAS, D. X. (Ed.). **Wind climate in cities**. Norwell: Kluwer Academic, 1995. 800 p.

CLARK, D. **The rough guide to ethical living**. London: Penguin Books, 2006. 336 p.

CO2 NOW. **CO2 home**. Disponível em: <<http://co2now.org>>. Acesso em: 08 Aug. 2009.

FOSTER, P.; RAMAWAMY, V.; ARTAXO, P.; BERNTSEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D. W.; HAYWOOD, J.; LEAN, J.; LOWE, D. C.; MYHRE, G.; NGANGA, J.; PRINN, R.; RAGA, G.; SCHULZ, M.; VAN DORLAND, R. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**, Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 247-345.

GARTLAND, L. **Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas**. London: Earthscan, 2008. 176 p.

GATES, D. M. **Biophysical ecology**. New York: Springer-Verlag, 1980. 611 p.

GLENN, D. M.; PUTERKA, G. J.; DRAKE, S. R.; UNRUH, T. R.; KNIGHT, A. L.; BAHERLE, P.; PRADO, E.; BAUGHER, T. A. Particle film application influences apple leaf physiology, fruit yield, and fruit quality. **Journal of The American Society for Horticultura Science**, Alexandria, v. 126, p. 175-181, 2001.

HEINBERG, R.; BOMFORD, M. **The food and farming transition: toward a post-carbon food system**. Sebastopol: Post Carbon Institute, 2009. 39 p.

HENSON, R. **The rough guide to climate change**. London: Penguin Books, 2008. 384 p.

LEITÃO, M. M. V. B. R.; OLIVEIRA, G. M. Influência da irrigação sobre o albedo **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 214-218, 2000.

LOBELL, D. B; BALA, G.; DUFFY, P. B. Biogeophysical impacts of cropland management changes on climate. **Geophysical Research Letters**, Washington, D.C., v. 33, n. 6, p. L06708, Mar. 2006.

LOVELOCK, J. **Gaia: a new look at life on earth**. 3rd. ed. Oxford: University Press, [1979].

LOVELOCK, J. **Gaia: cura para um planeta doente**. São Paulo: Cultrix, 2006. 192 p.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, H. R. da; SILVA, W. L. C. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1996. 72 p.

MARQUELLI, W. A.; CALBO, A. G. **Manejo de irrigação em hortaliças com sistemas irrigados**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009. 16 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 69).

MARTINS, R. A.; RODRIGUES, G. S. Efeitos potenciais do ozônio troposférico sobre as plantas cultivadas e o biomonitoramento ambiental. 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. 143-165.

NARSTO. **A new continental perspective on an old and vexing problem**. Disponível em: <ftp://narsto.esd.ornl.gov/pub/Ozone_Assessment/Chapter1.pdf>. Acesso em: 13 Aug. 2009.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R. SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos aplicações e práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

RADIN, B.; REISSER JUNIOR, C.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Crescimento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, p. 178-181, 2004.

ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, A.; CHAPIN, F. S.; LAMBIN, E. F.; LENTON, T. M.; SCHEFFER, M.; FOLKE, C.; SCHELLNHUBER, H. J.; NYKVIST, B.; DE WIT, C. A.; HUGHES, T.; VAN DER LEEUW, S.; RODHE, H.; SÖRLIN, S.; SNYDER, P. K.; COSTANZA, R.; SVEDIN, U.; FALKENMARK, M.; KARLBERG, L.; CORELL, R.W.; FABRY, V. J.; HANSEN, J.; WALKER, B.; LIVERMAN, D.; RICHARDSON, K.; CRUTZEN,

P.; FOLEY, J. A. A safe operating space for humanity. **Nature**, London, v. 461, p. 472-475, 2009.

SEGOVIA, J. F. O.; ANDRIOLO, J. L.; BURIOL, G. A.; SCHNEIDER, F. M. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) no interior e no exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, p. 37-41, n. 1, jan./mar. 1997.

SILVA, E. C.; LEAL, N. R.; MALUF, W. R. Avaliação de cultivares de alface sob altas temperaturas em cultivo protegido em três épocas de plantio na região norte-fluminense. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 4, p. 491-499, 1999.

SIX, J.; OGLE, S. M.; BREIDT, F. J.; CONANT, R. T.; MOSIER, A. R.; PAUSTIAN, K. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, n. 2, p. 155-160, 2004.

STRECK, N. A.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A. Modificações físicas causadas pelo mulching. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 131-142, 1994.

TRÉPANIER, M.; BOIVIN, M.; LAMY, M.; DANSEREAU, B. Green roofs and living walls. **Chronica Horticulturae**, The Hague, v. 49, p. 5-7, 2009.

PRISCO, J. T. Possibilidades de exploração de lavouras xerófilas no semi-árido brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, p. 332-342, 1986.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Urban heat island mitigation**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/hiri/mitigation/index.htm>>. Acesso em: 09 Oct. 2009.

WENT, F. W. The effect of temperature on plant growth. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 4, n. 3, p. 347-362, 1953.

WILD, M.; OHMURA, A.; MAKOWSKI, K. Impact of global dimming and brightening on global warming. **Geophysical Research Letters**, Washington, D.C., v. 34, n. 4, p. L04702, 2007.

VORNE, V.; OJANPERÄ, K. TEMMERMAN, L. de; BINDI, M.; HÖGY, P.; JONES, M. B.; LAWSON, T.; PERSSON, K. K. K. Effects of elevated carbon dioxide and ozone on potato tuber quality in the European multiple-site experiment 'CHIP-project'. **European Journal of Agronomy**, v. 17, n. 4, p. 369-381, nov. 2002.

Glossário

Absortividade: é o fator de acoplamento mais importante que relaciona o aumento de temperatura de um corpo com a radiação incidente. A absortividade varia com o comprimento de onda da radiação eletromagnética e neste contexto a absorptividade da radiação solar em banda larga dada como a fração da energia incidente absorvida na faixa entre 300nm e 2500nm é particularmente útil para modelamento da temperatura de plantas e animais. Em outras palavras a absortividade (a) poderia ser definida como $a=1-\text{albedo}$. Onde o albedo considerado seria o de banda larga (300nm a 2500nm).

Albedo: uma medida do poder de refletir luz de uma superfície e é expressa como a razão entre a energia refletida em todas as direções e a energia incidente. Os valores de albedo sempre variam dentro de uma escala entre 0 e 1. Albedo zero significa superfície negra ideal e albedo 1 superfície completamente reflexiva. O albedo em geral é expresso dentro de faixas espectrais específicas, por exemplo, o albedo para luz visível, albedo para luz infravermelha e o albedo de banda larga que inclui todo o espectro da luz solar incidente na superfície da Terra.

Albedo de banda larga: é o albedo medido entre 300nm e 2500nm, e inclui frequências ultravioleta, visível e infravermelho. É uma variável particularmente útil, juntamente com a emissividade para quantificar o aquecimento de superfícies expostas a luz do Sol. Nos trópicos com o Sol no zênite, em dias claros, cerca de 40% é luz solar ultravioleta ou visível e 60% é infravermelho. Como estratégia de resfriamento as plantas tendem a refletir preferencialmente a luz infravermelha.

Cibernética: estudo interdisciplinar da estrutura dos sistemas reguladores. Pode ser utilizado em sistemas físicos, biológicos, geológicos e sociais. Em exemplo de aplicação é a própria regulação biológica das temperaturas na superfície da Terra.

Cobertura fria: usualmente telhados e outras estruturas de proteção contra elementos como chuva e vento que por possuírem elevado albedo de banda larga e elevada emissividade que pouco se aquecem quando expostos à luz do Sol. O uso de coberturas frias é uma alternativa importante para melhorar o conforto térmico e contribui para reduções locais do efeito ilha de calor nas áreas urbanas.

Contrails: Nuvens cirriformes produzidas como rastros de avião a jato voando próximo ao topo da troposfera. Formadas principalmente quando a umidade nestas altitudes é elevada, estas nuvens em regiões de elevado tráfego aéreo como ocorre nos Estados Unidos e na Europa tem causado significantes reduções na temperatura diurna e significativo aumento da temperatura noturna.

Cultivo protegido: cultivo de plantas em casas-de-vegetação, telados e outras estruturas que são construídas para adequar o ambiente das plantas em horticultura. Estruturas mais permanentes em geral tem sido feitas com metal e vidro e estruturas mais perecíveis feitas com plástico em combinação com metais ou outros materiais de suporte como o bambu e madeiras. As principais variáveis que usualmente se procura modificar, e até controlar em sistemas mais sofisticados, são a temperatura, umidade, ventilação e o teor de CO_2 na atmosfera.

Convecção: transferência de calor, ou massa induzidos pela movimentação de um fluido e dependentes da existência de gradientes de temperatura ou de concentração. As correntes convectivas tendem a tornar as temperaturas mais uniformes do que seriam caso a atmosfera se mantivesse estagnada.

Emissividade: razão entre o poder de emissão de calor por unidade de área de uma superfície a uma dada temperatura com relação ao poder de emissão de calor por unidade de área de um corpo negro ideal na mesma temperatura. Os valores de emissividade variam de 0 a 1. Superfícies metálicas brilhantes possuem baixa emissividade, no caso, por exemplo, o alumínio possui emissividade da ordem de 0,06. A maioria dos materiais, com tecidos, vegetais, plásticos e cerâmicos em geral possuem emissividade maior que 0,95. Superfícies com baixa emissividade e de baixo albedo se aquecem substancialmente quando expostas à luz do Sol.

Estratosfera: região acima da troposfera ($>10\text{km}$) e da tropausa na qual a temperatura aumenta como função da altitude principalmente por causa da absorção de luz ultravioleta, nos processos envolvidos na formação e decomposição do ozônio.

Evapotranspiração: transferência de água de uma superfície com cobertura vegetal, envolve a evaporação no solo e a transpiração do estrato vegetal.

Evapotranspiração potencial: ou evapotranspiração de referência é a evapotranspiração de um cultivo crescendo em solo sem restrição hídrica para o desenvolvimento das plantas.

Forçante radioativa: é uma variação de energia radiante cuja medição pode ser utilizada para estimar a variação na temperatura média de equilíbrio na superfície da Terra com o uso da equação

$$\Delta T = \lambda \Delta F$$

onde λ é a sensibilidade do clima dada em unidades de $K/(W/m^2)$, e ΔF é a forçante radioativa em watts. O valor típico para a sensibilidade é de $0.8K/(W/m^2)$. Forçantes positivas referem-se a variações que causam aquecimento e forçantes negativas variações que causam resfriamento. Para o CO_2 em particular o valor de ΔF é calculado com a expressão: $\Delta F = 5,35 \ln (C/C_0)$ onde C é a concentração atual de CO_2 na atmosfera e C_0 é a concentração no período pré-industrial. Para outros gases a equação é do mesmo tipo porém os coeficientes são diferentes e ajustados conforme as propriedades espectroscópicas de absorção de cada substância.

Gás de efeito estufa: gases com ligações moleculares que vibram na mesma frequência da luz infravermelha para a qual estes têm capacidade de absorção. Alguns exemplos importantes destes gases que são produzidos por processos biológicos e por processos antropogênicos são o dióxido de carbono, a água, o metano, o ozônio e os halocarbonos.

Homeostase: processos fisiológicos e cibernéticos relacionados à adaptação e a sobrevivência de organismos vegetais e animais, referentes à manutenção de superorganismos como colméias ou o um planeta mediante à manutenção de variáveis essenciais do sistema. São frequentemente controladas por processo homeostáticos variáveis como temperaturas, pressões (e.g.: pressão sanguínea, pressão celular, pressão atmosférica e pressão osmótica celular).

Ilha de calor: ocorrência de temperaturas mais elevadas, especialmente em áreas urbanas populosas, quando comparada com áreas periurbanas com agricultura e matas nativas. Fenômeno atribuído à combinação de desmatamento, pavimentação com pisos de baixo albedo e numerosos prédios que bloqueiam o fluxo de ventos, retém calor e que também em geral apresenta baixo albedo. É um problema em que o homem moderno precisa começar a buscar soluções práticas principalmente mediante o uso de pavimentos e coberturas claras, juntamente com o aumento das áreas verdes.

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change.

Manejo de irrigação: procedimentos e decisões sobre quando, quanto e como irrigar. A estes fundamentos básicos, pensa-se que no futuro, estes procedimentos venham a envolver uma dinâmica melhor de controle de microclima por alterações de “mulching” e do uso tecnologias de pigmentação infravermelha adicionada, que possam propiciar melhoria na eficiência de uso da água.

Mesoclima: Clima de pequenas áreas na superfície da Terra, tipicamente com áreas variando entre alguns hectares a alguns quilômetros quadrados, que podem não ser representativas do clima geral de uma região.

Microclima: é um conjunto particular de condições atmosféricas que caracterizam um contorno de âmbito reduzido, como uma rua, um talhão ou um galpão.

Mulching: são tipos de cobertura de solo utilizadas para produzir efeitos variados como: competição de plantas invasoras, aumentar ou diminuir a temperatura do solo e para produzir solarização. Dependendo da aplicação diferentes materiais são utilizados, dentre estes os mais comuns são: palha para facilitar a infiltração de água e reduzir a temperatura e reduzir as flutuações térmicas; plástico preto efetivo controle de plantas invasoras e indução de aumento da temperatura no microclima; plástico branco opaco para controle de plantas invasoras, melhor aproveitamento da luz solar e para reduzir a temperatura diurna.

Nuvens cirriformes: Nuvens de aspecto filamentosas formadas por cristais de gelo em elevada altitude próximas ao topo da troposfera (5 a 18km de altura), que em geral não possuem dimensões e/ou opacidade suficiente para produzir sombra na superfície do solo. Nuvens cirriformes e em particular aquelas produzidas por rastros de avião a jato tem efeitos de reduzir a temperatura diurna e de reter o calor na superfície da Terra durante a noite.

Pavimento frio: pavimento de material com albedo de banda larga usualmente menor de 0,6 e com elevada emissividade tipicamente $>0,9$, que mesmo nos dias claros e quentes de verão podem ser pisados, com os pés descalços, sem queimá-los ainda que sejam superfícies com elevada condutividade térmica. Exemplos de pisos frios são os gramados e os pisos de concreto claro. Pisos frios têm o efeito de amenizar a temperatura nos microclima de sua redondeza.

Sensitividade: termo geral para representar a relação entre a magnitude da resposta (no tempo) e a força motora ou estímulo aplicado. Para a forçante radioativa causada pelo acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera o aumento médio da temperatura da Terra é calculado utilizando-se um valor de sensitividade de aproximadamente $0.8K/(W/m^2)$.

Troposfera: região mais baixa da atmosfera de altura variável que tipicamente se estende até 9 *km* nos pólos e até 18 km no equador. É uma região bastante sujeita a convecção dado que a temperatura diminui de maneira razoavelmente regular com a altura.

Xerofilia: características que conferem às plantas a possibilidade de sobrevivência em ambientes sujeitos a déficits hídricos intensos de água no solo, mediante mecanismos como tolerância por acúmulo de água nos tecidos, elevada resistência ao transporte de vapor de água durante o dia, resistência protoplasmática ao dessecamento e fuga mediante substancial redução do ciclo das plantas.

ISBN 978-85-86413-17-9



9 788586 413179

Embrapa

Hortaliças

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

BR 060 Km 09 Brasília/Anápolis

Caixa Postal 218, CEP 70359-970, Brasília, DF

Fone: (61) 3385-9110 - Fax: (61) 3556-5744

E-mail: sac@cnph.embrapa.br

<http://www.cnph.embrapa.br>

PATROCÍNIO

 **FAPDF**

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

