

Ficha catalográfica

Workshop Efeitos das mudanças climáticas na produção de hortaliças [11. : 2009; Brasília, DF]

Palestras/ Workshop Efeitos das mudanças climáticas na produção de hortaliças, Brasília, DF, 20 de novembro de 2009. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009.

1 CD-ROM
ISSN 1807-9695

1. Hortaliça-produção, 2. Hortaliça-mudanças climáticas, 3. Embrapa Hortaliças

CDD 635.04121



WORKSHOP

Efeitos das mudanças climáticas na produção de hortaliças

ARTIGOS DAS PALESTRAS

20/11/2009

PATROCÍNIO

FAPDF

REALIZAÇÃO

Embrapa Hortaliças

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

BRASIL
REPUBLICA
GOVERNO FEDERAL

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

Adonai Gimenez Calbo, Embrapa Instrumentação Agropecuária, rua Quinze de Novembro 1452, C.P. 741, São Carlos, SP, 13560-970, e-mail: adonai@cnpdia.embrapa.br

Silvia Calbo Aroca, Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, rua Trabalhador São Carlense 400, São Carlos, SP, 13566-590, e-mail: scalbo@ifsc.usp.br

SUMÁRIO: 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 aclimação 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.

Palavras chave: balanço de energia, “caçador de calor”, coberturas frias, produção de hortaliças, mudanças climáticas, pisos frios, pós-colheita.

Measures to mitigate climate change impacts in vegetable crops

ABSTRACT: The expected effect of the current atmospheric concentrations of greenhouse gases is a gradual Earth temperature increment of 2°C above the pre-industrial base line in a few years. This rapid heating will persist for a long period, even whether an unlikely immediate cessation of forest and fossil fuel burning could occur.

Consequently, a climate with high temperatures should be dominant for centuries since the CO₂ mean life in the atmosphere is currently estimated to be larger than a thousand years. This should influence horticulture in very unequal ways across the different regions around the globe. The horticulture acclimation should then follow different approaches in each region, by means of introducing new crop species and cultivars, to attend the consumer demands. Additionally, even in less affected areas the horticulture will have to cope with hotter night temperatures and with productivity reductions induced by the larger air evaporative power summed to the action of a few tropospheric gas pollutants. In the repository of technologies and strategies to maintain the horticulture productivity plant breeding and the selection of new species and cultivars seems to rank among the simplest direct and more general approaches, however it is also relevant to consider a range of alternatives to improve and to make good use of specific microclimate environments. For the microclimate related approach there are an assortment of available technologies, many of which based on the energy balance between absorbed short wave solar radiation and the irradiation of long waves (heat), while different procedures involving heat conduction, convection, evaporation and condensation are also helpful to keep temperature and humidity under control in production fields and in post-harvest facilities. In this sense, the main alternatives to modulate the temperature are to: increase the albedo, or surface reflectivity; to increase the heat emissivity for agricultural surfaces; to improve heat convection; to increase evaporation and transpiration; and to do suitable changes in the dimension, size and shape of objects such as buildings, plants and in specific plant leaves. The implication of these general methods to modulate temperature have been used in different ways and its important that they are renewed not only for field production, but also to achieve thermal comfort, better energy use and to extend the post-harvest life of fruits and vegetables, in which biology as detached organs is mainly controlled by the temperature and the evaporative power of the air. Other aspects related to the reduction of the consumption of fossil fuels, the use of alternative energy sources and alternatives increases of energy use efficiency are also treated in an indicative manner, pointing that they are the essential questions that are dragging humanity into a climate change nightmare that is hard to escape.

Key words: climate change, cool pavements, cool covers, heat hunter, post-harvest, vegetable production.

Balanço 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 ideia 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 emitida pela superfície do organismo, C é a energia transferida por convecção, λE é a energia trocada por evaporação ou condensação da umidade de água, 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:

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

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 ao quadrado da velocidade do ar (V), proporcional à diferença de temperatura entre a folha

e o ar ($T_f - T_a$) e é inversamente proporcional à raiz quadrada da espessura da folha (D) na direção do fluxo de ar.

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

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 sitio 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 $s_d_f(T_f)$ a densidade de saturação de vapor de água nos volumes intercelulares da folha como função de sua temperatura. Seja, $s_d_a(T_a)$ 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 $h_s d_f(T_f)$.

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

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

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_1 , 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.

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.

* Entre as 13 e 14 horas de dias claros.

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

Um 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 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 ao 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 $\sim 1367 W \cdot m^{-2}$. Calculada desta forma a temperatura média na superfície da Terra seria de gélidos $-18,3^{\circ}C$, em comparação com os atuais $14,4^{\circ}C$, uma temperatura muito mais confortável para os organismos vivos. Esta diferença de $32,7^{\circ}C$ 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 e 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 efeito estufa já chegou a 2,36°C em 2005, totalizando a soma todos os gases, exceto a água (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, ou amplificação, que é apreendido nos sofisticados modelos climatológicos de previsão da temperatura em função do aumento da concentração dos gases de efeito estufa.

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 por um valor de sensibilidade de aproximadamente $0.8K/(W/m^2)$.

** 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.

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 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).

Tabela 3: Vida média e aspectos horticolas 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.
Óxido nitroso	N ₂ O	114 anos		
CFC		>45 anos	Depende do composto em particular.	Produtos de “sprays” e de gases para refrigeração

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 elevada temperatura nesta camada da atmosfera. A maior temperatura, e menor densidade dos gases na estratosfera possuem uma grande importância a circulação das massas de ar e para o estabelecimento do clima na Terra, 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 regulações internacionais vigentes.

Temperaturas, microclimas e fisiologia vegetal

As mudanças climáticas estão ocorrendo como uma sucessão não homogênea de eventos, altamente 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 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 semeadura de nuvens induzida pelo tráfego de aviões a jato a cerca de 10000m 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 massas 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 e causa prejuízos em concentrações um pouco maior do que o nível médio na atmosfera 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 (Radín 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 CO₂ em carboidratos na fotossíntese é acelerada pela temperatura de uma maneira diferente do que é acelerada a conversão de carboidratos em CO₂ 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 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 ~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 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 também é desfavorável para a produção agrícola em muitas regiões.

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

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 temperatura

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..

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.

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

Alternativa	Economia	Dificuldades
Aspersão/turno de rega	0 %	Não há
Aspersão/tanque classe A	30%	Não há
Aspersão/tensiometria	40%	Não há
Gotejamento/turno de rega	50%	Não há
Gotejamento/tanque classe A	65%	Não há

Gotejamento/ tensiometria	70%	Não há
Aumento de 10% no albedo	20%	Não há
Aumento de 10% no albedo e aumento de 5% na emissividade	28%	Difícil aumentar 5% na emissividade
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 é difícil aumentar 5% na emissividade
Hortaliças xerofílicas à campo	90%	Plantas invasoras e baixa produtividade
Mulching	10 a 50%	Trabalhoso. O mulching com plástico deixa um passivo ambiental.

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 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 CO₂ 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 N₂ que é um gás inerte contribui para a manutenção da pressão atmosférica graças a um grande dispêndio de energia principalmente 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 km³/ano e o consumo atual está em 2600 km³/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 em 11,7% dos continentes já são utilizados, enquanto que o limiar de transgressão é estimado em ~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 as respostas são em geral abruptas e violenta, 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 as sugerir 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 e cuja produção aumenta com um elevado Q_{10} em função da temperatura. Conseqüentemente, a produção destes poluentes é bastante

acelerada sobre a superfície quente 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 media da ordem de horas até meses, dependendo das condições prevalecentes, o ozônio pode ser problema mesmo em áreas distantes das ilhas de calor. A integral dos níveis de ozônio acima de um valor limiar, $40nL L^{-1}$ 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, *Cúmulos congestus* e *Cúmulos 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 intercepção 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 através da transpiração de plantas. Uma alternativa mais exótica e menos frequente defensável são as coberturas verdes e as paredes vivas (Trépanier 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 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; CO₂ 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 nas etapas de 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 1,6cal no campo, 2,2cal no transporte e processamento, 1,3cal de embalagem refrigeração e manuseio e mais de 2,3cal 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 bastante detalhada.

Tabela 5: 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.	Diminuído	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.	Diminuído	Ainda é um produto novo.
Cultivo mínimo	Viável em muitas culturas.	Reduz o consumo de combustíveis e favorece a estrutura do solo e a economia de água e fertilizantes.	Diminuído	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 translúcidas tendem a ser 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, tem 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 uma 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 a 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 incidência de radiação solar em locais com temperaturas elevadas. É interessante enfatizar que esta mesma característica também auxilia no resfriamento radioativo, em condições 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 feitos 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. Glenn et al (2001), por exemplo, observaram que a aplicação de partículas de caulinita aumentaram 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. Mesmo partículas de poeira podem aumentar a refletividade e dar certa proteção às plantas em épocas secas. Uma aparente limitação para este tipo de

melhoramento vegetal para mudanças climáticas é a falta de disponibilidade de micro albedômetros de banda larga e de leitura instantânea necessárias nas medições em folhas e em plantas individuais;

d) Seleção de genótipos menos sensíveis aos elevados níveis de O_3 prevalentes 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, inclusive nas linhas. Estes caminhos, que de preferência devem ser permeáveis à água, 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 o uso de refrigeração não pode 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 e deve também haver o melhor aproveitamento possível de 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 importantes para o manuseio de frutas, hortaliças e 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 que façam uso de “*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 vem tendo a sua produção aumentada em mais de 50% por ano, enquanto os preços diminuem. Para o agricultor de regiões distante esta energia fora do “grid” é auspiciosa e vem se somar à insuficiente disponibilidade de sistemas tradicionais de aproveitamento de recursos energéticos como o aríete 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.

Tabela 6: 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)	Removida 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

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. Também merece substancial melhoria a eficiência no uso tendo-se em vista que o consumo excessivo de N, S e P (Tabela 6) 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 de um aumento mundial dos preços dos alimentos, que é um grande ônus para os 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 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.

Referências

- BAKKER, J.C. Energy saving greenhouses. *Chronica Horticulturae*, v. 49, p. 19-23, 2009.
- BORNSTEIN, R.; LIN, Q. Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: three case studies. *Atmospheric Environment*, v. 34, p.507-516, 2000.
- CERMAK, J. E.; DAVENPORT, A. G.; PLATE, E.J.; VIEGAS, D.X. *Wind Climate in Cities*. Kluwer Academic, 1995. 772 p.
- CLARK, D. *The rough guide to ethical living*. London, Penguin Books, 2006, 336 p.
- CO₂ Now. From: <http://co2now.org>. Viewed: 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: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

- GARTLAND, L. **Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas**. London: Earthscan, 176p. 2008.
- GATES, D.M. **Biophysical Ecology**. New York, Springer-Verlag, 1980. 611p.
- 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**, 126:175-181, 2001.
- HEINBERG, R.; BOMFORD, M. **The food and farming transition: Toward a post-carbon food system**. Sebastopol, CA, Post Carbon Institute. 2009. 39p.
- HENSON, R. **The rough guide to climate change**. London: Penguin Books, 2008. 384p.
- LEITÃO, M.M.V.B.R.; OLIVEIRA, G.M. Influência da irrigação sobre o albedo Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 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**, 33, L06708, 2006.
- LOVELOCK, J. **Gaia: A New Look at Life on Earth**. (3rd ed. ed.). Oxford University Press. (2000) [1979].
- LOVELOCK, J. **Gaia: cura para um planeta doente**. São Paulo: Cultrix, 2006. 192 p.
- MAROUELLI, W.A.; SILVA, H.R. da; SILVA, W.L.C. **Manejo da Irrigação em Hortaliças**. 5. ed. Brasília: Embrapa-SPI, 1996, 72p.
- MAROUELLI, W. A.; CALBO, A. G. **Manejo de irrigação em hortaliças com sistemas Irrigas**. 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, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p.143-165.
- NARSTO A new continental perspective on an old and vexing problem http://narsto.esd.ornl.gov/pub/Ozone_Assessment/Chapter1.pdf Viewed: 13 aug 2009.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R. SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos aplicações e práticas**. Guaíba: Agropecuária. 478p. 2002.
- RADIN, B.; REISSER JUNIOR, C.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Crescimento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo. **Horticultura Brasileira**, v.22, p.178-181, 2004.
- 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**, v.27, p.37-41, 1997.
- SILVA, E.C.da; 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**, v.23, p.491-499, 1999.
- SIX, J; OGLE, SM; BREIDT, F J; CONANT, RT; MOSIER, AR; PAUSTIAN, K. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term. **Global Change Biology**, v.10, n.2, p.155-160, 2004.
- STRECK, N.A.; SCHNEIDR, F.M.; BURIOL, G.A. Modificações físicas causadas pelo mulching. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 2, p. 131-142, 1994.
- TRÉPANIER, M.; BOIVIN, M.; LAMY, M.; DANSEREAU, B. Green roofs and living walls. **Chronica Horticulturæ**, v. 49, p.5-7, 2009.
- PRISCO, J. T. Possibilidades de exploração de lavouras xerófilas no semi-árido brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 21, p. 332-342, 1986.
- ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, Å.; 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**, v.461, p.472-475, 2009.
- EPA **Urban heat island mitigation**, U.S. Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/hiri/mitigation/index.htm> Viewed: 09 oct. 2009.
- WENT, F.W. The effect of temperature on plant growth. **Annual Review of Plant Physiology**, 4:347-362, 1953.
- WILD, M, OHMURA, A.; MAKOWSKI, K. Impact of global dimming and brightening on global warming. **Geophysical research letters**, v. 34, 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**, 17: 369-381, 2002.

Glossário

Absortividade: é o fator de acoplamento mais importante que relaciona o aumento de temperatura de um corpo com a radiação incidente. Um fator é que a absortividade varia com o comprimento de onda da radiação eletromagnética. Neste contexto a absortividade 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 pouco se aquecem quando expostos a 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 que tem sido muito utilizado 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 podem se aquecer substancialmente quando expostas á luz do Sol.

Estratosfera: região acima da troposfera (>10km) e da tropopausa 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 $0.8K/(W/m^2)$. Assim com este valor de sensibilidade e os valores de forçante contidos na tabela 5 pode-se calcular que dobrando a concentração de CO_2 com relação aos níveis da era pré-industrial causaria um aumento da temperatura da superfície da Terra de $\sim 2,6^\circ C$.

Gás de efeito estufa: gases com ligações moleculares que vibram na mesma frequência da luz infravermelha para a qual estes tem 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 queimar 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 sensibilidade é de aproximadamente $0.8K/(W/m^2)$.

Troposfera: região mais baixa da atmosfera de altura variável que tipicamente se estende até 9km nos pólos e até 18km 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.