

Emanuel Eugénio de Sousa Gago da Câmara
Professor Associado, Coordenador da Disciplina de Condicionamento Ambiental
 Instituto Superior de Agronomia, Departamento de Engenharia Rural
 Universidade Técnica de Lisboa, E-mail: eegagocâmara@isa.utl.pt

Iluminação Natural e Artificial para Fins Agrícolas

3ª Parte

6. Aspectos Relativos à Irradiação de Plantas

6.1. Introdução

Durante muito tempo, a escassez de luz natural nos meses de Inverno, em algumas regiões, era aceite com um certo conformismo pelos agricultores que produzem produtos hortícolas em estufas. Nestas circunstâncias, a ausência de um período de luz natural adequado à intensificação cultural era, na prática, compensada por uma maior atenção dada a outros factores de produção, nomeadamente através da criação de condições mais favoráveis de temperatura e de humidade e pela garantia de melhores níveis de fertilização. Contudo, isto não evitava que os períodos culturais das plantas resultassem relativamente mais longos e os desempenhos produtivos não fossem tão bons como aqueles que se conseguiriam se houvesse em fotoperíodo adequado às espécies cultivadas sob coberto.

O melhor conhecimento da influência da luz nas produções hortícolas e o desenvolvimento de novos tipos de lâmpadas, assim como o aparecimento de novas técnicas de condução cultural, têm contribuído para tornar o uso da iluminação artificial em irradiação de plantas como uma opção que, em determinadas situações, apresenta vantagens económicas.

A melhoria da quantidade e da qualidade das produções, assim como o encurtamento dos períodos culturais – permitindo colocar plantas no mercado nas épocas mais convenientes – constituem vantagens que, por si só, justificam a utilização da iluminação artificial como factor de controlo do fotoperíodo, aspecto que adquire particular importância na produção de plantas de corte e provenientes de semente, bem como na antecipação ou retardamento da floração em plantas e arbustos.

Nos últimos anos assistiu-se a um incremento da produção hortícola em estufas, para o que muito têm contribuído os seguintes factores:

- possibilidade de controlar automaticamente o ambiente das estufas
- recurso a culturas cujas produções resultam de rebentos das plantas
- prática de elevadas densidades de plantação ou de sementeira
- utilização de substratos artificiais
- exploração de culturas produzidas "in vitro"

Nos itens seguintes, chama-se a atenção para alguns dos aspectos mais importantes a ter em consideração na instalação de sistemas de iluminação artificial em estufas.

6.2. A Luz e o Crescimento das Plantas

São três os processos associados ao crescimento das plantas que requerem luz:

- a fotossíntese
- a fotomorfogénese
- o fotoperíodismo

A *fotossíntese* – através da qual a energia luminosa é transformada em energia química necessária à síntese dos componentes orgânicos essenciais ao desenvolvimento da planta – é o processo mais importante dos três referidos, por ser indispensável ao crescimento das plantas.

Por seu lado, a *fotomorfogénese* é o efeito que a luz tem na morfologia das plantas. Quando expostas à acção de luz associada exclusivamente à radiação do tipo vermelho, as plantas adquirem estiolamento, com tendência para o relativo alongamento dos caules e para folhas

pequenas, o que parece resultar da ausência da radiação azul. Na realidade, é muito pequena a quantidade de radiação deste tipo necessária para evitar este crescimento anormal das plantas. Isto explica que, mesmo durante a época do ano em que os dias são mais curtos, a luz que atravessa as superfícies da envolvente das estufas seja geralmente suficiente para evitar tal anomalia.

No que se refere ao *fotoperiodismo*, trata-se de um fenómeno que está associado ao facto das plantas apresentarem comportamentos diferentes em função da duração do período de exposição à luz diurna. Assim, enquanto algumas plantas só entram em floração se a duração do período de luz diário for inferior a determinado valor, outras há em que a floração só acontece se a duração do fotoperíodo for superior a um determinado valor crítico, função das espécies em causa. As primeiras são vulgarmente designadas por "plantas de dia curto" e as segundas por "plantas de dia longo". Entre as plantas de dia curto estão as do género *Kalanchoe* e *Chrysanthemum* (Crisântemo ou Pampilho, consoante as espécies, J. A. Franco, 1999). Por sua vez, a *Campanula isophylla* é tipicamente uma planta de dia longo. As plantas cuja entrada em floração não depende da duração do dia são designadas por plantas de "dia neutro", de que é exemplo a *Cyclamen persicum* (Ciclame-de-florista).

Contudo, há plantas que apresentam um comportamento mais exigente relativamente à duração do período de luz diurno. Assim, a *Callistephus sinensis* (Malmequer-de-sécia) é uma planta do tipo "dia longo-dia curto", uma vez que só entra em floração após exposição a uma sequência de dias longos seguida de outra de dias curtos. Em oposição a estas, também existem plantas de "dia curto-dia longo", como é o caso do híbrido *Pelargonium grandiflorum* e do morangueiro (*Fragária x ananassa*), planta cultivada e *Fragária vesca*, planta espontânea nos bosques (J. A. Franco, 1999).

Porém, as plantas podem apresentar outros fenómenos comportamentais relativamente ao fotoperíodo, como sejam, a dormência, a reprodução vegetativa e a abscisão de folhas e de botões florais.

6.3. A Iluminação Artificial e o Controlo do Crescimento das Plantas

Do ponto de vista de iluminação, e ao contrário da irradiação das plantas, a eficiência de uma lâmpada é determinada por dois factores. O primeiro refere-se à proporção da energia eléctrica que é transformada em energia radiante, correspondente à parte visível do espectro electromagnético (cujos comprimentos de onda estão compreendidos entre 400 nm e 700 nm), e o segundo respeita às características da energia radiante fora do espectro visível.

Por forma a melhor se compreender a influência destes dois factores, é necessário conhecer a forma como a vista humana avalia a energia radiante associada aos diferentes comprimentos de onda.

A Figura 2 mostra que, em média, a vista humana apresenta a máxima sensibilidade à radiação de comprimento de onda de 555 nm (luz verde), a qual diminui depois de forma semelhante para as radiações de maior comprimento de onda (vermelho) e de menor comprimento de onda (azul).

Como se pode depreender da referida figura, na zona do vermelho (de comprimento de onda de 650 nm), a vista humana tem uma sensibilidade que é apenas 1/10 da que apresenta para a luz verde (555 nm). Isto significa, por outras palavras, que é necessário dez vezes mais luz vermelha do que luz verde para obter o mesmo nível de iluminação.

Porém, a sensibilidade da vista humana é diferente daquela que as plantas apresentam relativamente aos diferentes comprimentos de onda da luz. Para mostrar o efeito das radiações de diferente comprimento de onda no seu crescimento, convém recorrer a uma curva de sensibilidade das plantas a um dado fenómeno.

Como a fotossíntese desempenha o principal papel no crescimento das plantas, é natural que nos sirvamos da influência do espectro luminoso neste processo de natureza complexa para melhor compreendermos este fenómeno. Nestas circunstâncias, e para efeito da análise da influência do espectro luminoso na fotossíntese, considera-se que a quantidade de CO₂ fixada pelas plantas é função do comprimento de onda da luz que sobre elas incide.

A Figura 3 representa a curva da sensibilidade característica média — para a generalidade das plantas (apenas com desvios médios da ordem dos 5 %) — relativamente aquele processo.

Como se pode depreender da referida figura, a máxima sensibilidade para a fotossíntese situa-se na zona do vermelho do espectro luminoso, aproximadamente nos 675 nm. Porém, a sua análise pode levar-nos a formar duas ideias que, à primeira vista, podem parecer correctas mas que na prática não são.

A primeira ideia é que uma boa lâmpada para crescimento das plantas deveria ter uma distribuição espectral da energia luminosa semelhante à da luz do Sol. Na verdade a luz solar apresenta um espectro contínuo e também irradia energia nas zonas de espectro com menos interesse para a fotossíntese. Por esta razão, a luz do Sol é, de facto, menos eficiente do ponto de vista da função fotossintética, do que a de muitas lâmpadas, o que se pode constatar a partir da Figura 4.

A segunda ideia é que, para se conseguir um bom crescimento das plantas, as lâmpadas deverão apresentar uma distribuição espectral luminosa semelhante à da curva de sensibilidade para a fotossíntese. Embora, à primeira vista, devesse ser assim, o que acontece é que existem lâmpadas, como as de descarga de vapor de sódio a alta pressão que são, na prática, mais eficientes relativamente a este desiderato, dado que a sua relativamente má distribuição espectral assegura maior concentração energética na zona dos comprimentos de onda em que a curva da sensibilidade

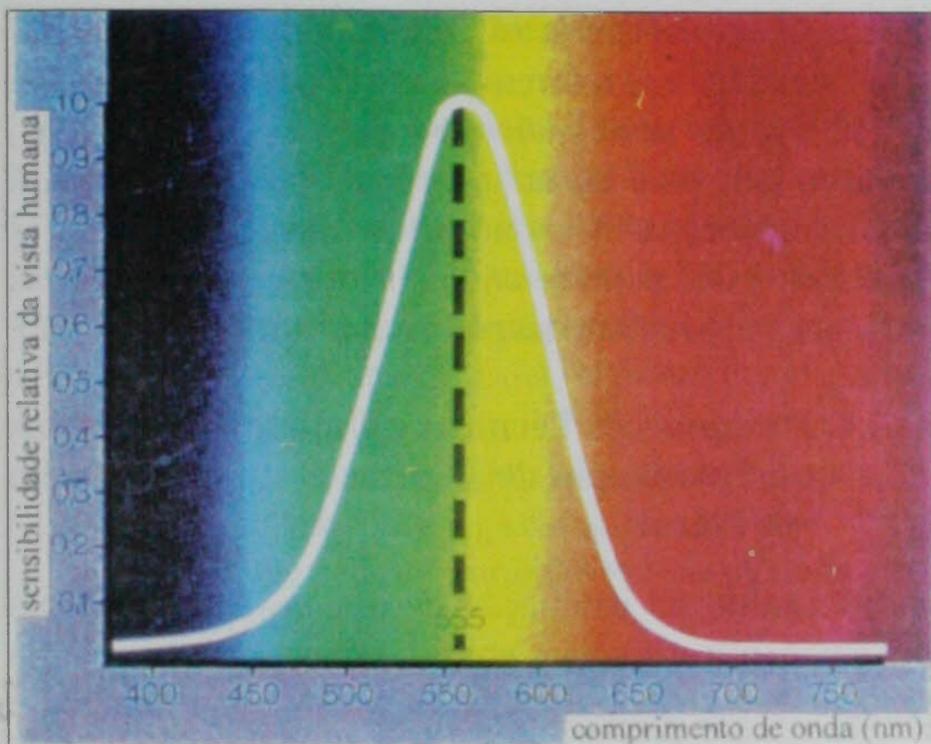


Fig. 2 - A curva representativa da sensibilidade da vista humana para a luz apresenta o seu pico na zona *verde-amarela* (555 nm), decrescendo simetricamente para ambos os lados da zona do azul e do vermelho do espectro luminoso. Por Cortesia de "Philips Lighting BV - The Netherlands".

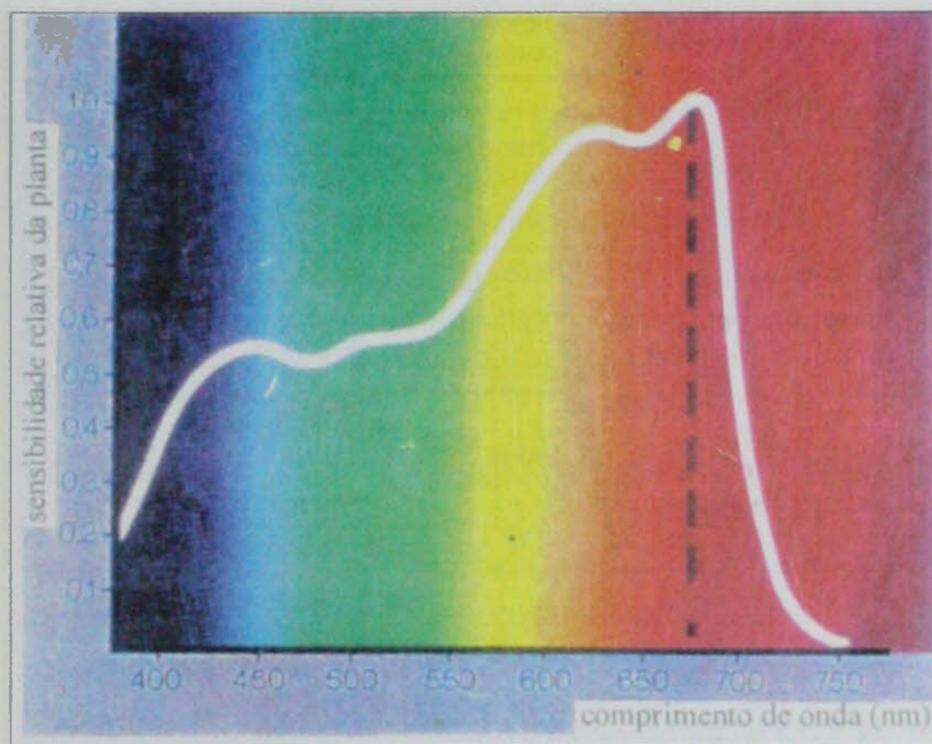


Fig. 3 - A curva representativa da sensibilidade das plantas para a fotossíntese tem o seu pico na zona do *vermelho* (675 nm) do espectro luminoso. Por cortesia de "Philips Lighting BV - The Netherlands".

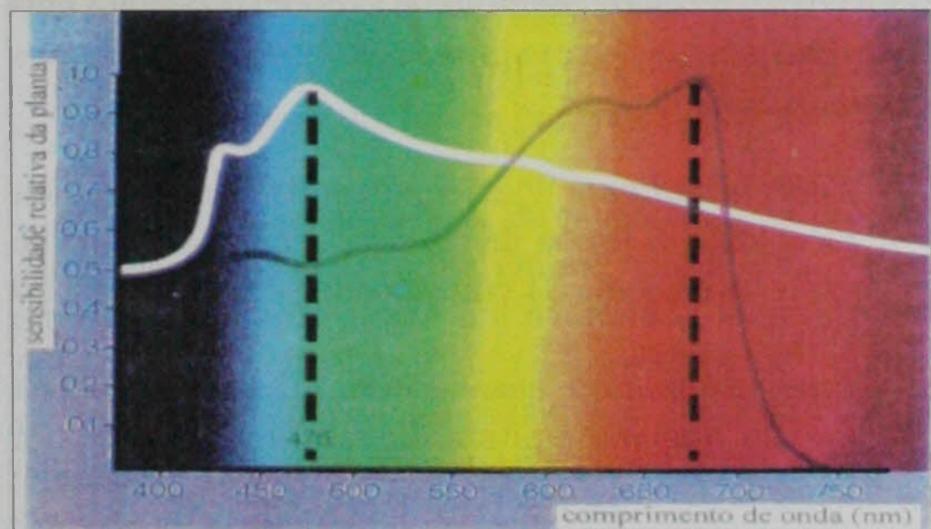


Fig. 4 - Distribuição espectral da luz solar em contraste com a curva da sensibilidade das plantas. Como se pode constatar, enquanto o pico de energia da luz do Sol se situa na zona do *azul-verde*, a máxima sensibilidade das plantas para a fotossíntese verifica-se na zona do *vermelho* do espectro luminoso. Por Cortesia de "Philips Lighting BV - The Netherlands".

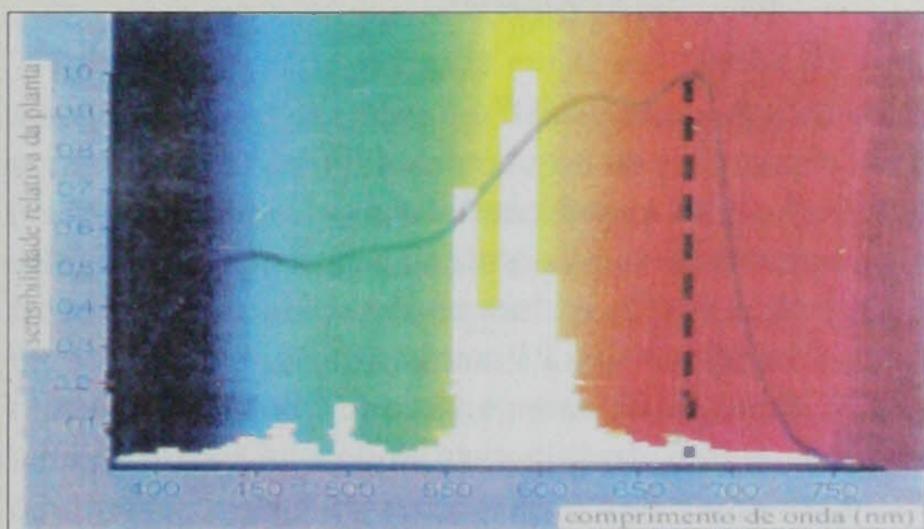


Fig. 5 - Distribuição espectral energética de uma lâmpada de descarga de vapor de sódio a alta pressão em contraste com a curva da sensibilidade das plantas. Como se pode depreender, a maior parte da energia emitida pela lâmpada coincide aproximadamente com os comprimentos de onda em que a sensibilidade das plantas é máxima. Por Cortesia de "Philips Lighting BV - The Netherlands".

das plantas já é decrescente, como se pode depreender da análise da Figura 5.

Teoricamente, a lâmpada mais eficiente deste ponto de vista, seria aquela em que toda a energia emitida se concentrasse no comprimento de onda dos 675 nm (zona do vermelho), uma vez que este corresponde à zona de máxima sensibilidade das plantas para a fotossíntese. Se tal acontecesse resultaria um excessivo alongamento das plantas em detrimento do seu crescimento formativo (fotomorfogénese).

Por outro lado, como foi anteriormente referido, a eficácia global de uma lâmpada é também avaliada pela

proporção da energia eléctrica fornecida que é transformada em energia radiante. De facto, tal como se pode depreender da Figura 6, uma lâmpada de vapor de sódio a alta pressão, a qual consome uma potência igual a 400 W, transmite apenas 50 % da sua energia (200 W) sob a forma de radiações.

Está demonstrado, na prática, que a um aumento da acção fotossintética corresponde uma perda na eficiência de conversão energética da própria lâmpada. Mas, mais importante do que isso, é o facto da influência da luz na fotossíntese se estender a todo o espectro da radiação visível (compreendido aproximadamente entre os com-

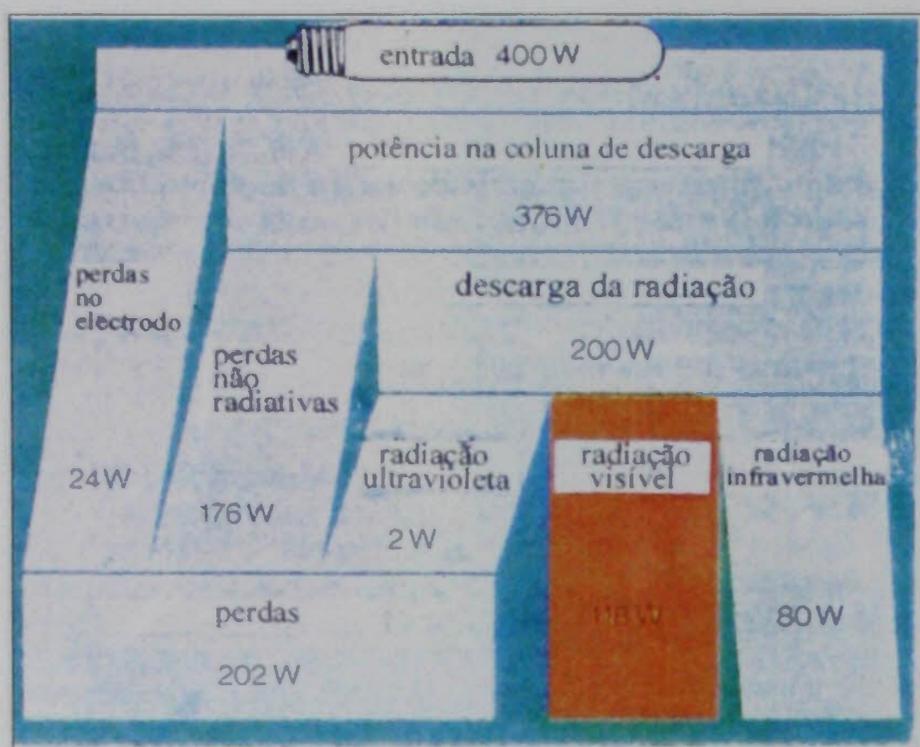


Fig. 6 - Proporção relativa da energia eléctrica fornecida (400 W) a uma lâmpada de descarga de vapor de sódio a alta pressão que é transformada em radiação visível (118 W), em comparação com a energia associada a outras radiações emitidas e às perdas por transmissão. Por Cortesia de "Philips Lighting BV - The Netherlands".

primentos de onda de 380 nm e de 780 nm) tal como se pode depreender do esquema da Figura 3. Isto significa que, muito embora existam diferenças entre a planta e a vista humana no que concerne à sua sensibilidade relativamente ao espectro luminoso, as lâmpadas normalmente concebidas para iluminação são, em geral e no seu conjunto, suficientemente apropriadas ao controlo do crescimento das plantas, ainda que isso dependa, naturalmente, das características da distribuição espectral da energia luminosa emitida por cada tipo de lâmpada.

Contudo, quando se comparam diferentes fontes de luz, há outros factores que têm de ser tomados em consi-

deração, como se terá ocasião de referir nos itens seguintes. Estes factores referem-se aos espectros relativos à eficiência da conversão energética das lâmpadas, à quantidade total de luz produzida pelas lâmpadas, à distribuição espacial da energia radiante associada às dimensões das estufas onde se localizam e ainda às exigências específicas das plantas em termos de radiação.

6.4. Designações Técnicas e Unidades Utilizadas na Irradiação de Plantas e em Iluminação em Geral

No âmbito da irradiação de plantas é conveniente perceber-se a diferença entre os conceitos de energia radiante e de energia luminosa, assim como também é importante conhecer os diferentes conceitos e unidades que se usam na irradiação de plantas e em iluminação.

No quadro 12 encontram-se os principais termos usados no domínio da tecnologia da irradiação de plantas e as correspondentes designações em iluminação.

Dado o interesse prático de que as mesmas se revestem, indicam-se em seguida as definições associados aos referidos termos técnicos, assim como as correspondentes unidades em que aqueles se exprimem no âmbito dos referidos domínios tecnológicos.

- **Energia radiante** ⁽¹⁾: energia emitida, transferida ou recebida sob forma de radiação, sendo usualmente expressa em joule (J), correspondente a watt-segundo (Ws);
- **Energia luminosa**: quantidade de luz que impressiona a vista humana emitida ou recebida durante um

(1) Na irradiação de plantas só se considera a zona do espectro da radiação luminosa compreendida entre os comprimentos de onda de 400 nm e 700 nm.

Quadro 12

Correspondência entre as designações técnicas e as unidades radiométricas e fotométricas.

Radiometria		Fotometria	
Designação	Unidades	Designação	Unidades
Energia radiante	J	Energia luminosa	lm s
Fluxo radiante	W	Fluxo luminoso	lm
Irradiância	W/m ² ; mW/m ²	Iluminância	lx
Eficiência radiante	mW/W ; %	Eficácia luminosa	lm/W

determinado período de tempo, exprimindo-se em lumen-segundo (lm s);

- **Fluxo radiante:** quantidade total de energia emitida por unidade de tempo por uma fonte radiante, exprimindo-se em watt (W), equivalente a joule por segundo (J/s);
- **Fluxo luminoso:** efeito luminoso da luz proveniente do fluxo radiante emitido por um foco, avaliado pela curva de sensibilidade visual, exprimindo-se em lumen (lm);
- **Irradiância:** densidade do fluxo radiante incidente numa superfície, ou seja, a energia radiante recebida por uma superfície, exprimindo-se em watt por metro quadrado (W/m^2);
- **Iluminância:** densidade do fluxo luminoso incidente numa superfície, sendo expressa em lux (lx), equivalente a lumen por metro quadrado (lm/m^2);
- **Eficiência radiante:** razão entre o fluxo radiante total emitido por uma fonte de radiação e a energia consumida, ou seja, a taxa de conversão garantida por uma lâmpada na transformação da energia eléctrica em energia radiante, sendo portanto expressa em percentagem (%) ou em miliwatt por watt (mW/W);
- **Eficácia luminosa:** razão entre o fluxo luminoso total emitido por uma lâmpada e a energia consumida, sendo expressa em lumen por watt (lm/W).

A unidade mais adequada, do ponto de vista prático, para exprimir as exigências em energia de uma determinada espécie de planta é a **irradiação**, expressa em miliwatt por metro quadrado (mW/m^2), a qual permite quantificar exactamente a quantidade total de energia recebida pelas plantas na banda dos comprimentos de onda compreendida entre 400 nm e 700 nm.

Contudo, faz-se notar que a irradiância não constitui um parâmetro que satisfaça completamente do ponto de vista

científico. Isto por duas razões fundamentais, que são:

- Qualquer nível de energia irradiada fora da banda compreendida entre os 400 nm e os 700 nm não é tida em consideração, ainda que possa contribuir em pequena medida para a fotossíntese;
- A curva de sensibilidade espectral das plantas para a fotossíntese não é tida em consideração.

Mesmo assim, a prática demonstra que as inexactidões daí resultantes nunca excedem 10 % a 20 % relativamente à quantidade total de energia recebida, para os tipos de lâmpadas mais correntemente utilizadas em irradiação de plantas.

Ainda que no projecto de novas instalações para irradiação de plantas, a irradiância expressa em mW/m^2 seja o parâmetro mais utilizado no seu dimensionamento, quando se trata de avaliar os níveis de radiação atingidos em instalações já existentes, a unidade mais usada na prática é a **iluminância**, expressa em lux.

Isto explica-se pela simples razão de que, embora existam instrumentos que meçam directamente o nível de irradiância, o seu uso não está ainda muito divulgado por serem mais caros do que os vulgares luxímetros.

Para cada tipo de lâmpada existe um **factor de conversão** que se exprime em mW/lm , o qual permite converter os níveis de fluxo radiante em fluxo luminoso. Conhecendo a **curva de distribuição da energia radiante** de um determinado tipo de lâmpada e confrontado-a com a **curva de sensibilidade da vista humana** — tal como a Figura 7 documenta — é possível determinar o valor do factor de conversão dessa lâmpada.

O Quadro 13 inserido mais à frente indica, a par de outra informação de natureza técnica, os valores dos coeficientes de conversão dos principais tipos de lâmpadas utilizadas em irradiação de plantas. **E**

Assine, Leia, Divulgue e Colabore
na Revista **ELECTRICIDADE**
única para engenheiros electrotécnicos
Um projecto editorial de prestígio
com o elevado patrocínio da EDP
uma empresa que apoia a qualidade