The background of the cover is a photograph of a modern greenhouse. The structure is made of a complex metal frame with translucent panels. Inside, rows of lush green basil plants are growing in white trays. The plants are in the foreground, slightly out of focus, while the rows recede into the distance. The lighting is bright and even, typical of a controlled environment.

ENGENHARIA HORTÍCOLA

Domingos Almeida

Mário Reis

ÍNDICE GERAL

Índice geral.....	V
Prefácio.....	VIII
1 INTRODUÇÃO À CULTURA PROTEGIDA.....	1
1.1 Cultura protegida	1
1.2 Abrigos.....	2
1.3 Efeitos dos abrigos nas culturas.....	4
2 SISTEMAS PASSIVOS DE MODIFICAÇÃO DO CLIMA.....	7
2.1 Elementos climáticos e fisiologia das culturas.....	7
2.2 Princípios físicos.....	9
2.3 Modificação passiva do microclima	9
2.4 Aquecimento do substrato e do ar.....	10
2.4.1 Transmissão de calor por condução.....	10
2.4.2 Transmissão de calor por convecção.....	11
2.4.3 Transmissão de calor por radiação.....	11
2.4.4 Calor latente.....	12
2.5 Redução da evapotranspiração.....	12
2.6 Modificação da luminosidade ao nível da canópia.....	13
2.7 Modificação da humidade relativa do ar.....	13
2.8 Redução da velocidade do vento sobre a canópia.....	13

3	QUEBRA-VENTOS	15
3.1	Efeitos dos quebra-ventos	15
3.2	Problemas associados aos quebra-ventos	17
3.2.1	O problema das sombras projetadas.....	17
3.2.2	Favorecimento de doenças	20
3.2.3	Riscos de danos por geada	20
3.3	Características dos quebra-ventos	20
3.3.1	Natureza da sebe	21
3.3.2	Permeabilidade	22
3.3.3	Estrutura	24
3.3.4	Altura da sebe e zona de proteção.....	25
3.4	Estabelecimento dos quebra-ventos.....	25
3.4.1	Espaçamento	26
3.4.2	Orientação.....	26
3.4.3	Reticulado	26
3.4.4	Comprimento da sebe	27
3.4.5	Espessura da sebe	27
3.4.6	Forma.....	27
3.5	Materiais utilizados dos quebra-ventos.....	28
4	COBERTURA DO SOLO	31
4.1	Efeitos da cobertura do solo	32
4.2	Materiais utilizados na cobertura do solo.....	33
4.2.1	Características dos materiais plásticos utilizados	34
4.2.2	Efeito da cor do filme plástico	35
4.2.3	Filmes especiais.....	38
4.3	Estabelecimento da cobertura do solo	39
4.4	Decisão sobre utilização da cobertura do solo	40
5	COBERTURA DIRETA.....	41
5.1	Efeitos da cobertura direta	42
5.2	Materiais utilizados como manta térmica	44
5.3	Estabelecimento e manejo do abrigo	44
6	ABRIGOS BAIXOS	47
6.1	Tipos de abrigos baixos	47
6.2	Efeitos dos abrigos baixos.....	48
6.3	Características dos pequenos túneis	49
6.3.1	Forma dos túneis.....	49
6.3.2	Estrutura	49
6.3.3	Cobertura.....	50
6.3.4	Dimensões dos túneis.....	50

6.4	Montagem dos túneis.....	51
6.5	Arejamento e manejo dos túneis.....	53
7	ABRIGOS ALTOS.....	55
7.1	Estufas	56
7.2	Tipologia e critérios de classificação	57
7.3	Características dos principais modelos de estufas	59
7.3.1	Estufa do tipo túnel.....	60
7.3.2	Estufas do tipo parral.....	61
7.3.3	Estufas do tipo capela	61
7.3.4	Estufas de paredes retas.....	62
7.3.5	Estufas do tipo Venlo	62
7.4	Estrutura das estufas e outros abrigos altos.....	63
7.4.1	Materiais.....	63
7.4.2	Número de módulos.....	64
7.4.3	Montagem e ancoragem.....	65
7.4.4	Ações a suportar pela estrutura	66
7.4.5	Normas	68
7.5	Cobertura de estufas	68
7.5.1	Materiais de cobertura.....	68
7.6	Pavimento.....	68
7.7	Implantação das estufas.....	70
7.7.1	Fatores que influem nas condições climáticas nas estufas.....	70
7.7.2	Fatores que condicionam a utilização da estufa.....	74
7.7.3	Fatores externos.....	76
7.8	A recolha de dados e a tomada de decisão.....	78
8	MATERIAIS EMPREGUES NA COBERTURA DE ABRIGOS HORTÍCOLAS.....	79
8.1	Introdução.....	79
8.2	Classificação dos plásticos	80
8.2.1	Aditivos nos plásticos de utilização hortícola	81
8.3	Características dos principais plásticos utilizados em horticultura.....	82
8.3.1	Polietileno de baixa densidade.....	84
8.3.2	Acetato de etil-vinilo	85
8.3.3	Policloreto de vinilo	86
8.3.4	Polimetacrilato de metilo.....	86
8.3.5	Policarbonato.....	87
8.3.6	Poliéster	87
8.3.7	Poliamidas.....	87
8.4	Filmes especiais utilizados e tendências de desenvolvimento	88
8.5	Vidro hortícola	88
8.6	Outros materiais usados em horticultura.....	89

8.6.1	Materiais para componentes dos sistemas de rega.....	89
8.6.2	Materiais para vasos, placas de sementeira e sacos de cultivo.....	94
9	AQUECIMENTO DE ESTUFAS DE PRODUÇÃO	95
9.1	Objetivos do aquecimento.....	95
9.2	Balanço de radiação e balanço térmico numa estufa	96
9.2.1	Balanço da radiação	96
9.2.2	Balanço térmico	97
9.3	Perdas de calor	98
9.3.1	Perda de calor por convecção e condução através da cobertura... 98	
9.3.2	Perdas de calor por radiação.....	102
9.3.3	Perda de calor devido à infiltração de ar	103
9.3.4	Outras perdas de calor	104
9.3.5	Cálculo da potência de aquecimento	104
9.4	Sistemas de aquecimento em estufas hortícolas.....	105
9.4.1	Aquecimento por água quente	106
9.4.2	Aquecimento por ar quente.....	107
9.4.3	Escolha de um sistema de aquecimento.....	108
9.5	Fontes de energia	109
9.5.1	Características dos principais combustíveis.....	110
9.5.2	Eletricidade e fontes alternativas de energia	112
9.5.3	Estimativa do consumo de combustível e dos custos	115
9.6	Conservação do calor na estufa.....	116
9.7	Prevenção da condensação.....	116
10	ARREFECIMENTO DE ESTUFAS DE PRODUÇÃO	119
10.1	Introdução	119
10.2	Ventilação	120
10.2.1	Expressão da ventilação e recomendações gerais	120
10.2.2	Tipos de ventilação	121
10.2.3	Bases da ventilação natural	121
10.2.4	Bases da ventilação forçada.....	124
10.3	Sombreamento.....	125
10.4	Arrefecimento evaporativo do ar	127
10.4.1	Sistemas de aspersão e de nebulização.....	127
10.4.2	Painel evaporativo.....	129
11	ILUMINAÇÃO	131
11.1	Manipulação da luz em horticultura	131
11.2	Alterações da luz natural.....	133
11.3	Utilização de lâmpadas	133
11.4	Tipos de lâmpadas utilizados em horticultura.....	134

11.4.1	Lâmpadas incandescentes	134
11.4.2	Lâmpadas fluorescentes	135
11.4.3	Lâmpadas de descarga de alta intensidade	136
11.4.4	Lâmpadas de díodos emissores de luz	137
11.5	Crítérios para a escolha das lâmpadas	137
11.6	Manipulação da luz nas condições mediterrânicas	137
11.7	Cálculo luminotécnico para estufas hortícolas	138
11.8	Determinação do número de lâmpadas	138
11.8.1	Fluxo luminoso	139
11.8.2	Fator de manutenção	139
11.8.3	Fator de utilização da luminária	140
11.8.4	Índice do local	140
11.9	Características da luminária	141
11.10	Uniformidade na distribuição da luz	141
11.11	Exemplo de aplicação	142
12	FERTILIZAÇÃO CARBÓNICA	143
12.1	Introdução	143
12.2	Efeitos da fertilização carbónica	144
12.3	Fundamento fisiológico dos efeitos do dióxido de carbono	146
12.4	Variação da concentração de CO ₂ numa estufa	146
12.5	Métodos de fornecimento de dióxido de carbono	147
12.5.1	Aplicação de CO ₂ puro	147
12.5.2	Aplicação de CO ₂ produzido por combustão	148
12.6	Distribuição do CO ₂ no interior da estufa	149
12.7	Aplicação do CO ₂	150
12.7.1	Época de aplicação	150
12.7.2	Concentração ótima de CO ₂	150
12.7.3	Quantidade de CO ₂ a fornecer	150
12.7.4	Cálculo da quantidade de CO ₂ a aplicar	151
12.8	Prática da fertilização carbónica	151
12.9	Fitotoxicidade dos poluentes atmosféricos	152
13	ENGENHARIA DOS SISTEMAS DE CULTIVO SEM SOLO	153
13.1	Introdução	153
13.2	Particularidades do cultivo sem solo	156
13.3	Trajectoria tecnológica dos sistemas de cultivo hortícola	156
14	CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS SISTEMAS DE CSS	159
14.1	Substratos e outros suportes de cultura	159
14.2	A água	160
14.3	A solução nutritiva	161

14.4	Equipamento básico	161
14.5	Fatores de escolha de um sistema de CSS	162
15	DESCRIÇÃO SUMÁRIA DOS PRINCIPAIS SISTEMAS COMERCIAIS.....	165
15.1	Cultivo em substrato.....	166
15.1.1	Lã de rocha	167
15.1.2	Perlite	167
15.1.3	Fibra de coco	167
15.2	Cultivo em água	167
15.2.1	Em tanque ou camada profunda.....	167
15.2.2	Em filme nutritivo	168
15.3	Cultivo aeropónico	168
16	COMPOSIÇÃO E PREPARAÇÃO DE SOLUÇÕES NUTRITIVAS	171
16.1	Introdução	171
16.2	Composição das soluções nutritivas.....	172
16.2.1	Equilíbrio de nutrientes	172
16.2.2	Massa de sal.....	172
16.2.3	Concentração mássica	172
16.2.4	Concentração molar.....	172
16.2.5	Normalidade	173
16.2.6	Fórmulas de soluções nutritivas.....	173
16.3	Princípios do desenvolvimento e preparação das soluções nutritivas.....	179
16.4	Correção do pH.....	180
16.5	Cálculo da solução nutritiva.....	180
17	CONDUÇÃO DAS CULTURAS SEM SOLO	181
17.1	Água e controlo da rega	181
17.2	Preparação e controlo da solução nutritiva.....	185
17.3	Arejamento na rizosfera	186
17.4	Controlo da temperatura radicular	186
17.5	Monitorização da solução nutritiva e da drenagem.....	187
18	RECUPERAÇÃO E UTILIZAÇÃO DA SOLUÇÃO DRENADA.....	189
18.1	Estratégias de recuperação da solução nutritiva.....	191
18.2	Condições necessárias para efetuar a reciclagem.....	191
18.3	Estratégias de reciclagem.....	192
18.4	Controlo sanitário da solução reciclada	194
18.4.1	Desinfecção por ação do calor.....	195
18.4.2	Desinfecção por ação da radiação ultravioleta	195
18.4.3	Desinfecção por filtração em membranas.....	196
18.4.4	Desinfecção química	196

A Figura 1 esquematiza os tipos de abrigos, evidenciando a posição relativa do ecrã e da cultura. Cada um destes abrigos e formas de cultura protegida é abordado detalhadamente em capítulos posteriores.

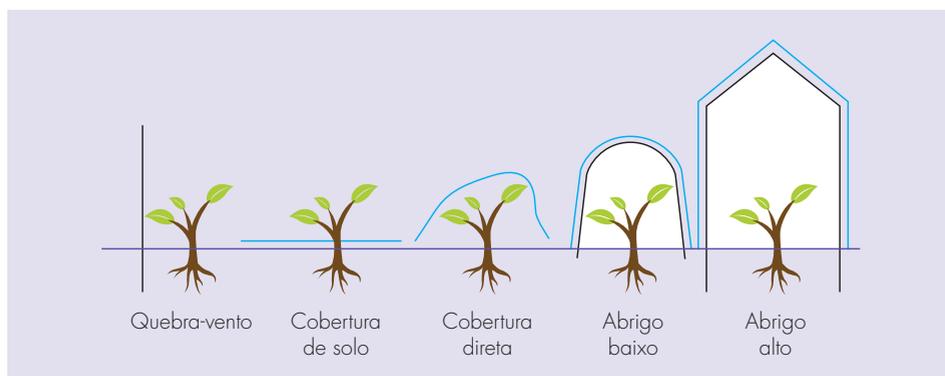


Figura 1 – Representação esquemática dos tipos de abrigos hortícolas em função da posição relativa do ecrã e da cultura. Os elementos de estrutura são representados a traço preto e os ecrãs a azul.

Os abrigos podem ser **temporários** ou **permanentes**, consoante protegem a cultura durante uma parte ou durante a totalidade do ciclo cultural, respetivamente.

Se a classificação dos quebra-ventos, cobertura do solo e cobertura direta não coloca geralmente problemas, já o enquadramento dos abrigos baixos e dos abrigos altos necessita de clarificação. Consideram-se abrigos baixos aqueles que não permitem o trabalho de pessoas e de máquinas no seu interior e abrigos altos aqueles em cujo interior operam facilmente pessoas e máquinas. Os abrigos baixos incluem os estufins, as campânulas e os pequenos túneis. Nos abrigos altos enquadram-se as estufas, com cobertura impermeável em material plástico ou vidro, e os abrigos de sombra, nos quais a estrutura é coberta por uma rede.

Os abrigos hortícolas podem ser utilizados de forma isolada ou em conjunto, tirando-se assim partido dos efeitos aditivos de vários ecrãs. Situações de estufas protegidas com quebra-ventos para reduzir a dissipação de energia, de cobertura do solo ou de pequenos túneis sob estufa não aquecida, na cultura precoce de culturas de estação quente, são frequentemente observadas.

Esta classificação dos abrigos enquadra a maioria dos sistemas de cultura protegida utilizados na horticultura comercial. Naturalmente, todos os esquemas classificativos são simplificações da realidade, com as suas limitações. As *masseiras*, por exemplo, são um tipo de abrigo peculiar do litoral noroeste português. As masseiras foram construídas escavando o terreno vários metros de forma a criar uma zona em depressão, relativamente extensa, protegida do vento pelas paredes construídas com a areia removida. O microclima das masseiras, com uma temperatura média do ar mais elevada, deriva do efeito conjugado

Estes efeitos apresentam uma intensidade variável com a distância ao abrigo (Figura 7).

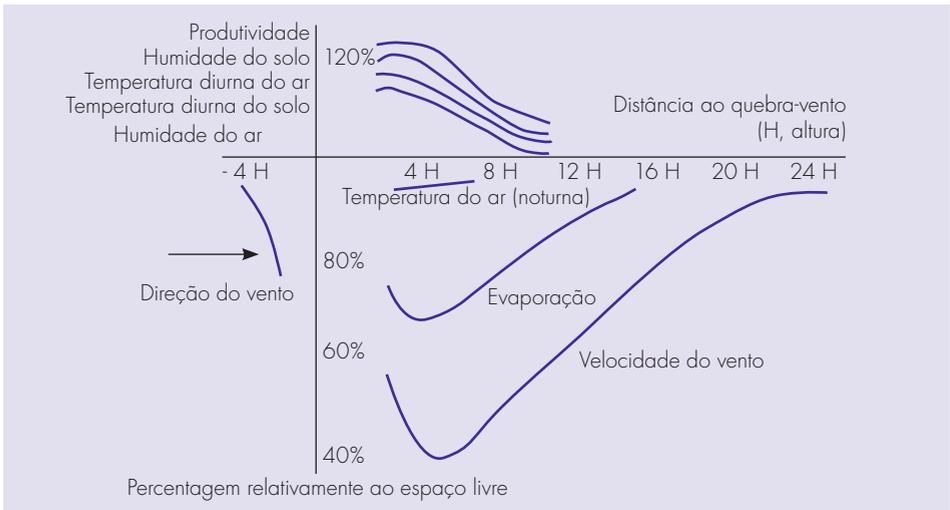


Figura 7 – Principais efeitos proporcionados pelos quebra-ventos e variação da sua intensidade em função da distância ao quebra-vento, medida em múltiplos da altura (H) do abrigo (adaptado de Capatex, 2007).

3.2. Problemas associados aos quebra-ventos

3.2.1. O problema das sombras projetadas

A projeção das sombras é sempre um aspeto a considerar na instalação de um quebra-ventos (Figura 8).



Figura 8 – Sombra projetada sobre uma estufa por outra instalada a sul.

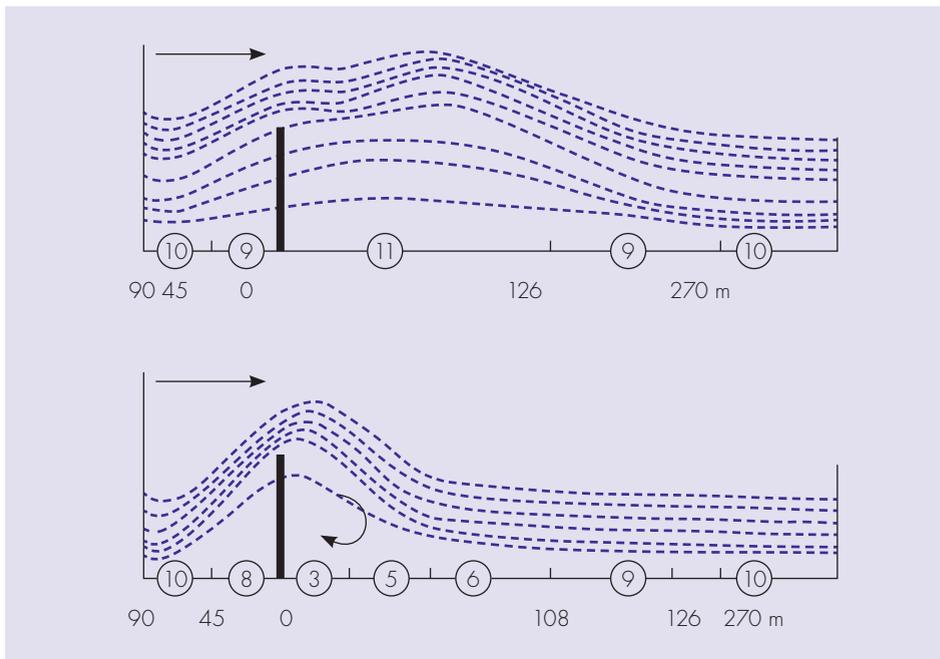


Figura 16 – Efeito da permeabilidade do quebra-ventos, semidense em cima e denso em baixo, na velocidade do vento (indicada dentro dos círculos), sendo a velocidade do vento antes do abrigo de 10 m s^{-1} (adaptado de Capatex, 2007).

3.3.3. Estrutura

Por estrutura do quebra-vento entende-se a distribuição relativa dos espaços vazios e espaços preenchidos numa sebe. Podem-se considerar três situações principais, esquematizadas na Figura 17:

1. Sebes abertas em baixo e densas em cima;
2. Sebes densas em baixo e abertas em cima;
3. Estrutura uniforme.

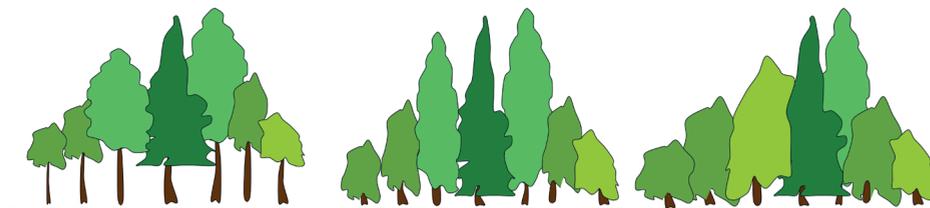


Figura 17 – Estruturas dos quebra-ventos.

O filme de plástico negro absorve quase toda a radiação solar incidente – ultravioleta, visível e infravermelha. O aquecimento do solo, neste caso, faz-se sobretudo por condução e convecção (Figura 25).

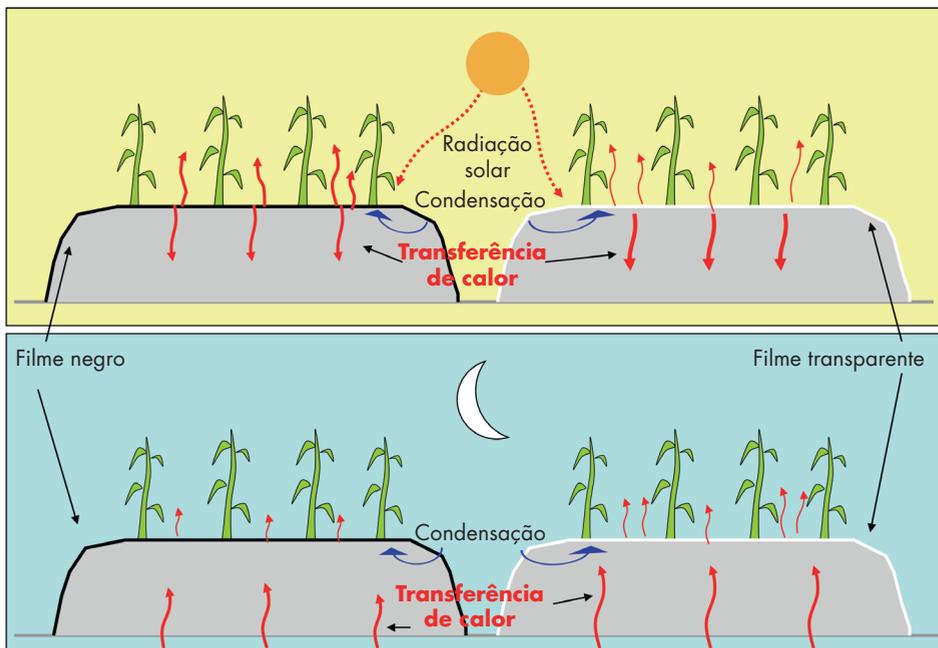


Figura 25 – Principais formas de troca de calor durante o dia (em cima) e à noite (em baixo) entre o solo e o ar ambiente, em solo coberto com filme negro (à esquerda) e transparente (à direita).

A temperatura do solo a 5 cm de profundidade sob plástico negro pode ser cerca de 3 °C mais elevada do que no solo nu.

O plástico transparente absorve pouca radiação, transmitindo 85 a 95% da radiação solar incidente para a superfície do solo. Neste caso, o aquecimento do solo faz-se através do efeito de estufa, intensificado pela condensação que ocorre na face inferior do filme, que absorve a radiação infravermelha emitida pelo solo. Sob filme transparente, a temperatura do solo a 5 cm de profundidade pode ser 4 a 8 °C mais elevada do que no solo nu.

Um filme de plástico coextrudido com uma face branca e outra preta ou um filme prateado (refletivo) podem arrefecer ligeiramente o solo (menos 1 °C a 2,5 cm de profundidade), devido à reflexão de luz (Figura 26).

Assim, comparando o efeito de filmes de diferentes cores podem estabelecer-se as seguintes regras gerais:

- O maior aquecimento do solo obtém-se com um filme de plástico transparente, seguido do filme negro;

7.3.1. Estufa do tipo túnel

As estufas do tipo túnel são frequentes na região mediterrânea (Figura 40). São estufas de construção simples e económica, por não apresentarem paredes laterais, com a vantagem de apresentarem boa resistência ao vento. Em contrapartida, apresentam um arejamento deficiente e uma reduzida relação entre volume e área coberta. A cobertura é feita com material plástico na forma de filmes flexíveis ou chapas nos topos. Os túneis simples fechados não permitem a construção de abrigos multinave. Na última década tem decrescido a área de túneis simples fechados (Figura 40) e aumentado a área de túneis elevados, associados à cultura de pequenos frutos (Figura 41).



Figura 40 – Estufa do tipo túnel.



Figura 41 – Túneis grandes comuns no cultivo de pequenos frutos (exterior e interior).

7.7.1.2. Radiação solar

A influência da orientação das estufas na radiação solar transmitida faz-se sentir mais nos abrigos individuais. Nestes, as paredes laterais representam uma proporção elevada da área total de cobertura que interceta a radiação solar, sobretudo no semestre frio, em que o Sol atinge menor altura aparente. Nas estufas em bateria a percentagem da superfície lateral relativamente à superfície do teto diminui, e com isto a importância da sua orientação relativamente ao Sol.

Considerando o movimento aparente diurno do Sol nas latitudes de Portugal continental (cerca de 37 a 42 °N), a incidência direta dos raios solares faz-se sobre a fachada sul e sobre o lado sul to teto. No continente, uma estufa de forma retangular ou um módulo de estufa isolado, recebe anualmente mais energia quando orientada no sentido norte-sul, mas com um maior contributo de radiação recebida no verão, altura em que esta está disponível em abundância. Para sul a vantagem da orientação norte-sul acentua-se.

Pelo contrário, no semestre frio, próximo do solstício de inverno, a estufa isolada com uma orientação este-oeste capta mais energia, pois nesta época do ano o Sol apresenta uma menor altura aparente. Esta vantagem acentua-se em latitudes mais elevadas (Figura 50).

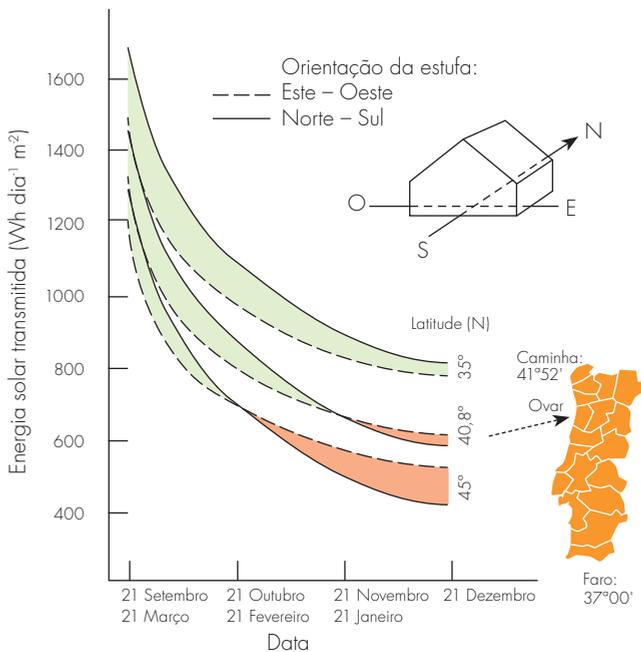


Figura 50 – Variação da energia radiante transmitida com a latitude, numa estufa em capela de abas iguais. À latitude de 45° N o período em que a orientação E-O (linha a tracejado) permite maior transmissão de radiação vai de final de outubro a final de fevereiro (zona sombreada a vermelho) e aumenta com a latitude. Para sul a orientação N-S (linha a cheio) apresenta vantagem, sendo esta a melhor orientação todo o ano a 35° N (adaptado de Mastalerz, 1977).

9.2.2. Balanço térmico

O balanço térmico permite determinar os ganhos e as perdas de calor pela estufa (Figura 55). As trocas de calor sensível fazem-se predominantemente por ventilação e infiltração, radiação e condução, e o calor latente é transferido por ventilação e infiltração, condensação e evaporação.

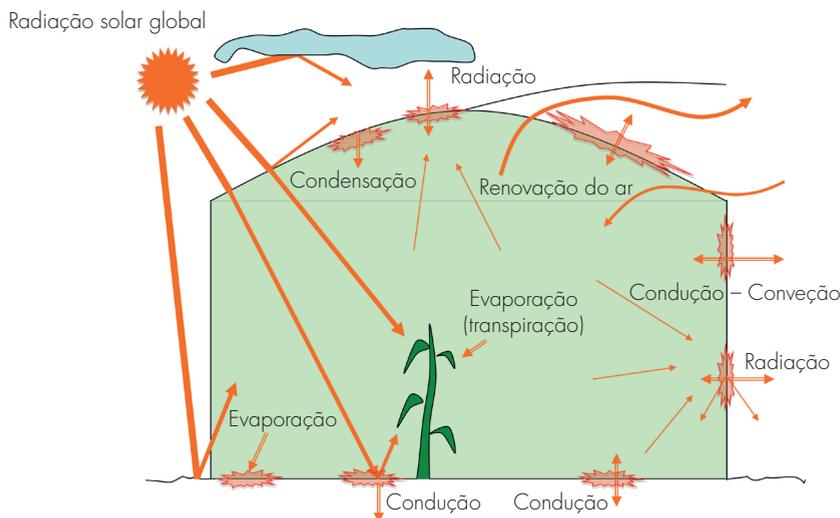


Figura 55 – Principais formas de troca de calor sensível e latente entre uma estufa e o meio.

O balanço térmico não é mais do que a aplicação do princípio da conservação da energia a uma estufa. Em abstrato, o balanço térmico de uma estufa traduz-se pela Equação 5 (A simbologia adotada nas equações está explicada no Apêndice 1).

$$q_{in} + q_g - q_{out} = mC_p \frac{dT}{dt} \quad [5]$$

O problema é fácil de enunciar, mas a sua resolução assumiria uma complexidade elevada se fosse necessário uma elevada exatidão. O balanço térmico é frequentemente apresentado na forma clássica da equação de Walker-Cotter (Equação 6) que lista praticamente todos os fatores que o influenciam.

$$q_g + q_s + q_e + q_t = q_c + q_r + q_p + q_{solo} + q_v \quad [6]$$

Esta equação pode sofrer diversas simplificações de forma a possibilitar a estimativa das variáveis e o cálculo do valor final. Estas simplificações deram origem a diversas fórmulas de cálculo. Na

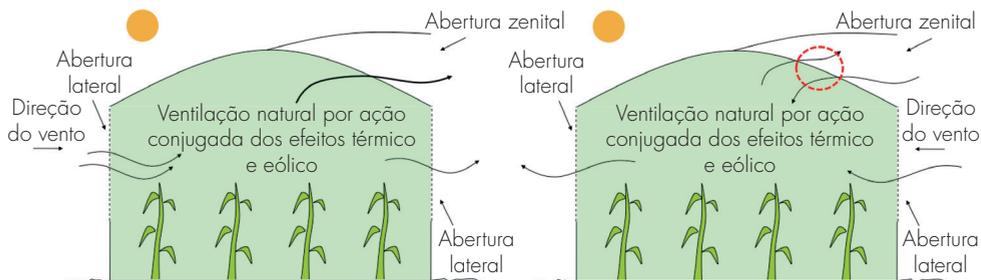


Figura 65 – Ventilação em situações de vento com diferente direção. À esquerda ilustra-se a conjugação positiva do efeito do vento e do efeito térmico. À direita, o vento sopra da direita, entrando pelas janelas lateral e superior. Com uma maior velocidade do vento a ventilação pode ser suficiente (prevalece o efeito do vento na renovação do ar), mas com baixa velocidade do vento (situação em que o efeito térmico se torna mais importante), a saída do ar aquecido pela janela zenital é contrariada pelo vento.

Na ausência de vento, a circulação do ar dá-se apenas por *efeito térmico*, isto é, devido às diferenças de densidade do ar no interior da estufa, entre as zonas mais frias e as mais quentes, e entre o interior e o exterior (Figura 64). O fluxo originado é diretamente proporcional:

- À diferença de temperatura entre as massas de ar;
- À diferença de cota entre as aberturas de entrada e de saída;
- Ao tamanho das aberturas de entrada e de saída do ar.

Sendo a ventilação natural bastante condicionada pelo vento, deve-se ponderar a orientação das estufas e a localização das suas aberturas relativamente aos ventos dominantes durante o período quente.

Nos períodos sem vento, isto é, quando a velocidade do vento for inferior a cerca de $1,5 \text{ m s}^{-1}$, o efeito térmico na ventilação natural torna-se dominante. Por isso, para que possa ocorrer um bom arejamento de forma passiva nestas condições é necessário que as aberturas na estufa facilitem o efeito térmico.

A ventilação, sobretudo a natural, é fortemente reduzida pela existência de redes de exclusão de insetos, podendo a redução do fluxo de ar atingir 60 a 70%. Analisando-se 21 amostras de redes de exclusão de insetos comercializadas, observou-se uma redução da taxa de ventilação entre 6 e 61% quando a porosidade das redes variava entre $0,75$ e $0,22 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (Cabrera et al., 2006). Por este motivo deve prever-se o aumento da superfície das aberturas de ventilação quando há necessidade de instalar estas redes.

10.2.4. Bases da ventilação forçada

A ventilação forçada baseia-se na criação artificial de um gradiente de pressão para forçar o movimento do ar, o que se consegue através de ventiladores elétricos (Figura 66). Segundo as normas da ASABE (2003) estes devem manter uma diferença de pressão estática de cerca de 0,03 kPa.

No verão mediterrânico, a ventilação forçada deve ser efetuada com ventiladores de grande diâmetro e baixa velocidade, para se obter uma corrente de ar sobre as plantas suave mas de grande caudal (Figura 66).



Figura 66 – Ventiladores elétricos para movimentar o ar interior da estufa (esquerda) e para extrair o ar da estufa (direita).

Em regiões continentais de inverno muito frio, se for necessário usar ventilação forçada para baixar a temperatura durante os dias de céu limpo, devem usar-se ventiladores pequenos e de grande caudal ou com uma manga de distribuição de ar. Com isto consegue-se que o ar frio do exterior entre na estufa em jatos com grande velocidade, o que leva à sua mais rápida mistura com o ar interior aquecido, evitando o contacto do ar frio exterior com as plantas.

A colocação dos ventiladores deve atender a algumas condições, nomeadamente a direção dos ventos dominantes no verão, distância entre ventiladores inferior a 7,5 m, a existência de rede metálica exterior de proteção, possibilidade de regular a velocidade ou o número de ventiladores em funcionamento e uma adequada superfície de entrada de ar quando funcionam em extração de ar (cerca de 1,5 vezes a área dos ventiladores).

Além da troca de massas de ar com o exterior, a ventilação forçada tem uma importante aplicação na promoção da circulação interna do ar, sobretudo quando a estufa está fechada. Esta movimentação cria condições mais homogêneas de temperatura, humidade do ar e concentração de dióxido de carbono, com efeito positivo no crescimento das plantas e na proteção fitossanitária, ao evitar o desenvolvimento de focos de ar muito húmido junto das plantas (Figura 66, à esquerda).

12.5.2. Aplicação de CO₂ produzido por combustão

O CO₂ produzido por combustão pode estar associado ao aquecimento com aproveitamento dos gases de combustão ou desligado do aquecimento com recurso à combustão propositada para gerar CO₂.

No primeiro caso, a aplicação do CO₂ está associada a sistemas de aquecimento por água, uma vez que a água permite acumular o calor produzido durante a combustão mesmo quando este não é distribuído na estufa. Note-se que as necessidades de calor (durante a noite) não coincidem com as necessidades de dióxido de carbono (durante o dia). Este desfaseamento pode ser ultrapassado conservando o calor libertado pela caldeira quando da produção de CO₂ (de dia) na forma de água aquecida, a qual posteriormente se faz circular para aquecimento, normalmente à noite (Figura 77). Os gases de escape da caldeira são recuperados, arrefecidos e distribuídos na estufa. Para evitar problemas de toxicidade por poluentes só se faz fertilização carbónica quando se utiliza como combustível gás natural ou GPL (propano ou butano).

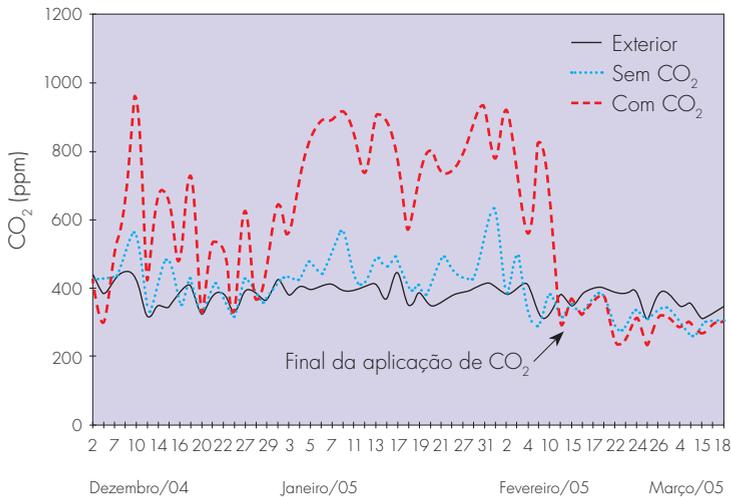


Figura 77 – Concentração média diária de CO₂ no exterior e no interior de uma estufa, com e sem injeção de CO₂ na estufa, a partir de uma caldeira de aquecimento a gás propano funcionando de dia para produzir CO₂ e à noite para aquecimento (Reis et al., 2005).

Em alternativa pode armazenar-se o CO₂ libertado durante o aquecimento (normalmente de noite) para ser libertado durante o dia.

Para efetuar a fertilização carbónica desligada do aquecimento recorre-se a equipamento que queima gás propositadamente para produzir CO₂. Estes geradores de CO₂ funcionam com uma taxa de combustão lenta, reduzindo a formação de monóxido de carbono e de etileno. O consumo de combustível é reduzido e permite a fertilização carbónica sem produção significativa de calor.

12.6. Distribuição do CO₂ no interior da estufa

O CO₂ é distribuído na estufa através de tubos ou por simples manga de filme de plástico perfurado (Figura 78).



Figura 78 – Tubagem de distribuição de CO₂ ao longo das linhas de cultura, em tubo de PVC (à esquerda) e em manga de PE transparente (à direita).

Normalmente, coloca-se um tubo por linha de cultura, ou nas culturas de elevada densidade de plantação (e.g., crisântemo) um tubo por camalhão. A posição do tubo de distribuição do CO₂ deve ser ajustada em função da altura das plantas e poder ser reajustada à medida que as plantas crescem. Deve-se verificar a pressão nos tubos para garantir uniformidade de distribuição.

O controlo da fertilização carbónica faz-se com recurso a sensores de CO₂, que devem estar localizados junto ao topo da canópia e ser calibrados regularmente.

Em algumas instalações recorre-se ao sistema de rega gota-a-gota para distribuir o CO₂ na estufa.



Figura 79 – Equipamento para deteção CO (à esquerda) e de CO₂ (fixo, ao centro, e portátil, à direita).

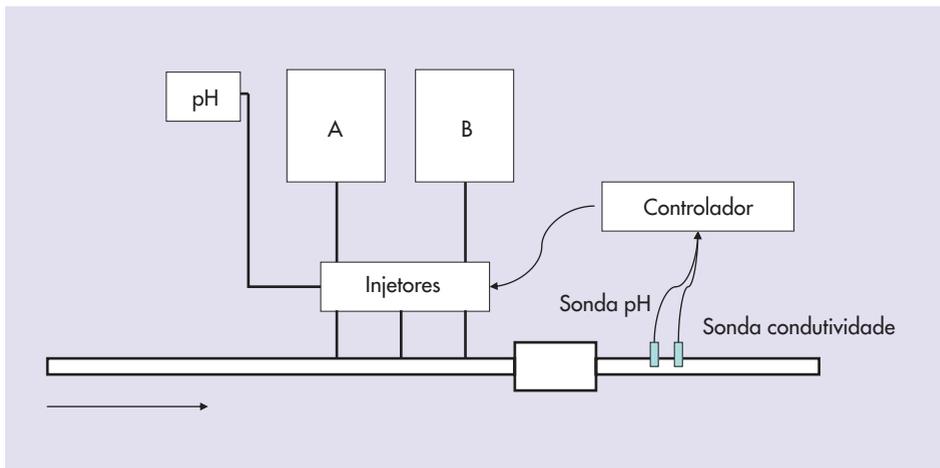


Figura 85 – Representação esquemática dos equipamentos para fertirrigação no cultivo sem solo A e B, depósitos com as soluções-mãe (soluções concentradas).



Figura 86 – Equipamentos de controlo da solução nutritiva composto por três depósitos de solução-mãe (à esquerda) e controlador da preparação da solução-mãe e da frequência e duração das regas (à direita).

14.5. Fatores de escolha de um sistema de CSS

Os sistemas de CSS podem funcionar de modo simples ou assumir um grau de automação elevado. As atuais opções técnicas, mais sofisticadas, exigem conhecimentos especializados de engenharia hortícola e atuação rigorosa para se obterem bons resultados. Na eleição do sistema de cultivo sem solo devem ponderar-se os aspetos técnicos e económicos que se resumem no Quadro 55.

Quadro 65 – Correções na frequência e na dotação da rega em função da percentagem de drenagem calculada e do estado hídrico do substrato (adaptado de Mesa e Coello, 2012).

Humidade do substrato	Percentagem de drenagem calculada	
	Baixa	Elevada
Baixa	Aumentar frequência	Aumentar frequência e (se necessário) reduzir a dotação
Normal	Aumentar a dotação	Reduzir a dotação
Elevada	Aumentar a dotação e reduzir a frequência	Reduzir a frequência e a dotação

Combinado com outro dispositivo, o volume de drenagem pode funcionar como método de controlo da rega. Por exemplo, quando a drenagem recolhida atinge um limite estabelecido, pode ser acionada a paragem da rega e aberta uma válvula de saída da drenagem entretanto recolhida antes de haver nova ordem de rega. Esta ação pode ser integrada com limitação da percentagem de drenagem ou da sua condutividade elétrica.

Seguindo qualquer dos métodos de controlo da rega, esta deve ser controlada pelo menos diariamente, calculando-se a percentagem de drenagem e medindo-se o seu pH e a CE (Figura 87). Idealmente, a drenagem deve ser controlada em intervalos importantes durante o dia, do ponto de vista do consumo de água pelas plantas, pois o valor médio diário pode mascarar períodos críticos de consumo de água durante o dia, durante os quais a rega possa ter sido insuficiente.



Figura 87 – Controlo da solução de rega e da drenagem no cultivo em lã de rocha.

À esquerda: recolha diária manual da solução, e à direita a medição automática do volume de drenagem com caudalímetro.

DETERMINAÇÃO DO AZIMUTE DAS SOMBRAS PROJETADAS

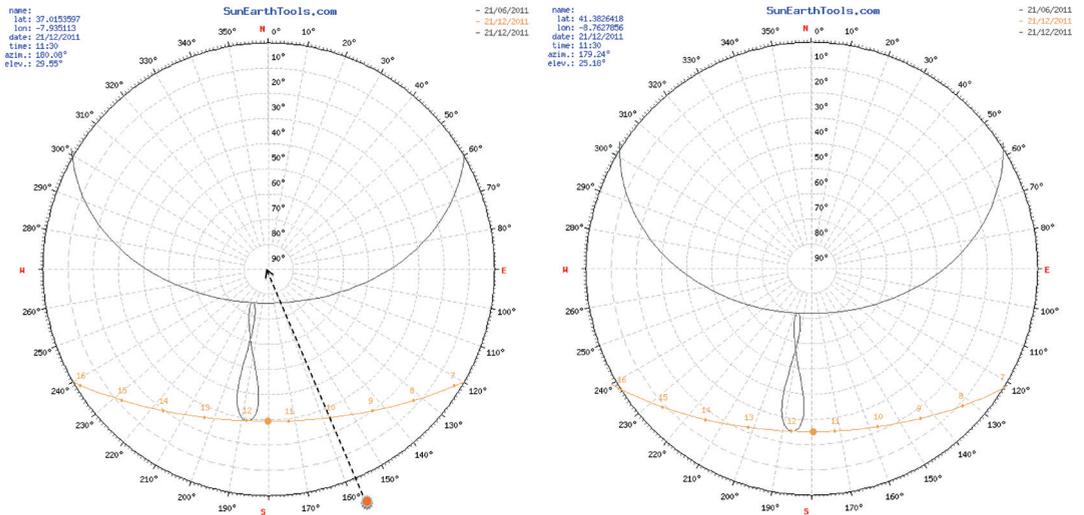


Figura A1 – Ábacos do azimute solar nos solstícios de verão (curvas superiores, a preto) e de inverno (curvas inferiores, a castanho), desde o nascimento (a este) ao ocaso (a oeste), em Faro (à esquerda) e na Póvoa de Varzim (à direita) (fonte: www.sunearthtools.com).

Como exemplo, pode-se verificar pelos ábacos que às 10 h solares no solstício de Inverno em Faro (ábaco à esquerda) o azimute dos raios solares é cerca de 150° como indica a seta a tracejado na Figura A1.

Não dispondo de acesso a ábacos, em bibliografia especializada ou na Internet, pode recorrer-se ao cálculo da altura angular do sol. Para isso determina-se primeiro a declinação

De seguida, inscreve-se na tabela a composição da água-doce, que passaremos a referir apenas por água. Suponha-se que no boletim de análise da água consta: 30 mg L⁻¹ de Ca, 130 mg L⁻¹ de bicarbonatos, pH 7,8 e 0,9 dS m⁻¹ de condutividade elétrica (CE). Começa-se por converter a quantidade de Ca na análise (mg L⁻¹) da água, para a unidade de trabalho seguida neste exemplo (meq L⁻¹). Assim:

1. Teor de cálcio (Ca²⁺) na água: 30 mg L⁻¹;
2. Massa molar do ião Ca²⁺: 40 g;
3. 1 meq L⁻¹ do ião Ca²⁺ (a valência deste ião é 2, então: 40 mg/2) = 20 mg L⁻¹;
4. Teor do Ca²⁺ na água-doce (meq L⁻¹): 30 mg L⁻¹ / 20 mg L⁻¹ = 1,5 meq L⁻¹ de cálcio;
5. Na tabela **Passo A**, insere-se o valor **1,5** na linha da concentração de cálcio.

Passo A

Passo		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	Alcalinidade	Total	Objetivo
A	Água				2,1		
	K ⁺						5
	Ca ⁺⁺				1,5	1,5	6
	Mg ⁺⁺						2
	NH ₄ ⁺						2
	H ₃ O ⁺						
	<i>Total</i>						
	<i>Objetivo</i>	12	1	2			15

Se o valor da alcalinidade não constar do boletim de análise da água, calcula-se o seu valor a partir dos teores em bicarbonatos (HCO₃⁻) e em carbonatos (CO₃²⁻).

Neste exemplo, 130 mg L⁻¹ de bicarbonatos correspondem a 2,1 meq de alcalinidade, valor calculado da seguinte forma:

1. Teor de bicarbonatos (HCO₃⁻) na água: 130 mg L⁻¹;
2. Massa molar do ião bicarbonato: 61 g (obtido a partir da massa atómica dos elementos constituintes: 1 (H) + 12 (C) + 48 (O: 16 × 3) = 61 g);
3. meq L⁻¹ do ião bicarbonato (a valência do ião bicarbonato é 1, 61 mg/1) = 61 mg L⁻¹;
4. Alcalinidade da água (bicarbonatos, meq L⁻¹): 130 mg L⁻¹/61 mg L⁻¹ = 2,1 meq L⁻¹ de bicarbonatos;
5. Na tabela **Passo A**, insere-se o valor **2,1** na linha da alcalinidade.

Inscribe-se agora na tabela a quantidade de fosfato, cujo objetivo é 1 meq L⁻¹, recorrendo, por exemplo, a fosfato monopotássio (KH₂PO₄). Este adubo irá fornecer simultaneamente 1 meq de H₂PO₄⁻ e 1 meq de K⁺, que somam na coluna e linha respetivas (**Passo F**).

Passo F

Passo			NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	Total	Objetivo
F	K ⁺			1		1	5
	Ca ⁺⁺	1,9	4,1			6	6
	Mg ⁺⁺				2	2	2
	NH ₄ ⁺		2			2	2
	H ₃ O ⁺		1,6				
	Total		7,7	1	2		
Objetivo			12	1	2		15

Em seguida, insere-se a quantidade de nitrato de potássio (KNO₃) para completar a necessidade de potássio, neste caso 4 meq (*Objetivo*: 5 meq), e irá fornecer simultaneamente 4 meq de ião nitrato (**Passo G**).

Passo G

Passo			NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	Total	Objetivo
G	K ⁺		4,0	1		5,0	5
	Ca ⁺⁺	1,5	4,5			6,0	6
	Mg ⁺⁺				2	2,0	2
	NH ₄ ⁺		2			2,0	2
	H ₃ O ⁺		1,6			(Σ= 15,0)	
	Total		12,1	1,0	2,0	(Σ= 15,1)	
Objetivo			12	1	2		Σ: 15

Domingos Almeida, Mário Reis

ENGENHARIA HORTÍCOLA

Sobre o Livro

Este livro sistematiza os conhecimentos relevantes sobre engenharia hortícola que, conjugados com os conhecimentos fitotécnicos pertinentes, são indispensáveis ao projetista, ao construtor e ao operador de sistemas de cultura protegida. O investidor não deve ignorar o valor destas competências nem subestimar os custos da ignorância e do amadorismo nesta área. O texto resulta da experiência técnica e docente dos autores e traz para a literatura técnica em português um tema atual necessário para o acompanhamento da sofisticação tecnológica e intensidade de investimentos requeridos na engenharia hortícola.

A engenharia hortícola recorre a diversas disciplinas de engenharia (que se ocupam de materiais, estruturas, energia, instrumentação e controlo), às ciências das plantas e a conhecimentos da fitotecnia hortícola para conceber, desenvolver, instalar e operar sistemas de cultivo que incrementem o valor das produções hortícolas. As aplicações da engenharia hortícola assumem a sua maior complexidade nos sistemas de horticultura herbácea alimentar e ornamental de maior valor acrescentado.

O livro contextualiza a cultura protegida e os abrigos hortícolas, descreve a tecnologia e a utilização de quebra-ventos, cobertura do solo, cobertura direta, abrigos baixos e abrigos altos. Explica depois os métodos de condicionamento dos diferentes elementos do clima nos abrigos – aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação e fertilização carbónica – e, finalmente, os sistemas de cultivo sem solo.

Sobre os autores

Domingos Almeida é engenheiro agrónomo e professor no Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa. Doutorado em *Horticultural Sciences* pela Universidade da Florida nos Estados Unidos, é autor do Manual de Culturas Hortícolas e do Manual de Floricultura.

Mário Reis é engenheiro agrónomo e professor na Universidade do Algarve. Doutorado em Ciências Agrárias, investiga e ensina a horticultura protegida e os sistemas de cultura sem solo há mais de 25 anos em estreita colaboração com empresas e entidades públicas.

Com o apoio

AGROTEC
revista técnico-científica agrícola



Também disponível em formato papel



ISBN E-Book

978-989-723-261-9

www.agrobook.pt

Agrobook

