INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA

AS GEADAS: o que são e como se combatem

Apontamentos para a cadeira de Agrometeorologia

JOSÉ PAULO MOURÃO DE MELO E ABREU

(Professor Associado Agregado do ISA)

LISBOA

2015

Índice

I Introdução 1

II Conceitos, classificação e condições de ocorrência das geadas 3

II.1 Definições 4

II.2 Classificação das geadas quanto à origem. Caracterização dos diferentes tipos de geada. 5

II.2.1 As geadas de radiação (sentido restrito) 5

II.2.2 Geadas de advecção 6

II.2.3 Geadas de advecção−radiação 7

II.2.4 Geadas de evaporação 8

II.3 Situações sinópticas que provocam a ocorrência de geadas 10

II. 4 Caracterização do processo de arrefecimento nocturno 13

II.4.1 Arrefecimento nocturno 14

II.4.1.1 Diferenças entre os processos de arrefecimento que causam geadas brancas e negras 17

II.4.2 Inversão térmica 19

II.5 Relação entre a topografia e a frequência e severidade das geadas 21

III Danos causados pelas geadas nos tecidos e órgãos vegetais 24

III.1 Danos mais frequentes que afectam as plantas 24

III.2 Tipos de congelação nas plantas e suas consequências 28

III.2.1 Congelação extracelular 28

III.2.2 Congelação intracelular 31

III.3 Temperaturas críticas 31

IV Classificação dos métodos de luta contra as geadas 33

V Métodos indirectos de luta contra as geadas 35

V.1 Selecção e melhoramento 32

V.2 Selecção do local de cultura 35

V.3 Utilização da espécie/variedade adequada ao local escolhido e escolha apropriada da época de desenvolvimento 38

V.4 Modificação da paisagem com o fim de actuar sobre o microclima. 38

V.5 Sistemas de condução e podas a dois tempos. 41

V.6 Actuações sobre o solo, supressão de infestantes e "mulches". 41

VI Métodos directos de luta contra as geadas 44

VI.1 Utilização de coberturas 44

VI.2 Utilização de nevoeiros artificiais (e fumos). 45
VI.3 Aquecimento directo do ar 46
VI.4 Mistura do ar com ventiladores 46
VI.4.1 Fundamento do método 46
VI.4.2 Constituição e funcionamento dos modelos de ventilador mais difundidos 47
VI.4.3 Considerações sobre a aplicabilidade do método 49
VI.5 Rega por aspersão 50
VI.5.1 Fundamentos do método 50
VI.5.1.1 Atraso da floração através do abaixamento de temperatura resultante da evaporação da água de rega 50
VI.5.1.2 Rega por aspersão por cima das copas e plantas 51
VI.5.2 Equipamento utilizado e recomendações de operação 51
VI.5.3 Vantagens e inconvenientes da rega por aspersão por cima das copas e plantas na luta contra as geadas 55
BIBLIOGRAFIA 57

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

As plantas cultivadas em Portugal são, de um modo geral, mais sensíveis e as dessincronizações entre o ciclo vegetativo e a época livre de geadas são mais frequentes do que na maioria dos países europeus. Por isso, embora o nosso clima seja relativamente ameno, existem prejuízos importantes em muitas espécies cultivadas ao ar livre, aquando da ocorrência de geadas. A vinha, os citrinos, pomóideas, prunóideas, hortícolas e cereais são, provavelmente, as culturas mais atingidas, mas o castanheiro, pastagens, forragens e outras culturas são muitas vezes afectados.

Por outro lado, na horticultura protegida, procura-se antecipar cada vez mais as colheitas, para beneficiar de melhores preços de mercado, sujeitando as plantas a riscos crescentes de geada. Quando a protecção não é adequada, as temperaturas críticas podem ser atingidas e prejuízos importantes ocorrem ciclicamente. O montante dos prejuízos tem tendência a aumentar, também, com o aumento previsível das áreas protegidas (principalmente no Algarve e Alentejo Litoral) e introdução de culturas sensíveis, como resposta à expansão do mercado resultante da entrada de Portugal na C.E.E.

O Sistema Integrado de Protecção contra as Aleatoriedades Climáticas (Decreto-Lei nº. 326/95 de 5 de Dezembro) permite ao agricultor segurar as suas culturas em condições muito mais vantajosas, relativamente ao seguro de colheitas anterior. Os prémios são muito mais baixos e, através do fundo de calamidades, existe a possibilidade de se obterem indemnizações por riscos não mencionados no seguro de colheitas. É, portanto, recomendável efectuar um seguro de colheitas que

cubra o risco de geada sempre que este risco seja grande. No entanto, deve-se paralelamente fazer tudo para evitar as geadas ou minorar os seus efeitos, visto que existe a possibilidade de por negociação se obterem prémios mais reduzidos, por um lado, de estabilizar as produções e de evitar a perda dos 20 % que corresponde à parte dos prejuízos sofridos que não é indemnizável.

Nestes apontamentos faz-se uma resenha breve dos conceitos fundamentais e dos métodos de prevenção e luta contra as geadas. Aqueles que tenham maior interesse em amiudar algum aspecto destes temas, devem consultar obras de maior profundidade do mesmo autor: Abreu (1985) e Snyder & De Melo-Abreu (2005). A parte económica é desenvolvida em Snyder, De Melo-Abreu & Matulich (2005).

CAPÍTULO II

CONCEITOS, CLASSIFICAÇÃO E CONDIÇÕES DE OCORRÊNCIA.

A ocorrência de temperaturas do ar de 0 ºC ou inferiores, a determinado nível, pode levar à formação de cristais de gelo sobre os objectos que se encontram a esse nível. Para que isto aconteça, o ar que envolve imediatamente os objectos tem que ter atingido o estado de saturação a uma temperatura superior à temperatura mínima atingida, iniciando-se a condensação (ou sublimação) do vapor de água abaixo daquela temperatura. Pode supor-se, em primeira aproximação, que o ar que envolve imediatamente os objectos está à mesma temperatura destes. Deve, contudo, ter-se presente, por outro lado, que a temperatura do ar não reflecte exactamente a temperatura superficial dos objectos – em condições de grande radiação efectiva e de pequena agitação do ar, a sua temperatura superficial pode ser inferior em alguns graus. Os cristais que se formam assumem forma acicular, escamiforme, peniforme, etc. Os cristais de gelo desaparecem, geralmente, após o nascer do sol. Por vezes, quando as plantas são sensíveis e as temperaturas foram suficientemente negativas, as plantas evidenciam danos. Então, os tecidos enegrecem, secando depois; a vegetação parece queimada.

Note-se, contudo, que muitas vezes as plantas apresentam danos, em tudo semelhantes aos acima descritos, após a ocorrência de temperaturas muito baixas que não foram acompanhadas da formação de gelo sobre as plantas.

II.1 Definições

Vejamos algumas definições de geadas que adoptamos:

a) ***Geada*** – consiste na ocorrência de uma temperatura do ar de 0 ºC ou inferior, medida à altura de 1,5 metros, em abrigo meteorológico do tipo Stevenson.

b) ***Geada (t ºC, h m) seguida das condições de medição da temperatura do ar,*** sempre que esta não seja observada em abrigo meteorológico do tipo Stevenson. "*t* ºC" significa que o limiar considerado foi de *t* ºC <0 ºC, e que a temperatura do ar foi igual ou inferior a esse limiar, quando medida à altura de *h* metros.

c) Exemplo: "geada (-2 ºC, 0,05 m) observada em termómetro de mínima na relva", significa que a temperatura do ar desceu abaixo de -2 ºC (ou igualou este valor), quando foi medida em termómetro de mínima na relva, colocado à altura de 0,05 metros.

d) ***Geada branca*** – Termo de origem rural, consagrado pelo uso, e que se refere à geada que é acompanhada pela formação de cristais de gelo produzidos pela congelação do orvalho, ou pela sublimação do vapor de água, sobre as superfícies dos corpos arrefecidos.

e) ***Geada negra*** – Ocorre quando a ponto de orvalho é mais baixo do que a temperatura negativa nefasta atingida pelos órgãos vegetais. Deve-se esta designação ao aspecto necrótico apresentado pelos órgãos vegetais: parecem "queimados". Note-se que a necrose, sintoma de morte dos tecidos vegetais, pode ocorrer também após a ocorrência duma geada branca que causou danos. Na verdade diz-se que houve "geada negra" quando vemos os tecidos danificados apresentando-se enegrecidos; a "geada branca" não é ainda um sintoma de dano, dado que se pode não ter atingido o limite de resistência das plantas, não havendo, então, morte dos tecidos. Uma é

um facto consumado; outra é apenas sinal de que podem aparecer danos.

f) ***Solo gelado*** – Solo em que a temperatura é igual ou inferior a 0 ºC, contendo gelo e vapor de água, mas não água líquida.

II.2 Classificação das geadas quanto à origem. Caracterização dos diferentes tipos de geada.

Quanto à origem, podem-se considerar três tipos e dois sub-tipos distintos de geadas:

- Radiação $\begin{cases} \text{Radiação (sentido restrito)} \\ \text{Advecção - radiação} \end{cases}$
- Advecção
- Evaporação

II.2.1 As geadas de radiação (sentido restrito)

São as que resultam, principalmente, de uma *radiação terrestre efectiva*[1] grande e são acompanhadas por céu limpo, ponto de orvalho baixo, fraca turbulência atmosférica – calma ou vento fraco – e outros factores que favorecem o agravamento do balanço energético negativo da superfície terrestre (ver II.4.1).

São geralmente de ocorrência localizada. Podendo as temperaturas durante o dia atingir até 15º C, mas o arrefecimento nocturno conduz ao aparecimento de temperaturas negativas. Afectam com maior severidade

[1] Chama-se *radiação terrestre efectiva* ao balanço da radiação obtido por subtracção entre o fluxo de grande c. d. o. ascendente e o descendente.

as culturas em depressões do terreno e as terras próximas do fundo do vale.

A Fig. II.1 apresenta uma situação sinóptica que conduziu à ocorrência de uma geada de radiação (sentido restrito).

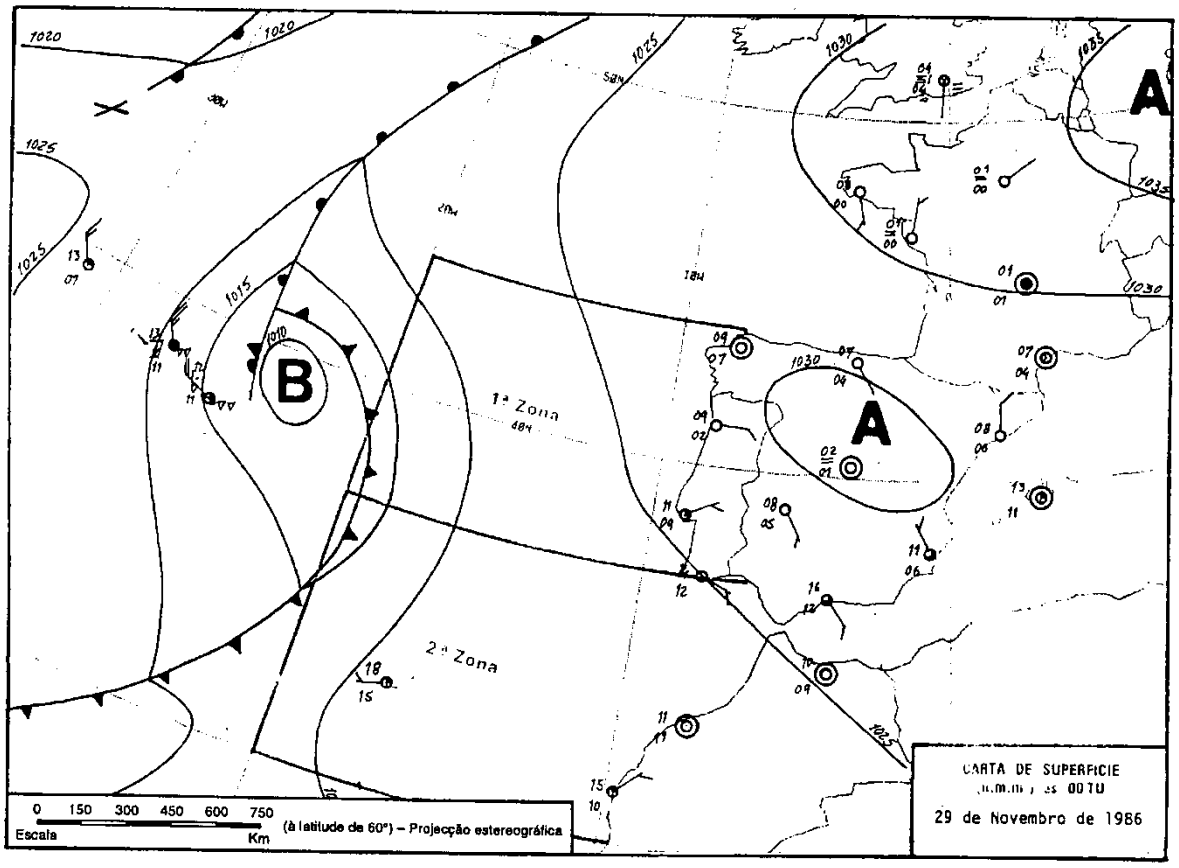

Fig. II.1 Situação sinóptica que conduziu a geadas de radiação (sentido restrito) em muitas zonas do País no dia 29 de Novembro de 1986. Figura extraída do Boletim Meteorológico Diário do INMG.

II.2.2 Geadas de advecção

Resultam da intrusão de massas de ao frio (árcticas ou polares), pouco modificadas e de temperatura inferior a 0 ºC.

São acompanhadas de vento com velocidade superior a uns 3 m /s, quando ocorre a temperatura mínima, sendo a temperatura do ponto de orvalho bastante baixa. Alguns autores também lhe chamam "geadas de vento" (do inglês: *wind frosts*), "vagas de ar gélido"(do inglês: *freezes*, *hard freezes* ou *advective freezes*). Afectam mormente as terras de maior

cota e menos abrigadas, durante períodos que podem ser longos - alguns dias.

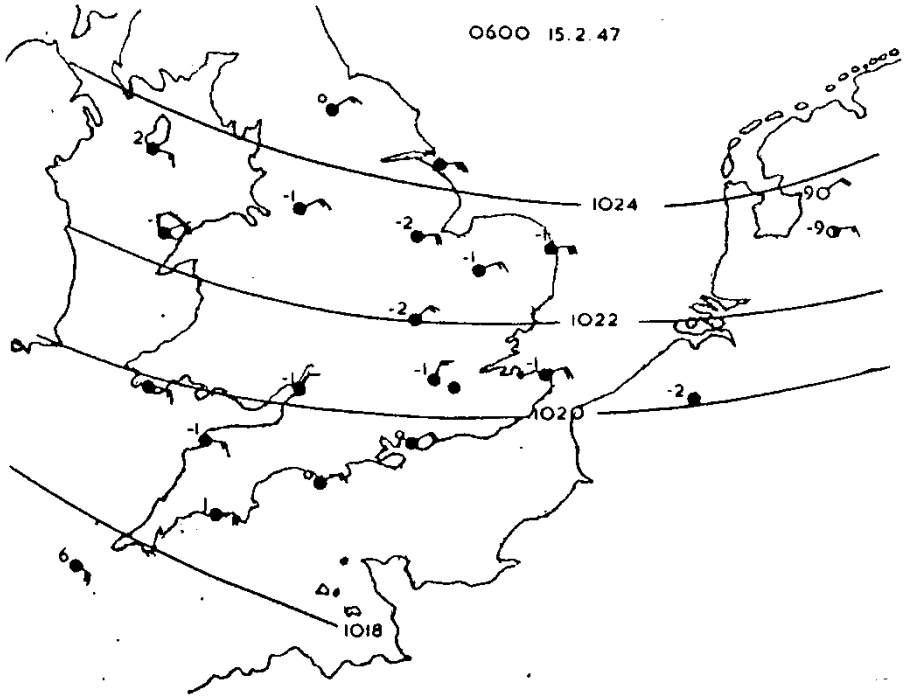

Fig. II.2 Geada de advecção (Hamer, 1975).

A carta da figura II.2 mostra as condições típicas que produzem geadas de vento, no Reino Unido. Note-se o sistema de altas pressões, o ar gélido de leste, transportado na circulação do anticiclone, a nebulosidade elevada e os ventos moderados. Note-se o efeito moderador do mar: a travessia do Mar do Norte provocou um aumento da temperatura de -9º C para -1º C.

No Nordeste Transmontano ocorrem também geadas de advecção, sobretudo no Inverno.

II.2.3 Geadas de advecção–radiação

Têm características de ambas as geadas supracitadas e estão associadas à instalação ou passagem lenta, sobre uma região, de uma

massa de ar frio e seco. A temperatura do ar durante o dia é superior a 0 ºC, mas as condições que favorecem uma radiação efectiva elevada e o desenvolvimento de uma *inversão térmica*[2] levam ao aparecimento de geada. São as geadas mais frequentes em Portugal na Primavera e Outono quando as temperaturas médias diárias são já relativamente altas. Afectam mais, em regra, as culturas existentes em lugares abrigados e as cotas menores relativamente ao fundo dos vales. À palavra composta *advecção–radiação* devemos atribuir, também, a sugestão de sucessão: advecção⇒radiação.

A Fig. II.3 apresenta uma geada de advecção–radiação. Na figura II.3 A- referente ao dia 10 de Março de 1984 (às 12 TU) - vemos que um anticiclone centrado a sudoeste das Ilhas Britânicas transporta na sua circulação ar polar, que adquire características continentais, após passagem sobre o Continente Europeu. A figura II.3 B - dia 11 de Março (00 TU) - mostra a situação sinóptica na noite de geada. Repare-se na ocorrência de céu limpo e de vento fraco do quadrante leste nas estações representadas do Território do Continente.

II.2.4 Geadas de evaporação

Ocorrem quando após a queda de aguaceiros de gotas frias, o vento intenso, conjugado com uma humidade do ar baixa, provoca uma secagem rápida da vegetação, levando-a a alcançar temperaturas negativas, mesmo quando a temperatura do ar está bem acima do ponto de congelação da água. São comparativamente menos importantes, por serem menos frequentes, pelo que consideramos não haver interesse em amiudar a sua natureza, ocorrência e

[2] Chama-se *inversão térmica* ao perfil vertical de temperatura do ar que se verifica quando a superfície fria arrefece o ar suprajacente, resultando que ao se subir na atmosfera junto ao solo a temperatura aumenta. Note-se que ao invés, durante o dia, quando a superfície está mais quente do que o ar, à medida que se sobe na atmosfera junto ao solo a temperatura diminui.

consequências.

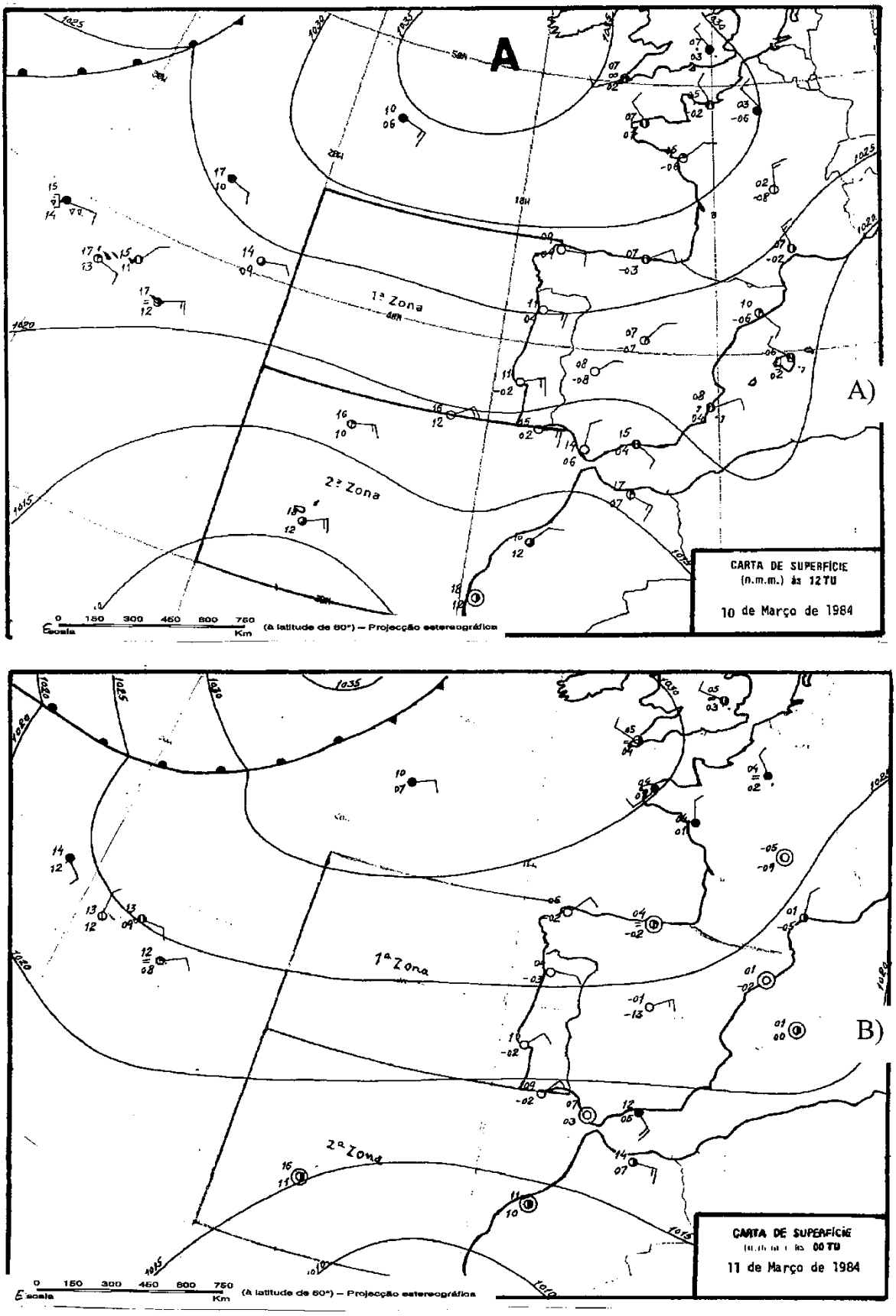

Fig. II.3

Nestes apontamentos, utilizaremos a expressão "geada de radiação" ou "geada de radiação (sentido lato)" para designarmos os dois sub-tipos: "geadas de radiação (sentido restrito)" e de "advecção-radiação".

Em Portugal as geadas são quase todas de radiação (sentido lato), embora ocorram geadas de advecção no Interior Norte e Nordeste de Portugal.

II.3 Situações sinópticas que provocam a ocorrência de geadas

Em Portugal as situações meteorológicas responsáveis pela ocorrência de geadas, mês a mês, são as seguintes (Bettencourt, 1980):

"Setembro - São principalmente duas as situações sinópticas responsáveis pela ocorrência de geadas: uma com um anticiclone centrado a norte ou nordeste dos Açores, com o eixo principal orientado na direcção norte-sul ou nordeste-sudoeste, que transporta ar polar marítimo; outra com um anticiclone sobre o Golfo da Gasconha, que transporta ar polar marítimo modificado. Na primeira situação a advecção do ar polar marítimo faz-se com grande trajecto ao longo dos meridianos.

Outubro - Há a considerar principalmente 3 situações.

> 1ª - Anticiclone centrado a sul ou sudoeste das Ilhas Britânicas, que transporta uma massa de ar polar continental, tendo posteriormente trajecto marítimo.

2ª - Anticiclone centrado no Mar do Norte ou na Península Escandinava, que origina a advecção duma massa de ar polar continental.

3ª - Anticiclone centrado a oeste do Cabo Finisterra, transportando uma massa de ar polar marítimo de pequeno trajecto. Nesta situação o papel da radiação nocturna deverá ser ainda maior.

Novembro - Há principalmente duas situações: uma constituída por um anticiclone centrado a noroeste das Ilhas Britânicas, que provoca a advecção duma massa de ar polar marítimo, e outra por um anticiclone centrado a nordeste dos Açores e que se estende pela Europa Central, provocando a advecção duma massa de ar polar continental.
Dezembro - São também duas as principais situações sinópticas responsáveis pela ocorrência de geada neste mês: um anticiclone com um centro localizado a sudoeste das Ilhas Britânicas e outro centrado a sul dos Açores, que provoca a advecção de uma massa de ar polar continental; o anticiclone dos Açores centrado próximo do Grupo Ocidental e uma depressão centrada no Mediterrâneo Ocidental que origina a advecção de uma massa de ar polar continental que no final atinge o Golfo da Gasconha.

Janeiro - Verifica-se também que são duas as principais situações sinópticas: um anticiclone centrado a sudoeste das Ilhas Britânicas, provocando a advecção de uma massa de ar polar continental, tendo na parte final um certo percurso marítimo, e o chamado anticiclone da Sibéria, que transporta uma massa de ar polar continental, mas que pode atingir o Mediterrâneo.

Fevereiro - Anticiclone centrado a noroeste do Cabo Finisterra, que origina a advecção de uma massa de ar polar continental modificado, e anticiclone centrado no Mar do Norte ou na Península Escandinava, provocando a advecção de uma massa de ar polar continental.
Há a considerar, não só para o mês de Fevereiro, mas também para Dezembro e Janeiro, a situação representada por um anticiclone centrado na Península Ibérica. Nesta situação meteorológica a grande radiação nocturna e a principal responsável pela ocorrência de geadas.

Março - Há a ter em conta especialmente duas situações: o anticiclone da Sibéria centrado na Península Escandinava ou na Alemanha, que provoca a advecção de uma massa de ar polar continental, e um anticiclone centrado entre a Islândia e os Açores, originando a advecção de uma massa de ar polar marítimo. Com a primeira situação (massa de ar polar continental) pode ocorrer geada em todo o Território, e com a segunda há um pormenor curioso: pode dar lugar à formação de geada apenas no Algarve. A explicação poderá ser a seguinte: nas outras províncias o céu esteve muito nublado, chegando mesmo a chover em alguns locais.

Abril - Um anticiclone centrado nos Açores ou a nordeste do Arquipélago, com uma crista penetrando no Norte da Europa, de maneira que provoca a advecção de uma massa de ar polar continental.

Maio - Anticiclone centrado a noroeste do Cabo Finisterra, que transporta uma massa de ar polar marítimo indirecto. Neste caso a radiação nocturna tem um papel muito importante.

Junho - Anticiclone centrado nas proximidades do Mar do Norte, transportando na sua circulação uma massa de ar polar continental.

Julho - Uma massa de ar polar marítimo modificado é a responsável, juntamente com a radiação nocturna, pela ocorrência de geadas neste mês. A massa de ar pode ser transportada na circulação de um anticiclone centrado a norte da Madeira ou de uma depressão complexa com um centro na Península Ibérica.

Agosto - Anticiclone centrado a nordeste dos Açores, que provoca a advecção de uma massa de ar polar marítimo modificado.

Feito este estudo, mês a mês, das situações sinópticas que originam a ocorrência de geadas, é de notar que as respectivas classificações das massas de ar foram feitas partindo apenas da situação ao nível do mar e portanto com uma margem de erro ainda maior ".

II. 4 Caracterização do processo de arrefecimento nocturno

As geadas de radiação (sentido lato) ocorrem em condições de forte arrefecimento nocturno da camada de ar junto ao solo. O ar arrefece em contacto com a superfície terrestre que fica muito fria devido ao facto de não haver compensação das perdas radiantes por parte dos fluxos de calor sensível do ar e do solo em direcção à superfície e das libertações de calor latente nessa superfície.

II.4.1 Arrefecimento nocturno

Chama-se "radiação líquida" ou "balanço de radiação" (R_n) ao saldo de todos os fluxos radiantes - c.d.o. curtos e longos. É dada por

$$R_n = S_n + L_n = (1-\rho)S_g + L\downarrow - L\uparrow \quad , \qquad \text{(II.1)}$$

onde S_n e L_n são os balanços da radiação de pequenos e grandes c. d. o., respectivamente; S_g é a *radiação solar global*; e $L\downarrow$ e $L\uparrow$ são a *radiação da atmosfera* e a *radiação terrestre*. A radiação líquida é, portanto, a diferença entre os fluxos radiantes descendentes e ascendentes, e é a medida da totalidade da energia disponível para os outros fluxos não-radiantes. Assim,

$$R_n = C + \lambda E + G \quad , \qquad \text{(II.2)}$$

em que C e λE são as perdas de calor sensível e latente, respectivamente, e G são as perdas de calor por condução para o solo. A Eq. II.2 representa, deste modo, o *balanço energético*, com as suas componentes radiantes e não-radiantes.

Durante o dia $R_n > 0$ (ver figura II.4 A) havendo transferência de calor para o ar por convecção (e condução), para o solo por condução e havendo, normalmente, utilização de energia calorífica na evaporação. Nestas condições, o balanço da radiação e as componentes não-radiantes são positivas.

À noite – desde pouco antes do ocaso do Sol até pouco depois do alvorecer – (ver Fig. II.4 B) a temperatura superficial do solo diminui se o fluxo de calor sensível do solo (G), o fluxo de calor sensível do ar (C) e a condensação do vapor de água (λE) não contrabalançarem a radiação líquida. Note-se que esta é, então, igual ao balanço da radiação dos grandes c.d.o. (L_n). À diferença entre a radiação terrestre e a radiação da atmosfera chama-se "radiação terrestre efectiva" e é igual a $-L_n = L\uparrow - L\downarrow$.

Na maioria das noites, a radiação terrestre efectiva não é compensada pelas componentes não-radiantes, pelo que se dá o arrefecimento nocturno da superfície do solo e, por efeito desta, do ar

junto à superfície. A taxa de arrefecimento nocturno aumenta com a diminuição (em valor absoluto) das seguintes componentes:

1) **Radiação da atmosfera** ($L\downarrow$), que depende, fundamentalmente, da nebulosidade e do tipo de nuvens, da temperatura da baixa atmosfera e do seu conteúdo em vapor. Nos dias de céu limpo, mais propícios à ocorrência de forte arrefecimento nocturno, a radiação da atmosfera é mais baixa. Com efeito, a energia, emitida pela superfície terrestre é absorvida, em parte, pelos constituintes permanentes do ar, dióxido de carbono, pelo vapor de água e pelas gotículas das nuvens, sendo parcialmente re-emitida para a superfície. Contudo, existe uma banda de emissão em que a atmosfera, com seus gases – incluindo o vapor de água –, é quase absolutamente transparente. A esta banda, aproximadamente entre 8 e 12 μm, dá-se o nome de "janela atmosférica". Tem grande importância no destino da radiação terrestre, já que esta tem um c.d.o. correspondente à emitância espectral máxima (λ_{max}) situado na janela atmosférica. Para que parte importante da radiação terrestre não se "perca" através da janela atmosférica é necessário que existam na atmosfera gotículas de água e/ou outros, suspensóides com um diâmetro próximo de 10 μm, e em quantidade suficiente. As nuvens satisfazem admiravelmente esta condição e são responsáveis, quando presentes, pela intercepção de parte importante da radiação terrestre e re-emissão para a superfície.

2) **Fluxo de calor sensível,** *C*, do ar para a superfície, que é menor quando as temperaturas do ar que contacta com o solo são baixas e o estado de agitação do ar (i. e., velocidade do vento) é baixo: – a

transferência de calor por convecção é muito mais eficiente do que por condução.

3) **Fluxo de calor latente**, λE, (i. e., condensação e congelação na superfície, ou sublimação), que é menor (ou mesmo inexistente) quando o ar está mais seco e o ar junto ao solo não é rapidamente substituído por outro após condensar (ou sublimar) o vapor de água sobre a superfície.

4) **Fluxo de calor do solo para a superfície**, *G*, vindo de camadas mais profundas do solo, o que depende do tipo, grau de compactação, e teores de humidade e de matéria orgânica do solo.

Note-se que a radiação terrestre ($L\uparrow$) depende apenas da própria temperatura da superfície do solo e da sua emissividade, a qual varia pouco com o tipo e estado do solo.

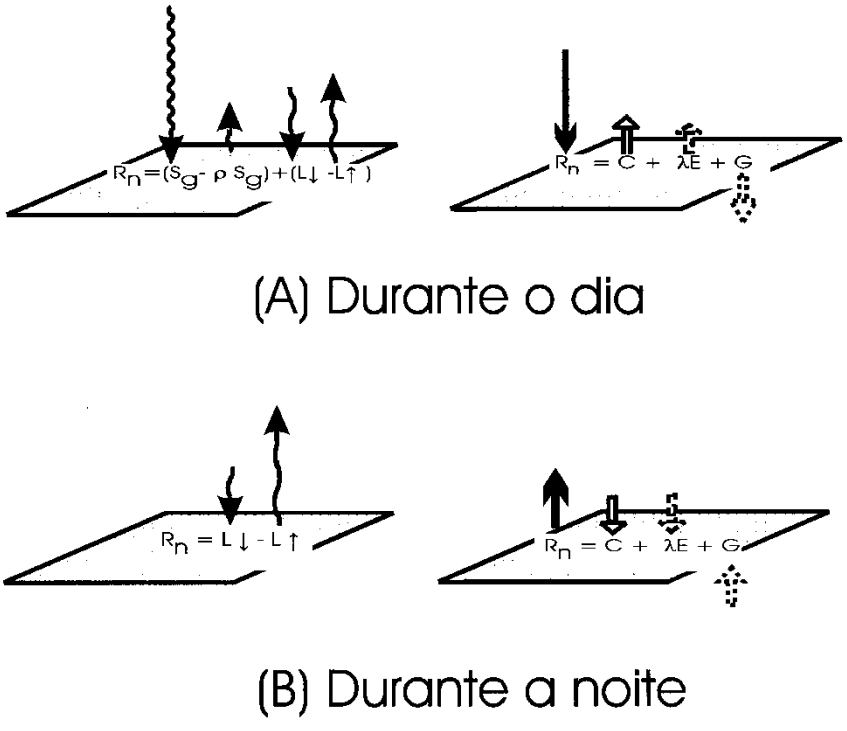

Fig. II.4 Representação esquemática do balanço da radiação e da energia: **A** Durante o dia; **B** Durante a noite.

II.4.1.1 Diferenças entre os processos de arrefecimento que causam geadas brancas e negras

A geada negra é, normalmente, mais prejudicial para as plantas visto que a temperatura mínima é, usualmente, mais baixa. Isto deve-se ao facto dos processos de arrefecimento que originam geadas brancas e negras serem diferentes (Fig. II.5).

Na **geada branca** formam-se cristais de gelo sobre o solo e plantas resultantes da congelação do orvalho ou, directamente, por sublimação do vapor de água. Dado que cada grama de água que condensa liberta cerca de 2500 J, e que cada grama que congela liberta 335 J, após ter sido atingido o ponto de orvalho (Td) há um nítido amortecimento relativo da taxa de arrefecimento (ver Fig.II.5 A). Na **geada negra** o arrefecimento é mais pronunciado porque, por definição, não se atinge o ponto de orvalho, o que implica que não há libertação dos calores latentes de vaporização e de fusão (ver Fig. II.5 B).

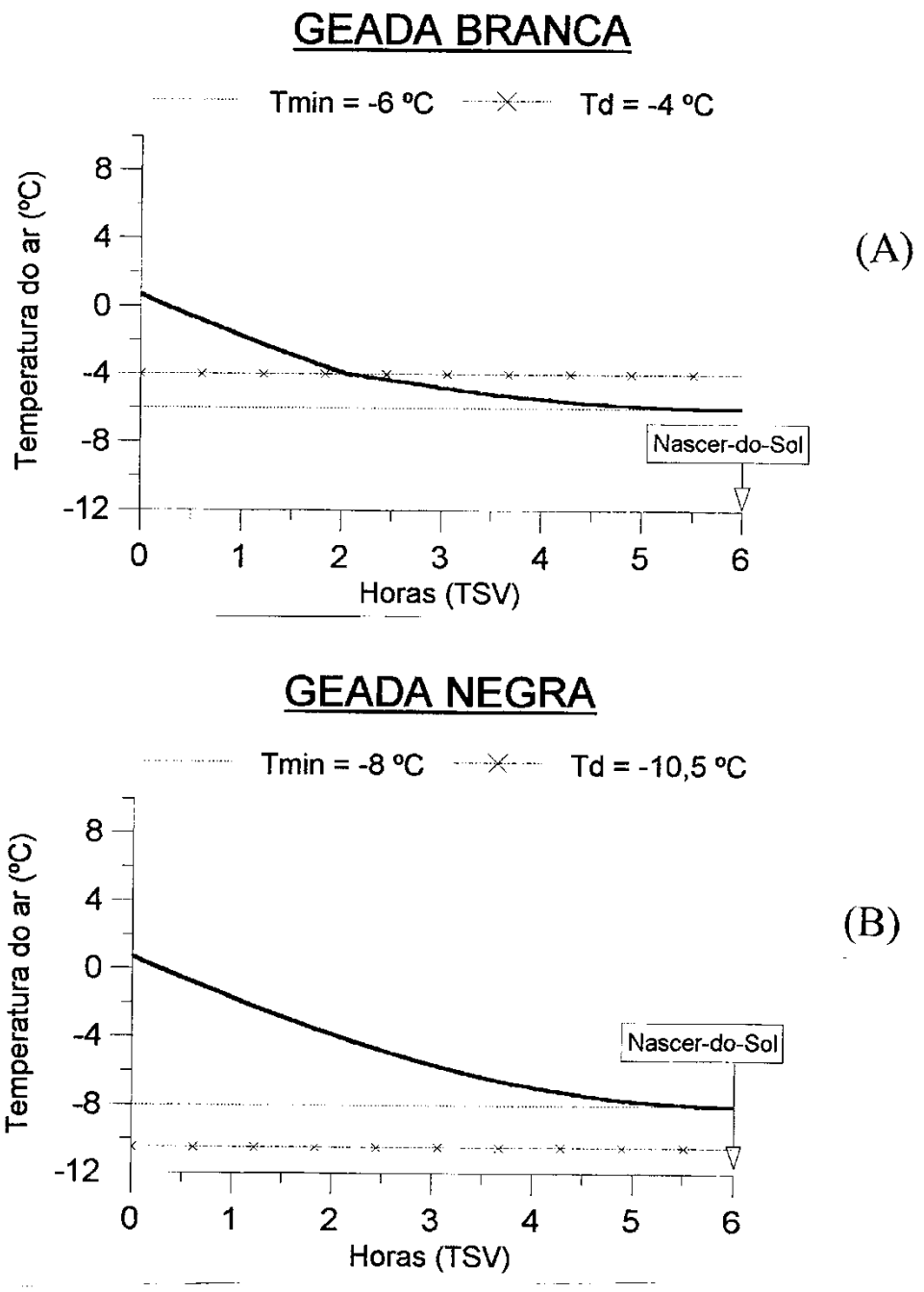

Fig. II.5 Arrefecimento nocturno ideal do ar junto à superfície numa noite de ocorrência de geada branca (A) e numa em que ocorre geada negra (B). Tmin é a temperatura mínima atingida, e Td é a temperatura do ponto de orvalho. Note-se o abrandamento da taxa de arrefecimento em A devido libertação de calor latente de vaporização e fusão, após se ter atingido o ponto de saturação do ar. Em B, por não ter sido atingido o ponto de saturação, não se assistiu a essa redução da taxa de arrefecimento.

II.4.2 Inversão térmica

No processo de arrefecimento da superfície, o ar em contacto com esta cede-lhe calor, arrefecendo. O ar arrefecido é mais denso e tem tendência a acumular-se junto à superfície, arrefecendo cada vez mais e

desenvolvendo-se uma estratificação estável. Se a turbulência atmosférica for pequena - calma ou vento fraco - o ar junto à superfície tem, então, uma temperatura mais baixa do que o que lhe fica acima. Ora, isto é precisamente o oposto do que normalmente acontece com o gradiente da temperatura durante o dia, daí o nome de "inversão térmica" (Fig. II.6). Note-se, contudo, que no caso apresentado na figura os perfis de temperatura, num pomar de Trás-os-Montes, apresentam mínimos de temperatura acima do nível do solo - a cerca de 2 metros. Isto deve-se ao facto de haver dois escoadouros do calor do ar, o solo e a folhagem das árvores (principalmente a mais alta). À altura da folhagem arrefecida por radiação, o ar arrefece em contacto com ela, verificando-se, muitas vezes, a essa altura o mínimo de temperatura, tal como aconteceu no caso presente.

Chama-se "intensidade de uma inversão" à diferença entre a temperatura a determinada altura (h_2) e a temperatura a outra altura (h_1), mais próxima do solo. Normalmente considera-se para termos de comparação h_2 = 15 m e h_1 = 1,5 m.

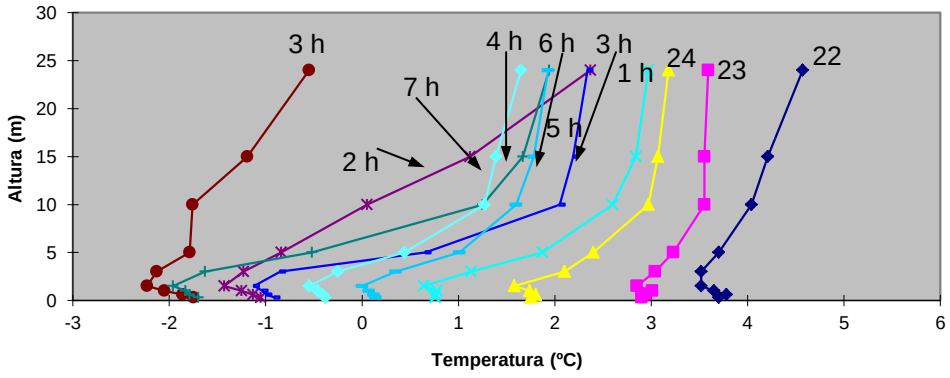

Fig. II.6 Desenvolvimento de uma inversão térmica na camada limite de um pomar de macieiras em Trás-os-Montes, na noite que ocorreu uma geada de advecção-radiação (12/13 Abril de 1998).

Uma inversão forte (ou "tecto baixo") é uma condição que favorece o desempenho capaz de muitos sistemas de protecção activa contra as

geadas. As condições que favorecem o fortalecimento da inversão são: (i) temperatura durante o dia relativamente alta; e (ii) todas as condições que favorecem o arrefecimento superficial, incluindo uma turbulência baixa do ar junto ao solo.

Do exposto se conclui que, sem conhecer a intensidade da inversão, não se pode conhecer a temperatura a determinada altura acima do solo, medindo-a noutra altura diferente da primeira.

Sendo assim há que ter cuidado quando se interpretam os dados da temperatura mínima do ar - em abrigo meteorológico, à altura de 1,5 m -, porque podemos estar - e estamos normalmente - a subestimar o stress térmico a que os órgãos vegetais mais próximos da superfície estão submetidos. Por outro lado, a temperatura daqueles órgãos, nas condições prevalecentes na camada de ar junto ao solo, aquando das geadas de radiação, - costuma ser mais baixa 1 ou 2ºC do que a temperatura do ar à mesma altura (admitindo, como quase sempre acontece, que a turbulência atmosférica nesta zona é fraca).

A existência de uma inversão, que pode ir até aos 15-240 m, é uma das características fundamentais das geadas de radiação (sentido lato) e a sua dissipação conduz a um aumento da temperatura do ar junto ao solo - por mistura do ar mais frio com o superior mais quente -, que não permite, normalmente, a continuação da geada.

II.5 Relação entre a topografia e a frequência e severidade das geadas

Aquando da ocorrência de uma geada de radiação nem sempre o ar frio que envolve as plantas foi arrefecido no local em que se encontra. Em terrenos inclinados o ar frio escorre como um líquido, por acção da gravidade, acumulando-se nas partes mais baixas. O fluxo de ar frio

resultante - "fluxo catabático" - é função da radiação líquida nocturna, rugosidade e declive da superfície, e da existência ou não de obstáculos. Os ventos catabáticos locais associados a esses fenómenos, têm velocidades da ordem dos 1-2 m s^{-1}.

As temperaturas mais baixas verificam-se, deste modo, nas baixas - "buracos de geada" (fr.; "trous à gelée": ing.: "frost hollows"). Os terrenos que, dada a natureza da sua superfície e topografia particular, têm uma boa drenagem do ar frio a que dão origem, são privilegiados no que toca à frequência e severidade das geadas de radiação.

As isopletas de temperatura mínima acompanham sensivelmente as curvas de nível, verificando-se um incremento praticamente linear da temperatura com *elevação relativa*[3]. Dois estudos distintos chegaram a valores muito semelhantes de aumentos da temperatura mínima com a elevação relativa. Assim, Harrison (1971) e Hocevar & Martsof (1971) obtiveram aumentos médios de 6,4 ºC e 6,2 ºC por cada 100 m de aumento de elevação relativa, em noites de grande radiação efectiva. Note-se que há uma amplificação desta tendência quando a escala do relevo é mais pequena. Na Fig. II.7 esquematizam-se os resultados de um estudo realizado na região de Champanhe, em França (Bouchet, 1965).

[3] Entenda-se por *elevação relativa* a diferença de cotas entre determinado ponto e o fundo da bacia, para onde o ar frio originado nesse ponto escorre.

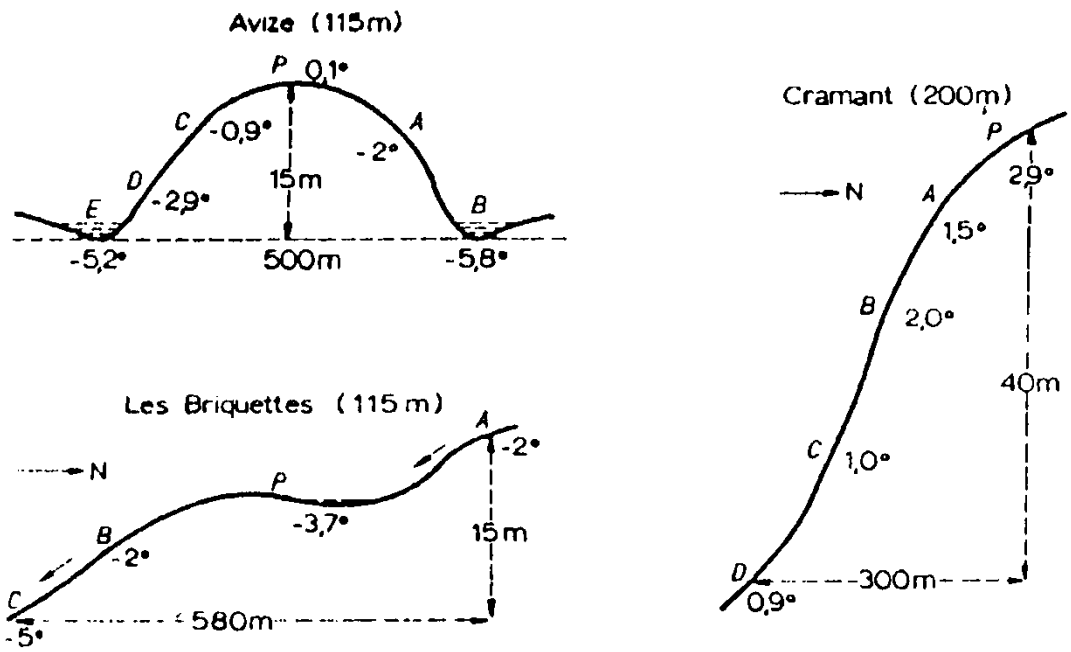

Fig. II.7 Variação das temperaturas mínimas em função do relevo em Champanhe, França (segundo Bouchet, 1965). As cotas indicadas correspondem para cada perfil ao ponto marcado por *P*. Avize e Les Briquettes são situações de planalto e Cramant de encosta.

Neste estudo podemos verificar que pequenas ondulações do microrelevo têm um efeito espectacular na distribuição das temperaturas mínimas. Em Avize, 15 metros significam uma diferença de temperaturas mínimas de 5-6 ºC.

Há um fenómeno que deve ser muito comum e que foi observado por Schultz (1961). Consiste numa descida repentina da temperatura superficial, em locais onde ao amanhecer o balanço da radiação ainda não é positivo, mas em que os ventos catabáticos deixam de soprar por terem perdido a sua força motriz, pelo afluxo de energia radiante solar à montanha.

Do exposto se conclui que há um aumento tanto da severidade como da frequência das geadas com a proximidade do fundo dos vales ou simplesmente com uma pequena depressão do terreno.

CAPÍTULO III

DANOS CAUSADOS PELAS GEADAS NOS TECIDOS E ÓRGÃOS VEGETAIS

III.1 Danos mais frequentes que afectam as plantas

A geladura - dano causado nas plantas pelas geadas - é uma causa importante de perdas da produção agrícola. A dessincronização entre o ciclo vegetativo das plantas e as variações sazonais da temperatura é responsável pela maior parte das geladuras. Com efeito, é de notar que muitas plantas agrícolas introduzidas são sensíveis ao frio. Têm-se conseguido maiores ganhos de produtividade por selecção em relação à adaptação ao ambiente do que em relação à produção potencial. Mesmo nas espécies adaptadas, a geladura costuma ser importante nos extremos da estação fria - geadas tardias de primavera e precoces de outono. Durante invernos particularmente rigorosos os danos são frequentes no limiar de distribuição das espécies. Por outro lado, variações rápidas de temperatura podem também levar ao aparecimento de prejuízos.

A geladura pode ter efeitos drásticos sobre a vegetação ou, pelo contrário, levar somente a um enfraquecimento da planta só se evidenciando os danos mais tarde. Pode afectar a produção e/ou a qualidade; conforme a época da ocorrência de geada, espécie, geado-resistência evidenciada por esta, poder de recuperação dos tecidos afectados, por um lado, e, por outro, a intensidade e duração da geada.

A geladura está directa ou indirectamente ligada à formação de gelo nos tecidos e pode afectar plantas herbáceas anuais, bienais e perenes; e árvores e arbustos lenhosos durante a época de crescimento, ou fora dela.

Os tecidos das plantas variam na sua susceptibilidade às baixas temperaturas, sendo os dos órgãos reprodutores os menos resistentes. Nas fruteiras, por exemplo, quando o número de células afectadas deixa de ser desprezável, os danos reflectem-se no aspecto e qualidade ou, em casos mais graves, provocam a queda das flores ou frutos. O estilete é particularmente sensível - mais do que o ovário - e a sua destruição antes da fertilização é irremediável. Após a fertilização, as sementes são os órgãos mais sensíveis às temperaturas baixas. As sementes são, geralmente, essenciais ao desenvolvimento normal da polpa carnuda dos frutos, por via das hormonas que libertam. Sementes danificadas não exercem esta função, o que é particularmente grave no caso das prunóideas, porque têm quanto muito duas; os frutos de pevide têm um maior número. Quando a inviabilização das sementes é apenas parcial os frutos podem não cair, mas resultam deformados. Note-se, contudo, algumas variedades de pereira e macieira podem dar origem a frutos partenocárpicos, não se perdendo totalmente a produção. Também podem ocorrer deformações resultantes da geladura da pele dos frutos e subsequente suberificação, o que impede o crescimento normal dessas partes do fruto.

Os cereais de inverno podem ser afectados no inverno, mas é na primavera que os danos são mais frequentes em Portugal. Em casos felizmente raros, dá-se a "queima" da parte aérea dos cereais de inverno, o que pode permitir novos rebentamentos, ou a morte do nó-de-afilhamento o que impossibilita a sua recuperação. O abortamento de flores nos cereais de inverno, após a ocorrência de geada é bastante frequente. Alguns dias após a geladura notam-se as espigas esbranquiçadas, geralmente nos terços superiores, e as aristas enroladas. Mais tarde, as espigas apresentam-se deformadas, notando-se estreitamentos resultantes da ausência de parte dos grãos (Fig. III.1).

Fig. III.1 Espiga de trigo afectada pelas geadas. A espiga está deformada, as aristas estão enroladas e o terço superior está atrofiado, devido à ausência de grãos.

Nas estufas e túneis com cobertura de plástico (Polietileno ou PVC) ocorrem danos causados pelas geadas, especialmente no inverno (Fig. III.2).

Incluem-se, ainda, nos danos por geladura os seguintes:

- "Queima" da folhagem, e ramos não atempados de arbustos e árvores de folha persistente.
- "Coração negro"[4] é o dano causado nas células parenquimatosas dos raios do xilema, após congelação das células em sobrefusão profunda. As células morrem e tomam um aspecto enegrecido, resultante de oxidação. O "coração negro" não mata as árvores, mas a sua capacidade produtiva e longevidade são seriamente afectadas, na sequência de invasão por organismos da podridão

[4] Do inglês: "blackheart".

da madeira. Além do "coração negro" o fendilhamento do xilema é outro dano por geladura que afecta árvores e arbustos.

- Morte invernal de gomos e tecidos da casca, quando desaclimataram em parte, devido a terem estado submetidos a um período de temperaturas relativamente elevadas.
- Perda de flores e frutos.
- Perda de qualidade dos frutos e doutras produções.

Fig. III.2 Prejuízos em estufas de tomate, causados pelas geadas de Janeiro de 1985, em Vila Verde (Sintra).

III.2 Tipos de congelação nas plantas e suas consequências

A água pura gela a 0ºC, mas a sobrefusão dá-se frequentemente até aos -5ºC. A sobrefusão cessa prontamente quando o líquido sobrefundido é inoculado por um núcleo de congelação – p. ex., um cristal de gelo, um núcleo de congelação atmosférico ou uma bactéria nucleadora.

Tanto as soluções celulares como as intercelulares – mais aquelas do que estas – têm uma determinada concentração de substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas, sendo o ponto de fusão inferior a 0ºC. O ponto de fusão das soluções contidas nos tecidos vegetais é inferior a -lºC. Por outro lado, devido à sobrefusão o congelamento dos tecidos vegetais não tem início acima de uns -1,5ºC. Esta temperatura é o limite superior da resistência natural das plantas à geada[5].

III.2.1 Congelação extracelular

Um parênquima (Fig. III.3 A) apresenta as células arredondadas separadas entre si pelas soluções intercelulares. Admitamos que este tecido está a ser arrefecido a uma taxa moderada – digamos 0,6-0,7ºC/h (valor normal em condições naturais, no fim da noite) – então, existe uma temperatura (<-1,5 ºC) em que cessa a sobrefusão: inicia-se a congelação. Admitamos, também, que a sobrefusão foi ligeira. Então, devido à menor tensão osmótica das soluções intercelulares é no seu seio que aquela se inicia e prossegue. Os cristais de gelo formados desenvolvem-se a uma taxa proporcional à taxa de arrefecimento, primeiramente à custa da água intercelular. Posteriormente, devido ao gradiente de tensão de vapor criado pelo facto da tensão de vapor ser inferior sobre o gelo do que sobre a água líquida, à mesma temperatura, - dá-se uma saída de água do protoplasto. Como estamos a admitir que a taxa de arrefecimento é pequena e a sobrefusão moderada, a taxa de descida da temperatura nos meatos intercelulares é pequena, não permitindo que o suco celular congele, devido ao abaixamento progressivo do ponto de congelação, por

[5] As plantas podem sofrer danos a temperaturas superiores. A maioria, senão todos, os frutos, vegetais e ornamentais de origem tropical estão sujeitos a dano fisiológico quando sujeitas a temperaturas abaixo de cerca de 12,5ºC, mas acima da sua temperatura de congelação, mas a esta condição não chamaremos geada: – trata-se de "dano por resfriamento".

concentração. Enquanto baixa a temperatura este processo prossegue apresentando-se o protoplasto em plasmólise cada vez mais encolhido entre os cristais de gelo que se avolumam. O tecido congelado apresenta as células embutidas na massa de cristais de gelo, os seus volumes reduziram-se e algumas (poucas) evidenciam rotura para dentro das membranas (Fig. III.3 B).

Um aumento gradual da temperatura conduz a uma hidratação, na sequência da fusão do gelo formado e em resposta ao gradiente de tensão osmótica. Após a descongelação, algumas células têm as membranas rebentadas viradas para fora, apresentando-se as outras aparentemente intactas (Fig. III.3 C). Quando a desidratação não atingiu valor letal para as células estas recuperam, excepto as que apresentaram rotura; caso contrário as células sofrem transformações que conduzem à morte.

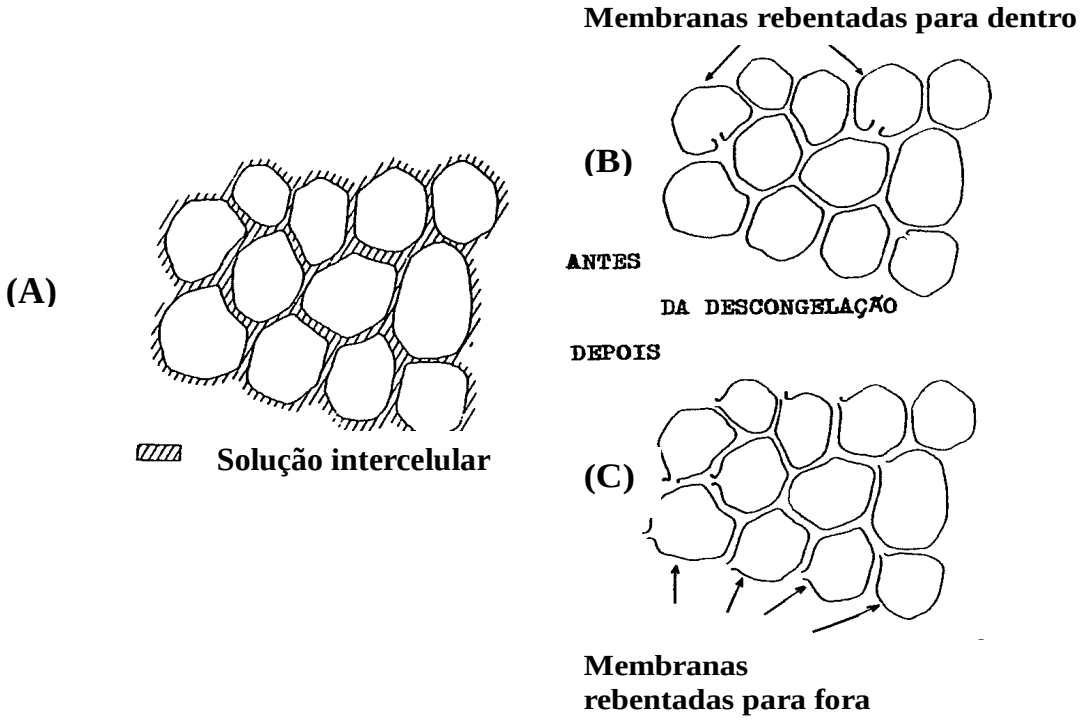

Fig. III.3 Congelação extracelular. **A** Parênquima onde se vêem os protoplastos e a solução intercelular. **B** Tecidos ainda congelados. **C** Tecidos examinados após o descongelamento natural.

Quando o grau de desidratação sofrido pelas células é superior ao limiar de resistência dois casos se podem observar:

1) As células readquirem a sua turgidez inicial não mostrando qualquer alteração. Posteriormente, contudo, exibem modificações patológicas, tais como, enegrecimento lento, granulação fina ou grosseira, aparência espumosa (parcial ou total), do protoplasma, e acentuação do contorno do núcleo, acabando por morrer.

2) A morte ocorreu durante a desidratação e contracção das células, provavelmente, devido à desnaturação das proteínas nucleares. Nestas células o núcleo desnaturado aparece claramente logo após a descongelação da célula. Por vezes, o protoplasto apresenta-se contraído após a descongelação.

III.2.2 Congelação intracelular

Suponhamos, agora, que o arrefecimento dos tecidos é muito rápido (p.ex., l0 ºC por minuto), a sobrefusão é elevada, e/ou as células são de plantas sensíveis (ou que ainda não aclimataram); então é provável que o gelo também se forme no protoplasma, dando-se, portanto, a congelação intracelular.

Uma taxa rápida de arrefecimento origina uma descida grande da curva da temperatura visto que o défice energético criado pelo arrefecimento não é atenuado, convenientemente, pelo calor latente libertado por congelação da água protoplásmica que aflui aos meatos. Então, as curvas da temperatura e do ponto de congelação do suco celular interceptam-se, havendo congelação intracelular quando o desvio entre estas duas curvas se torna suficientemente grande.

As plantas/tecidos sensíveis à geada (ou que ainda não aclimataram) têm as membranas celulares menos permeáveis, caindo-se

numa situação semelhante à anterior, mesmo com taxas de arrefecimento mais moderadas.

III.3 Temperaturas críticas

A *temperatura crítica* é a temperatura, lida num termómetro convenientemente exposto, que os gomos, flores ou frutos aguentam por 30 minutos (ou menos) sem dano. Hoje a designação abrange também a temperatura a que morrem 10% ou 90% dos gomos, flores ou frutos.

Através de dados laboratoriais e de campo foi-se adquirindo um melhor conhecimento das temperaturas críticas. No Apêndice I dão-se as temperaturas críticas para macieiras, pereiras, ameixeiras, pessegueiros e damasqueiros. Além da temperatura crítica originalmente definida ("antiga"), incluem-se as temperaturas médias que causam a morte de 10% e 90% dos gomos, flores ou frutos. Estas últimas permitem tomar decisões de gestão que passem pelo sacrifício de alguns gomos, flores ou frutos. Vale a pena, por vezes, tomar riscos no início do crescimento, quando a variabilidade é grande em relação à resistência. Por outro lado, há variedades que por terem uma floração excedente, podem perder, sem diminuição da colheita, algumas flores.

A floração escalonada é uma característica favorável, na medida em que evita a morte simultânea de grande parte das flores e consequências negativas na produção.

Em algumas zonas de Portugal, devido ao facto de muitas fruteiras caducifólias não satisfazerem totalmente as suas necessidades de frio as fases arrastam-se muito, coexistindo na mesma árvore estados florais bastante afastados. Esta circunstância leva-nos a recomendar muita cautela na utilização dos valores constantes desses quadros. De um modo geral será de admitir que as geadas de igual severidade causam maiores danos em Portugal do que no Estado de Washington, nas primeiras fases

de desenvolvimento dos botões. Contudo, a partir de certa altura, devido ao maior desfasamento, os danos são menores, quando os primeiros gomos atingem determinado estado floral, na situação portuguesa do que em Washington.

Temperaturas críticas para muitas outras espécies encontram-se em Snyder & De Melo-Abreu (2005).

CAPÍTULO IV

CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE LUTA CONTRA AS GEADAS

Os métodos de luta subdividem-se em indirectos (ou passivos) e directos (ou activos). Os primeiros métodos são aqueles que actuam em termos preventivos, normalmente por um longo período de tempo, e cuja acção se torna particularmente benéfica quando ocorrem condições que poderiam levar (ou levam) à ocorrência de geada. A última categoria de métodos refere-se aos de carácter protectivo, de implementação temporária; e assentam na previsão da ocorrência de geada.

Apresentam-se seguidamente alguns exemplos de métodos de luta contra a geada:

Métodos indirectos (passivos)

- Selecção e melhoramento
- Selecção do local de cultura.
- Utilização da espécie/variedade adequada ao local escolhido e escolha apropriada da época de desenvolvimento
- Modificação da paisagem com o fim de actuar sobre o microclima.
- Sistemas de condução e podas a dois tempos.
- Actuações sobre o solo, supressão de infestantes e "mulches".

Métodos directos (activos)

- Utilização de coberturas de: a) materiais orgânicos; b) solo; c) plásticos e outras folhas sem estruturas de suporte; e d) plásticos e vidros com estruturas de suporte.

- Utilização de nevoeiros artificiais (e fumos)
- Aquecimento directo do ar com: a) combustível líquido; b) combustível sólido; ou c) combustível gasoso.
- Mistura de ar aumentando a temperatura das camadas superficiais à custa de ar suprajacente mais quente: a) ventiladores; e b) helicópteros.
- Métodos que se baseiam na libertação do calor latente de fusão de água trazida para o sistema: a) rega de lima e b) rega por aspersão.

CAPÍTULO V

MÉTODOS INDIRECTOS DE LUTA CONTA AS GEADAS.

V.1 Selecção e melhoramento

A constituição genética é o factor mais importante na determinação das respostas das plantas às baixas temperaturas. Podem-se definir dois objectivos genéricos na selecção e melhoramento de espécies/variedades de plantas com interesse económico, para que se melhore a sua sobrevivência às geadas: 1) obtenção de plantas que se desenvolvam e cheguem à maturação durante o período de baixo risco de geadas; ou 2) obtenção de plantas mais geado-resistentes.

V.2 Selecção do local de cultura

Esta selecção é da maior importância para evitar erros estruturais, que comprometam irremediavelmente as culturas de plantas perenes.

As geadas de advecção são acompanhadas por vento intenso e estratificação horizontal da temperatura, sendo nas encostas viradas, e abertas, ao vento registadas as temperaturas mais baixas; especialmente nas porções superiores e médias. Verificam-se, então, as temperaturas mais elevadas nas vertentes voltadas a sotavento e locais baixos e/ou abrigados (Fig. V.1).

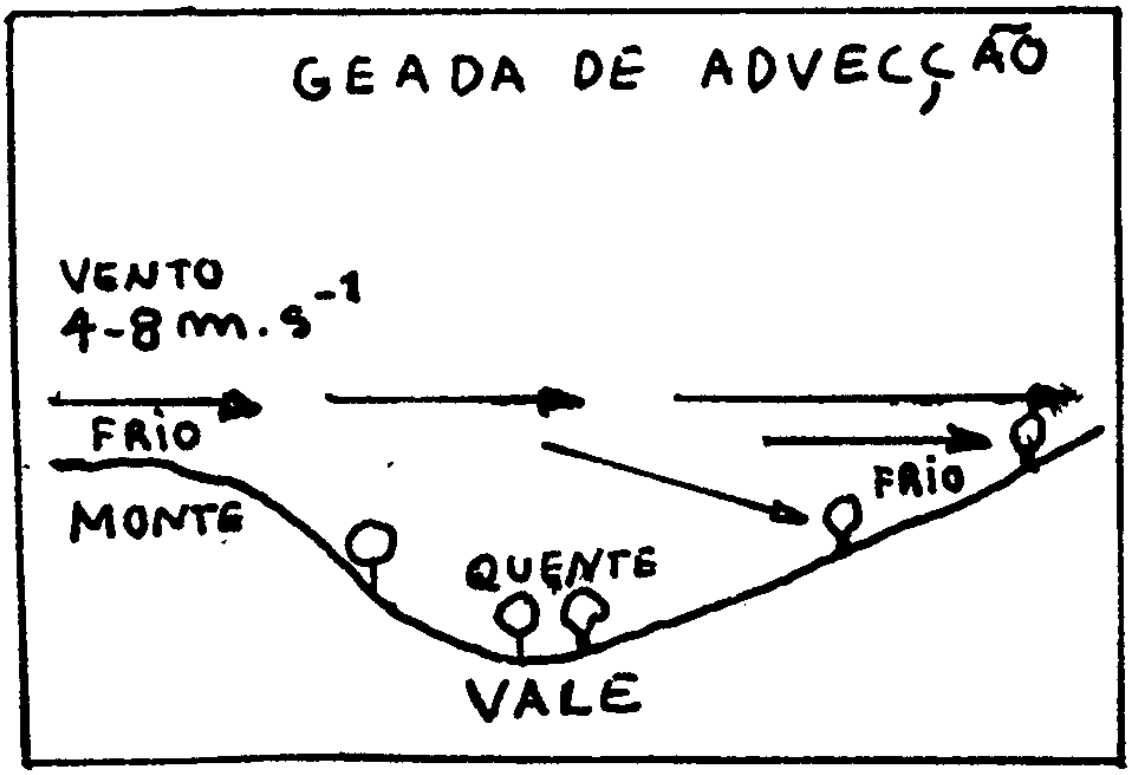

Fig. V.1 Diagrama mostrando a micrometeorologia associada a uma geada de advecção, em solo acidentado. Em solo plano a micrometeorologia é semelhante ao cimo do monte à esquerda.

As geadas de radiação estão associadas a calma ou vento fraco. Há fluxos catabáticos, resultantes do escorrimento do ar esfriado ao longo das vertentes, sendo a acumulação de ar frio nas depressões do terreno, onde se dá a estratificação vertical. Neste caso as temperaturas mínimas nocturnas mais elevadas verificam-se nos cumes e secções superiores e médias das encostas, quando os declives são acentuados e livres de obstáculos à drenagem do ar frio.

Os locais mais geladiços são os de menor elevação (relativa) e as depressões do terreno (Fig. V.2).

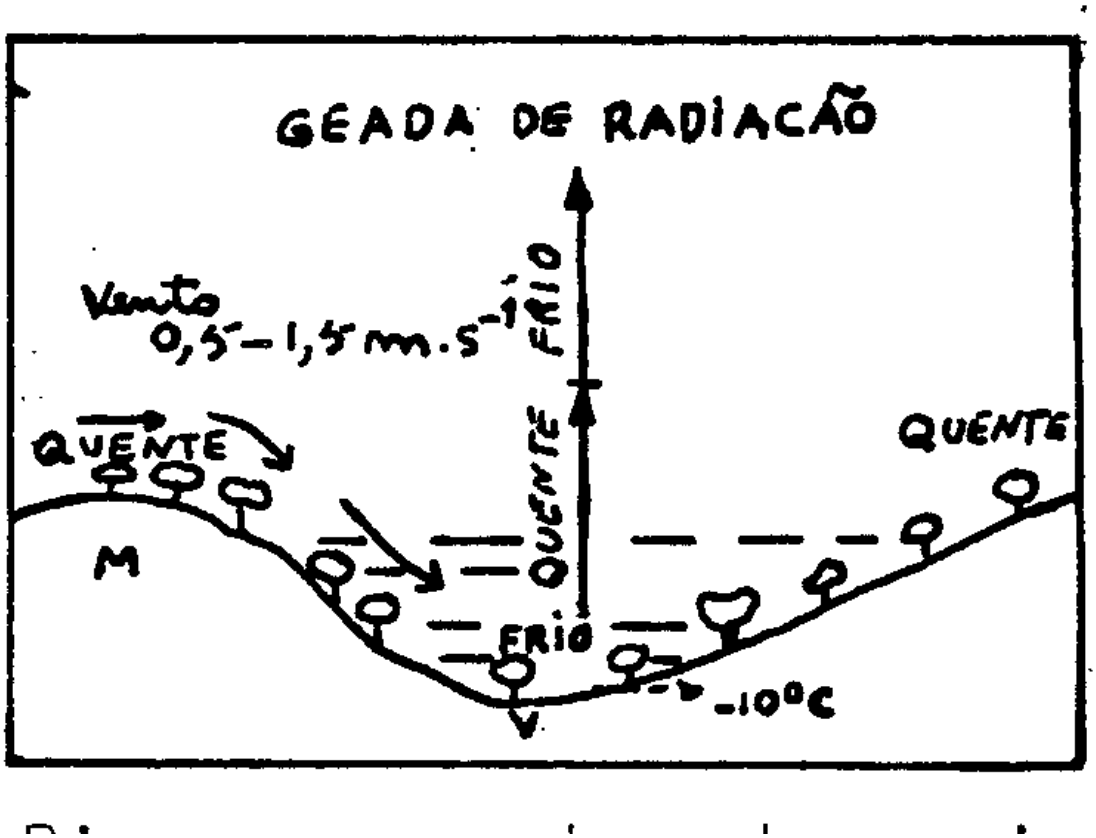

Fig. V.2 Diagrama mostrando a micrometeorologia associada a uma geada de radiação em solo acidentado.

A selecção do local de implantação de determinada cultura sensível deve primeiramente atender ao tipo predominante de geadas a recear na zona - advecção ou radiação. No caso de Portugal Continental a escolha do local menos geladiço deve ser feita pensando na ocorrência das geadas de radiação (sentido lato), já que a ocorrência das geadas de advecção é rara.

No caso das geadas de radiação deve atender-se a:

1) Escoamento e acumulação de ar frio nas zonas de menor cota.

2) Influência de massas de água importantes: diminuem a frequência das geadas.

3) Proximidade de grandes massas rochosas (falésias) ou sebes vivas: diminuem a taxa de arrefecimento da superfície próxima.

4) Influência do tipo de solo na frequência e severidade das geadas: orgânicos > arenosos > argilosos.

5) Paisagem, obstáculos ao escoamento do ar e fontes secundárias de ar frio.

V.3 Utilização da espécie/variedade adequada ao local escolhido e escolha apropriada da época de desenvolvimento

A escolha da espécie ou variedade é de primordial importância. Baseia-se nos dados climáticos relativos às geadas e no conhecimento das temperaturas críticas das diferentes fases de desenvolvimento das culturas a instalar. No caso das culturas anuais, a determinação da época de sementeira/plantação deve ser de molde a que a probabilidade de ocorrência de uma geada de intensidade maior do que o nível crítico, para determinada fase, seja mínima; e isto faz-se para todas as fases. Pode-se assumir, por motivos de gestão, riscos maiores.

Há casos em que as plantas não são semeadas/plantadas directamente ao ar livre, passando as primeiras fase do seu desenvolvimento em ambiente protegido. É evidente que, neste caso, o esquema global mantém-se, mas as fases susceptíveis reduzem-se, podendo a sementeira/plantação ser feita mais cedo.

V.4 Modificação da paisagem com o fim de actuar sobre o microclima.

Após a selecção do local, cuja liberdade é na maioria dos casos pequena, interessa, se possível, diminuir a frequência e severidade das geadas. Isto também se pode conseguir através da modificação da paisagem:

a) Terrenos baixos onde o afluxo catabático de ar frio é de temer podem ser protegidos por barreiras contínuas e densas a montante. Estas acompanham as curvas de nível ou são inclinadas em relação a elas. No primeiro caso dificultam a invasão de ar frio; no segundo desviam-no da parcela a proteger (Fig. V.3).

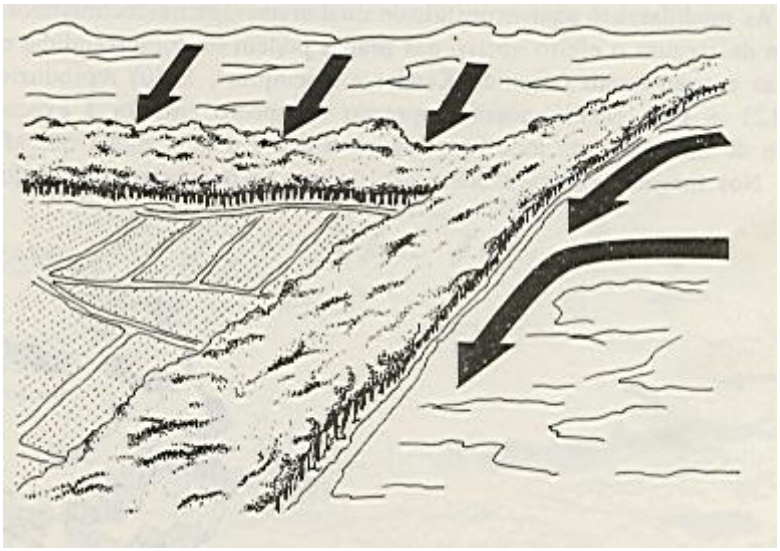

Fig. V.3 Drenagem de ar frio (Mota, 1981).

Quando as barreiras, são constituídas por faixas ou sebes de árvores devem ser suficientemente densas e largas para que o ar frio não se infiltre através delas. Pequenas brechas (p. ex., canais ou caminhos) são vias de acesso de ar frio (Fig. V.4).

Fig. V.4 Pequenas brechas nas faixas florestadas são vias de acesso de ar frio (Mota, 1981).

b) Obstáculos ao livre escoamento do ar frio, situados a jusante da parcela devem ser removidos, ou minimizados através da criação de passagens.

c) Podem-se, também, fazer trabalhos de terraplenagem na parcela, para evitar a acumulação de ar frio em algumas zonas.

d) Nos pomares as linhas de árvores devem ter a direcção do maior declive para que não impeçam o escoamento natural do ar frio (Fig. V.5). É evidente que esta orientação das linhas acarreta alguns inconvenientes (maior erosão, dificuldade na manobra de máquinas, etc.), tendo que se entrar em linha de conta com eles.

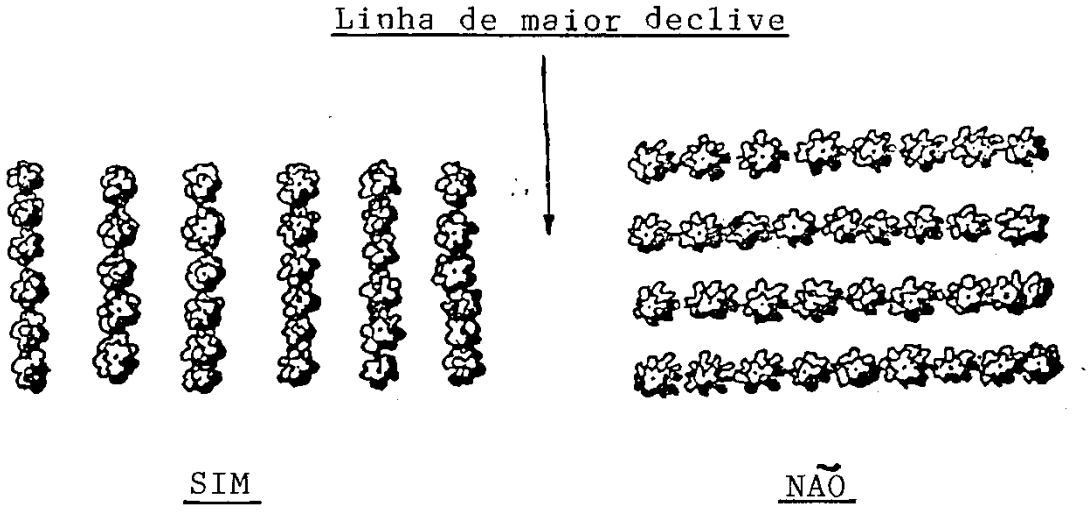

Fig. V.5 As linhas devem ser perpendiculares às curvas de nível para permitir a livre drenagem do ar frio

e) Devem minimizar-se as fontes de ar frio a montante da parcela a cultivar. Devendo, p. ex., eliminar-se os restolhos nos campos vizinhos a cota mais elevada, onde parte do ar frio que atinge a parcela tem a sua origem.

V.5 Sistemas de condução e podas a dois tempos.

Há técnicas que têm sido essencialmente utilizadas na cultura da vinha e que podem ser adaptadas a outras culturas. A condução bastante alta das plantas subtrai-as aos níveis mais baixos e frios, em condições de estratificação vertical. Aumentos relativos de temperatura de 1 ou 2ºC podem conseguir-se elevando os órgãos vegetais 30-50 centímetros. A poda a dois tempos, por outro lado, retarda o abrolhamento e deixa madeira de recurso, caso haja destruição pelas geadas dos rebentos apicais. Por outro lado, em zonas em que as temperaturas no inverno descem até valores muito baixos, a poda feita muito cedo deixa vias de entrada a microrganismos patogénicos e, favorecendo o crescimento junto aos cortes, pode levar à geladura.

O uso de reflectantes e isolantes, diminuindo a temperatura diurna dos tecidos cambiais, pode atrasar o abrolhamento das fruteiras caducifólias.

V.6 Actuações sobre o solo, supressão de infestantes e "mulches".

O fluxo de calor do solo, transmitido por condução, é a principal fonte de calor disponível para "alimentar" as perdas de calor por radiação da superfície do solo, em noites de geada de radiação. Em consequência, o arrefecimento nocturno resulta maior ou menor consoante a diferença de densidade entre estes dois fluxos - perdas por radiação e afluxo do calor do solo à superfície.

As perdas por radiação dependem de variáveis que, na prática, não são alteráveis; e da superfície emissora, podendo esta ser reduzida por compactação superficial.

O fluxo de calor do solo pode ser aumentado, pelo aumento da condutividade térmica do solo e da quantidade de calor armazenada na camada onde existe variação diurna da temperatura.

Tem-se provado que os solos lavrados na primavera são mais geladiços do que os que, por terem sido lavrados no outono, tiveram tempo de assentar.

Uma circunstância que provoca a redução drástica da condutividade térmica do solo consiste em manter junto à superfície, uma camada bastante isoladora. Além de uma camada superficial de solo mobilizada de fresco - que é bastante isolante - outras situações se podem observar. A existência de um "mulch" (palha, plástico, serradura, etc.) conduz a uma diminuição da evaporação e aumenta a temperatura no solo, mas produz um abaixamento da temperatura mínima diurna do ar; dificulta o afluxo de calor do solo à superfície, arrefecendo esta rapidamente e o ar que com ela contacta. Os horticultores conhecem empiricamente, os perigos de uma aplicação precoce de um "mulch", na primavera, na cultura do morangueiro. A existência de ervas, matos, ou cultura intercalares em pomares e vinhas, conduzem a temperaturas mínimas mais baixas, podendo verificar-se um aumento muito importante dos danos.

A solução que parece mais apropriada, para os casos em que a severidade e frequência das geadas sejam de molde a causar preocupação, consiste na aplicação de herbicidas. A camada de vegetação com ar parado - i.e., isolante - é destruída e o solo não é mobilizado - i.e., mantém um bom grau de compactação.

É bem conhecido o carácter geladiço dos pântanos recém-drenados. A diminuição da humidade na camada superficial, fortemente humífera, diminui a condutividade térmica, aumentando a taxa de arrefecimento superficial nocturno. A incorporação de solo inorgânico, na camada

arável de um solo turfoso, e a rolagem podem conduzir a uma subida de 1-3°C na temperatura mínima.

CAPÍTULO VI

MÉTODOS DIRECTOS DE LUTA CONTRA AS GEADAS

VI.1 Utilização de coberturas

A utilização de coberturas de diversos materiais, com ou sem suporte, podem ser utilizados na luta contra as geadas. As coberturas diminuem a radiação efectiva da superfície do solo e das plantas e as perdas de calor por convecção (e advecção) do ar. Devem ter um coeficiente de condução baixo e serem praticamente opacas às radiações de grande c.d.o.

O solo, sendo um mau condutor térmico, é por vezes utilizado para cobrir plantas de pequeno porte durante intervalos de tempo relativamente curtos (p.ex., batateiras e tomateiros). Existe maquinaria especializada que pode fazer esta tarefa.

Coberturas amovíveis de palha são extensivamente utilizadas na Suíça para a protecção das vinhas (aramadas ou não) contra as geadas primaveris. Contudo, ensaios com materiais sintéticos permitem prever a sua progressiva substituição. A protecção conferida pode ir até aos 4º C. Ambos os tipos de coberturas são deixadas sobre as plantas até que se julgue passado o perigo da ocorrência de geada. Esteiras e outros materiais isolantes também têm sido utilizados na Índia para proteger da geada o arbusto do chá (Camellia sinensis).

As estufas de vidro evitam quase totalmente as geadas em climas como os que temos em Portugal, contudo são caras e podem ser destruídas facilmente pelo granizo.

A forma de túnel está consagrada como sendo a mais eficiente para cobertura temporária. Tem boa estabilidade e resistência, tem instalação em parte mecanizável e contraria a estratificação do ar.

Para maior desenvolvimento deste tema veja-se Abreu (1985), Snyder & De Melo-Abreu (2005).

VI.2 Utilização de nevoeiros artificiais (e fumos).

Os nevoeiros artificiais são eficientes visto que as gotículas de água formadas, de diâmetros entre 10 μm e 20 μm, interceptam a radiação terrestre. Contudo, as instalações são tecnicamente difíceis de manter em funcionamento, o custo inicial é elevado, e é difícil manter o nevoeiro sobre a parcela a proteger.

A produção de fumo com o fim de diminuir a transparência da atmosfera para a radiação terrestre, de grande c.d.o., foi o primeiro método activo de luta contra as geadas utilizado pelo Homem e perdurou até aos nossos dias. Sabe-se hoje, contudo, que a pequena protecção que muitas vezes confere (1-2º C) é devida à efectiva libertação de calor que acompanha o processo de produção de fumo. Estes dois efeitos foram confundidos durante muito tempo. O fumo, tal como o nevoeiro e as núvens, obscurece o céu e diminui a visibilidade. No entanto, esta analogia de comportamento não se verifica para as grandes c.d.o., pelo que somente as nuvens e nevoeiros são capazes de exercer efeito protector. As dimensões das partículas que constituem o fumo – diâmetro médio menor do que 1,0 μm – embora sejam suficientes para a diminuição drástica da transmissividade da atmosfera para c.d.o. da zona espectral da radiação visível (0,4-0,7 μm) não permitem que o fumo tenha uma acção significativa na transmissividade das radiações infravermelhas emitidas pela superfície terrestre.

Há quem aponte o descongelamento gradual como vantagem e, consequentemente, o efeito do fumo sobre a moderação da taxa de aquecimento matinal, como benéfico, em alguns casos. A ausência de

provas leva-nos a desprezar esta possível vantagem. **O fumo, de acordo com tudo o que foi dito, não deve ser considerado como método de luta contra a geada.**

VI.3 Aquecimento directo do ar

Seja qual for o combustível utilizado, este método é economicamente incomportável na generalidade dos casos. Exceptua-se, como é evidente, o aquecimento do ar em estufas e túneis, que pode ser rentável em determinadas condições.

VI.4 Mistura do ar com ventiladores

Após a crise do petróleo de 1973 muitos fruticultores americanos (essencialmente citricultores) começaram a instalar nos seus pomares ventiladores com o fim de substituírem, ou coadjuvarem, os aquecedores. Aumentou, então, o número de ventiladores em operação. Este método pode conduzir a uma poupança de energia da ordem dos 90-95% por hora, quando aplicado isoladamente.

VI.4.1 Fundamento do método

O fundamento deste método consiste no seguinte:

a) As geadas de radiação estão associadas à formação de inversões térmicas. Por este facto, o ar aumenta de temperatura à medida que se sobe na atmosfera, até ao "tecto da inversão".

b) Nestas situações meteorológicas a velocidade do vento superficial é baixa (geralmente inferior a uns 5 km/h) e um ocasional aumento desta desfaz a camada de inversão. O ar mais quente, superiormente colocado, mistura-se com o inferior mais frio, levando a um aumento da temperatura do ar à superfície.

c) Em casos de inversões pronunciadas, este aumento de temperatura pode ser suficiente para evitar a ocorrência de danos nos vegetais.

d) Mesmo quando as inversões são fracas um aumento da turbulência do ar resulta benéfica para aquelas partes vegetais (p. ex., botões, rebentos, flores e frutos pequenos) que estão mais desprotegidas (fora da copa). A temperatura destas pode ser 2-3º C mais baixa do que a temperatura do ar em seu redor, quando o ar está muito parado.

e) Embora as inversões sejam inerentemente estáveis, a energia necessária para produzir o trabalho mecânico necessário para misturar a camada próxima da superfície e manter este estado de mistura total é pequena. Isto, quando comparada com a necessária para libertar calor sensível suficiente para aquecer uma camada superficial de ar de menor espessura, com auxílio de aquecedores.

VI.4.2 Constituição e funcionamento dos modelos de ventilador mais difundidos

Os modelos mais utilizados de ventilador (Fig. VI.1) são constituídos por uma torre, em cuja parte superior se instala uma hélice a uma altura de cerca de l0 metros. Os motores podem ser eléctricos, a gasóleo ou gasolina. Este último tipo é evitado devido aos roubos de gasolina. As potências mais utilizadas são de cerca de 150 cv (110 kW). O motor costuma estar na base da torre.

As hélices têm normalmente os eixos inclinados para baixo uns 7 graus; comprimentos de cerca de 5 m; rotação entre 600-800 r.p.m.; rotação de 360º em volta da torre de 4-5 minutos.

Fig. VI.1 Ventilador instalado num pomar experimental em Trás-os-Montes.

A distância até onde o jacto penetra é de cerca de 120 metros, não indo a turbulência normalmente além dos 150 m. A protecção efectiva varia entre os 4 e 6 ha.

As condições de operação são, também, extremamente importantes para que os ventiladores não se tornem mais onerosos ou resultem inoperantes. Assim:

a) Os ventiladores devem começar a funcionar, ininterruptamente, a partir do momento em que a protecção começa a ser necessária. Numerosos relatórios são concordantes em que a interrupção do funcionamento resulta na dificuldade de voltar a alcançar uma temperatura perdida, provavelmente porque a inversão desenvolvida resulta particularmente estável.

b) Com velocidades do vento superiores a 2,5 m/s (9 km/hora) os ventiladores não devem ser postos em funcionamento.

c) A velocidade de rotação da hélice deve ser controlada por um conta-rotações.

d) A velocidade de rotação em torno da torre deve também ser controlada.

e) As máquinas devem ser testadas antes da ocorrência de geada para que haja a certeza que se mantêm operacionais.

VI.4.3 Considerações sobre a aplicabilidade do método

Para que se possa optar pela utilização de ventiladores deve-se, em primeiro lugar, ver se são tecnicamente eficientes para o microclima da parcela a proteger. Deve-se para tal saber o que se passa a respeito de:

a) Frequência de ocorrência das geadas e sua severidade.

b) Tipo de geada: radiação ou advecção.

c) Intensidade das inversões.

As geadas de advecção, inversões fracas, e severidade elevada são condições que tornam o uso de ventiladores ineficaz.

Múltiplas instalações de ventiladores são mais eficientes do que a soma delas. Este efeito sinérgico, produzido pela interacção dos ventiladores, desaconselha as grandes unidades/potências.

No que respeita a saber se são economicamente viáveis devem-se considerar os encargos fixos – um ventilador custou cerca de 4500 contos em 1998 – e os variáveis, que são relativamente baixos. Além da frequência, alternativas, valor comercial das produções, etc.

VI.5 Rega por aspersão

A rega por aspersão, como método de luta contra as geadas, tem vindo a ser utilizada em muitos países. Em Portugal também já existem instalações de rega por aspersão que são usadas para esse fim.

VI.5.1 Fundamentos do método

As técnicas deste método fundamentam-se, normalmente, no aproveitamento pelas plantas de parte do calor latente de fusão da água (335 J/g), aquando da congelação da água aspergida. Desde o momento que se mantenha uma película de água líquida sobre o gelo que se forma sobre as plantas, a temperatura dos órgãos destas mantém-se próxima de 0ºC - temperatura do gelo fundente.

Como veremos, a rega por aspersão por cima das copas pode também vir a ser utilizada para atrasar a floração das fruteiras caducifólias, através da diminuição da temperatura das plantas por evaporação da água aspergida. Cada grama de água que evapora consome cerca de 2500 J.

VI.5.1.1 Atraso da floração através do abaixamento de temperatura resultante da evaporação da água de rega

Após a cessação do repouso invernal, a dormência mantém-se apenas até que o calor acumulado seja insuficiente. É sabido que primaveras com temperaturas diárias relativamente elevadas conduzem ao abrolhamento precoce das fruteiras caducifólias. Aproveitando o elevado calor latente de vaporização da água, a rega por aspersão tem sido utilizada para evitar as temperaturas diurnas relativamente elevadas, atrasando a floração.

VI.5.1.2 Rega por aspersão por cima das copas e plantas

Normalmente, a rega por aspersão é aplicada aquando da ocorrência das geadas. A água congela sobre as superfícies vegetais frias, libertando o calor latente de fusão. Parte do calor sensível aquece o ar transmitindo-se a outra parte à planta. O aquecimento do ar, sempre ligeiro, é um efeito colateral; o objectivo primordial é transferir, com a máxima eficiência possível, o calor libertado por congelação da água para a planta. Esta eficiência está condicionada pelos estados higrométrico e velocidade do vento.

Um défice de saturação e agitação do ar elevados provocam perdas de calor latente por evaporação, que é cerca de 7,5 vezes superior ao calor latente de fusão. Para que haja aumento das disponibilidades de calor sensível é necessário que 7,5 vezes mais água congele do que a que se evapora.

Como a temperatura do gelo fundente é superior ao limiar de resistência da maioria das plantas, pode-se protegê-las mantendo-as àquela temperatura. Basta, para tal, manter uma película de água líquida sobre o gelo, através do afluxo contínuo de água.

É evidente que, ao humedecer o solo, esta rega produz efeitos análogos ao da rega clássica que contribuem para a sua eficiência, embora secundariamente.

VI.5.1.2.1 Equipamento utilizado e recomendações de operação

Pode utilizar-se o vulgar equipamento de rega por aspersão, destinado à rega de humedecimento, ou de preferência instalações especialmente concebidas para o efeito.

O equipamento de rega tem que estar montado no terreno durante toda a época normal de geadas, não podendo, como acontece no caso das instalações móveis para a rega de humedecimento, beneficiar

sucessivamente várias parcelas. Consequentemente, embora a sobreposição entre os jactos seja normalmente menor, uma instalação de rega por aspersão totalmente móvel contra as geadas protege apenas uma área 5 a 10 vezes mais pequena do que rega no período estival.

Para que a distribuição seja mais regular, a área molhada máxima e a pluviometria média mínima, deve optar-se por um espaçamento em triângulo equilátero, com pequena sobreposição dos jactos.

Os aspersores rotativos que são usados para a rega de humedecimento podem, muitas vezes, ser adaptados para o efeito. Quando são de duas agulhetas pode bloquear-se uma delas. Os de um só jacto podem receber uma agulheta de menor diâmetro.

Os aspersores são colocados cerca de 30 cm acima do nível superior das plantas.

As molas dos aspersores especialmente desenvolvidos estão, normalmente, protegidas por uma espécie de cápsula para evitar que a formação de gelo afecte a rotação daqueles.

Quando a bomba é accionada por um motor eléctrico ou a água já vem sob pressão, a melhor solução consiste em automatizar completamente a instalação. No primeiro caso utiliza-se uma retransmissão ligada a um termóstato de confiança, que inicia ou pára o motor a uma determinada temperatura do ar. No segundo, a retransmissão acciona uma válvula magnética.

É boa prática ter um sistema de alarme de baixas temperaturas: evita muitas horas de vigília e sobressalto. Uma campanha de alarme pode ser accionada por um sistema análogo ao anterior.

É indispensável o uso de filtros. Estes devem ser limpos e observados com regularidade, especialmente quando a água utilizada provém de cursos de água ou de lagoas.

A intensidade de precipitação média a fornecer por uma instalação de rega por aspersão para a luta contra as geadas depende das condições meteorológicas (temperatura, humidade do ar, intensidade do vento, etc.) e das características relativas à cultura a proteger (porte, forma, resistência ao peso do gelo formado, etc.).

Aconselha-se as seguintes pluviometrias (Raposo, 1979):

Cultura	**Pluviometria (mm/hora)**
citrinos	2,0 a 2,5
fruteiras caducifólias	4,0
vinhas altas	4,0
vinhas médias	3,0 a 3,5
vinhas baixas	2,5 a 3,0
tomate, batata	2,0 a 2,5
morangos	1,5 a 2,0

Para temperaturas extremamente baixas, casos de vento forte e/ou baixa humidade do ar, pode ser necessário aumentar estes valores.

Quando, como acontece usualmente, a pluviometria é constante deve-se atender às condições mais desfavoráveis, de que ainda vale a pena proteger as plantas, para a estimativa deste parâmetro de rega.

A velocidade de rotação dos aspersores deve ser tal que se evite que toda a água congele entre duas passagens consecutivas do jacto. Normalmente aconselha-se uma volta por minuto

O grau de pulverização dos jactos deve ser bastante grande para que a distribuição da água seja quase perfeita, cobrindo-se todos os órgãos das plantas. Não convém, contudo, que seja excessivo sob pena das gotas congelarem ainda no ar, não havendo transferência de calor água→planta.

Dados experimentais indicam que os melhores resultados serão de esperar com agulhetas de diâmetro entre 4,2 e 4,8 mm e pressões de funcionamento entre 4 e 5 kg/cm^2. Não se devem utilizar pressões inferiores a 3,5 kg/cm^2.

O controlo das condições atmosféricas nas épocas críticas deve ser feito através de aparelhagem meteorológica apropriada dentro e fora da área protegida.

A rega deve iniciar-se quando a temperatura, dada pelo termómetro molhado, desce abaixo de 0ºC e terminar quando esta temperatura é novamente atingida.

O funcionamento ininterrupto da instalação deve estar assegurado. Basta uma pequena paragem - 3 a 10 minutos - para que os danos possam ser elevados. Uma pluviometria demasiado reduzida ou uma paragem prolongada conduzem invariavelmente a um acréscimo dos danos. As instalações devem, portanto, funcionar em boas condições durante todo o tempo de ocorrência da geada. Convém testar todo o equipamento, fazendo-o funcionar durante algum tempo, no dia que precede a noite em que prevê a ocorrência de geada. Sempre que possível deve ter-se um motor-bomba sobressalente, para substituição em caso de avaria, ou recorrer, quando a topografia do terreno é favorável, a instalações em que a água é admitida na tubagem por gravidade, a partir de um depósito colocado num ponto alto.

O gelo que se forma - 1,6 a 13 mm, p.ex. - deve ser perfeitamente transparente; deve ainda haver gotas de água a escorrer da planta. Gelo de aspecto leitoso é indício de que a pluviometria está a ser insuficiente.

VI.5.1.3 Vantagens e inconvenientes da rega por aspersão por cima das copas e plantas na luta contra as geadas

Vantagens

a) É um método muito eficaz, desde que a sua aplicação seja feita de modo correcto.
b) O consumo de energia é apenas cerca de 10% do necessário para a protecção com aquecedores.
c) Ao invés de outros métodos (aquecimento directo, ventilação forçada) é especialmente eficaz para plantas baixas.
d) Estudos em que se compararam os vários métodos apontam este método como o mais indicado quando o número de intervenções começa a ser importante.
e) As instalações de rega por aspersão para a defesa das plantas contra as geadas podem também ser utilizadas para outros fins.

Inconvenientes

Os inconvenientes deste método resultam, fundamentalmente, do elevado custo inicial das instalações de rega por aspersão e da aplicação de quantitativos importantes de água. Assim:

a) Obriga, quando se inicia/pára a rega a 0º C (termómetro molhado), a um maior tempo de protecção do que quando se usa a ventilação forçada, por exemplo.
b) Além da restrição ao uso deste método que resulta dos elevados caudais necessários, e que muitas vezes não estão disponíveis, a aplicação de água muito para além da capacidade de campo dos solos pode trazer os seguintes inconvenientes:
    - O encharcamento dos solos confere-lhes características desfavoráveis com consequências na produtividade do solo e do normal desenrolar dalgumas tarefas da exploração. Além

da erosão, a estrutura é afectada, algumas plantas sofrem asfixia radicular e certos granjeios são dificultados ou impedidos.

- Arrastamento de nutrientes. Por exemplo, após a operação prolongada (e repetida) da rega podem aparecer sintomas de deficiência de azoto, resultado do arrastamento pela água deste elemento.
- Aparecimento de pragas e doenças.
- A acção das bactérias do solo e a maturação dos frutos podem ser retardadas.

c) Quebra de ramos de fruteiras (mormente quando de folhagem persistente) e de plantas altas pouco resistentes, devido ao peso do gelo formado.

BIBLIOGRAFIA

ABREU, J. P. DE MELO E. 1985. *As Geadas. Conceitos, Génese, Danos e Métodos de Protecção*. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 219 pp.

BETTENCOURT, M.L. 1980. Contribuição para o estudo das geadas em Portugal Continental. *In: O Clima de Portugal,* fasc. XX. I.N.M.G., Lisboa.

BOUCHET, R.J. 1965. Problèmes des gelées de printemps. *Agr. Meteorol*. 2:167-195.

HAMER, P.J.C. 1975. Physics of. frost. In: *Climate and the Orchard*. (ed.) Commonw. Bur. Hortic. Plant Crops, Res. Rev. 5:66-72.

HARRISON, A.A. 1971. A discussion of the temperatures of Inland Kent with particular reference to night minima in lowlands. *Met. Mag*. 100: 97-111.

HOCEVAR, A. , MARTSOF, J.D. 1971. Temperature distribution under radiation frost conditions in a Central Pennsylvania Valley. *Agr. Meteorol*., 8:371-383.

MOTA, F.S. 1981. *Meteorologia Agrícola*. 5ª ed. Liv. Nobel. São Paulo. pp.200-228.

RAPOSO, J. R.. 1979. *A rega por aspersão*. Clássica Editora, Lisboa.

SNYDER, R.L., DE MELO-ABREU, J.P. 2005. Frost Protection: Fundamentals, Practice and Economics. Vol. I. United Nations, Food and Agriculture Organization, Rome, 223 pp.

SNYDER, R.L., DE MELO-ABREU, J.P. , MATULICH, S. 2005. Frost Protection: Fundamentals, Practice and Economics. Vol. II. United Nations, Food and Agriculture Organization, Rome, 64 pp.

SCHULTZ, H.B. 1961. Microclimates on sping frost nights in Napa Valley vineyards. *Amer. J. Enology and Viticul*. pp. 81-87.