Universidade Técnica de Lisboa

Instituto Superior de Agronomia

AS GEADAS

Conceitos, génese, danos e métodos de protecção

José Paulo Mourão de Melo e Abreu

LISBOA

1985

ÍNDICE

Págs.

AGRADECIMENTOS

I - INTRODUÇÃO ---------- 1

II - GEADAS: DEFINIÇÕES E ESCLARECIMENTOS. CLASSIFICAÇÃO DAS GEADAS ---------- 5

II.1 - Geada ---------- 5

II.1.1 - Conceitos encontrados na bibliografia ---------- 5

II.1.2 - Conceitos adoptados ---------- 7

II.2 - Classificação das geadas ---------- 9

II.2.1 - Quanto à origem ---------- 9

II.2.2 - Classificação das geadas quanto à época de ocorrência ---------- 13

II.3 - Referências ---------- 14

III - GEADAS DE RADIAÇÃO (sentido lato) ---------- 16

III.1 - Situações meteorológicas ---------- 16

III.2 - Arrefecimento nocturno de uma superfície terrestre -- 20

III.2.1 - Balanço energético ---------- 20

III.2.1.1 - Balanço da radiação de pequeno comprimento de onda ---------- 22

III.2.1.3 - Radiação líquida. Arrefecimento nocturno -------- 25

III.3 - Inversão térmica ---------- 29

III.4 - Relação entre a topografia e a frequência e severidade das geadas de radiação ---------- 33

III.5 - Referências ---------- 40

IV - SERVIÇOS DE INFORMAÇÃO CLIMATOLÓGICA E DE PREVISÃO DAS GEADAS ---------- 42

IV.1 - A informação climatológica ---------- 42

IV.2 - Previsão ---------- 44

IV.3 - A previsão das geadas em Portugal e noutros países --- 45

IV.4 - Fórmulas de previsão das geadas ---------- 47

IV.5 - Métodos novos para o estudo e previsão das geadas ---- 48

IV.6 - Referências ---------- 49

Págs.

V - A GELADURA ---------- 51

V.1 - Tipos de dano por geladura ---------- 51

V.2 - Tipos de congelação nas plantas e a geladura --------- 53

V.2.1 - Congelação extracelular ---------- 56

V.2.2 - Congelação intracelular ---------- 58

V.3 - Discussão dos mecanismos de geladura ---------- 59

V.3.1 - Mecanismos em que o gelo é a causa directa da morte dos tecidos/plantas ---------- 60

V.3.2 - Mecanismos fisiológicos em que a dessecação, provocada pela presença de gelo extracelular, é a causa próxima da inviabilização das células/tecidos --------- 61

V.3.2.1 - Hipótese sulfidrilo-dissulfureto ---------- 62

V.3.2.2 - Outras hipóteses ---------- 62

V.3.3 - Mecanismos em que é a temperatura que induz modificações de consequências letais nas moléculas orgânicas celulares ---------- 63

V.4 - Hipóteses generalizadoras---------- 64

V.4.1 - Nota sobre o processo de congelação ---------- 64

V.4.2 - Hipóteses generalizadoras---------- 65

V.5 - Danos por resfriamento ---------- 69

V.6 - Referências ---------- 70

VI - MÉTODOS DE RESISTÊNCIA DAS PLANTAS E TECIDOS À GEADA -- 72

VI.1 - Introdução ---------- 72

VI.2 - Métodos de sobrevivência (ou resistência) às geadas - 72

VI.3 - Referências ---------- 80

VII - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS PLANTAS ÀS GEADAS. TEMPERATURAS CRÍTICAS ---------- 82

VII.1 - Fruteiras de folha caduca ---------- 83

VII.1.1 - Aclimatação e desaclimatação ---------- 83

VII.1.2 - Temperaturas críticas ---------- 88

VII.2 - Citrinos ---------- 91

VII.2.1 - Temperaturas críticas ---------- 93

VII.3 - Outras plantas ---------- 96

VII.4 - Referências ---------- 97

VIII - CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE LUTA CONTRA AS GEADAS -- 101

VIII.1 - Métodos indirectos (passivos) ---------- 101

VIII.2 - Métodos directos (activos) ---------- 102

Págs.

IX - MÉTODOS INDIRECTOS DE LUTA CONTRA AS GEADAS ---------- 104

IX.1 - Aumento artificial da geado-resistência ---------- 104

IX.2 - Sistemas de condução, podas a dois tempos e outras técnicas culturais que actuam sobre as plantas a proteger ---------- 104

IX.3 - Tratamento das sementes com microelementos e outros produtos químicos ---------- 105

IX.4 - Selecção e melhoramento ---------- 105

IX.5 - Escolha apropriada da época de desenvolvimento e utilização da espécie/variedade adequada ao local escolhido ---------- 107

IX.6 - Aplicação de substâncias químicas ---------- 108

IX.7 - Selecção do local de cultura e modificação da paisagem com o fim de actuar sobre o microclima ---------- 111

IX.7.1 - Selecção do local ---------- 111

IX.7.1.1 - Tipos de geada e locais menos geladiços --------- 112

IX.7.1.2 - Resumo dos factores que influenciam localmente a frequência e severidade das geadas de radiação -- 114

IX.7.2 - Modificação da paisagem ---------- 114

IX.8 - Controlo do estado nutricional das plantas ---------- 118

IX.9 - Influência do estado e cobertura do solo ---------- 120

IX.10 - Referências ---------- 126

X - UTILIZAÇÃO DE COBERTURAS ---------- 129

X.1 - Coberturas propriamente ditas ---------- 129

X.2 - Estufas e túneis ---------- 131

X.2.1 - Efeito dos materiais de cobertura sobre as temperaturas mínimas ---------- 132

X.3 - Espumas isoladoras ---------- 135

X.3.1 - Formulações e constituintes ---------- 135

X.3.2 - Produção de espuma ---------- 137

X.3.3 - Resultados obtidos ---------- 137

X.3.4 - Conclusões ---------- 138

X.4 - Referências ---------- 140

XI - UTILIZAÇÃO DE NEVOEIROS ARTIFICIAIS (E FUMOS) --------- 142

XI.1 - Fundamentos do método ---------- 142

XI.1.1 - Estimativa do c.d.o. correspondente ao poder emissivo monocromático máximo - λ_{max} - da superfície terrestre a 0°C ---------- 142

Págs.

XI.1.2 - Estimativa do poder emissivo da superfície terrestre (0°C) com 8 μm < λ < 12 μm. ---------- 142

XI.1.3 - Estimativa da radiação terrestre efectiva numa noite de geada ---------- 145

XI.1.4 - Resumo ---------- 146

XI.2 - Resolução teórica do problema de "fechar" a "janela atmosférica" ---------- 146

XI.3 - Soluções práticas deste método ---------- 147

XI.3.1 - Nevoeiros artificiais ---------- 147

XI.3.2 - Fumos ---------- 149

XI.4 - Referências ---------- 150

XII - AQUECIMENTO DIRECTO DO AR ---------- 152

XII.1 - Introdução ---------- 152

XII.2 - Aquecimento com combustíveis sólidos ---------- 154

XII.3 - Aquecimento com combustíveis líquidos ---------- 157

XII.3.1 - Tipos de combustível ---------- 157

XII.3.2 - Tipos de queimadores ---------- 157

XII.3.3 - O que se sabe sobre o método e exemplos escolhidos 159

XII.3.4 - Algumas questões ligadas com a prática do método-- 165

XII.4 - Sistemas de distribuição centralizada ---------- 167

XII.5 - Outros sistemas de aquecimento ---------- 168

XII.6 - Combinação de aquecedores com outros métodos ------- 168

XII.6.1 - Combinação de aquecedores e rega por aspersão ---- 168

XII.6.2 - Combinação de aquecedores com nevoeiro artificial- 169

XII.6.3 - Combinação de aquecedores e ventiladores --------- 169

XII.7 - Conclusões ---------- 172

XII.8 - Referências ---------- 174

XIII - VENTILAÇÃO FORÇADA ---------- 176

XIII.1 - Introdução ---------- 176

XIII.2 - Tipos de ventiladores: constituição e funcionamento 177

XIII.3 - Alguns resultados de campo ---------- 179

XIII.4 - Conclusões e condições de operação ---------- 183

XIII.5 - Helicópteros ---------- 185

XIII.6 - Referências ---------- 186

XIV - AS REGAS ---------- 187

XIV.1 - Rega clássica e rega de lima ---------- 187

Págs.

XIV.1.1 - Rega clássica ---------- 189

XIV.1.2 - Rega de lima ---------- 190

XIV.2 - Rega por aspersão ---------- 192

XIV.2.1 - Introdução ---------- 192

XIV.2.2 - Fundamentos do método ---------- 192

XIV.2.2.1 - Atraso da floração através do abaixamento de temperatura resultante da evaporação da água de rega ---------- 193

XIV.2.3 - Parâmetros da rega ---------- 195

XIV.2.4 - Equipamento utilizado ---------- 196

XIV.2.5 - Operação e precauções ---------- 197

XIV.2.6 - O caso particular da rega por aspersão sobre as coberturas ---------- 199

XIV.2.7 - Vantagens e inconvenientes da rega por aspersão por cima das copas e plantas na luta contra as geadas ---------- 201

XIV.3 - Referências ---------- 202

APÊNDICE A ---------- 205

APÊNDICE B ---------- 219

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Poder-se-ia pensar que, nas condições agroclimáticas portuguesas, as geadas não provocam prejuízos de monta. Nada é, porém, mais falso. 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. Há prejuízos importantes em muitas espécies cultivadas ao ar livre, aquando da ocorrência de geadas. As vinhas, citrinos, prunóideas e hortícolas são, porventura, as mais atingidas, mas pastagens, forragens e mesmo cereais são muitas vezes afectados (ver cap. VII) { cf.1}.

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 (ver cap. VII) podem ser atingidas e prejuízos importantes ocorrem ciclicamente (ver fig. 1). O montante dos prejuízos terá tendência a aumentar, também, com o aumento previsível das áreas protegidas (principalmente no Algarve) e introdução de culturas sensíveis, como resposta à expansão do mercado resultante da entrada de Portugal na C.E.E.

O quadro I.1 dá-nos uma ideia do valor global dos prejuízos provocados pelas geadas em Portugal.

O seguro de colheitas (incluindo a geada) abrange a maioria das culturas usuais, com algumas restrições. A cobertura dos riscos de geada negra só abrange as culturas em estufas (desde que estas satisfaçam os requisitos da apólice) e túneis. Há uma tendência natural de recorrerem ao seguro principalmente as empresas agrícolas que têm grandes probabilidades de terem prejuízos, pelo que os prémios são relativamente elevados. Embora haja restrições quanto a datas e regiões não se faz distinção

entre culturas bem ou mal situadas no que respeita à ocorrência de geada. Isto parece-nos inconveniente.

Quadro I.1

ANO	Indemninizações pagas em % dos prejuízos provocados por geadas	Valor das indemnizações pagas(contos)
1980	5,8%	2 446
1981	45,2%	41 595
1982	85,6%	355 997
1983	44,1%	160 657
1984	28,8%	116 300

Origem: Gentileza do Engº. Lobo Alves.

Nota: A maioria das Indemnizações pagas respeita às regiões Interior Norte e Centro. Os capitais seguros representam cerca de 30% do P.A.B. de origem vegetal.

Nas situações em que as culturas não podem ser abrangidas pelo seguro e naquelas em que a protecção resulte mais barata deve-se recorrer a ela. Por isto, este assunto será convenientemente tratado nos capítulos VII-XV.

O presente trabalho pretende ser uma modesta contribuição para a compreensão da problemática associada às geadas e dos métodos de luta contra este flagelo. Dirige-se aos estudantes e técnicos ligados à agricultura, mas procurámos utilizar uma linguagem tão simples quanto possível na esperança de que os agricultores mais bem informados, também, possam beneficiar dele.

Na nossa perspectiva, um trabalho desta índole impunha-se devido à escassez de literatura sobre as geadas, em portu

FIGURA I.1 - Danos provocados pelas geadas de Janeiro de 1985, em estufas de tomate, perto de Sintra. Note-se que, apesar da tentativa de protecção, por aquecimento directo, a colheita ficou quase totalmente comprometida.

guês. Nos últimos trinta anos, tanto quanto sabemos, apenas os Profs. J. Rasquilho Raposo e F. Reis Cunha e o Engº. M.L.Bettencourt publicaram trabalhos especificamente dedicados a aspectos do tema "geadas". Os trabalhos anteriores, alguns verdadeiras obras-primas, como não podia deixar de ser, não incluem importantes avanços da ciência e técnica que se processaram nos últimos anos.

Poder-se-ia pensar que esta escassez poderia ser compensada por magníficos trabalhos existentes noutros idiomas. Além da dificuldade, por muitos sentida, em ler e compreender línguas estrangeiras, há outros obstáculos a que isto seja inteiramente verdade. Há obras que se referem a condições muito diferentes das nossas e cuja adaptação requer um sentido crítico que, salvo raras excepções, só poderá advir de fastidiosas leituras, sobre o tema, que muitos dos interessados não podem empreender por falta de tempo. Por outro lado, embora não seja, evidentemente, a regra, há publicações recentes de prestigiadas instituições que, por qualquer motivo, estão pejadas de erros, imprecisões e anacronismos, que serão difíceis de detectar pela sua leitura exclusiva.

Far-se-á uma síntese dos conhecimentos actuais dos assuntos que reputamos de mais importantes no caso português, sem deixar de focar outros que podem interessar a agricultores com culturas e condições específicas. Propositadamente evitou-se um laconismo excessivo, visto que achamos importante dar dados suficientes para a compreensão e crítica das experiências relatadas e das razões que nos levaram a fazer algumas afirmações. Alguns quadros e figuras têm por fim aumentar a compreensão e/ou dar informação para a utilização prática deste trabalho.

Referência

1 CUNHA, J.M. ARRIAGA E (1952). *Contribuição para o Estudo do Problema das Geadas em Portugal*. Relatório final do Curso de Engenheiro Agrónomo. ISA. Lisboa.

CAPÍTULO II

GEADAS: DEFINIÇÕES E ESCLARECIMENTOS. CLASSIFICAÇÃO DAS GEADAS.

II.1 - Geada

A ocorrência de temperaturas do ar de 0°C 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-se, em primeira aproximação, supor 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 reflete exactamente a temperatura superficial dos objectos — estes, em condições de grande radiação efectiva e de pequena agitação do ar, têm menos alguns graus de temperatura. Os cristais que se formam assumem forma acicular, escamiforme, peniforme, etc. O aparecimento de cristais de gelo pode-se dever à congelação do orvalho formado ou à sublimação do vapor de água.

Pese embora a simplicidade do exposto, os conceitos que se lhe referem estão mal definidos e continuam a gerar inúmeras confusões, como ilustraremos a seguir.

II.1.1 - Conceitos encontrados na bibliografia

Hoog {11}(*) entende por "geada" a ocorrência de uma tem-

(*) "{}": os números contidos dentro de colchetes designam as referências.

peratura do ar inferior (ou igual) a $0^{o}C$, medida em abrigo meteorológico (tipo Stevenson) e à altura usual (1,25-2 m).

Outros, embora dêem a mesma definição, chamam-lhe "geada no abrigo"(*) {10,12}.

Há autores que chamam "geada", apenas, à ocorrência de uma temperatura do ar $\leq 0^{o}C$, sem definirem em que condições esta temperatura é, medida — abrigo (e tipo), índice actinotérmico, etc. — e a altura {9,17}. É claro que se deve subentender que este conceito é coincidente com o primeiro apresentado, mas isto não é, inequivocamente, estabelecido.

A designação de "geada" também é dada à formação de cristais de gelo sobre as superfícies {2,5,15} ou quando a temperatura das mesmas desce abaixo de $0^{o}C$ {6,18}.

Outros chamam "geada" à existência de uma temperatura do ar baixa, que causa danos (ou morte) às plantas, independentemente de se atingir o ponto de fusão da água ou não {23,24}.

Thom *et al.* {21} definem uma "geada de t graus" ("t — degree freeze") como a ocorrência de uma temperatura mínima de t^{o} ou menos — p.ex., geada de $-2^{o}C$.

Alguns autores de língua inglesa reservam o termo "frost" para o aparecimento de geada (cristais sobre as superfícies, com o aspecto descrito — em inglês: "hoar-frost" — ou congelamento do solo — em inglês: "frozen ground" —, conforme o caso) e o termo "freeze" para a ocorrência de geada, referindo-se a uma temperatura no ar de $0^{o}C$ ou inferior, (i.e., geada no ar — "air frost" — quando a temperatura no abrigo é $\leq 0^{o}C$; geada no solo — "ground frost" — quando a temperatura mínima na relva é $\leq 0^{o}C$) {3}. Esquematizando:

(*) Em inglês: "Shelter frost".

"frost" (palpável)	"hoar-frost" " frozen ground"
"freeze" (temperatura no ar de 0°C ou inferior)	" air frost" " ground frost"

II.1.2 - Conceitos adoptados

Para evitar confusões, adoptaremos no que se segue as seguintes definições:

(1) "Geada": consiste na ocorrência de uma temperatura do ar de 0°C ou inferior, medida em abrigo meteorológico tipo Stevenson, à altura de 1,5 metros.

(2) "Geada (t°C, h m)" seguida das condições de medição da temperatura do ar - sempre que esta não seja observada em abrigo meteorológico tipo Stevenson.

"t°C" significa que o limiar considerado foi de t°C $\leq$0°C, e que a temperatura do ar foi igual ou inferior a esse limiar, quando medida à altura de h metros. Exemplo: "geada (-2°C, 0,05 m) observada em termómetro de mínima na relva", significa que a temperatura do ar desceu abaixo de -2°C (ou igualou este valor), quando foi medida em termómetro de mínima na relva e à altura de 0,05 metros.

Este procedimento torna absolutamente desnecessários termos como geada no ar("air frost") e geada no solo ("ground frost").

(3) "Geada branca" ou formação de geada"(*) serão termos que utilizaremos quando nos referirmos ao hidrometeoro produzido pela congelação do orvalho, ou por sublimação do vapor de água, sobre as superfícies dos corpos arrefecidos até uma temperatura inferior (ou igual) a $0^{o}C$.

(4) "Solo gelado":<<Solo em que a temperatura é igual ou inferior a $0^{o}C$, contendo gelo e vapor de água, mas não água líquida.>> {25}.

(5) "Geada negra": Os termos "geada branca" e "geada negra" são de origem rural, estando consagrados pelo uso.

A "geada negra" ocorre quando o 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" —, após a ocorrência da geada. Note-se que a necrose é também um dos sintomas evidenciados após uma geada branca que causou danos. Por isso, Reis Cunha {5} conclui que a denominação de "geada negra" é incorrecta, atribuindo(implicitamente) a sua origem ao facto dos danos serem, geralmente, mais acentuados e, por isso, a necrose mais evidente neste tipo de geada. 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, pois pode-se 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.

(*) Termos equivalentes ao termo inglês "hoar frost".

II.2 - Classificação das geadas

II.2.1 - Quanto à origem(*)

Podem-se considerar três tipos e dois sub-tipos distintos de geadas:

- Radiação
  - Radiação (sentido restrito)
  - Advecção-radiação
- Advecção
- Evaporação

a) - As geadas de radiação (sentido restrito)

São as que resultam, principalmente, de uma radiação efectiva grande e são acompanhadas por céu, em geral, limpo, ponto de orvalho baixo, fraca turbulência atmosférica — calma ou vento fraco —, e outros factores que favorecem um agravamento do balanço energético negativo da superfície terrestre(ver III.2).

São geralmente de ocorrência localizada. Podendo as temperaturas durante o dia atingir até 15°C mas o arrefecimento nocturno conduz ao aparecimento de temperaturas negativas. Afectam com maior severidade as culturas em depressões do terreno e as terras próximas do fundo do vale.

b) - Geadas de advecção

Resultam da intrusão de massas de ao frio (árticas ou polares), pouco modificadas e de temperatura inferior a 0°C. São

(*) Classificação que propomos.

acompanhadas de vento com velocidade superior a uns 12 km/h à 10 m {12}, quando ocorre a temperatura mínima, sendo a humidade relativa geralmente baixa. Alguns autores também lhe chamam "geadas de vento" ("wind frosts"), "vagas de ar gélido"("freezes", "hard freezes" ou "advective freezes").

Afectam mormente as terras de maior cota e menos abrigadas, durante períodos que podem ser longos — alguns dias.

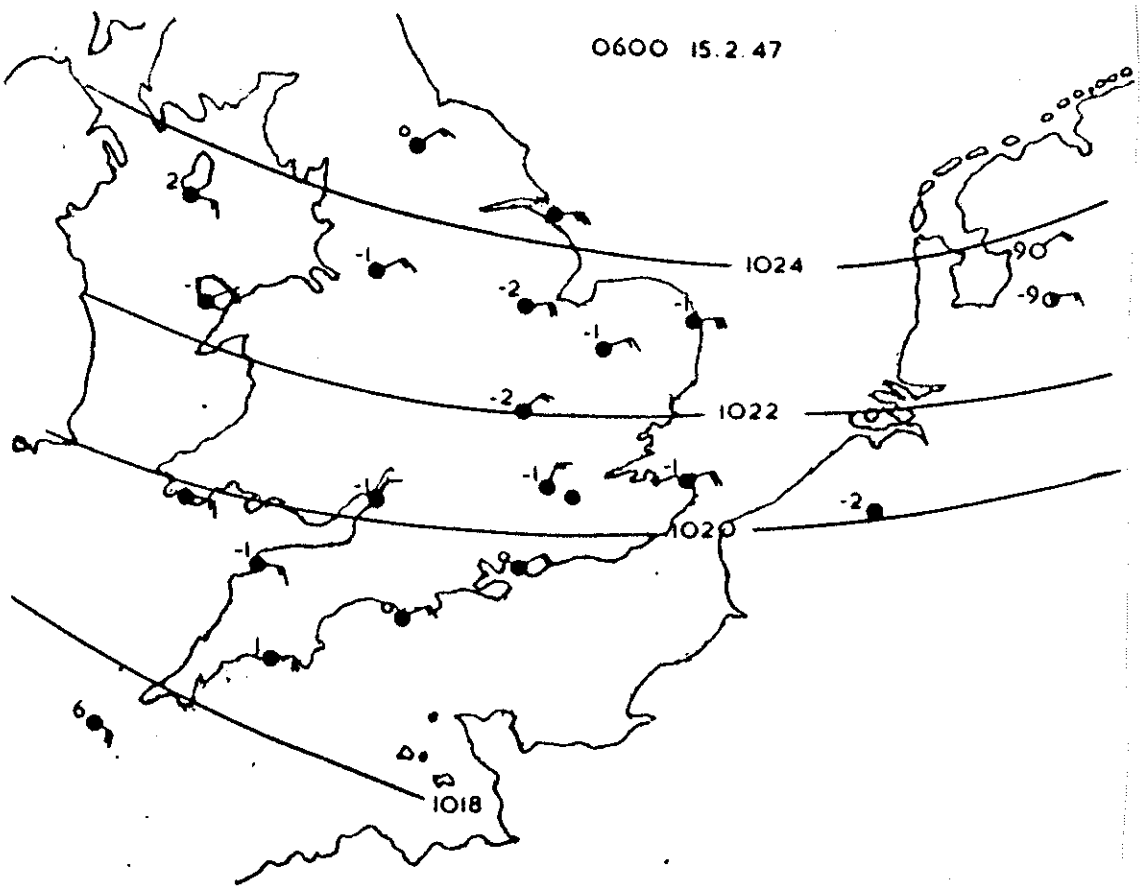


FIGURA II.1 - Geada de advecção (segundo Hamer; ref. 8).

A carta da figura II.1 mostra as condições típicas que produzem geadas de vento, no Reino Unido {8}. Veja-se o siste-

ma 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 -9°C para -1°C.

c) - 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°C, mas as condições que favorecem uma radiação efectiva elevada e um desenvolvimento de uma inversão térmica, 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.

d) - Geadas de evaporação

Ocorrem quando após a queda de aguaceiros, de gotas frias, o vento intenso e o elevado défice de saturação provocam 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 consequências {20}.

Esta classificação apresenta aspectos distintos das encontradas na bibliografia no que respeita aos conceitos de geadas de radiação (sentido restrito) e de advecção-radiação. Muitos são os autores que não fazem distinção entre estes dois tipos de geada {1,2,3,4,7,8,11,16,19,20,23,24}, contudo outros fazem-na {15,24} — e achamos que é conveniente fazê-la. A distinção, ao nível dos conceitos, é útil, porque têm origens diferenciáveis; mas em termos operacionais existe vantagem em tratá-las conjuntamente.

Vitkevich (1960), {24}, trata conjuntamente as geadas de advecção e as geadas de advecção-radiação, embora porque e como o faz possa levantar algumas críticas:

(1) Situações de vento forte, embora com radiação efectiva elevada, não permitem, grandes arrefecimentos do ar, a nível superficial, no curto espaço de tempo de uma noite. Então, se há ocorrência de geada é porque ela é de advecção, sendo,o contributo das perdas de radiação desprezável e a designação mista sem sentido.

(2) Situações de céu limpo, vento fraco, após a instalação recente (ou passagem lenta) de uma massa de ar relativamente fria (mas temp. $\geq 0^{o}C$), com radiação efectiva elevada, — o que têm em comum com as geadas de advecção? Não haverá condições de calma ou vento fraco — quando a temperatura está próxima de ser mínima? Haverá ou não uma contribuição decisiva das perdas por radiação, levando a temperatura abaixo de $0^{o}C$? Os locais mais afectados são ou não os mesmos do que no caso das geadas de radiação? Haverá ou não o desenvolvimento de uma inversão?

Parece-nos que as geadas de advecção-radiação são geadas de radiação com antecedentes advectivos. Assim, utilizaremos a

expressão "geada de radiação" ou "geada de radiação (sentido lato)" para designarmos os dois sub-tipos (i.e., geadas de radiação (sentido restrito) e de advecção-radiação).

Dadas as definições acima podemos dizer que, em Portugal as geadas são quase todas de radiação (sentido lato).

Reis Cunha (1982), {5}, quando estudou a ocorrência da "geada negra" no Algarve, apresentou numerosas situações meteorológicas, acompanhadas de cartas de superfície e altitude, respectivas descrições e outros elementos. A sua análise permitiu-nos concluir que as geadas negras que ocorrem no Algarve são na sua totalidade (ou quase) englobáveis sob a designação de geadas de advecção-radiação — segundo a definição aqui apresentada.

II.2.2 - Classificação das geadas quanto à época de ocorrência

Numa análise planetária as geadas ocorrem em todas as estações do ano, na primavera — g. primaveris —, no outono — g. outonais —, no verão — g. estivais — e no inverno — g. invernais.

É difícil fazer generalizações em termos dos prejuízos que provocam. Em latitudes (e altitudes) elevadas as geadas podem ocorrer também no verão e provocar bastantes prejuízos. Na Finlândia, por exemplo, os maiores prejuízos ocorrem no Verão, especialmente em Agosto {22}. Nas latitudes médias distribuem-se pelo inverno, primavera e outono. Sendo, de um modo geral, mais prejudiciais (culturas ao ar livre) as tardias de primavera, e precoces de outono. Portugal não é excepção.

Nota: Podem-se encontrar na bibliografia equivalências entre tipos de geadas que são de desaconselhar totalmente. Por ex:
- "...geadas invernais(ditas geadas negras)..."{13};é incorrecto,ainda mais porque o autor se refere à Europa.
- "geada negra ou geada por advecção..." e "geada branca ou geada de radiação..." {14}.Embora os conceitos possam em parte, ser sobreponíveis,isto é,segundo nos parece, incorrecto.

II.3 - Referências

{1} - BALLARD, J.K. & PROEBSTING, E.L. 1978. Frost and frost control in Washington orchards. *Ext. Bull.* 634, *Washington State Univ.*, Pullman, Wash. 27 pp.

{2} - 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.

{3} - BLANC, M.L. *et al.* 1963. Protection against frost damage. *WMO, Tech. Note* nº 51.62 pp.

{4} - CHANG; J. 1968. *Climate and Agriculture*. Aldine Pub.Comp. 304 pp.

{5} - CUNHA, F. REIS. 1982. O problema da "geada negra" no Algarve. *INIA. Divulgação* 12.125 pp.

{6} - CUNHA, J.M. ARRIAGA e. 1952. *Contribuição para o Estudo do Problema das Geadas em Portugal*.Relatório final do Curso de Engenheiro Agrónomo. I.S.A., Lisboa.

{7} - GEIGER, R. 1961. *Manual de Microclimatologia*. Trad. portuguesa, 4ª ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

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

{9} - HEWETT, E.W. 1971. Preventing frost damage to fruit trees. *Information series No. 86. New Zealand Dept. of Sci.and Ind. Res.* 55 pp.

{10} - HOGG, W.H. 1950. Frequency of radiation and wind frosts during spring in Kent. *Met. Mag.* 79:42-49.

{11} - HOGG, W.H. 1971. Spring frosts. *Agriculture* 78(1):28-31.

{12} - LAWRENCE, E.N. 1952. Frost investigation. *Met. Mag.* 81:65--74.

{13} - LEHOCZKY, M.M.L. & NACSÁDY, A. 1980. Méthodes et moyens de protection contre la gelée. *Nations Unies. Commission Économique pour l'Europe. Rapport Agri/Mech No 85.* 27 pp.

{14} - MAURY, P. & MARX, G. 1972. La protection des vignoles contre les gelées de printemps. *Progrès Agric. et Vitic.*, 1972, an. 89, nº 7, pp.146-155.

{15} - MOTA,F.SILVEIRA da 1981. *Meteorologia Agrícola*. 5ª ed.Liv. Nobel. São Paulo. pp.200-228.

{16} - PRIMAULT, B. 1979. Plant climate (heating and cooling).*In: Agro-meteorology*. Spinger-Verlag, Berlim, pp.200-211.

{17} - RAPOSO, J. RASQUILHO. 1967. A defesa das plantas contra as geadas. *Junta de Colonização Interna, Est. Téc.* nº 7.

{18} - ROSENBERG, N.J. 1974. *Microclimate: The Biological Environment*. Wiley, New York, 315 pp.

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

{20} - SERVIÇO METEOROLÓGICO NACIONAL. 1977. Estudio de heladas en España. *Instituto Nacional de Meteorologia. Publicación.* A-76. Madrid. pp.51.

{21} - THOM, H.C.S., & SHAW, R.H. 1958. Climatological analysis of freeze data for Iowa. *Mon. Weather Rev.* 86: 251-257.

{22} - VALMARI, ARVI 1966. *On Night Frost Research in Finland.*

{23} - VENTSKEVICH, G.Z. 1958. *Agrometeorology*. Trad. do russo pelo Israel Prog. Sci. Trans. Jerusalém, 1961, pp.128--151.

{24} - VITKEVICH, V.I.1960. *Agricultural meteorologis*. Trad. do russo pelo Israel Prog. Sci. Trans. Jerusalém, 1963, pp. 232-246.

{25} - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. 1966. International meteorological vocabulary. *WMO-No. 182. TP. 91.*

CAPÍTULO III

GEADAS DE RADIAÇÃO (sentido lato)

Em Portugal Continental são de considerar principalmente as geadas de radiação, mais frequentes, e as únicas que ocorrem em grande parte do território {3}.

III.1 - Situações meteorológicas

Em Portugal as situações meteorológicas responsáveis pela ocorrência de geadas, mês a mês, são as seguintes {3}:

"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 e 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

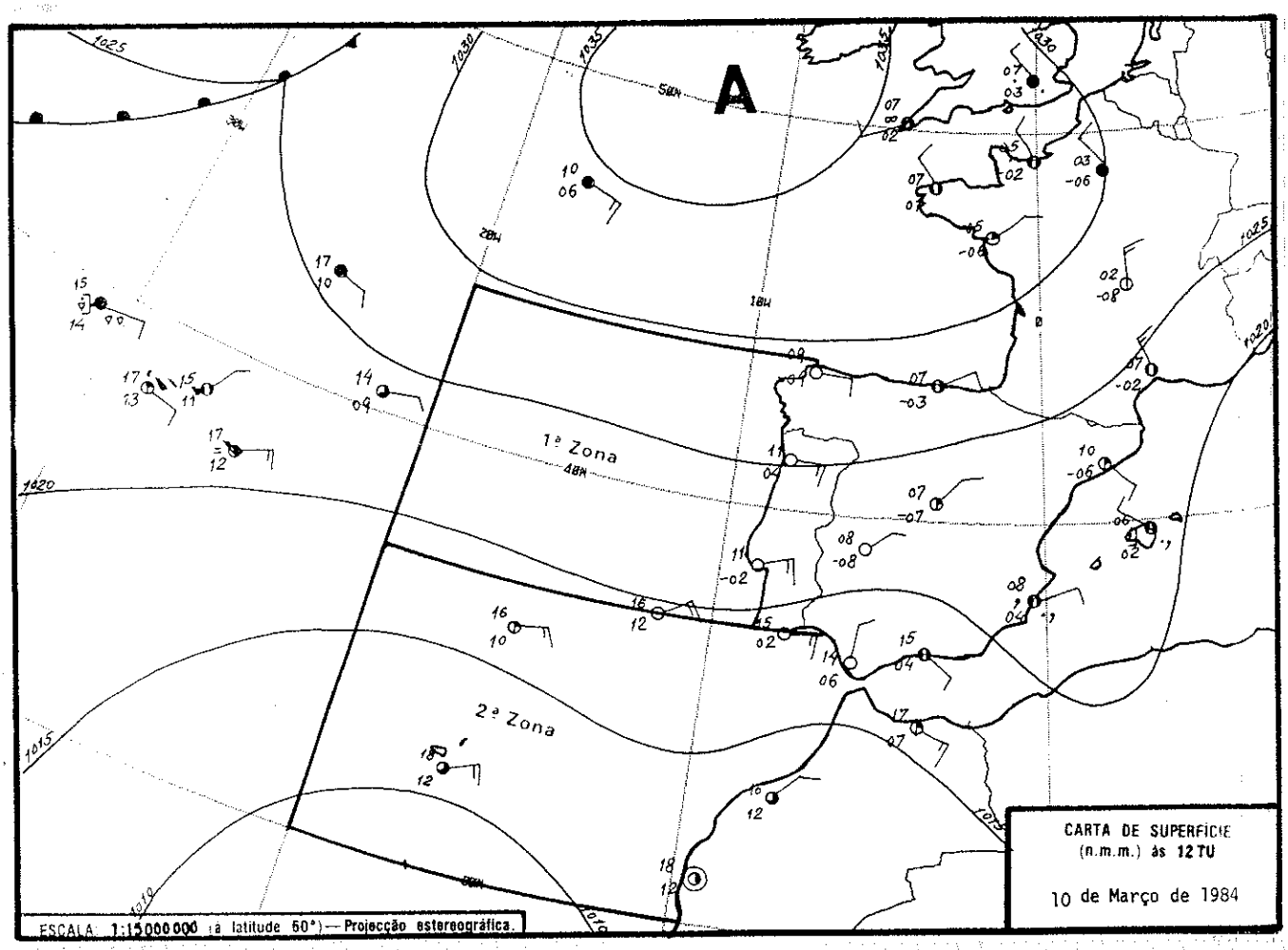


Figura III.1

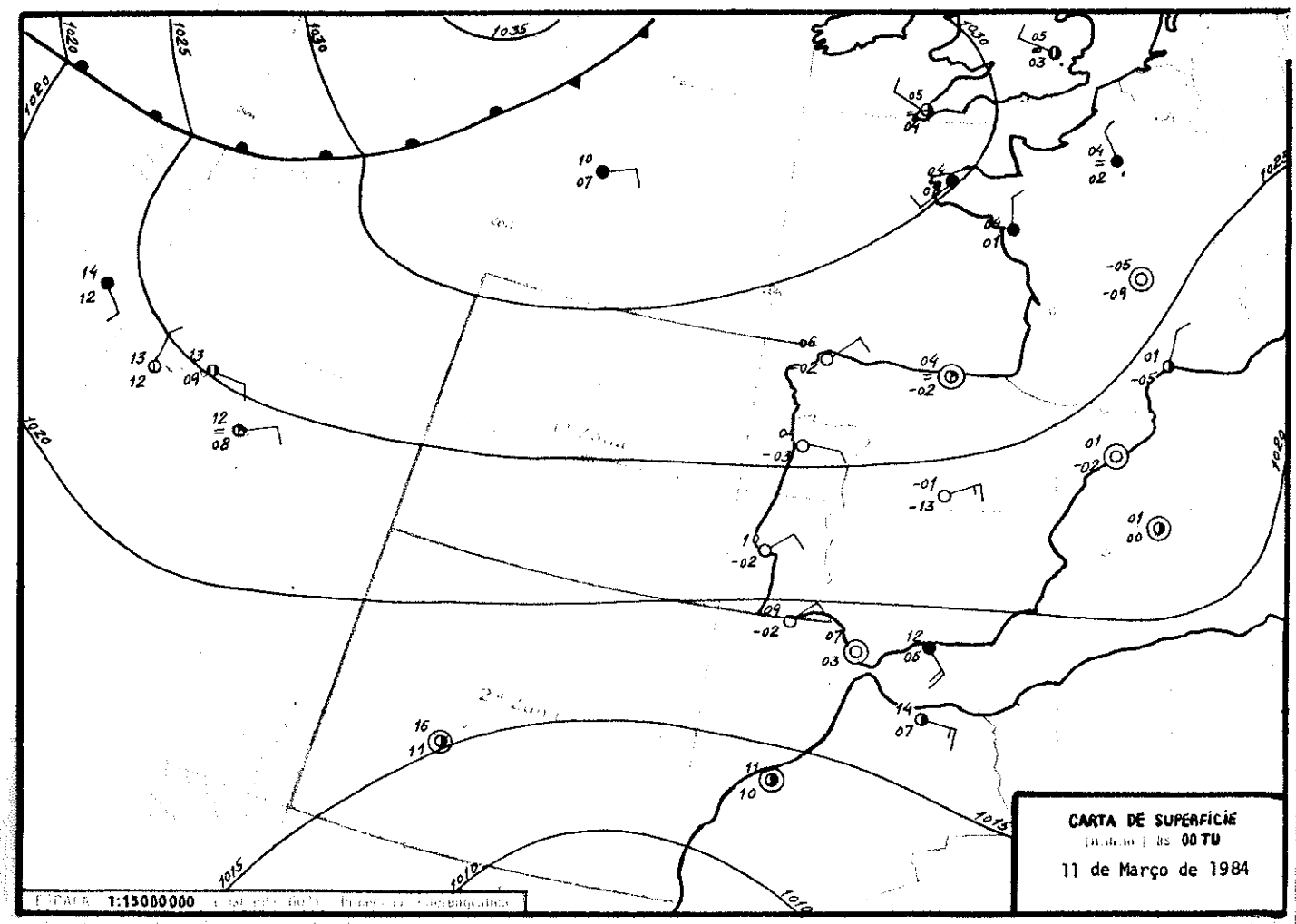


Figura III.2

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 anticlone 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 respresentada por um anticiclone centrado na Península Ibérica. Nesta situação meteorológica a grande radiação nocturna é 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."

As cartas das figuras III.1 e III.2 representam uma situação típica de ocorrência de geadas de radiação(*).

(*) Rigorosamente, este é o caso de uma geada de advecção-radiação.

Na figura III.1 - 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 continental, após passagem sobre o Continente Europeu.

A figura III.2 - 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, sobre o Território do Continente (nas estações representadas).

III. 2 - Arrefecimento nocturno de uma superfície terrestre {5,6,10,11,12,15,17}

III.2.1 - Balanço energético de uma superfície terrestre

A figura III.3 pretende ilustrar o balanço energético de uma superfície terrestre, com a generalidade julgada conveniente — desprezando os fluxos horizontais de calor e outros fluxos de pouca importância relativa.

A superfície do solo é uma camada limite de espessura zero (Z = 0). Esta superfície é atravessada por diversos fluxos energéticos.

III.2.1.1 - Balanço da radiação de pequeno comprimento de onda

Durante o dia, a radiação solar de pequeno comprimento de onda (c.d.o.) — 99% da energia solar tem c.d.o. compreendidos entre 0,15 e 4,0 μm {11}—, atinge a superfície terrestre após ter sofrido deplecção, fundamentalmente por absorção, difusão e reflexão.

A absorção dá-se, principalmente, ao nível dos constituintes permanentes do ar, dioxido de carbono, suspensoides e vapor de água, com especial destaque para este último e para o dióxido de carbono.

A difusão dá-se nas mesmas moléculas e suspensóides, embora a sua natureza e selectividade sejam diferentes.

A reflexão dá-se principalmente nas núvens,cujo albedo é

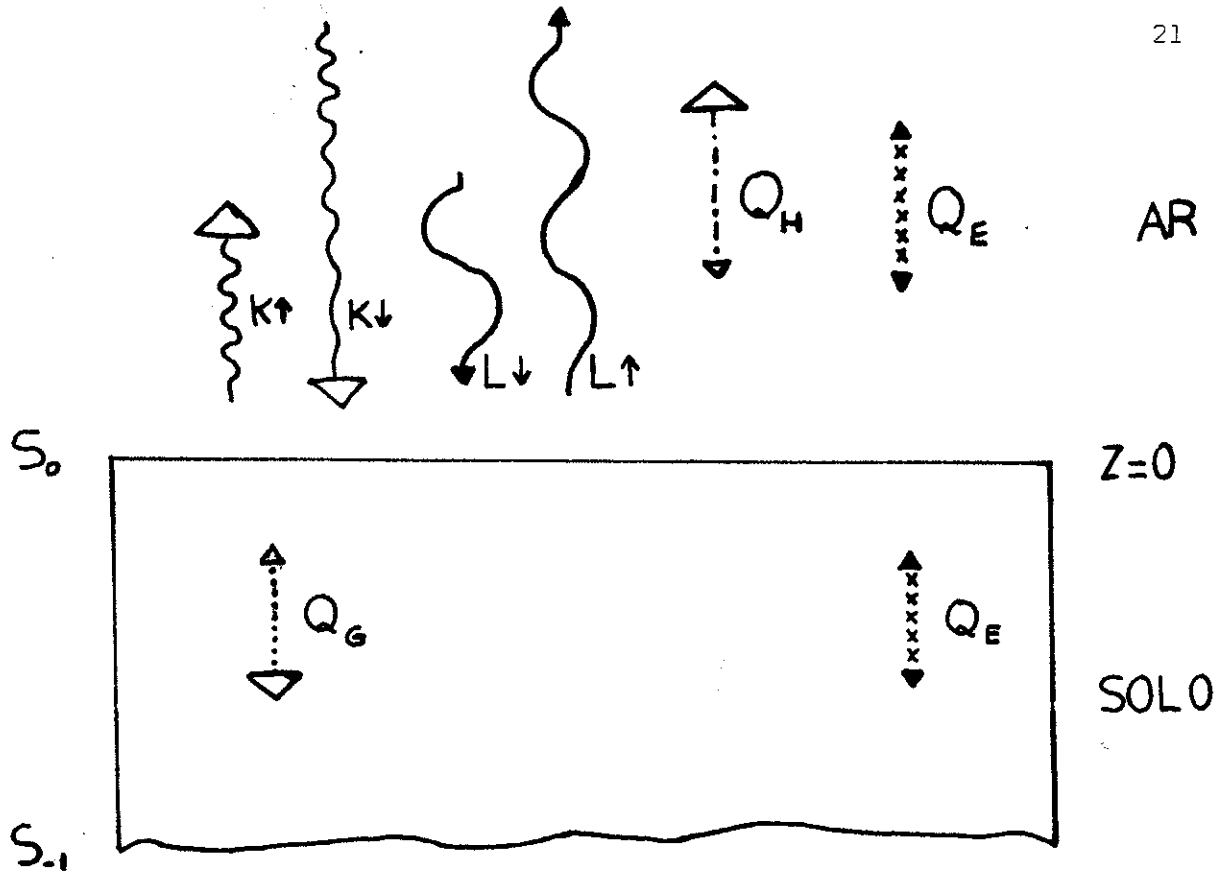


Figura III.3 - Diagrama esquemático ilustrando o balanço energético local.

Legenda:

K↓ = Fluxo da radiação solar, de pequeno c. d. o.

K↑ = α.K↓

L↓ = Fluxo da radiação da atmosfera, de grande c. d. o.

L↑ = Fluxo da radiação terrestre, de grande c. d. o.

Q_E = Fluxos de calor na atmosfera e no solo, como resultado das mudanças de fase da água

Q_G = Fluxo de calor sensível no solo, por condução molecular.

Q_H = Fluxo de calor sensível no ar, por convecção (e condução).

S_o = Superfície do solo (camada limite de espessura z = 0)

S_{-1} = Superfície abaixo da qual a temperatura se mantém praticamente constante durante o intervalo de tempo considerado.

Radiação de pequeno c. d. o.

Radiação de grande c. d. o.

Condução e convecção

Condução molecular

Mudança de fase da água

Sentido nocturno

Sentido diurno

Sentido diurno e/ou nocturno

elevado.

O fluxo da radiação solar que atinge a superfície ($K\downarrow$)(*) é em parte reflectido. O fluxo reflectido ($K\uparrow=\alpha.K\downarrow$) depende do albedo da superfície (α) para os c.d.o. da região da radiação solar. O albedo é função não só da natureza do solo e sua co - bertura, mas também de muitos outros factores: altura do Sol no instante considerado, estado hídrico das plantas e solo, ar quitectura e estrutura do coberto vegetal, estádio de desenvolvimento, percentagem de solo coberto, etc..

O quadro III.1 dá alguns valores do albedo dos pequenos c.d.o. para diversas superfícies naturais.

O balanço da radiação de pequeno c.d.o. pode, então, escrever-se:

$$K^{x} = K\downarrow - K\uparrow = K\downarrow - \alpha.K\downarrow = (1-\alpha)\ K\downarrow \qquad \text{(III.1)}$$

III.2.1.2 - Balanço da radiação de grande comprimento de onda

Segundo o princípio de Prévost, qualquer corpo a uma temperatura superior ao zero absoluto emite energia radiante. Como esta temperatura só se atinge em alguns ponto do espaço sideral, todos os corpos existentes sobre a terra emitem energia radiante. Além disso, a densidade do fluxo radiante emitido é dada por:

$$E = \varepsilon\ \sigma\ T^{4} \qquad \text{(III.2)}$$

em que ε é a emissividade, σ é a constante de Stefan-Boltz - mann ($5,67 \times 10^{-8}$ w. m^{-2} K^{-4}) e T é a temperatura em Kelvins.

A terra emite, aproximadamente, como um corpo negro. Pode-se, então considerar a emissividade (ε) igual à unidade, em muitos casos. Contudo {12} ε= 0,97 (relvado), 0,98 (areia),

---

(*) Trata-se da radiação solar global (directa + difusa).

QUADRO III.1

ALBEDO dos pequenos comprimentos de onda de superfícies naturais.

Neve fresca	0,80-0,95
" velha	0,42-0,70
Solos arenosos secos	0,25-0,45
" argilosos secos	0,20-0,35
" orgânicos	0,05-0,15
FLORESTAS	
Florestas de folha caduca	0,15-0,20
" de coníferas	0,10-0,15
" de folha caduca, com neve no solo	0,20

Valores extraídos do livro de N.J. Rosenberg (ref. 15).

Local	*Cultura*	*Albedo*	*Referências citadas por CHANG(Ref.5)*
Inglaterra	Relva,luzerna,batata,beterraba açucareira,trigo de primavera	0,25-0,27	Monteith (1959)
U.R.S.S.	Aveia Batatas Prado Algodão	0,10-0,25 0,15-0,25 0,15-0,25 0,20-0,25	Budyko (1958)
Nova Jersey	Espinafre	0,24-0,28	Thornthwaite (1954)
Canadá	Milho	0,12-0,21	Graham e King (1961)
Nova Iorque	Milho	0,235	Allen e Brown (1965)
Austrália	Algodão irrigado	0,171-0,196	Fitzpatrick e Stern(1966)
Inglaterra	Relva curta	0,25-0,27	Monteith e Szeicz(1961)
"	Relva longa	0,26	Idem
Hawaii	Cana de açúcar	0,05-0,18	Chang (1961)
"	Ananás	0,05-0,08	Ekern (1965)

0,95 (H_2O); e para a maioria das superfícies vegetais $0,90 < \varepsilon < 0,95$ {5}.

A energia radiante de grandes c.d.o. de origem terrestre ($L\uparrow$) pode, admitindo a hipótese do corpo negro, ser estimada pela lei de Stefan-Boltzmann:

$$E = \sigma T^4 \qquad \text{(III.3)}$$

A energia, emitida pela superfície terrestre é interceptada, em parte, pelos constituintes permanentes do ar, dióxido de carbono, pelo vapor de água e pelas gotículas das núvens.

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 ao poder emissivo máximo (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, suspensoides com um diâmetro próximo de 10 µm, e em quantidade suficiente. As núvens satisfazem admiravelmente esta condição e são responsáveis, quando presentes, pela intercepção de parte importante da radiação terrestre (ver também. cap. XI).

Por seu turno, a atmosfera e as núvens emitem energia radiante, de grande c.d.o., que atinge a superfície terrestre ($L\downarrow$)(*). Este fluxo radiante é quase totalmente absorvido por

(*) Angstrom, *cit in* {6} e {12}, estabeleceu a seguinte fórmula empírica, para dias de céu limpo, para estimar a radiação da atmosfera ($L\downarrow$):

$L\downarrow$ (céu limpo) $= \sigma T^4 (a - b.10^{-c.e.})$ $cal.cm^{-2}.min^{-1}$ (III.5) sendo T a temperatura do ar (em Kelvins) e a tensão do vapor de água (em mm Hg), a, b, c constantes e σ a constante de Stefan-Boltzmann. Nesta fórmula os valores são de a = 0,820, b = 0,250 e c = 0,126, para a costa báltica alemã.

essa superfície, visto que ela se comporta, como se disse, muito aproximadamente como um corpo negro, para os grandes c.d.o.

O balanço dos grandes c.d.o. é:

$$L^{x} = L\downarrow - L\uparrow \qquad \text{(III.4)}$$

É evidente que L^{x} varia ao longo do dia e noite visto que as temperaturas, quer da superfície terrestre, quer das fontes da energia emitida pela atmosfera para o local considerado variam, e a nebulosidade também.

À diferença entre a radiação terrestre infra-vermelha e a radiação da atmosfera ($-L^{x}$) chama-se "radiação terrestre efectiva". Existem numerosas equações que permitem estimar a radiação terrestre efectiva, como, por exemplo, a de Brunt (1934):

$$R_{T} = \sigma\ T^{4}\ (0{,}56-0{,}08\ \sqrt{e})\ (1-a\ C) \qquad \text{(III.6)}$$

onde R_{T} é a radiação terrestre efectiva, e é a tensão real do vapor, a é uma constante dependente do tipo de nûvens e C é a nebulosidade em décimos de céu coberto.

III.2.1.3 - Radiação líquida. Arrefecimento nocturno

O balanço de todos os fluxos radiantes — c.d.o. curtos e longos — é:

$$Q^{x} = K^{x} + L^{x} = (1-\alpha)\ K\downarrow + (L\downarrow - L\uparrow)\ (*) \qquad \text{(III.7)}$$

e chama-se "radiação líquida" ou balanço de radiação (Q^{x}).

A radiação líquida é a diferença entre os fluxos radiantes descendentes e ascendentes, e é a medida da totalidade

---

(*) O significado das letras já foi dado anteriormente.

da energia disponível para os outros fluxos caloríficos. Então:

$$Q^{\times} = K^{\times} + L^{\times} = Q_G + Q_H + Q_E \quad (*) \qquad (III.8)$$

em que Q_G, Q_H e Q_E têm o significado constante da legenda da figura III.3. O sentido negativo é o que se dirige para a superfície e o positivo o contrário.

Durante o dia-$Q^{\times} > 0$ (ver figura III.4-a) havendo transferência de calor para o ar por convecção (e condução), para o solo por condução e havendo, normalmente, utilização de energia térmica na evaporação.

À noite — desde pouco antes do ocaso do Sol até pouco depois do alvorecer — $Q^{\times} < 0$ (ver figura III.4-b). A temperatura superficial do solo, diminue se o fluxo de calor sensível do solo (Q_G), o fluxo de calor sensível do ar (Q_H) e a condensação do vapor de água (Q_E) — que é desprezável — não contrabalançam a radiação líquida. Note-se que esta é, então, igual ao balanço da radiação dos grandes c.d.o. ($L^{\times}$), o que equivale a dizer que é igual em módulo à radiação terrestre efectiva mas de sinal contrário.

Na maioria das noites a radiação efectiva (terrestre) não é compensada da forma citada — dá-se arrefecimento nocturno. A taxa de arrefecimento é, portanto, função da radiação da atmosfera ($L\downarrow$) — visto que a radiação terrestre ($L\uparrow$) é apenas função da temperatura da superfície —, por um lado, e, por outro, dos fluxos de calor sensível (Q_H e Q_G) e dos fluxos de calor latente (Q_E).

A radiação da atmosfera depende, fundamentalmente, da nebulosidade e do tipo de núvens — quanto maior aquela e mais baixas estas, maior é a densidade desse fluxo. O conteúdo de vapor de água da atmosfera também influencia, mas em menor grau.

(*) Ver a figura III.4).

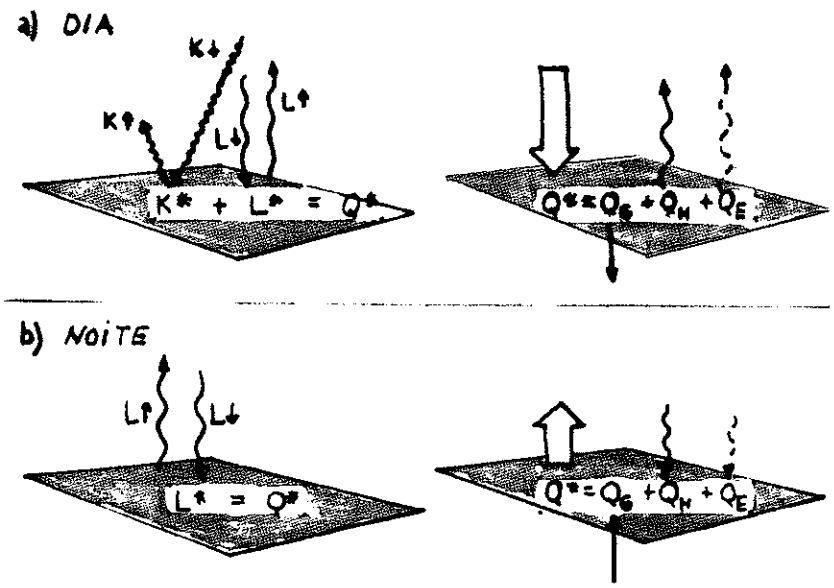


FIGURA III.4 - Representação esquemática do balanço da radiação e da energia de um local "ideal", a) durante o dia e b) à noite. (Segundo Oke, 1978).

O fluxo de calor sensível do ar (sentido negativo: ar → superfície) depende do estado de agitação do ar, visto que a transferência de calor por convecção é muito mais eficiente do que por condução.

O fluxo de calor sensível do solo depende do calor armazenado no solo e da sua disponibilidade à superfície. Ou seja, por um lado, da capacidade calorífica do solo e, por outro, da condutividade térmica. A capacidade calorífica do solo é função do calor específico, densidade, humidade, etc. A condutividade do solo aumenta com a compactação do solo e grau de humidificação.

O fluxo de calor latente, normalmente, não contribue em grande extensão, para atenuar a taxa de arrefecimento nocturno — temos, como exemplos, a formação de orvalho e geada, e o congelamento de água no solo.

Resumamos as condições do arrefecimento nocturno:

(1) O arrefecimento nocturno resulta da incapacidade de obter compensação para as perdas por radiação efectiva, por parte de outras componentes do balanço energético — os fluxos de calor sensível do solo e ar, e as transferências de calor latente.

(2) O fluxo de calor sensível do solo pode ser aumentado, aumentando a capacidade calorífica e/ou a condutividade térmica do solo.

Somente camadas do solo até S_{-1} — aquelas que sofrem oscilações diárias de temperatura —, podem contribuir para o fluxo de calor do solo, através da superfície do solo, durante a noite.

A capacidade calorífica de um solo é igual à soma das capacidades caloríficas dos seus constituintes. Como a densidade aparente do solo é baixa é necessário entrar com ela para o cálculo da capacidade calorífica volumétrica.

Ao humedecer-se um solo a sua densidade aparente aumenta, porque a água vai substituir ar; e a capacidade calorífica volumétrica também aumenta devido ao elevado calor específico desta. Com efeito, a capacidade calorífica de um solo continua a subir constantemente até ao estado de saturação.

A condutividade térmica das camadas superficiais do solo é o factor que isoladamente influencia em maior grau o referido fluxo. Embora a água seja cerca de uma ordem de grandeza menos condutora do que o solo seco e compacto, a sua entrada no solo, substituindo ar, aumenta a condutividade térmica daquele. O tipo de solo e o grau de compactação influenciam também esta propriedade do solo.

(3) À noite a superfície do solo é tipicamente a fonte fria, arrefecendo o ar que com ela contacta. A renovação do ar permite acelerar estas trocas de calor, aumentando o fluxo de calor sensível do ar para o solo.

(4) A condensação e congelação libertam calor latente. Este pode, então, contribuir para a diminuição da taxa de arrefecimento.

(5) Não nos devemos esquecer de que a radiação da atmosfera varia com a nebulosidade, tipo de núvens e altura(temperatura) das mesmas; além da temperatura do ar e conteúdo de vapor de água.

III.3 - Inversão térmica

As geadas de radiação, como o próprio nome indica, resultam, fundamentalmente, de uma radiação efectiva terrestre grande. Criadas as condições para o arrefecimento da superfície (ver III.2) 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 (ver figura III.5). Ora, isto é precisamente o oposto do que normalmente acontece com o gradiente da temperatura durante o dia, daí o nome de "inversão térmica", dado aos perfis de temperatura com as características dos apresentados na fig. 5. Note-se, contudo, que nos casos apresentados na figura existe um perfil de temperatura, num pomar, que apresenta o mínimo de temperatura um pouco acima do nível do solo — a cerca de 1 metro. 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 h_2=15 m e h_1=1,5 m,para termos de comparação.

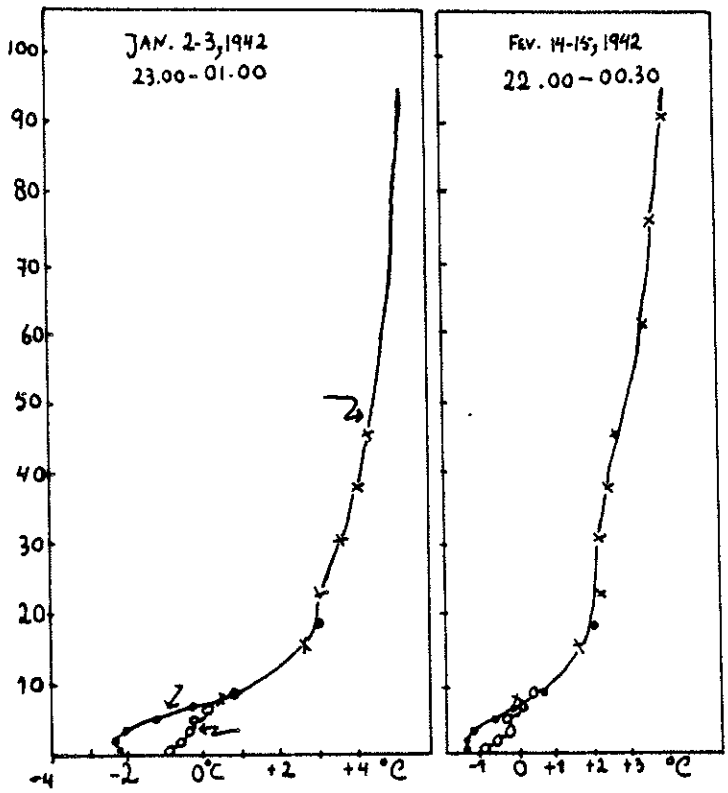


FIGURA III.5 - Perfis de temperatura num pomar e acima de solo lavrado e nú,antes de acender os aquecedores, em duas noites com inversões diferentes. (Adpatado da ref. 9).

Um "tecto baixo" significa que a inversão é forte, e esta é uma condição que favorece o desempenho capaz de muitos sistemas de protecção activa contra as geadas.

As condições que favorecem o fortalecimento de uma inversão são:

(1) Temperatura durante o dia relativamente alta.

(2) Todas as condições que favorecem o arrefecimento superficial (ver III.2), incluindo uma turbulência baixa do

ar junto ao solo.

A figura III.6 mostra vários perfis de temperatura, numa noite de geada de radiação. A 15 cm de altura a temperatura atingiu os $0^{o}C$ por volta da 1 hora da manhã; às 5 horas a temperatura era de $-2,5^{o}C$, à mesma altura. No entanto a 3 metros, a temperatura manteve-se sempre acima de $0^{o}C$.

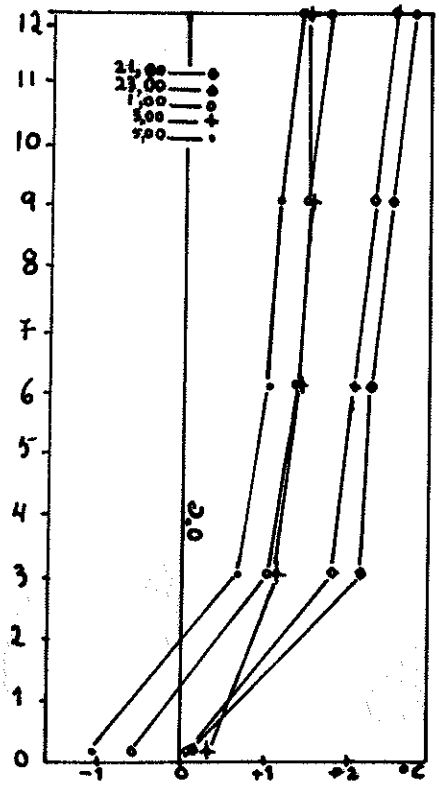


FIGURA III.6 - Perfis de temperatura em instantes diferentes durante a noite de geada, 14-15 de Setembro de 1961, em Columbus, Nebraska, (Adaptado da ref. 14).

A figura III.7 revela as relações entre a temperatura a diferentes alturas e a velocidade do vento. Note-se o efeito da velocidade do vento sobre a temperatura a 15,2 cm (6 in): quando o vento soprava um pouco mais intensamente desfazia-se a inversão. Os ventiladores actuam precisamente deste modo; misturam o ar mais quente superiormente colocado com o mais frio que se encontra mais próximo do solo (ver cap. XIII) {14}.

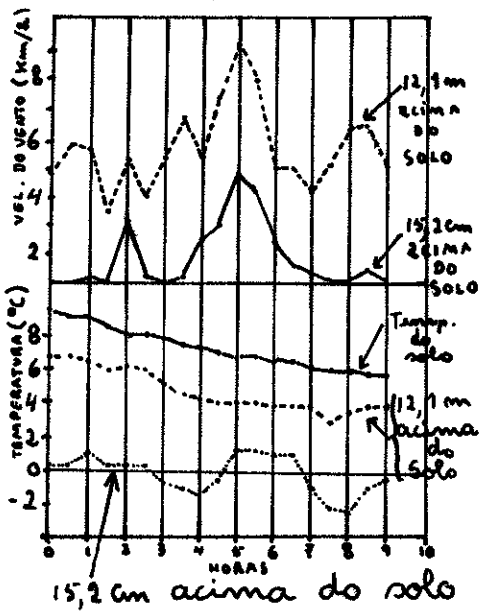


FIGURA III.7 - Flutuações da temperatura do solo e do ar e da velocidade do vento na noite de geada de 14-15 de Setembro de 1961, em Columbus, Nebraska. (Adaptado da ref. 14).

CONCLUSÕES

Do exposto se conclui que, sem conhecer a intensidade da inversão, não se pode conhecer a temperatura a determina-

da 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, a cerca de 1,5 m —, porque podemos estar — e estamos normalmente — a subestimar o *stress* térmico a que os orgãos, vegetais mais próximos da superfície estão submetidos. Por outro lado, a temperatura daqueles orgãos, nas condições prevalescentes na camada de ar junto ao solo, aquando das geadas de radiação, — costuma ser mais baixa 1 ou 2°C 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 15-240 m {1}, é uma das características fundamentais das geadas de radiação e a sua destruição 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.

III.4 - Relação entre a topografia e a frequência e severidade das geadas de radiação

O ar arrefecido, por contacto com uma superfície que ~~se~~ esfria, torna-se mais denso, dando origem a uma situação de estabilidade em que o ar mais frio (e denso) ocupa cotas inferiores, na ausência de vento de intensidade suficiente para dissolver a estratificação resultante. Isto refere-se a uma situação em que o ar tornado mais denso não tem escoamento.

Aquando da ocorrência de uma geada de radiação nem sempre o ar frio que envolve as plantas foi arrefecido no local

---

(*) Segundo Mata Reis (1985), {13}, no caso das temperaturas mínimas, há diferenças de temperatura dentro e fora do abrigo até 2°C, dependendo da intensidade do vento.

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.

Bergen (1969),{2},descobriu uma relação directa entre a taxa do fluxo catabático e a radiação líquida nocturna e seu efeito no abaixamento da temperatura potencial do ar. Os ventos catabáticos locais, associados a esses fenómenos, têm velocidades da ordem dos 1-2 m/s.

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 (ver figuras III.9 e III.10).

Na figura III.8 está representado um vale da Pennsylvania Central onde se estudou a relação entre a elevação e a temperatura em noites de geada, durante a última hora antes do nascer do Sol. Para tal foram feitas travessias, por estrada, com um veículo com termómetros instalados nele, deslocando-se a uma velocidade de aproximadamente 40 km/h. Os percursos estão, também, assinalados no mapa da figura. Constatou-se um incremento praticamente linear da temperatura com a elevação relativa(*).A correlação mais perfeita ocorreu para

---

(*) 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.

as travessias de P. Furnace. Isto deve-se, provavelmente, ao facto da elevação relativa média deste percurso (18,1 m) ser mais baixa do que o de Circle Ville (38,6 m) (ver figura III.9 e III.10). Tudo leva a crer que quando o revelo atinge escala maior a correlação baixa, porque o incremento de temperatura deixa de ser linear com a elevação relativa {8}.

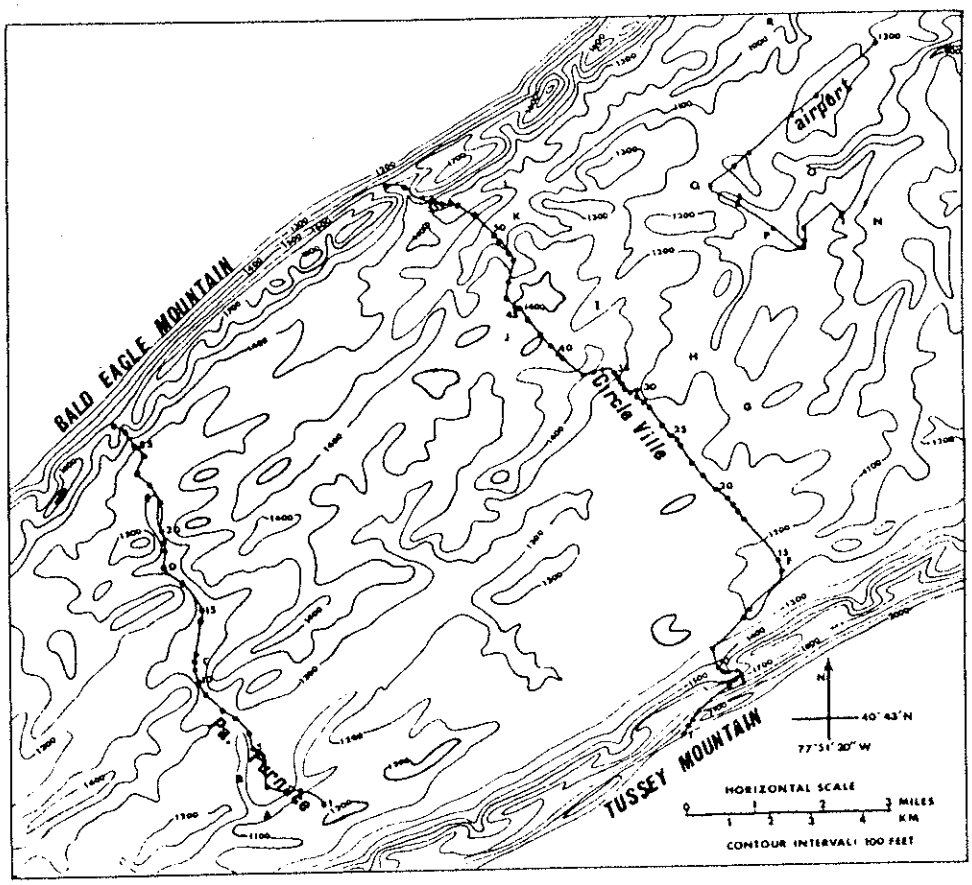


FIGURA III.8 - Reprodução de um mapa topográfico de uma secção do Vale Nittany, na Pennsylvania, com curvas de nível espaçadas de 100 pés;Pontos de controlo nos quais as observações foram feitas,estão indicados por símbolos, estando estes numerados de 5 em 5.Os fundos dos vales estão indicados por símbolos e letras maiúsculas.(Extraído da ref.8).

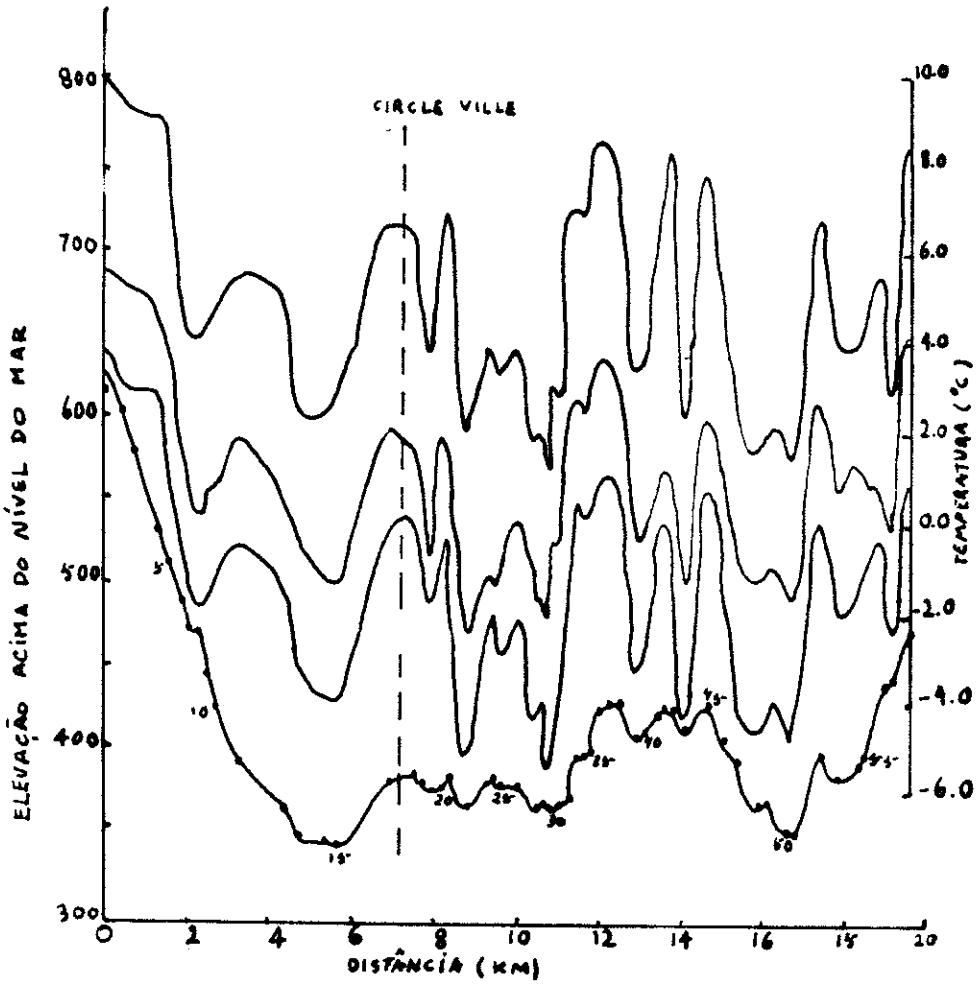


FIGURA III.9 - As três travessias de Circle Ville.(Seg.a ref.8).

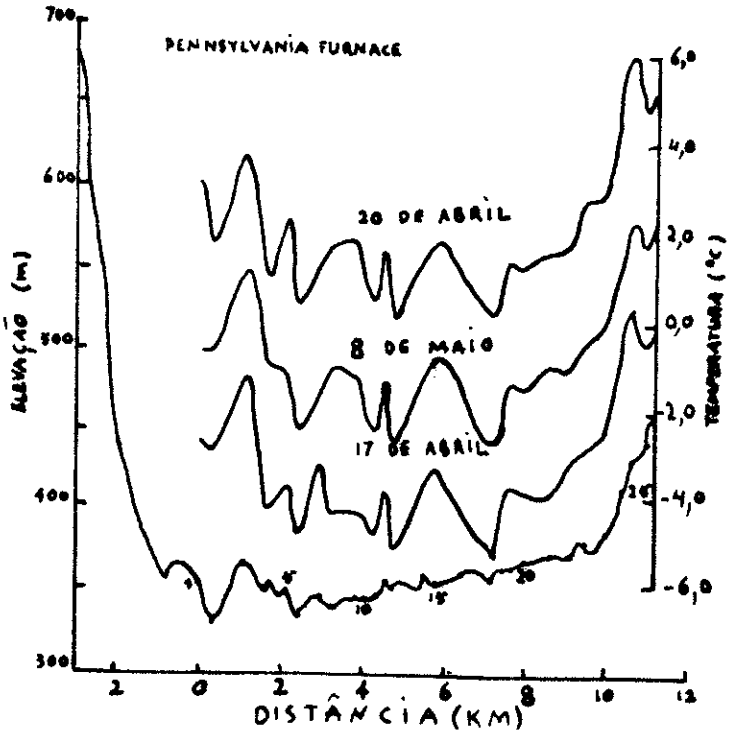


FIGURA III.10 - As três travessias de Pennsylvania Furnace.(Seg. a ref.8).

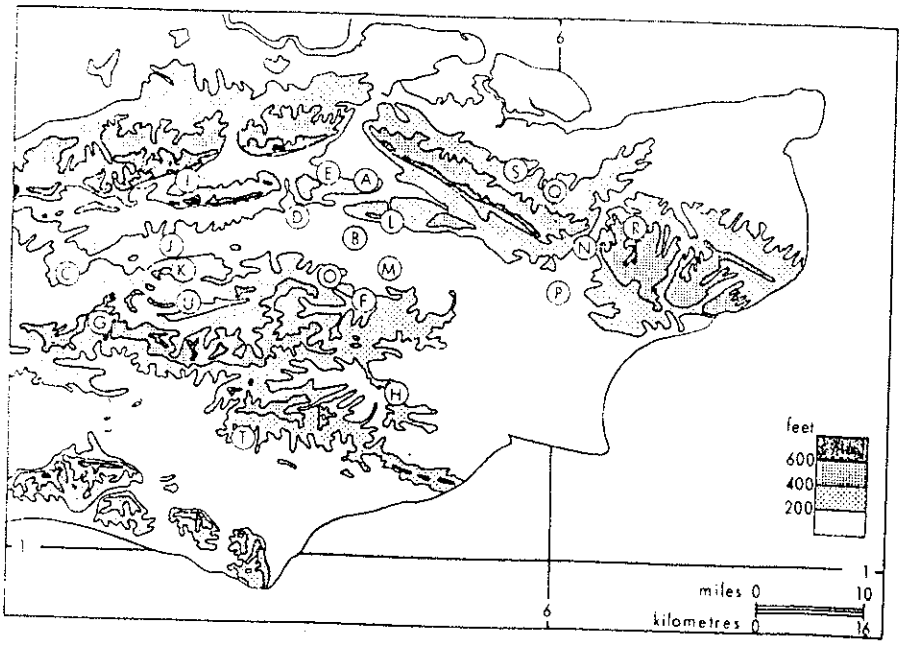


FIGURA III.11 - Distribuição de 21 estações na ilha de Kent (Inglaterra). (Segundo a ref.7).

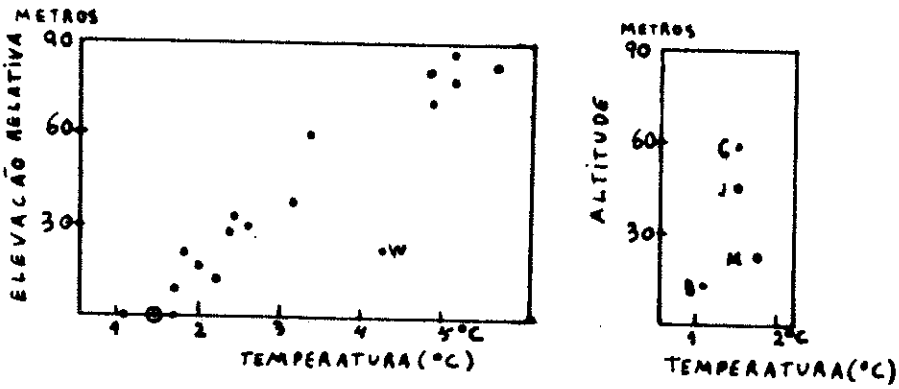


FIGURA III.12 - Temperatura mínima (média de 28 noites de geada) *versus* elevação relativa(altitude) para noites em que as perdas de calor por radiação foram dominantes. A estação w deve a sua aparente excepcionalidade a anomalias que foram detectadas. Cada ponto representa uma estação. (Segundo a ref. 7).

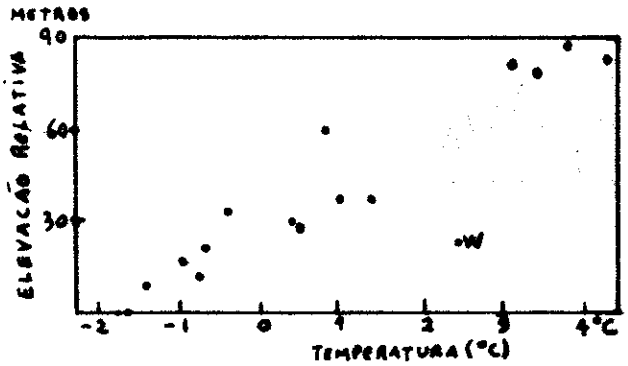


FIGURA III.13 - Temperatura mínima *versus* elevação relativa. Médias de 4 noites nas quais o acréscimo da temperatura mínima com a elevação foi maior.(Segundo a ref. 7).

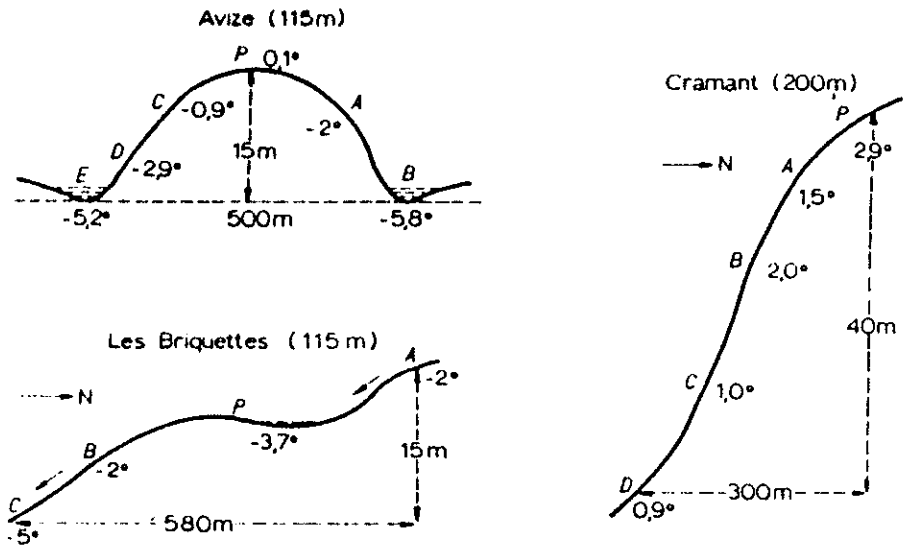


FIGURA III.14 - Variação das temperaturas mínimas(em índice actinotérmico) em função do relevo,em Champanhe(França),em 1 de Abril de 1949 (segundo Geslin e Hallaire, 1949, *cit in* ref.4).As cotas indicadas correspondem para cada perfil ao ponto marcado por P.Avize e Les Briquettes são situações de planície e Gramant de encosta. O perfil mais espectacular é o de Avize, onde 15 m significam uma diferença de temp. min. de 5-6°C.

Em condições semelhantes às encontradas no Vale Nittany, no centro da Pennsylvania, pode-se utilizar o coeficiente de regressão 6,2 ± 1,8°C/100 m , resultante da utilização de 538 observações {8}. Surpreendentemente, um estudo com objectivos em parte coincidentes, embora os métodos utilizados sejam totalmente diferentes, chega praticamente ao mesmo resultado. Com efeito, em Kent (Inglaterra) (ver figuras III. 11, III.12 e III.13), chegou-se à conclusão que seria de esperar um aumento da temperatura mínima com a elevação relativa de cerca de 6,4°C/100 m, em noites de grande radiação efectiva {7}.

As figuras III.9 e III.10 evidenciam respostas amplificadas na temperatura por pequenas variações na altitude. As pequenas ondulações do microrelevo têm também uma grande importância (ver fig. III.14).

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.

Há um fenómeno que deve ser muito comum e que foi observado por Schultz (1961), {16}. 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.

De tudo o que foi dito se conclui que é necessário escolher o local onde se vão instalar plantas sensíveis às geadas, atendendo à topografia e drenagem de ar frio. Note-se que há variações que escapam às generalidades apresentadas e que podem ser importantes, como, por exemplo, o declive do terreno, forma, rugosidade, etc. Há, também, condições que podem contribuir para um arrefecimento diferenciado entre parcelas: humidade do solo, tipo, cobertura vegetal e muitos outros parâmetros já referidos no parágrafo III.2.

{1} - BALLARD, J.K. & PROEBSTING, E.L. 1978. Frost and frost control in Washington orchards. *Ext. Bull. 634, Washington State Univ.*, Pullman, Wash. 27 pp.

{2} - BERGEN, J.D. 1969. Cold air drainage on a forested mountain slope. *J. Appl. Meteorol.* 8:884-895.

{3} - BETTENCOURT, M.L. 1980. Contribuição para o estudo das geadas em Portugal Continental. *In: O Clima de Portugal*, fasc. XX. DIMG, Lisboa.

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

{5} - CHANG, J. (1968). *Climate and Agriculture*. Aldine Pub.Comp. 304 pp.

{6} - GEIGER, R. 1961. *Manual de Microclimatologia*. Trad. portuguesa, 4ª ed. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.556 pp.

{7} - HARRISON, A.A. 1971. A discussion of the temperatures of inland kent with particular reference to night minima in lowlands. *Met. Mag.* 100 (1185), 97-111.

{8} - HOCEVAR, A. & MARTSOF, J.D. 1971. Temperature distribution under radiation frost conditions in a central Pennsylvania valley. *Agr. Meteorol.*, 8:371-383.

{9} - KEPNER, R.A. 1951. Effectiveness of orchard heaters. *Calif. Agric. Exp. Bull.* 723. 30 pp.

{10} - OKE, T.R. 1978. *Boundary Layer Climates*. John Wiley & Sons. New York.

{11} - PEIXOTO, J.PINTO. 1981. *A Radiação Solar e o Ambiente*. Comissão Nacional do Ambiente, Lisboa.

{12} - PRIMAULT, B. 1979. Plant Climate (heating and cooling). *In: Agro-meteorology*, Springer-Verlag, Berlim, pp.200-211.

{13} - REIS, R.M. da MATA.1985. *Comunicação pessoal*. INMG. Lisboa.

{14} - ROSENBERG, N.J. 1963. Climate of the Central Platte Valley. *Nebraska Agr. Exp. Station. Misc. Publication No* 9. pp. 20-30.

{15} - ROSENBERG, N.J. 1974. *Microclimate: the Biological Environment*. Wiley, New York, 315 pp.

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

{17} - WOLF, H.1983. *Heat Tranfer*. Harper & Row, Publishers,Inc., New York.

CAPÍTULO IV

SERVIÇOS DE INFORMAÇÃO CLIMATOLÓGICA E DE PREVISÃO DE GEADAS

IV.1 - A informação climatológica

Entendemos que a informação climatológica deve ser elaborada regionalmente, baseando-se em estudos de climatologia estática e dinâmica à escala nacional e regional, atendendo, também, às características microclimáticas das parcelas que constituem a exploração agrícola.

É urgente que se dê continuidade aos trabalhos pioneiros, no que respeita à climatologia aplicada ao conhecimento das geadas em Portugal, elaborados por M.L. Bettencourt, J. M. Arriaga e Cunha e F. Reis Cunha {3,5,6,7}(*). Estes trabalhos, embora preciosos, são altamente insuficientes para resolver a maioria dos problemas relacionados com as geadas.

O Apêndice A, extraído da publicação de Bettencourt (1980)(**), dá-nos o número médio de dias de geada no ano (carta 1); número médio mensal — de Setembro a Agosto — (cartas 2 a 13); número médio na Primavera e Outono (cartas 14 e 15); datas médias da primeira e última geada (cartas 16 e 17); datas absolutas da primeira e última geada (cartas 18 e 19); e duração da época de geada (carta 20). Também neste apêndice, os quadros A, B e C além destes dados, em fórmula tabular, para as estações da rede nacional fornecem outros de grande importância prática.

(*) É possível que esqueçamos alguns. As nossas desculpas.

(**) Como dissemos em II.1.1, a definição de geada adoptada por Bettencourt, nesta publicação, corresponde à de "geada branca" ou "formação de geada" aqui seguida. Deve-se levar em conta este facto na análise dos dados apresentados no apêndice A.

Interessaria elaborar trabalhos similares para geadas ($t^{o}C$, 1,5 m), com t, por exemplo, igual a $-2^{o}C$ e $-4^{o}C$. Também seria interessante, para regiões em que a horticultura (plantas especialmente sensíveis) tem grande expressão, considerar limiares positivos. Com efeito, muitas hortícolas são sensíveis a temperaturas baixas superiores a $0^{o}C$ (ver V.5). Para o Algarve (*cf.* 5) existe um estudo que proporciona muita desta informação, embora o número de estações considerado seja pequeno.

Muitos trabalhos seriam, necessários para podermos saber, além da frequência e severidade das geadas, outros parâmetros que se revelam extremamente importantes na prática.

Poder-se-ia, p.ex., fazer pesquisas de temperatura, determinando a intensidade das inversões, distribuição das temperaturas mínimas nocturnas, força e direcção do vento em noites de geada, duração das geadas, além de outros parâmetros, em zonas de interesse agrícola.

Tendo-se em vista a possível aplicação de métodos de luta contra as geadas nessas zonas. O que só é possível se melhorarmos o nosso conhecimento delas. É exemplo de estudos deste tipo o de Schultz {17}.

Estudos da distribuição das temperaturas mínimas, para muitas zonas, aquando da ocorrência de geadas de radiação, como os levados a efeito por Hocevar {10}, Harrison {9} e Primault {16}, também seriam importantes.

O conhecimento obtido a nível do microclima, especialmente no que se refere às temperaturas mínimas, permite fazer extrapolações úteis, partindo de dados obtidos pelas estações meteorológicas da rede nacional e/ou estatísticas a eles referentes (ver, p.ex., ref. 16).

Uma vez feito o trabalho de base o conselho técnico resulta possível, consistindo, p.ex., na indicação do melhor local para determinada cultura sensível, escolha da melhor época de plantação (ou sementeira), do melhor método de luta activa para determinada cultura ou da espécie/variedade mais aconselhável.

IV.2 - Previsão

Podemos distinguir dois tipos de previsão complementares na sua acção: geral e local.

A previsão geral é atribuição dos grandes centros de previsão do estado do tempo. Esta previsão resulta de um longo processo de recolha, representação e análise de dados de superfície e de altitude e requer meios computacionais e humanos importantes.

As cartas sinópticas e a previsão geral do estado do tempo (incluindo a previsão da temperatura mínima) que são o produto acabado resultante deste processo, podem ser, então, enviadas para centros locais de previsão para serem,novamente,interpretadas e a previsão geral moldada às características regionais e sofrendo os aditamentos julgados convenientes.

Bettencourt {3} considera que para Portugal a previsão geral poderá ter maior interesse do que a local, devido à rápida mudança das massas de ar no clima oceânico do nosso País. Parece-nos, contudo, que é a sua complementaridade que interessa realçar. Uma maior precisão no prognóstico das geadas — no tempo, espaço e intensidade — consegue-se quando o(s) previsor(es) se apoia(m), também, em estudos que, pela sua perspectiva regional, não podem fazer parte das preocupações daquele(s) que elaboram a previsão geral. Por exemplo, estudos pormenorizados das situações meteorológicas que levam à ocorrência de geadas em regiões pequenas — como foram feitos por Reis Cunha para a "geada negra" no Algarve e por Roten (referido na ref. 16) em Valais (Suíça) — e estudos estatísticos,por vezes baseados apenas numa estação meteorológica da rede nacional {1,16}.

As previsões gerais podem referir-se a períodos, curtos ou mais dilatados. Estas últimas, segundo Harris {8}, são as que mais proveito trazem ao agricultor, permitindo-lhe uma melhor gestão dos homens e material e planear as tarefas agrícolas e vida social do agricultor.

A previsão geral de curto prazo, pela sua maior precisão complementa a acção das primeiras, confirmando ou desmentindo as previsões precedentes por períodos mais longos, e permitindo, já colocar de sobreaviso os agricultores, se for caso disso.

Deve-se, contudo, evitar definir prazos fixos apriori para a validade das previsões {18}. Na Finlândia estes prazos são de 2 e 5 dias no projecto a que se refere o apêndice B. Provavelmente, para as condições específicas deste País, não há inconveniente que assim aconteça.

IV.3 - A previsão das geadas em Portugal e noutros países

A solução adoptada para se passar da previsão geral para a local varia de país para país e, por vezes, de região para região, dentro do mesmo país. Em termos gerais podemos dizer {4} que a previsão local consiste em fazer previsões específicas de temperatura mínima para estações representativas (estações chaves) escolhidas dentro da zona. Estas estações são escolhidas de molde a representar as partes mais frias da área em produção normal. Os agricultores em terrenos mais elevados podem, então, adicionar uma pequena correcção, dependendo da inversão de temperatura esperada.

Em França {1} o Serviço Meteorológico Nacional tem seis Centros Meteorológicos Regionais, distribuídos por outras tantas Regiões Meteorológicas. Estes centros fornecem informação às estações, que têm a responsabilidade de dar os pré-avisos, avisos e avisos especiais de geada aos agricultores. Estes são difundidos com a colaboração de organismos estatais (Serviço de Protecção dos Vegetais e Direcções Departamentais dos Serviços Agrícolas) e Associações de Agricultores.

As exigências por parte dos agricultores têm aumentado em França, obrigando os meteorologistas locais a melhorar os seus serviços, fornecendo, além da previsão da temperatura mínima, outros parâmetros úteis na luta contra as geadas. A Esta

ção Meteorológica de Agen {1} é um exemplo de uma estação que respondeu favoravelmente a este desafio, estabelecendo curvas e ábacos, década por década, para avaliar a taxa de abaixamento da temperatura em função de diversos parâmetros; e dando a previsão da temperatura a vários níveis, entre 1,5 metros e a superfície do solo.

As previsões gerais, para a península da Flórida, são preparadas em Lakeland e adaptadas às necessidades dos agricultores, por meteorologistas, nos diferentes distritos agrícolas. As previsões mais importantes, são por 48 e 24 horas. Os agricultores, cooperativas de agricultores, agentes do condado e outros, têm circuitos de "Teletype" para meteorologia agrícola, durante a estação invernosa (trata-se da produção citrícola), ligados ao centro de Previsão de Lakeland. Aqueles por sua vez transmitem a mensagem recebida aos agricultores pela rádio privada e outros meios {11}.

As estações federais de ensaios agrícolas de Wadenswill (noroeste da Suíça), durante os períodos críticos, transmitem um pré-aviso de geadas à estação cantonal de arboricultura e viticultura, cujo texto é redigido em colaboração com o Instituto suiço de meteorologia, na parte da manhã. A estação cantonal transmite este pré-aviso antes das 12 horas, aos responsáveis das diversas comunas, os quais, por sua vez, informam os interessados durante o almoço.

Às 17 horas o aviso de geada chega aos agricultores pela mesma via. Pode assumir três formas:

(1) Não se prevê perigo;

(2) Há risco de geada. Então um pequeno grupo de alarme acompanha a evolução da temperatura, acordando o resto do pessoal caso seja necessário;

(3) Há grande risco de geada. O grupo de alarme acompanha a descida da temperatura, medida em índice actinotérmico (VAH 50 cm), desde o crepúsculo. O grupo de acção entra ao serviço à meia noite e acendem os

aquecedores, à medida que são precisos, para manter a vinha acima do limiar de resistência {15}.

Damos, no apêndice B, o resumo do que é o estudo preliminar para o desenvolvimento de um serviço meteorológico para a agricultura, que prossegue na Finlândia e com o qual J.P. de Melo e Abreu tomou contacto.

A apresentação deste estudo permite, talvez, dar um exemplo que pode ser útil — é um projecto inicial, para um país pequeno, e que utiliza recursos materiais bastante limitados. Não seria tempo de começar também em Portugal?

Em Portugal a previsão das geadas é baseada, quase exclusivamente na climatologia e meteorologia sinóptica {2}. As situações sinópticas que originam geadas foram classificadas, e constam do parágrafo III.1.

IV.4 - Fórmulas de previsão das geadas

Poderiamos resumir o muito que se tem feito no estrangeiro neste campo, bastando-nos para tal partir da ref. 2 e de muitas outras que faziam parte do nosso *corpus* inicial. Não o faremos, contudo, porque temos a certeza de que isto em nada beneficiaria os nossos potenciais leitores.

O único trabalho de que temos conhecimento neste assunto, para Portugal, refere-se a Lisboa e foi elaborado por A. Mendes {14}.

A fórmula de previsão da temperatura mínima (θ_{min}) a que chegou foi a seguinte:

$$\theta_{min} = a + b\,\theta + c\,e$$

sendo a, b, c constantes (para cada mês e determinado tipo de céu); θ a temperatura do ar ao pôr do Sol (^{o}C); e, e a tensão real do vapor de água ao pôr do Sol (mm Hg), junto ao solo.

IV.5 - Métodos novos para o estudo e previsão das geadas

Aviões e satélites estão a ser utilizados para conhecer a distribuição da temperatura na superfície terrestre, o que tem implicações na previsão das geadas. Fazem-se medições da radiação infravermelha entre determinados comprimentos de onda e aplica-se a lei de Stefan-Boltzmann {12,13}.

IV.6 - Referências

{1} - ARLERY, R. 1965. La participation de la météorologie na - tional aux avertissements de gelée. *Phytoma*, No. 172, pp.81-85.

{2} - BAGDONAS, A., GEORG, J.C. & GERBER, J.F. 1978. Techniques of frost prediction and methods of frost and cold pro - tection. *TECH. Note No* 157, *WMO*. Geneva.

{3} - BETTENCOURT, M.L. 1980. Contribuição para o estudo das geadas em Portugal Continental. *In: O Clima de Portugal*, fascículo XX. INMG, Lisboa.

{4} - BLANC, M.L. *et al.* 1963. Protection against frost damage. *TECH. NOTE No 51, WMO*, 62 pp.

{5} - CUNHA, F. REIS. 1957. *O Clima do Algarve*. Relatório do Curso de Engenheiro Agrónomo. I.S.A., Lisboa.

{6} - CUNHA, F. REIS. 1982. O problema da "geada negra" no Algarve. *Divulgação 12, INIA*, Lisboa. 125 pp.

{7} - CUNHA, J.M. ARRIAGA E. 1952. *Contribuição para o Estudo do Problema das Geadas em Portugal*. Relatório Final do Curso de Engenheiro Agrónomo. I.S.A., Lisboa.

{8} - HARRIS, DALE R. 1969. Pratical application of the extended period forecast. *In: Proc. 1 st Internat. Citrus Symp.*, Vol. 2, pp. 515-516.

{9} - 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.

{10} - HOCEVAR, A., and MARTSOF, J.D. 1971. Temperature distribution under radiation frost conditions in Central Pennsylvania Valley. *Agric. Meteorol.* 8:371-383.

{11} - JOHNSON, W.O. 1969. Feactures of 30 years of weather in florida's agricultural areas. *In: Proc. 1 st Internat. Citrus Symp.*, vol. 2. pp. 517-519.

{12} - MAHRT, & HEALD, R.C. 1983. Nocturnal surface temperature distribution as remotely sensed from low-flying aircraft. *Agric. Meteorol.*, 28:99-107.

{13} - MARTSOLF, J.D. 1981. Satellite frost forecast system. *Horts - cience* 16(5):586.

{14} - MENDES, A.S. 1951. A previsão de temperaturas mínimas diárias do ar, e a sua aplicação em Lisboa. *Mem. 9, Serviço Meteorológico Nacional.* Lisboa. 17 pp.

{15} - MEYER, A. 1965. L'alarme gel dans le Nord-ouest de la Suisse. *Phytoma,* No 172, p.75.

{16} - PRIMAULT, B. 1965. Délimitation géographique et étude statistique du risque de gel en Valais. *Phytoma,* No 172, pp.52-54.

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

{18} - SNELLMAN, L.W.1969. Development and limitation of ex - tended range forecasts. *In: Proc. 1 st Internat. Citrus Sym.,* vol. 2, pp.505-513.

CAPÍTULO V

A GELADURA

V.1 - Tipos de dano por geladura

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 dos danos por geladura. 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 {19}.

Mesmo nas espécies adaptadas a geladura constuma 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.

Incluem-se nos danos por geladura as seguintes:

- Morte do nó-de-afilhamento dos cereais de inverno o que impossibilita a sua recuperação; ou "queima" das suas partes aé-

reas, o que pode ser menos grave.

- "Queima" da folhagem, e ramos não atempados de arbustos e árvores de folha persistente.

- "Coração negro"(*) é o dano causado nas células parenquimatosas dos raios do Xilema, após congelação das células em sobrefusão profunda — abaixo do ponto de sobrefusão profunda do tecido. 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 da madeira {3}.

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.

Vale, talvez, a pena debruçarmo-nos um pouco mais sobre estes dois últimos tipos de danos.

Os tecidos das plantas variam na sua susceptibilidade às baixas temperaturas, sendo os dos órgãos reprodutores os menos resistentes. 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 {7,11}.

O estilete é particularmente sensível — mais do que o ovário — e a sua destruição antes da fertilização é irremedável; algumas variedades de pereira e macieira podem, contudo, dar origem a frutos partenocárpicos, não se perdendo totalmente a produção {11}.

Após a fertilização, as sementes são os orgãos mais sensíveis às baixas temperaturas. As sementes são essenciais ao nor

---

(*) Do inglês: "blackheart".

mal desenvolvimento 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 {7,11}.

Deformações podem, também, ter a sua origem na geladura da pele dos frutos e subsequente suberificação — isto impede o crescimento normal desta parte do fruto {11}. Estes e outros tipos de danos podem ver-se nas figuras V.1 a V.4.

V.2 - Tipos de congelação nas plantas e a geladura

A água pura gela a 0°C, mas a sobrefusão dá-se frequentemente até aos -5°C. 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 {2} ou bactérias {10}. 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 0°C {2}.

O ponto de fusão da solução contida nos tecidos vegetais é inferior a -1°C. Por outro lado, devido à sobrefusão o congelamento dos tecidos vegetais não tem início acima de uns -1,5°C. Esta temperatura é o limite superior da resistência natural das plantas à geada(*) {2}.

(*) Como veremos, abaixo, as plantas podem sofrer danos a temperaturas superiores: "a maioria, se não todos, os frutos, vegetais e ornamentais de origem tropical estão sujeitos a dano fisiológico quando sujeitas a temperaturas abaixo de cerca de 12,5°C, mas acima da sua temperatura de congelação" {12} — mas a esta condição não chamaremos geada: trata-se de "dano por resfriamento".

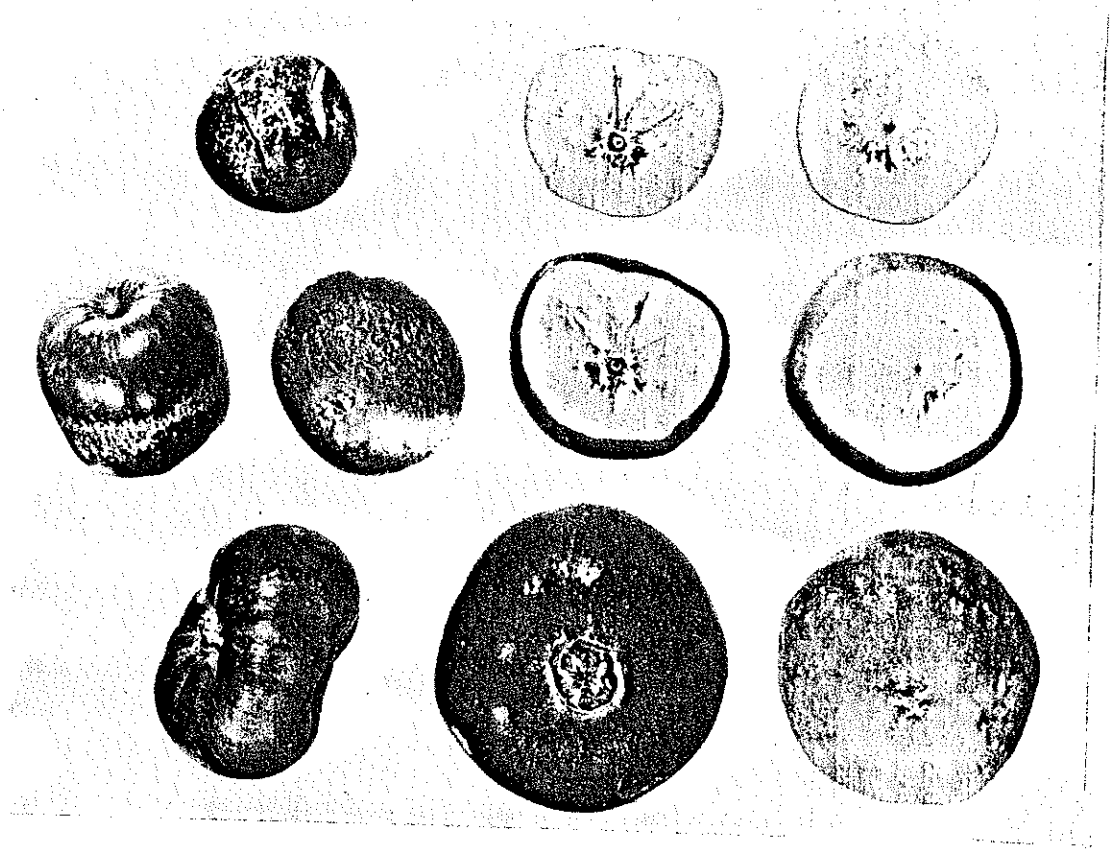


Figura V.1 – Geladura em macãs. (Ext.da ref.7).

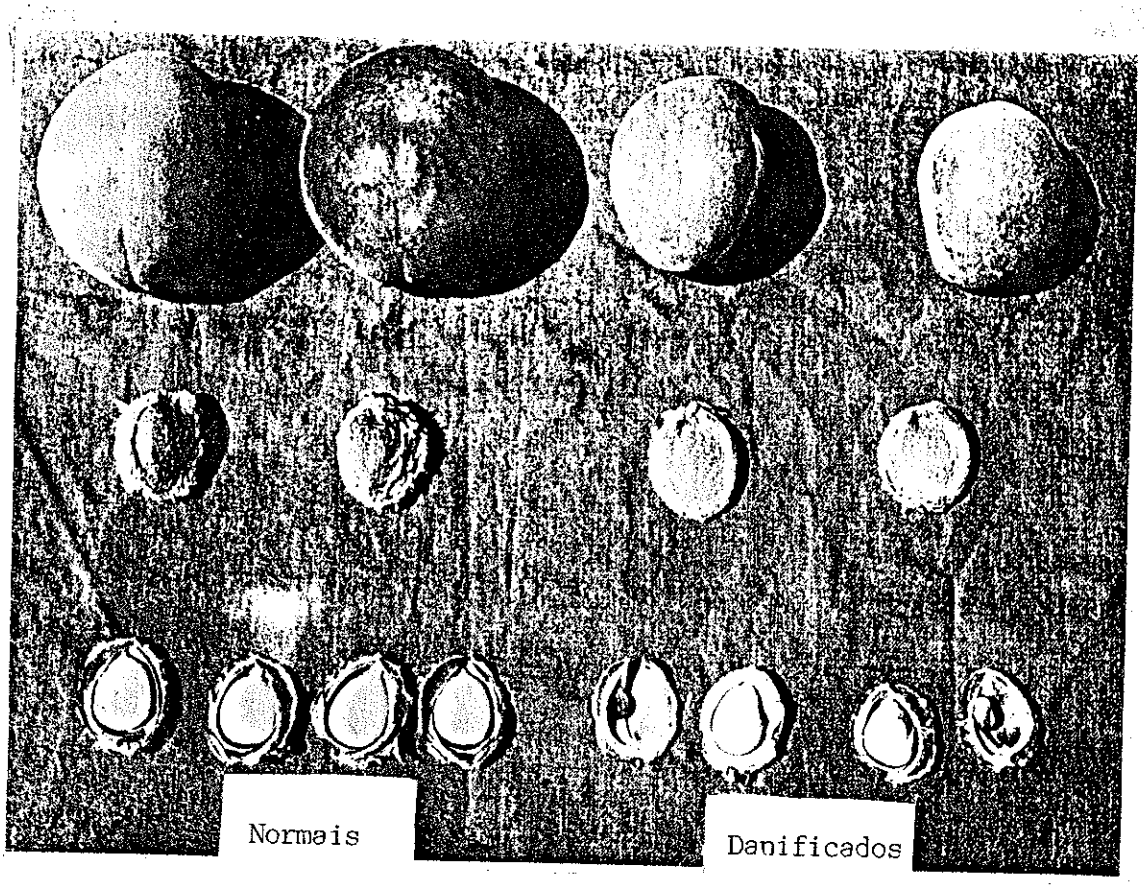


Figura V.2 – Quando uma semente do fruto do damasqueiro é danificada pela geada o fruto pode desenvolver-se mas será deformado. (Ext. da ref.7).

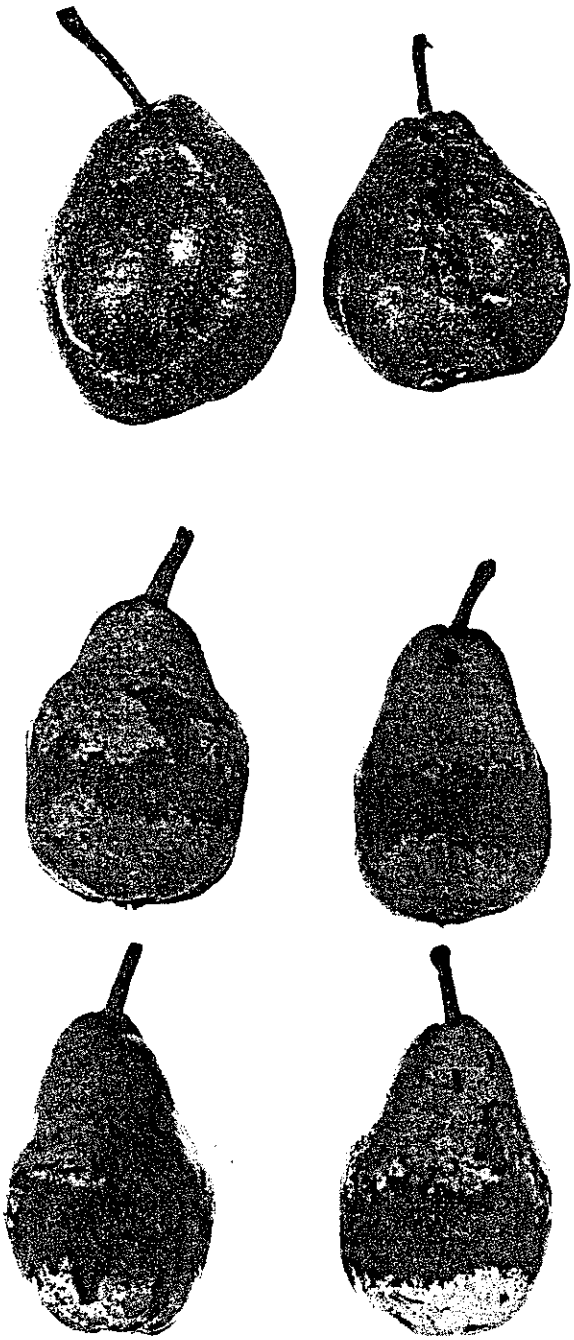


Figura V.3 — Geladura em peras.
(EXT. da ref. 7)

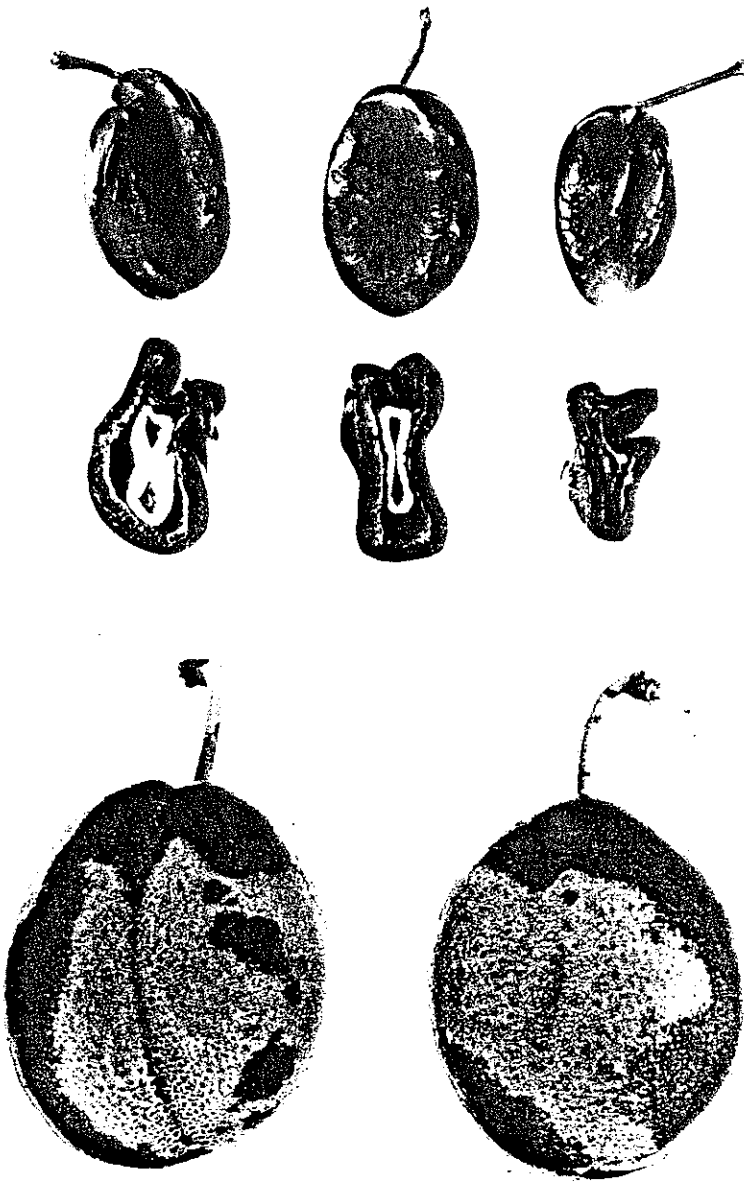
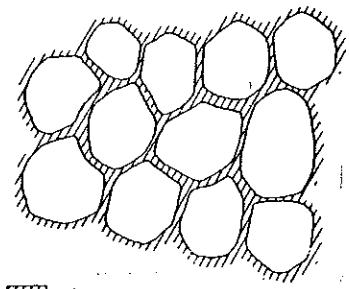


Figura V.4 - Geladura em ameixas.
(Ext. da ref.7)

V.2.1 - Congelação extracelular(*)

Um tecido parenquimatoso (fig. V.5) apresenta as células arredondadas separadas entre si pelas soluções intercelulares. Admitamos que este tecido está a ser arrefecido a uma taxa moderada — digamos 0,6-0,7°C/h (valor normal em condições naturais, no fim da noite) — então, existe uma temperatura ($\leqslant$-1,5°C) 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.



Água intercelular

Figura V.5

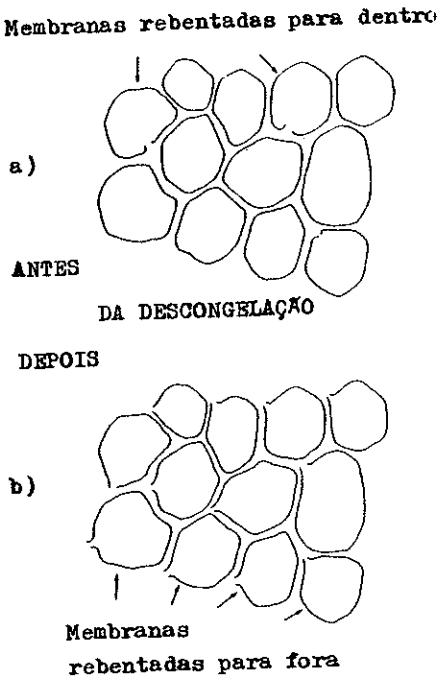
Diagrama de tecido parenquimatoso

Figura V.6.

Sentido de rebentamento das membranas

a) Tecidos ainda congelados

b) Tecidos examinados depois do descongelamento natural



Como estamos a admitir que a taxa de arrefecimento é pequena e a sobrefusão moderada, a taxa de descida da temperatura

(*) As partes não referenciadas são inspiradas nas ref. 1,2,8,14 .

nos meatos intercelulares é pequena, não permitindo que o suco celular congele, devido ao abaixamento progressivo do ponto de congelação, por 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: a desidratação prossegue.

Quando o abaixamento da temperatura cessa, 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. V.6-a).

QUADRO V.1 - CONGELAÇÃO EM EQUILÍBRIO, EM PLANTAS COM DIFERENTES GRAUS DE ACLIMATAÇÃO.

PLANTA	Temperatura letal (°C)	L_0 (1) (g/g mat.seca)	ΔT_m (1) (°C)	K (1) (g/g mat.seca)	$b = \frac{K}{L_0}$	r (coeficiente de correlação	Origem
Espécies de *Solanum* (folhas):							
S. acaule	- 6	7,8	- 0,85	0,84	0,108	0,96	ref. 4
S. chromatophilum	- 5,5	8,5	- 0,69	1,12	0,132	0,95	" "
S. commersonii	- 5	8,4	- 0,76	1,19	0,142	0,98	" "
S. multidissectum	- 5	7,8	- 0,83	0,83	0,107	0,99	" "
"Alaska Frostless"(3)	- 3	8,1	- 0,81	1,22	0,150	0,99	" "
"Red Pontiac"(3)	- 3	7,6	- 0,88	0,38	0,050	0,96	" "
(Tecidos do colo)							
Triticum aestivum L.:							
"Manitou"	- 2	5,63	- 1,65	0,13	0,02	0,993(2)	ref. 6
"	- 5,5	3,83	- 1,71	0,26	0,07	0,992(2)	" "
"Cappelle Desprez"	- 2	5,64	- 1,39	0,17	0,03	0,980(2)	" "
" "	- 11	2,85	- 2,00	0,22	0,08	0,979(2)	" "
"Kharkov"	- 3	5,27	- 1,18	0,10	0,02	1,000(2)	" "
"	- 9	4,15	- 1,57	0,18	0,04	0,997(2)	" "
"	- 18	2,73	- 2,30	0,24	0,09	0,991(2)	" "
Secale cereale L.:							
"Frontier"	- 5	5,07	- 1,92	0,18	0,04	0,999(2)	" "
"Frontier"	- 24	2,00	- 2,94	0,21	0,11	0,982(2)	" "
(Tecidos corticais do caule)							
Cornus stotonifera Michx.	- 3,2	2,10	- 1,29	0,29	0,14	0,997	ref. 5
"	- 6,5	1,66	- 1,43	0,22	0,13	0,998	" "

(1) Ver as form. (1), (2) e (3); (2) Coef. de correl. da amostra, para a regressão linear entre -2,5 e -40°C;
(3) Espécie: *S. tuberosum*.

Um aumento gradual da temperatura conduz a uma desplasmólise, na sequência da fusão do gelo formado e em resposta ao gradiente de tensão ormótica. Após a descongelação, algumas células têm as membranas rebentadas — para fora — apresentando-se as outras aparentemente intactas (fig. V.6-b).

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.

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; ou

- a morte ocorreu durante a desidratação e contracção das células. Nestas células o núcleo desnaturado aparece claramente logo após a descongelação da célula. Por vezes, o protoplasto desnaturado apresenta-se contraído após a descongelação.

V.2.2 - Congelação intracelular(*)

Suponhamos, agora, que o arrefecimento dos tecidos é muito rápido (p.ex., 10°C/min.), 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 — congelação intracelular {3,18}.

(*) As partes não referenciadas são inspiradas nas refs. 1,2,8.14.

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.

Por último, a sobrefusão elevada leva a que, após a sua cessação, o congelamento extracelular se faça a uma taxa muito elevada. Pode acontecer que a permeabilidade das membranas celulares não seja de molde a permitir uma saída de água plasmática a uma taxa suficiente que evite a congelação intracelular.

Em condições artificiais a congelação intracelular tem sido observada repetidas vezes. Resta, ainda hoje, contudo, a dúvida se a sua ocorrência natural é possível ou não{8}.

Deve, contudo, realçar-se que a ocorrência de congelação intracelular conduz invariavelmente à morte das células,em condições próximas das naturais. Só taxas de arrefecimento espantosas — da ordem dos 1000°C/min. — permitem a sobrevivência dos tecidos após descongelação. O dano causado pela congelação intracelular parece ser mecânico — destruição, por perfuração, dos sistemas de membranas que fazem a compartimentação da célula —só não existindo quando os cristais são minúsculos como acontece no caso citado neste parágrafo {8}.

V.3 - Discussão dos mecanismos de geladura

Muitos autores salientam a dificuldade de descobrir o(s) mecanismo(s) de geladura, devido à existência de muitos conjuntos de plantas que apresentam comportamentos diferenciados,e cer

tamente são danificados de modo diverso, pelas baixas temperaturas. Referem, também, as dificuldades suplementares resultantes da existência de numerosos tecidos nos órgãos das plantas e dos comportamentos daqueles serem diferentes segundo o estado de aclimatação. Contudo, paradoxalmente, nos trabalhos de síntese que elaboram fazem o tratamento horizontal dos mecanismos — não atendendo ao tipo de planta, orgão ou tecido — esquecendo-se, na prática, que tal procedimento é, na melhor das hipóteses. gerador de confusões.

Outros (p.ex., ref. 13) preocupam-se — a nosso ver desmensuradamente — em saber qual é o mecanismo letal primeiramente activado, quando será de prever que isto varia com a temperatura letal — i.e. o tipo de planta, orgão, tecido e estado de aclimatação — e que, em muitas situações, haja uma sequência de mecanismos — que pode variar com a taxa de arrefecimento, grau de hidratação, etc. — que são activados num intervalo muito curto de temperatura.

Exceptuando alguns casos (p.ex., ref. 18) foge-se sistematicamente à generalização — ela tem os seus riscos — e à formulação de hipóteses.

Adoptaremos no que se segue a atitude que nos parece mais frutuosa de tentar, apoiando-nos nos dados adquiridos, generalizar, esquematizar e, até, por vezes, porque não, especular.

Existem três grandes grupos de mecanismos que têm sido apontados como suceptíveis de explicar a geladura:

V.3.1 - Mecanismos em que o gelo é a causa directa da morte dos tecidos/plantas

O padrão de formação dos cristais de gelo, sua localização e tamanho são importantes para a compreensão dos "stresses" mecânicos sobre o protoplasma e membrana plasmática.

Os critais de gelo, quando se inicia a congelação (extracelular) são pequenos e imperfeitos, sendo relativamente inócuos para as células/tecidos. À medida que a temperatura baixa vão

tornando-se mais perfeitos, à custa da água dos protoplastos {13}.

Tecidos que têm grande resistência à formação de gelo extracelular apresentam, a taxas moderadas de arrefecimento e congelação, locais preferenciais para a formação de gelo, de molde que as massas cristalinas em desenvolvimento afectem o menos possível o protoplasto {18}. O gelo inicia o seu desenvolvimento junto às paredes celulares, tendo, provavelmente, os polímeros destas influências no desenvolvimento da estrutura dos cristais que se formam {13,18}.

Tecidos mais sensíveis ao gelo extracelular apresentam uma distribuição mais desordenada das massas de gelo formadas {13}.

Por outro lado, em tecidos de plantas com maior resistência ao gelo extracelular, o protoplasto tem um volume relativamente menor em relação ao volume total da célula {2}; e, por vezes, há a presença de gases extracelularmente {13}.

Quando a taxa de arrefecimento é grande os cristais são mais pequenos e com maior desenvolvimento ao longo do eixo c da sua estrutura hexagonal {13} e a água não tem tempo de migrar para os locais mais favoráveis ao desenvolvimento do gelo, podendo resultar daí danos para as células {3}.

É sabido, também, que um grau de hidratação elevado conduz, em determinados tecidos, a uma diminuição da tolerância ao gelo extracelular — supostamente devido à dificuldade de acomodar tão elevadas quantidades de gelo extracelularmente {3,9,13,18}.

O padrão de distribuição do gelo, nos tecidos é, também, importante; por exemplo, grandes massas de gelo formadas em determinados tecidos podem diminuir a congelação — aumentando a resistência — nos tecidos vizinhos {13}.

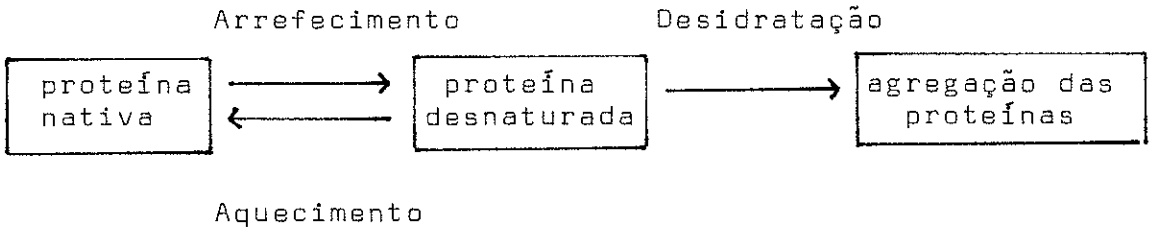
V.3.2 - Mecanismos fisiológicos em que a dessecação, provocada pela presença de gelo extracelular, é a causa próxima da inviabilização das células/tecidos

As células que não sofrem pressão do gelo extracelular não têm meio de saber da sua existência. Contudo, a desidratação resultante cria diversos "stresses" que têm que ser levados em li -

nha de conta sob os aspectos, físico e químico. As hipóteses mais correntemente aceites envolvem a desnaturação de proteínas, como causa profunda de morte das células por dessecação, e são:

V.3.2.1 - Hipótese sulfidrilo-dissulfureto.

Levitt (1962, 1972) (cit.ref. 3,13,18) sugeriu que a saída de água do protoplasto deixa as cadeias proteicas mais próximas umas das outras, permitindo a formação de ligações dissulfureto cruzadas. Resulta, então, a desnaturação e agregação das proteínas de acordo com o esquema:



Seriam aquelas ligações as responsáveis pelos "stresses" resultantes da fusão e hidratação das células atingidas.

Um potencial oxidação-redução elevado é condição necessária para que os grupos sulfidrilo formem ligações dissulfureto.

V.3.2.2 - Outras hipóteses

A letalidade resultaria da remoção de pequenas quantidades de água necessária à estabilidade das proteínas ou à sua passagem ao estado sólido. Esta passagem pode, ter sido detectada por minúsculas exotérmicas observadas por Tumanov e Krasavtsev, 1959 (cit. ref. 18).

A desnaturação das proteínas pode, também, ser resultante do aumento da concentração de sais, e variação pH, Eh, concentração de proteína {3}.

V.3.3 - Mecanismos em que é a temperatura que induz modificações de consequências letais, nas moléculas orgânicas celulares

A temperatura pode levar à transição de fase não só a água, mas também outros componentes celulares. Por outro lado, outras transformações estruturais, fortemente dependentes da temperatura, podem ocorrer em polímeros cujas unidades são muito semelhantes: proteínas, ácidos nucleicos, etc..

Sabe-se que as células de determinado tecido, a baixas temperaturas, morrem quase simultâneamente, à temperatura letal {18}. Portanto, qualquer processo candidato a mecanismo de geladura tem que ter necessariamente esta forte dependência da temperatura. As membranas, proteínas e ácidos nucleicos evidenciam modificações estruturais que são fortemente dependentes da temperatura.

Os lípidos das membranas (celular, mitocondrial, cloroplástica, glioxisomal, etc.) apresentam transição de fase líquida — cristalina ⟷ sólida-gel, com a variação da temperatura alta ⟷ baixa {3,18}.

Lyons e Raison (cit. ref. 17) sugeriu pela primeira vez esta transição de fase física das membranas, de uma estrutura flexível (líquida-cristalina) a outra mais rígida (sólida-gel). Relacionou-a — o que hoje está provado até +4°C, pelo menos, (células da maçã) {18}— com a temperatura a que as plantas sensíveis ao resfriamento — temperaturas superiores a 0°C — começam a evidenciar danos. Na mesma referência diz-se que Raison *et al.* demonstraram que a transição de fase física ocorria precisamente a uma temperatura de resfriamento a partir da qual se iniciavam os danos.

Abaixo de 0°C não há razão *a priori* para que não se venham a descobrir transições de fase física das membranas existentes nas células {18}.

Também o enfraquecimento das ligações hidrofóbicas, na dupla camada de lípidos das membranas, pode levar à sua desnaturação; já que as ligações hidrofóbicas enfraquecem a temperaturas

baixas {3,18}.

V.4 - Hipóteses generalizadoras

V.4.1 - Nota sobre o processo de congelação

A curva de congelação, num processo de congelação ideal, é hiperbólica. Em condições reais próximas das ideais — congelação em equilíbrio — pode-se, então, utilizar a fórmula (V.1)

$$L_T = L_0 \, \Delta T_m \times \frac{1}{T} + K \qquad (V.1)$$

L_T é o conteúdo de água líquida nos tecidos. L_0 é a àgua líquida, contida nos tecidos a 0^oC — antes do início da congelação. ΔT_m é o abaixamento do ponto de fusão (^oC), sendo K a àgua ligada que não pode congelar para dar gelo cristalino. Representando L_T *versus* 1/T obtem-se uma linha recta (fig. V.7) {4,5,6}.

Dividamos (V.1) por L_0, então

$$\frac{L_T}{L_0} = \frac{\Delta T_m}{T} + \frac{K}{L_0} \qquad (V.2)$$

Fazendo $\frac{L_T}{L_0} = f$ e $\frac{K}{L_0} = b$, temos que

$$f = \frac{\Delta T_m}{T} + b \qquad (V.3)$$

sendo, deste modo, f a fracção de água congelada à temperatura T e b a fracção de água que não chega a congelar, por estar firmemente ligada aos constiuintes celulares.

Curiosamente, Weiser *et al.* (1979) {18}, embora apresentem as fórmulas certas, enganam-se na sua interpretação. Constroem, então, um quadro com valores despropositados. Por isso, construimos o quadro V.1, que dá a informação necessária para a aplicação das fórmulas (V.1) e (V.2), em alguns casos.

V.4.2 - Hipóteses generalizadoras

Pouco se conhece sobre os mecanismos de geladura. Achamos, contudo, que é válido, baseando-nos nas leituras que fizemos, apresentar algumas hipóteses que nos parecem poderem vir a ter alguma confirmação no futuro. Mas atenção, elas são apenas isso, hipóteses — estando mesmo as mais controversas em tipo de letra miúda.

V.4.2.1 - A maioria das plantas sensíveis, que sofrem danos imediatos por congelação, em todos os tecidos (p.ex., tomateiro, meloeiro); a maioria dos tecidos que têm reduzida tolerância ao gelo extracelular(*) (**) — digamos até -3 ou -4°C — onde a sobrefusão não é apreciável (p.ex., ervilheiras, folhas de batateira, folhas de citrinos); — devem sofrer geladura através da acção directa do gelo extracelular (ver V.3.1.). Podem, também, sofrer danos de maneira semelhante, à descrita em V.4.2.2. É uma questão de saber qual dos grupos de mecanismos se torna primeiramente letal, e, isto depende como é evidente de propriedades relativas ao tecido e às células.

Os reduzidos espaços extracelulares, a localização desordenada e/ou a elevada turgidez dão origem a que os cristais de gelo que se formam danifiquem a membrana plásmica. Além da perfuração pura e simples, forças de corte entre os cristais que estão crescendo junto à membrana podem criar danos (ver também V.4.2.2).

(*) Admite-se que a taxa de arrefecimento é moderada.

(**) Incluindo tecidos resistentes quando aclimatados, na época de crescimento activo.

V.4.2.1.2 - A maioria dos tecidos que congelam próximo de 0°C e que têm a temperatura letal acima de uns 10°C(e inferior a uns -3 ou -4°C), por exemplo, os cereais de inverno e muitas gramíneas herbáceas, quando aclimatadas. Nestes casos(*) a geladura deve ter como causa primária a dessecação do protoplasto, tendo a temperatura influência directa sobre as membranas.

A transição de fase física (ou a desnaturação) das membranas da célula pode, talvez, dar-se para determinado intervalo, muito estreito, de temperatura perdendo flexibilidade (e permeabilidade). Então o prosseguimento da plasmólise conduz a uma série de *stresses* a que as membranas, por estarem menos flexíveis, não resistem e "quebram".

V.4.2.1.3 - Tecidos que congelam próximo de 0°C e cuja temperatura letal está abaixo de uns -10°C sofrem geladura provavelmente, fundamentalmente por acção directa da temperatura baixa e perda de água vital.

A desnaturação da proteína pode então ser a causa primordial de letalidade. Estão incluídos os mecanismos tratados em V.3.2. e que acabam por ser fortemente dependentes da temperatura.

V.4.2.1.4 - Plantas que sofrem sobrefusão acentuada (não profunda) — acima de uns -20°C — quando congelam sofrem congelação intracelular {3,13,18}.

Poder-se-á admitir que esta é apenas o prolongamento da explosiva congelação extracelular. Sendo, a membrana crivada pelos inúmeros cristais de gelo que invadem o protoplasma.

V.4.2.1.5 - Abaixo do ponto de sobrefusão profunda ($\lesssim$ -20°C)

(*) A taxas de arrefecimento e congelação moderadas.

do tecido, a sobrefusão cessa e a congelação é, também, intracelular {3,13,15, 18}.

V.4.2.2 - Discussão das hipóteses

a)(*) Objecção que prevemos poder surgir:

- As plantas sensíveis têm congelação intracelular mesmo a taxas baixas de arrefecimento, devido à baixa permeabilidade da membrana celular.

a') Resposta:

Com efeito muitos autores referem a congelação intracelular como sendo a responsável pela inviabilização de células de reduzida geado-resistência. Não há, contudo, prova da existência deste tipo de congelação na natureza {*cf.* 8} e, em laboratório, com taxas verdadeiramente baixas de arrefecimento, próximas das observadas na natureza numa noite de geada, para muitas plantas sensíveis ela não se verificou, principalmente se as células estiverem isoladas {*cf.* 1, 16}.

Parece-nos lógico admitir que se a mambrana celular é obstáculo à saída de água é-o, também, por maior razão, à entrada dos núcleos de congelação.

Por outro lado, não terão as membranas que fazem a compartimentação do protoplasma nenhuma influência no que respeita a um aumento do grau de sobrefusão deste? — evitando a congelação intracelular até aos tais -3 ou -4°C.

b) Algumas objecções que prevemos poderem surgir:

1º - A existência de transição de fase física das membranas não está totalmente provada para temperaturas infe -

---

(*) a) e a') correspondem a V.4.2.1.1; b) e b') correspondem a V.4.2.1.2; etc.

riores a $0^{o}C$;

2º - Mesmo que admitamos a transição de fase física das membranas nunca se pôs nestes termos a acção da desidratação sobre as membranas.

b') Respostas:

1º - Na referência 18 dá-se como certa esta transição de fase a temperaturas inferiores a $0^{o}C$.

2º - Na verdade, muitos autores, nas entrelinhas, põem esta hipótese. Por exemplo Weiser *et al.* {3}:

"As separações de fase da membrana a temperaturas negativas podem levar a perdas de electrólitos e à geladura por um meio mais directo {do que as perdas de electrólitos verificadas durante os danos por resfriamento, envolvendo um complicado processo, em que a inactividade das enzimas situadas na membrana contrasta com a actividade das enzimas soluveis}".

Outros referem que a elasticidade dos protoplastas de células resistentes é maior (p. ex., ref.3).

c) Objecção prevista:

- Porque não um mecanismo semelhante ao anterior:

c') Resposta:

Efectivamente, abaixo de $-10^{o}C$ a quantidade de água desligada no estado líquido é pequena, pelo que a taxa de contracção do protoplasto é muito reduzida.

Vamos calcular a fracção de água que congela entre $-10^{o}C$ e a temperatura letal ($-18^{o}C$), para o trigo "Kharkov". Tomemos a fórmula (V.3), então

$$f(-10^{o}C)-f(-18^{o}C) = \Delta T_m \times \left(\frac{1}{-10} - \frac{1}{-18}\right)$$

Como $\Delta T_m = 2,30^oC$ (quadro V.1), temos que

$f(-10^oC) - f(-18^oC) = 0,1 = 10\%$.

Daqui se depreende que de -10^oC at,e -18^oC a contrac - ção volumétrica é de apenas, 10% aproximadamente. Por outro lado, os mecanismos apontados começam a ser bastante mais prováveis para temperaturas baixas.

V.5 - Danos por resfriamento

Note-se que o(s) mecanismo(s) do dano por resfriamento — temperaturas superiores a 0^oC — sofridos por fruteiras,vegetais e ornamentais de origem tropical traduz-se, também, numa desidratação da célula.

Com efeito, temperaturas baixas provocam nas células destas uma perda de água. As células ficam de igual modo desidratadas, sendo a desnaturação das proteínas uma das possíveis consequências deste estado {14}.

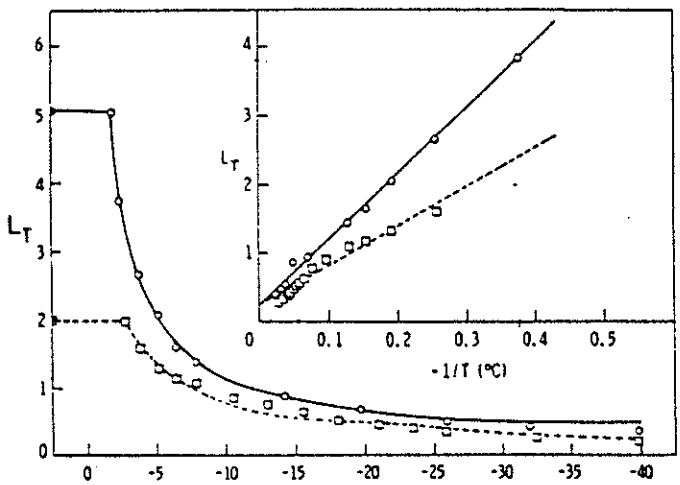


FIGURA V.7 - Curvas de congelação para o centeio"Frontier", resistente ( ) e susceptível ( ). O conteúdo em água líquida L_T é expresso em gramas de água líquida por grama de amostra seca. L_T é expresso *versus* temperatura, T, e seu recíproco. As linhas desenhadas são, na representação L_T *versus* T a hipérbole que melhor se ajusta, e no caso L_T *versus* 1/T a linha recta melhor ajustável. Foram considerados os resultados entre -2,5 e -40^oC. O "Frontier" resistente resistiu até -24 ± 1^oC e o susceptível até -5 ± 1^oC.

V.6 - Referências

{1} - ASAHINA, E. 1978. Freezing processes and injury in plant cells. *In:* LI, P.H. & SAKAI (ed.) *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress*. Vol. I. Acad. Press.

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

{3} - BURKE, M.J. *et al.* 1976. Freezing and injury in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 27:507-528.

{4} - CHEN, P.M., BURKE, M.J. & LI, P.H. 1976. The frost hardiness of several solanum species in relation to the freezing of water, melting point depression, and tissue water content. *Bot. Gaz.* 137(4):313-317.

{5} - CHEN, P.M., LI, P.H. & BURKE, M.J. 1977. Induction of frost hardiness in stem cortical tissues of *Cornus stolorifera*. Michx. by water Stress. *Plant Physiol.* 59: 236-239.

{6} - GUSTA, L.V., BURKE, M.J. & KAPOOR, A.C. 1975. Determination of unfrozen water in winter cereals at subfreezing temperatures. *Plant Physiol.* 56:707-709.

{7} - HEWETT, E.W. 1971. Preventing frost damage to fruit trees. *Information series No. 86. New Zealand Dept. of Sci.and Ind. Pres.* pp.55.

{8} - LEVITT, J. 1978. An overview of freezing injury and survival, and its interrelationships to other stresses. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. (ed.) *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress*. Vol. I. Academic Press. pp. 3-15.

{9} - LIEGEL, W. 1965. Physiologie de la resistance au gel de plantes superieures: en particulier dans le cas des arbres fruitiers. *Phytoma,* No 172, pp.20-25.

{10} - LINDOW, S.E. 1982. Population dynamics of epiphytic ice nucleation active bacteria on frost sensitive plants and frost control by means of antagonistic bacteria.*In:* LI, P.H. & SAKAI, A. (ed.) *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress*. Vol. II.

{11} - MODLIBOWSKA, I. 1975. Effects of frost on crop yield and quality. *In:* PEREIRA, H.C. (ed.) *Climate and the Orchard.* Commw. Bur. Hortic. Plant Crops, Res. Rev. 5:73-81.

{12} - MORRIS, L.L. 1982. Chilling injury of horticultural crops: an overview. *Hortscience* 17(2): 161-162.

{13} - OLIEN, C.R. 1967. Freezing tresses and survival. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 18:387-408.

{14} - PRIMAULT, B. 1979. Plant climate (heating and cooling) *In: Agro-meteorology.* Springer-Verlag, Berlim, pp. 200-211.

{15} - QUAMME, H.A. 1978. Breeding and selecting temperate fruit crops for cold hardiness. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. (ed.) *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress.* Vol. I. Academic Press. pp.313-332.

{16} - TOWILL, L.E. & MAZUR, P. 1976. Osmotic shrinkage as a factor in freezing injury in plant tissue cultures. *Plant Physiol.* 57:290-296.

{17} - WANG, C.Y. 1982. Physiological and biochemical responses of plants to chilling stress. *Hortscience* 17(2): 173-

{18} - WEISER, C.J. 1979. Plant freezing injury and resistance. *In:* BARFIELD, B.J. & GERBER, J.F. (ed.) *Modification of the Aerial Environment of Crops.* St. Joseph.

{19} - WEISER, C.J. 1982. Cold hardiness and stress research: an evoluting agricultural science. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. (ed.) *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress.* Vol. II. Academic Press. pp. 313-332.

CAPÍTULO VI

MÉTODOS DE RESISTÊNCIA DAS PLANTAS E TECIDOS À GEADA

VI.1 - Introdução

A resistência das plantas à geada — geado-resistência — está longe de ser um conceito de fácil definição. As plantas têm muitos órgãos e tecidos, que apresentam susceptibilidades diferentes a esta componente do ambiente físico. Pode a destruição deste ou daquele orgão/tecido não comprometer o desenvolvimento vegetativo, mas tão somente uma função determinada, que pode, ou não, ser importante, segundo o ponto de vista que adoptarmos.

Infelizmente, são precisamente os orgãos sexuais os que normalmente são mais sensíveis.

Durante o estado de dormência fisiológica as plantas evidenciam uma resistência acrescida às baixas temperaturas, vendo-se esta drásticamente diminuida durante o crescimento activo. O grau de resistência é também variável e, por outro, varia de acordo com o estado fenológico, durante a época de crescimento visível. Para que a situação se complique ainda mais, mesmo para a mesma linha e estado de crescimento, a idade da planta, ambiente recente (especialmente no que se refere à temperatura, humidade e insolação máxima), e outros factores que focaremos adiante, — influenciam o grau de resistência às baixas temperaturas.

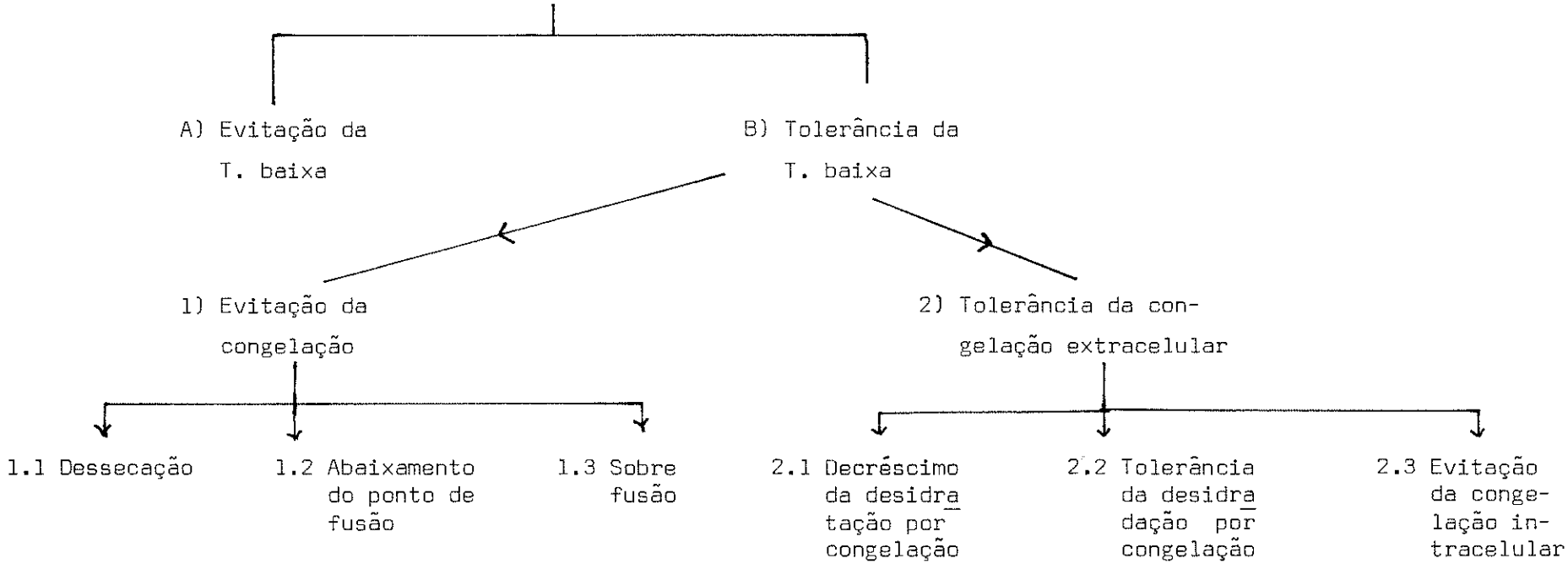
VI.2 - Métodos de sobrevivência (ou resistência) às geadas

Depois de termos abordado resumidamente os mecanismos de geladura, interessa-nos falar sobre os métodos que permitem a sobrevivência (resistência) às geadas.

Adoptaremos uma perspectiva essencialmente estática. No

FIGURA VI.1

MÉTODOS DE SOBREVIVÊNCIA (RESISTÊNCIA)ÀS GEADAS



ESTE ESQUEMA É INSPIRADO NO APRESENTADO POR J. LEVITT NA REF. 8

capítulo seguinte daremos uma ideia da oscilação da resistência por parte das plantas, atendendo ao seu estado de desenvolvimento e ambiente recente, e estimaremos os seus limites de sobrevivência.

A - Evitação da temperatura baixa(*)

A sobrevivência das plantas, órgãos e/ou tecidos às geadas, pode resultar, quer de factores inerentes àqueles, quer de factores microambientais. Estes factores podem, também, ser de grande importância.

O microambiente favorável pode ser natural ou resultante da intervenção humana. Alguns exemplos:

- A existência de neve — devido às suas propriedades isolantes — permite a sobrevivência através do inverno de muitas espécies bienais e perenes de pequeno porte (morangeiros, cereais de inverno, leguminosas e gramíneas pratenses, diversas ornamentais, etc.); confere, também, protecção às raízes de numerosas árvores e arbustos; — resultando a sua ausência letal, para muitas plantas, em regiões de invernos muito rigorosos.

- As folhas (citrinos) têm uma baixa condutividade térmica, podendo actuar como escudos de radiação conservando o calor, apesar da sua pequena massa {12}. Este efeito protector pode ser de grande interesse em casos de geada de radiação, verificando-se que os frutos, flores e outros orgãos podem, quando mergulhados na folhagem, sofrer menos danos.

- Alguns tecidos estão também protegidos, por evitação das temperaturas negativas danosas — principalmente quando a geada ("no ar") é de pequena duração — por um defasamento entre a temperatura do ar e dos tecidos: Turrel *et al.* (1969) estudaram a condutividade térmica em partes de citrinos e afirmam

---

(*) Veja-se o esquema da fig. VI.1.

que "é evidente que uma árvore pequena ou um pequeno ramo não podem opor-se às temperaturas negativas por mais de alguns minutos, enquanto que as árvores grandes e grandes ramos podem, talvez, opor-se a estas temperaturas, por 8 horas". Este desfasamento depende, além da condutividade térmica e massa da parte da planta, do gradiente de temperatura entre a superfície e o tecido.

- Alguns métodos activos e passivos de luta contra as geadas apostam precisamente na modificação do microambiente (espumas isolantes, coberturas várias, rega por aspersão, etc.).

B - Tolerância da temperatura baixa

Em condições naturais a sobrevivência às geadas é, contudo, determinada fundamentalmente pela resistência das plantas à geada. Esta resistência pode resultar de evitação ou tolerância da congelação extracelular (fig. VI.1).

B.1 - Evitação da congelação

Estes métodos impedem a formação de cristais de gelo extracelularmente. São para muitas plantas os únicos que lhes permitem a sobrevivência — plantas sujeitas a dano imediato por congelação (ver quadro VII.1). Estas plantas estão particularmente adaptadas a "habitats" onde há, apenas, geadas de radiação de pequena intensidade.

Entre as plantas que sofrem danos imediatos após congelação há exemplos de gradação com a altitude: diferenciação de ecotipos. Há um reforço dos mecanismos que conduzem a um abaixamento do ponto de fusão e/ou aumentam o grau de sobrefusão {6}.

B.1.1 - Evitação da congelação por dessecação

É o método seguido por algumas estruturas dormentes(sementes, botões) nas plantas superiores. Consiste na acumulação de matéria seca e consequente, diminuição da humidade {4,8}. É res-

ponsável pela sobrevivência de muitas plantas anuais sensíveis {4}.

B.1.2 - Abaixamento do ponto de fusão em células normalmente hidratas

Consiste numa tensão ósmótica acrescida devido à presença de solutos em grande (ou superior) concentração. Abaixo de -4°C a evitação completa da congelação, coligativamente, em plantas superiores, é provavelmente rara {4,8}.

B.1.3 - Sobrefusão

Alguns autores interpretam erradamente o termo "sobrefusão" — como uma depressão do ponto de congelação abaixo de 0°C explicada ou não, em parte, coligativamente (e.g. ref. 3,7)."Sobrefusão" deve ser interpretada como a manutenção do estado líquido abaixo do ponto de fusão da solução, que devido à tensão osmótica desta é inferior a 0°C.

"A capacidade de sobrefusão das células das plantas depende da presença de núcleos de congelação, conteúdo das soluções celulares, grau de adaptação, e de particularidades histológicas e, citológicas (forma e tamanho das células, barreiras hidrófobas)" {6}.

A sobrefusão pode ter carácter transitório, conferindo protecção de 3-8°C contra as geadas (abaixo do limiar superior de temperatura a que pode ter início a congelação em células vivas). A sobrefusão com carácter persistente (até durante todo o inverno) aparece em gomos florais, sementes, e células parenquimatosas do xilema de diversas plantas {6}.

A sobrefusão persistente pode verificar-se até temperaturas muito baixas (-47°C) — sobrefusão profunda — afectando, principalmente os órgãos/tecidos citados {4,11,13}; um abaixamento subsequente de temperatura é sempre letal, devido à congelação intracelular que, então, se verifica {4,6,13}. Este "pon-

to de sobrefusão profunda"(*) é ipso facto responsável pelos limites setentrionais de ocorrência e cultura de muitas plantas, incluindo algumas fruteiras caducifólias, e deve ser devidamente considerado na selcção e melhoramento com o objectivo de obter plantas mais geado-resistentes {11}.

O limite inferior do ponto de sobrefusão profunda é dado pelo "ponto de nucleação homogênea" (T_h). Este é calculado, para soluções típicas das plantas, pela expressão:

$$T_h = - (2 \Delta T_m + 38,1)^{o}C$$

sendo ΔT_m o abaixamento do ponto de fusão da solução em graus centígrados. T_h varia entre -41 e -47°C, para a maioria das plantas. O quadro V.1 dá-nos alguns valores de ΔT_m.

A congelação numa planta em sobrefusão transmite-se rapidamente a partir do(s) ponto(s) onde aquela teve início, por inóculação {2}. O gelo sobre a planta ou no solo, bactérias e núcleos de congelação atmosféricos são excelentes nucleadores, dando a sua entrada na planta a partir de feridas, estomas e lentículas. Contudo quando a temperatura atingida é muito baixa (da ordem dos -35°C) o gelo progride lentamente podendo levar de semanas a anos para que a congelação da planta se complete — estamos numa situação em que a energia livre da água é muito baixa {4,10,13}.

Abaixo do ponto de nucleação homogênea, a congelação é rápida, intracelular e letal — como se disse.

B.2 - Tolerância da congelação extracelular

Muitas são as plantas/tecidos que sobrevivem após congelação (extracelular). O grau de tolerância à congelação pode ser dado pela diferença entre a temperatura a que a congelação tem início e a temperatura a que os danos se iniciam (LT_i) (ver qua-

(*) Curiosamente, em plantas bem aclimatadas, o ponto de sobrefusão é bastante constante e não depende muito da taxa de arrefecimento {4}.

dro VII, 1).

A tolerância à congelação de um tecido é incompatível, em geral, com crescimento activo. Conhecem-se, contudo, casos excepcionais de plantas de altas montanhas que apresentam esta capacidade durante a estação de crescimento. Também, — ou será o caso anterior — em *Saxifraga oppositifolia* e *Silene acaulis*, colhidas em altas altitudes nos Alpes, observou-se tolerância em pequenas partes, provavelmente inactivas, dos rebentos, estando as partes restantes — activas — sujeitas a dano imediato por congelação.

Deve, contudo, notar-se que uma tolerância acentuada só pode existir durante a dormência ou quando o crescimento é reduzido, perdendo-se durante o crescimento intenso{6}.

A tolerância pode aumentar por aclimatação.

B.2.1 - Decréscimo da desidratação por congelação

Este método consiste na menor formação de gelo extracelular em plantas resistentes e pode-se observar este aspecto em fotografias da ref. 2. Resulta dos efeitos coligativos da acumulação de solutos no protoplasma. Esta acumulação é resultado de aclimatação, mas as variações entre plantas são também importantes.

B.2.2 - Tolerância da desidratação por congelação

Existem plantas que suportam temperaturas até -196°C, sem geladura. Nestas plantas a congelação extracelular inicia-se próximo de -1°C — a sobrefusão alcançada é ligeira — e prossegue até só restar a água fortemente ligada às moléculas que existem no protoplasma. Atendendo a que o ponto de sobrefusão profunda mais baixo constatado nos tecidos das plantas é de -47°C e a congelação nestas condições é sempre letal {13},— só existem plantas perenes, além da isotérmica de temperatura mínima média de -47°C, sobrevivendo deste modo.

Quando a aclimatação aumenta, muitos tecidos/plantas au -

mentam a sua tolerância à desidratação causada pela congelação extracelular. Para que os danos provocados pela formação de gelo extracelularmente se iniciem é necessário, nestes tecidos, que o protoplasto perca mais água, formando-se mais gelo, do que em tecido homólogos de plantas sensíveis {5,8,9}. Por exemplo (ref. 9):

Embora não tivessem sido encontradas quaisquer relações entre a concentração do suco celular e a resistência à geada de folhas de batateira, as folhas de espécies mais resistentes à geada tinham a capacidade de tolerar mais água congelada. S. *acaule* pôde tolerar a congelação de até 80% da água líquida, enquanto S. *tuberosum* tolerou somente até 60%.

B.2.3 - Evitação da congelação intracelular

Uma acrescida permeabilidade das membranas plásmicas é, talvez, o mecanismo mais eficiente para evitar a congelação intracelular. Células mais permeáveis permitem a existência de congelação em equilíbrio extracelularmente evitando que o ponto de congelação do protoplasma se atinja. A aclimatação, por sua vez, provoca modificações na estrutura e composição das membranas {1,8,13}.

É evidente que um aumento da tensão ormótica, também, contribue para que a congelação não se propague ao protoplasma.

VI.3 - Referências

{1} - ALDEN, J. & HERMANN, R.K. 1971. Aspects of the cold-hardiness mechanism in plants. *Bot. Rev.* 37:37-142.

{2} - ASAHINA, E. 1978. Freezing processes and injury in plant cells. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. (ed.) *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress.* Acad. Press.

{3} - BOUCHET, R.J. 1965. Problèmes des gelées de printemps. *Agric. Meteorol.* 2:167-195.

{4} - BURKE, M.J. *et al.* 1976. Freezing and injury in plants. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 27:507-528.

{5} - GUSTA, L.V., BURKE, M.J. & KAPOOR, A.C. 1975. Determination of unfrozen water in winter cereals at subfreezing temperatures. *Plant Physiol.* 56:707-709.

{6} - LARCHER, W. 1982. Typology of freezing phenomena among vascular plants and evolutionary trends in frost acclimation. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. (ed.). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress.* Vol. II. Acad. Press. p. 417-426.

{7} - LEHOCZKY, M.M.L. & NACSÀDY, A. 1980. Méthodes et moyens de protection contre la gelée. *Nations Unies. Comission Économique pour l'Europe Rapport Agri/Mech No.* 85. 27 pp.

{8} - LEVITT, J. 1978. An overview of freezing injury and survival, and its interrelationships to other stresses. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. (ed.). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress.* Vol. I. Acad. Press. p. 3-15.

{9} - LI, P.H. & PALTA, J.P. 1978. Frost hardening and freezing stress in tuber-bearing solanum species. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. (ed.). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress.* Vol. I Acad. Press. p. 49-71.

{10} - OLIEN, C.R. 1967. Freezing stresses and survival. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 18:387-408.

{11} - QUAMME, H.A. 1978. Breeding and selecting temperate fruit crops for cold hardiness. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. (ed.). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress.* Vol. I Acad. Press. p. 313-332.

{12} - TURREL, F.M. & AUSTIN, S.W. 1969. Thermal conductivity and mass in stems, leaves and fruit in relation to frost resistance. *In: Proceedings 1 st Internat. Citrus Symp,* Vol. 2, 1969. p. 601-608.

{13} - WEISER, C.J. 1979. Plant freezing injury and resistance. *In:* BARFIELD, B.J. & GERBER, J.F. (ed.). *Modification of the Aerial Environment of Crops.* St. Joseph.

CAPÍTULO VII

VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DAS PLANTAS ÀS GEADAS. TEMPERATURAS CRÍTICAS

A geado-resistência varia na razão directa do grau de dormência e na inversa da taxa de crescimento.

O aumento da geado-resistência — aclimatação ao frio — consiste num aumento da evitação da congelação ou no desenvolvimento temporário de tolerância à congelação {15}. Chama-se "desaclimatação" à perda de resistência.

Podem-se distinguir três categorias de tecidos, quanto ao modo como aclimatam {16}. (*)

(1) Tecidos sem capacidade de aclimatação:

Muitas plantas/tecidos não têm esta capacidade. São exemplos, as folhas de algumas espécies de batateira (cf. quadro VII.1) {15, 18}, várias herbáceas em C_4, folhas da palmeira *Trachycarpus fortunei* {15}, e tomateiros {19}.

(2) A tolerância à congelação não é induzida, mas a evitação aumenta:

A evitação aumenta coligativamente e/ou através de um aumento da sobrefusão:

- Primeiro caso:

A aclimatação conduz frequentemente à acumulação de açúcares (essencialmente sacarose), baixando o ponto de fusão do suco celular.

Este tipo de evitação foi detectado em folhas de *Olea eu-*

(*) Olhando o esquema do quadro VI.1 vê-se o paralelismo evidente que existe entre as categorias que se seguem e os métodos de sobrevivência.

ropaea (cf. quadro VII.1) e em citrinos {33,34}.

A hidrólise do amido aumenta com a aclimatação em algumas plantas (e.g., couve e citrinos) {16,33}. Em laranjeiras as razões açúcar: amido, num caso concreto, foram de 20:1 e 1,8:1, em folhas, e 17:1 e 1:1, na madeira, — sendo, evidentemente, os valores mais elevados para as partes das plantas que sofreram aclimatação {33}.

- Segundo caso:

A sobrefusão, também, aumenta e mantém-se mais tempo, após aclimatação, a baixas temperaturas (citrinos: ref. 33; fruteiras: refs 19,31).

(3) A aclimatação induz tolerância à congelação

A aclimatação provoca uma diminuição da quantidade de gelo formada, baixando coligativamente o ponto de congelação dos tecidos, ou aumenta a tolerância à dessecação.

Como a tolerância à congelação é de carácter temporário e está associada ao crescimento reduzido em plantas herbáceas perenes e à dormência em plantas lenhosas {15}, - a sobrevivência, por tolerância pressupõe aclimatação (ver VI.B.2).

VII.1 - Fruteiras de folhas caduca

VII.1.1 - Aclimatação e desaclimatação

Nas fruteiras caducifólias, no outono, em resposta a estímulos ambientais (mormente foto e termoperiódicos), a taxa de crescimento reduz-se até anular-se, as folhas começam a cair, a actividade cambial reduz-se gradualmente, até que entram no estado de repouso. A cessação de actividade nas diferentes partes das plantas não é, porém, sincronizada: o crescimento terminal cessa em primeiro lugar em alguns ramos, e só depois nos mais vigorosos;

Quadro VII.1 - Temperaturas de congelação (T_c) e temperaturas que causam dano inicial (T_i) em plantas desaclimatadas (desa) e aclimatadas (a). (Ref. 15).

PLANTA	Temperatura abaixo da qual ocorre congelação do tecido			Geado-resistência			Tolerância à congelação
	T_c desa	T_c a	Efeito de adap.	T_i desa	T_i a	Efeito de adap.	T_i a - T_c a
	C	C	K	C	C	K	
Solanum tuberosum (folhas)	-3	-3	0	-3	-3	0	0
Trachycarpus fortunei (folhas)	-10	-11	1	-10	-11	1	0
Olea europaea (folhas)	-5	-10	5	-5	-10	5	0
Quercus ilex (folhas)	-5	-8	3	-5	-13	8	5
Abies alba (folhas)	-4	-7	3	-4	-30	25	23
Malus sylvestris (casca)	-5	-6	1	-5	-30a-60	25 55	25 55
Malus sylvestris (xilema)	-8	-38	30	-8	-30a-35	até 30	0
Betula papyrifera (xilema)		-10			-196		

adapt. - adaptação.

e a actividade cambial parece, que cessa primeiro na periferia da árvore, e por último no tronco e ramos grossos.

Uma quantidade determinada de frio é necessária para que as árvores possam florir e crescer vigorosamente na primavera. As exigências em frio estão compreendidas {9} entre as 650 e 1400 horas abaixo de 7°C, segundo as espécies e variedades. Se estas exigências não forem satisfeitas a floração é errática e prolongada, os gomos podem cair, e o crescimento é reduzido.

Após o fim do repouso — quebrado pelo frio —, se o calor acumulado for insuficiente a dormência continua;caso contrário esta cessa e o crescimento activo inicia-se.

Durante o período de dormência a resistência das plantas mantém-se alta embora sofra bastantes flutuações.A temperatura que conduz à morte de 50% dos gomos (T_{50}) na cerejeira e pessegueiro situa-se normalmente entre -20° e -23°C, pouco depois da desfoliação outonal, não indo acima dos -15°C durante a dormência. Períodos prolongados de temperaturas baixas podem levar o T_{50} a valores bastante mais baixos (e.g., T_{50}=-34°C para cerejeiras e T_{50} = -27°C para pessegueiros já têm sido observados), contudo, um descongelamento dos gomos leva-os rapidamente a atingirem o mínimo de resistência, que é característico do estado de dormência {20}. Algo de semelhante se passa para o damasqueiro, pereira e maceira {9}.

Se a estes dados juntarmos outros, constantes das referências 10, 21 e 31, facilmente chegamos à conclusão, que no Território Nacional as temperaturas, durante a dormência, não atingem valores tão baixos que causem danos nas principais fruteiras de folha caduca (incluindo: ameixeiras, videiras e gingeiras; além dos supracitados).

Após o início do crescimento visível, a susceptibilidade à geada não cessa de aumentar (fig. VII.1). O estado fenológico passa a ser o factor mais importante na determinação da

temperatura a partir da qual o dano aparece — temperatura crítica(*).

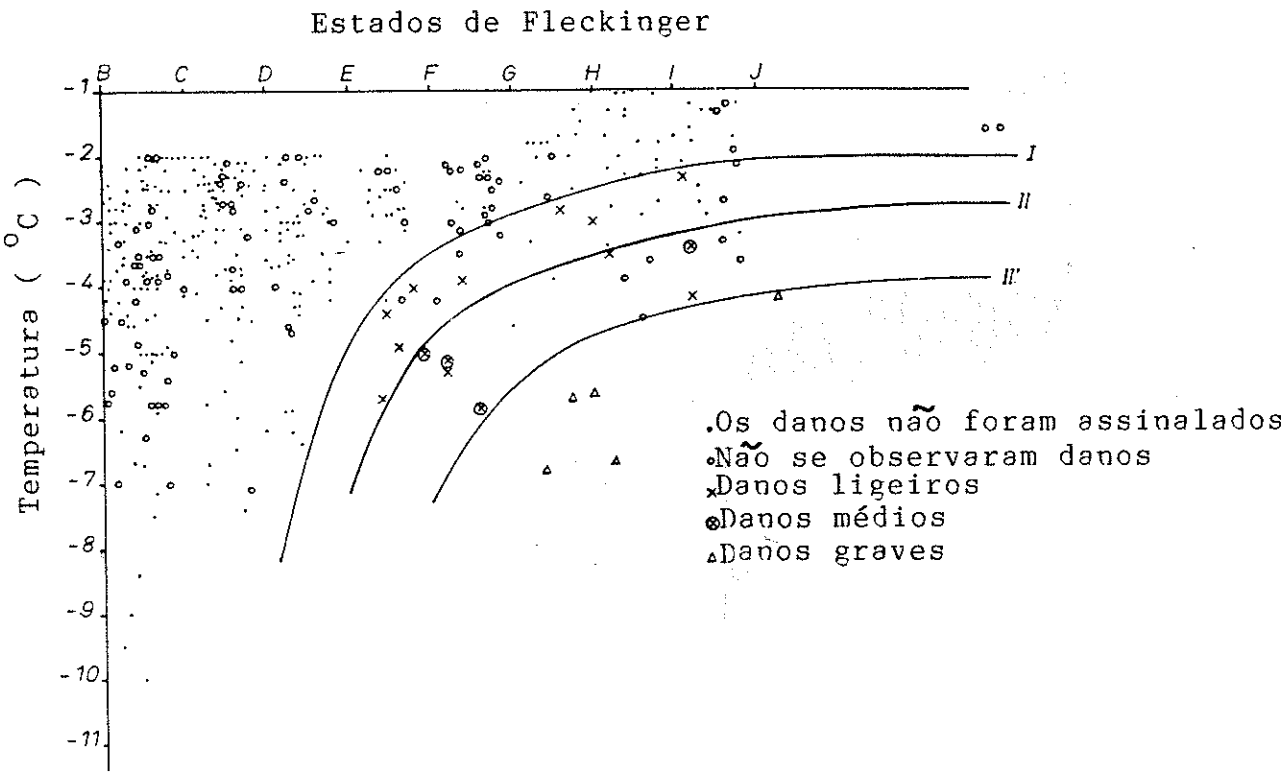


FIGURA VII.1 - Evolução do nível de resistência de pereiras (índice actinotérmico a 40 cm) em função do estado de desenvolvimento (classificação de J. Fleckinger). (Extraído da ref. 6).

(*) Por definição, "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 (ref. 2).

Para o mesmo estado fenológico, a temperatura mínima e sua duração, o estado do tempo precedendo uma geada, a taxa de abaixamento da temperatura, e o vigor das árvores, são, também factores que influenciam a natureza e extensão dos danos; além de variações resultantes da variedade/clone.

No início do intumescimento dos gomos alguns perdem resistência, enquanto outros continuam aclimatados, acontecendo que a diferença entre as temperaturas que causam a morte de 10% (T_{10}) e 90%(T_{90}) dos gomos pode chegar a 11°C. Modificações reversíveis da geado-resistência, causadas fundamentalmente pela temperatura do ar, são frequentes, ocasionando oscilações das temperaturas críticas {2}.

A separação das escamas dos gomos, desprotege as flores, aumentando a suceptibilidade destas. O número de gomos resistentes diminue e T_{10}-T_{50} passa para uns 5°C descendo para 1-2°C no fim desta fase de crescimento. A aclimatação ainda é possível, mas as temperaturas a que se faz também originam perda de gomos {2}.

A plena floração é um estado particularmente sensível: as flores encontram-se todas muito susceptíveis. Em alguns casos a aclimatação ainda é, possível, mas é ligeira. A variabilidade é pequena e resultante fundamentalmente da exposição.

No estado de fruto verde pequeno os frutos estão igualmente sensíveis — exceptuando a variabilidade resultante da posição na árvore e exposição. A partir deste estado (inclusive) a aclimatação é, praticamente, inexistente; e o desfasamento entre a temperatura do ar e a dos frutos vai aumentando com o crescimento destes.

A fig. VII.2) resume o que foi dito nestes últimos parágrafos, no caso particular do pessegueiro.

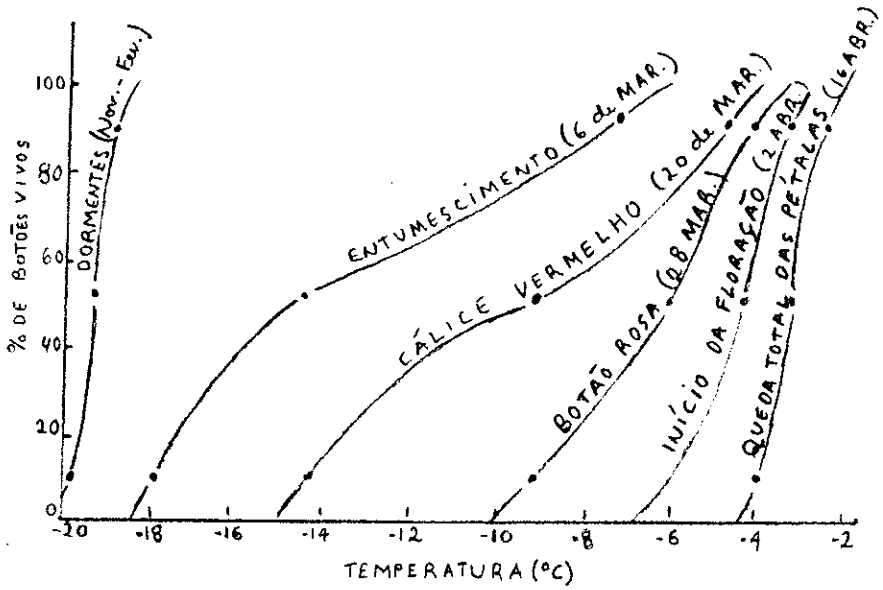


FIGURA VII.2 - Geado-resistência dos gomos florais do pessegueiro "Elberta"em diferentes estados de desenvolvimento.As curvas de sobrevivência representadas referem-se a doze anos de dados. (Extraído da ref.31).

VII.1.2 - Temperaturas críticas

Através de dados laboratoriais e de campo foi-se adquirindo um melhor conhecimento das temperaturas críticas.

Os quadro VII.2 a VII.7 dão 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, por vezes, a pena 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.

QUADRO VII.5(**)

AMEIXEIRAS(*)

Estado de desenvolvimento dos gomos	Início do intumescimento	Lados brancos	Ponta verde	Cacho fechado	Botão branco	Início da floração	Plena floração	Queda total das pétalas
Temperatura crítica (antiga)	-	-	-	-	-5,0	-	-2,8	-1,1
10% de morte (temperatura média)	-11,1	-8,9	-8,1	-5,1	-4,0	-4,3	-3,1	-2,6
90% de morte (temperatura média)	-17,2	-16,9	-14,8	-11,7	-7,9	-8,2	-6,0	-4,3
Data média (Prosser, Washington)	15/3	23/3	29/3	5/4	10/4	14/4	19/4	26/4

(*) Para ameixeiras italianas.

(**) Ver a nota, depois dos quadros.

QUADRO VII.6(**)

PESSEGUEIROS(*)

Estado de desenvolvimento dos gomos	Início do intumescimento	Cálice verde	Cálice vermelho	Botão rosa	Início da floração	Plena floração	Queda total das pétalas
Temperatura crítica (antiga)	-	-	-	-3,9	-	-2,8	-1,1
10% de morte (temperatura média)	-7,4	-6,1	-4,8	-4,1	-3,3	-2,7	-2,5
90% de morte (temperatura média)	-17,9	-15,7	-14,2	-9,2	-5,9	-4,9	-3,9
Data média (Prosser, Washington)	6/3	15/3	20/3	28/3	2/4	8/4	16/4

(*) Para *"Elberta"*.

(**) Ver a nota, depois dos quadros.

QUADRO VII.7(*)

DAMASQUEIROS

Estado de desenvolvimento dos gomos	Início do intumescimento	Separa-se a ponta	Cálice vermelho	Botão branco	Início da floração	Plena floração	Vingamento	Fruto verde
Temperatura crítica (antiga)	-	-	-	-3,9	-	-2,2	-	-0,6
10% de morte (temperatura crítica)	-9,4	-4,3	-6,2	-4,9	-4,3	-2,9	-2,6	-2,3
90% de morte (temperatura crítica)	-	-14,1	-13,8	-10,3	-10,1	-6,4	-4,7	-3,3
Data média (Prosser, Washington)	-	3/3	6/3	18/3	24/3	31/3	8/4	21/4

(*) Ver a nota seguinte.

NOTA:

Convenciona-se aqui que se diz que uma árvore está em determinado estado fenológico quando os primeiros gomos nesta árvore atingem esse estado. Os dados de 10% e de 90% de morte foram obtidos no Centro de Investigação de W.C.U., em Prosser, no Estado de Washington (E.U.A.). Fotografias coloridas mostrando os diversos estados fenológicos encontram-se nas referências 25-30. Estas fotografias serviram-nos para estimar a letra correspondente na classificação de Fleckinger e encontrar as designações portuguesas na pereira e na macieira. Para tal, recorremos às referências 5, 12, 13, 23. Nos restantes casos, por falta de elementos, fez-se uma tradução directa do inglês.

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 diferentes fases arrastam-se muito, coexistindo na mesma árvore estados florais bastante afastados{24}. Esta circunstância leva-nos a recomendar muita cautela na utilização dos valores constantes dos quadros VII.2 a VII.7. 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.

VII.2 - Citrinos

As plantas do género *citrus* são de folha, persistente, exceptuando-se as da espécie *Poncirus trifoliata* L. Raf. e seus híbridos que são caducifólias ou semi-caducifólias {14}.

A maioria dos citrinos não têm um período de dormência invernal estável e pronunciada, sendo contudo o crescimento reduzido. Este é o período em que as plantas evidenciam uma maior resistência às geadas {33}.

A geado-resistência é, de um modo geral, maior nas mandarineiras (*Citrus reticulata* Blanco) e tangerineiras e menor nos limoeiros, tendo valores intermédios nas laranjeiras e toranjeiras {33}. Uma seriação de 200 variedades de *citrus* quanto à sua resistência às geadas invernais foi feita por I. Ikeda (1982), {11}.

Os tecidos em crescimento activo não têm qualquer tolerância à congelação, sendo esta reduzida mesmo nos ramos e folhas sujeitas a um período de aclimatação {33}. Os frutos são os orgãos mais sensíveis às baixas temperaturas — mais os verdes do que os maduros — ocorrendo granulação nos frutos quando a tempe

ratura do ar desce a valores mais baixos do que -3,5 a -4,5°C, provocando congelação dos frutos {11}. As folhas sofrem danos quando a temperatura do ar desce abaixo de -6°C por várias horas, mesmo durante o inverno, sendo a morte generalizada abaixo dos -10°C {11}. A morte das árvores pode ter lugar a partir dos -6,7°C, embora, caso o grau de aclimatação seja bom, possamos esperar que sobrevivam a temperaturas inferiores (-10°C) {33}.

A aclimatação dos citrinos é importante para que a sua geado-resistência aumente. A luz e, fundamentalmente, o frio, são os estímulos responsáveis pelas transformações sofridas pelas plantas e que aumentam aquela resistência {7,33}.

A aclimatação inicia-se para temperaturas de cerca de 13°C, continuando até temperaturas da ordem dos -3,3°C, segundo parece {33}. É acompanhada por transformações fisiológicas ainda mal conhecidas. O resultado destas transformações consiste num abaixamento do ponto de fusão e num aumento da capacidade de se manterem em sobrefusão.

Em Portugal Continental os prejuízos são elevados. As geadas invernais (fundamentalmente as temporãs) provocam geladura das folhas, e ramos não atempados, reflectindo-se os prejuízos, por vezes, nos anos seguintes. As árvores com frutos sofrem prejuízos acrescidos — devido à maior utilização dos produtos carbonados da fotossíntese —, e os frutos tornam-se amargos e impróprios para consumo. As geadas primaveris, talvez as mais danosas, apanham as árvores em crescimento (portanto mais sensíveis) e levam à destruição, principalmente, dos botões e frutos novos {22}.

A nossa pequena experiência e os conhecimentos agora adquiridos levam a admitir que os prejuízos causados pelas geadas invernais resultam fundamentalmente de uma selecção deficiente do local de implantação dos pomares e que a simples implementação de medidas preventivas — métodos passivos — ver parte 2, Cap. IX), poderá levar à eliminação desses prejuízos nas principais regiões citrícolas do país. Note-se que alguns dos valores

apontados devem ser considerados com muita cautela, devido ao baixo grau de dormência que os citrinos atingem em muitas regiões do nosso País, de clima relativamente ameno.

Convém considerar que a tolerância à congelação dos tecidos dos citrinos nunca deixa de ser nula, sendo o ponto de congelação dos diferentes orgãos, a temperatura letal. Por outro lado é de admitir que, nas nossas condições, a sobrefusão seja, geralmente, baixa, visto que as geadas que assolam o nosso território são de radiação (sentido lato), e normalmente brancas. A presença de gelo à superfície dos orgãos {7,8} faz com que a sobrefusão seja ligeira.

Também, a curta duração das temperaturas negativas em Portugal — relacionada com o tipo de geada — é um factor que deve ser levado em linha de conta, visto que há desfasamentos importantes entre as temperaturas dos tecidos e a do ar. Este facto permite esperar, que a sobrevivência aumente, especialmente para os orgãos de grande capacidade calorífica.

VII.2.1 - Temperaturas críticas

Para as nossas condições parece-nos que o seguinte é válido:

- Os troncos e ramos atempados não sofrem geladura. Não só porque as temperaturas mínimas não vão abaixo dos valores usualmente apontados como letais, mas também porque a capacidade calorífica destas partes vegetais é muitas vezes considerável.

- Ramos não atempados sofrem geladura a partir de -2,8°C {7}.

- Botões e frutos pequenos podem sofrer geladura abaixo de cerca de -1,1°C {17}.

- Os pontos de congelação do quadro VII.8 podem considerar-se como temperaturas críticas, não esquecendo, contudo, que

QUADRO VII.8

PONTOS DE CONGELAÇÃO (Valores Mais Altos)[1]

	Temperatura do tecido (°C)
LARANJAS	
Maduras (polpa)	-2,5 a -0,7 (14 var.)[2]
Meio maduras	-2,2 " -1,7[3]
Verdes	-1,9 " -1,4[3,4]
LIMAS	
Polpa	-2,1 a -1,6 (2 var.;5 lotes)[2]
LIMÕES	
Polpa	-1,7 a -1,1 (2 var.)[2]
Verdes, pequenos	-1,4 " -0,8[3]
Verdes	-1,9 " -1,4[3]
Botões, flores de limoeiro	-2,8[3]
TANGERINAS	
Polpa	-1,3 a -1,1 (2 var.;3 lotes)[2]
TORANJAS (*C. paradisi* Macf.)	
Polpa	-1,7 a -1,1 (5 var.)[2]

var. ≐ variedades

(1) - Os valores mais altos são aqueles em que a sobrefusão foi mínima; por isso os adoptámos.

(2) - Segundo a ref. 32.

(3) - " " " 1.

(4) - " " " 17.

QUADRO VII.9

(Segundo a ref. 3)

RESISTÊNCIA DE ALGUMAS CULTURAS À GEADA, EM DIFERENTES FASES DE DESENVOLVIMENTO (*)

	Temperaturas danosa (graus abaixo de °C) para a planta na fase de:		
	GERMINAÇÃO	FLORAÇÃO	FRUTIFICAÇÃO
ALTA RESISTÊNCIA À GEADA			
Trigo de Primavera	9 - 10	1 - 2	2 - 4
Aveia	8 - 9	1 - 2	2 - 4
Cevada	7 - 8	1 - 2	2 - 4
Ervilha	7 - 8	1 - 2	3 - 4
Lentilha	7 - 8	2 - 3	2 - 4
Coentro	8 - 10	2 - 3	3 - 4
RESISTÊNCIA À GEADA			
Tremoço	6 - 8	3 - 4	3 - 4
Feijão	5 - 6	2 - 3	3 - 4
Girassol	5 - 6	2 - 3	2 - 3
Cártamo	4 - 6	2 - 3	3 - 4
Linho	5 - 7	2 - 3	2 - 4
Cânhamo	5 - 7	2 - 3	2 - 4
Beterraba açucareira	6 - 7	2 - 3	-
" forrageira	6 - 7	-	-
Cenoura	6 - 7	-	-
Nabo	6 - 7	-	-
RESISTÊNCIA MÉDIA À GEADA			
Couve	5 - 7	2 - 3	6 - 9
Soja	3 - 4	2 - 3	2 - 3
Tremoço amarelo europeu	4 - 5	2 - 3	-
RESISTÊNCIA BAIXA À GEADA			
Milho	2 - 3	1 - 2	2 - 3
Sorgo	2 - 3	1 - 2	2 - 3
Batata	2 - 3	1 - 2	1 - 2

(*) - Nossa selecção das plantas a apresentar.

estes valores se referem a temperaturas dos tecidos e não a temperaturas do ar.

- Para as folhas aclimatadas durante o inverno podemos admitir que só abaixo de -4°C — temperatura do ar — os danos são importantes. Este valor está um pouco acima dos valores mais apontados para o ponto de congelação em condições mais favoráveis de medição {7,33}. É o valor referido por Yelenosky {34} como não trazendo prejuízos de maior quando o ar se mantém a esta temperatura por um intervalo de tempo inferior a 4 horas. Está um pouco abaixo do valor mais alto do ponto de congelação de folhas de laranjeira Valência (-1,8°C — temp. do órgão) {32}.

Para as folhas durante o crescimento activo temperaturas inferiores ao seu ponto de congelação são letais.

Deve notar-se que logo que a congelação se inicie na planta ela transmite-se rapidamente fazendo com que a sobrefusão cesse (p. ex., ver ref. 33).

VII.3 - Outras plantas

O quadro VII.9 dá as temperaturas críticas para algumas culturas(*).

Não devemos esquecer que muitas plantas são danificadas já a temperaturas positivas (ver cap. V); mas este assunto não é abordado neste trabalho.

Os cereais de inverno não são danificados pelas geadas, em Portugal. A acção das baixas temperaturas até resulta benéfica porque promove o desenvolvimento do sistema radicular {4}.

(*) A utilidade deste quadro é limitada, para algumas culturas devido à grande variedade dentro de cada espécie (p.ex. batateira: *Solanum tuberosum*).

{1} - ADAMS, R.L. 1952. Protecting citrus groves from frost. *Bull. 730. Calif. Agric. Expt. Sta.*

{2} - BALLARD, J.K. & PROEBSTING, E.L. 1972. Frost and frost control in Washington orchards. *Ext. Bull.* 634, *Wash. State Univ.*, Pullman, Wash., 27 pp.

{3} - CHANG, JEN-HU. 1963. *Climate and Agriculture.* Aldine Pub. Comp. 304 pp.

{4} - CUNHA, J.M. ARRIAGA E. 1952. *Contribuição para o Estudo do Problema das Geadas em Portugal.* Relatório Final do Curso de Engenheiro Agrónomo. ISA. Lisboa.

{5} - DUBOIS, GÉRARD (ed.). 1979. *Stades de Développement des Plantes Cultivées.* ACTA. 48 pp.

{6} - DURAND, R. 1965. Le risque de gelée: application au poiriers dans la région parisienne. *Phytoma, No.* 172, 35-41 pp.

{7} - GERBER, J.F. & HASHEMI, F. 1965. The freezing point of citrus leaves. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 86:220-225.

{8} - HENDERSHOTT, C.H. 1961. The effect of water content and surface moisture on freezing of orange fruits. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 78:186-189.

{9} - HEWETT, E.W. 1971. Preventing frost damage to fruit trees. *Information series No. 86. New Zealand Dept. of Sci. and Ind. Res.* 55 pp.

{10} - HOWELL, G.S. & WEISER, C.J. 1970. The environmental control of cold acclimation in apple. *Plant Physiol.* 45: 390-394.

{11} - IKEDA, I. 1982. Freezing injury and protection of citrus in Japan. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. (ed.). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress.* Vol. II. Acad.Press. 575-589 pp.

{12} - JÚLIO, E., SOBREIRO, J. & CARMONA, M. 1976. *Esquema-tipo de Tratamentos para a Defesa Fitossanitária da Macieira.* Ministério da Agricultura e Pescas. Oeiras. 21 pp.

{13} - JÚLIO, E., SOBREIRO, J. & CARMONA, M. 1976. *Esquema-Tipo de Tratamentos para a Defesa Fitossanitária da Pereira.* Ministério da Agricultura e Pescas. Oeiras. 17 pp.

{14} - KETCHIE, D.O. 1969. Methods of determing cold hardiness and cold injury in citrus. *Proc. First Int.Citrus Symp.*, vol. 2, pp. 559-563.

{15} - LARCHER, W. 1982. Typology of freezing phenomena among vascular plants and evolutionary trends in frost acclimation. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. (ed.). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress*, vol. II, pp.417--426.

{16} - LEVITT, J. 1978. An overview of freezing injury and survival, and its interrelationships to other stresses. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. (ed.). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress*, Vol. I, pp.3-15.

{17} - LEYDEN, R.F. & ROHRBAUGH, P.W. 1963. Protection of citrus trees from cold damage. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 83:344-351.

{18} - LI, P.H. & PALTA, J.P. 1978. Frost hardening and freezing stress in tuber-bearing solanum species. *In:*LI, P.H. & SAKAI, A. (ed.). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress*, vol. I, pp. 49-71.

{19} - OLIEN, C.R. 1967. Freezing stresses and survival. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 18:387-408.

{20} - PROEBSTING, E.L. 1978. Adapting cold hardiness concepts to deciduous fruit culture. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. (ed). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress*, vol.I, 267-279 pp.

{21} - QUAMME, H.A. 1978. Breeding and selecting temperate fruit crops for cold hardiness. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. (ed.). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress*, vol. I, 313-332 pp.

{22} - RAPOSO, J.RASQUILHO. 1967. A defesa das plantas contra as geadas. *Junta de Colonização Interna. Est. Téc. nº 7.*

{23} - SARAIVA, J.G.A. 1972/73. Fenologia das pomóideas.*Frutos*, 1972/73, 25-44.

{24} - SILVA, J. MATOS. 1984. Comunicação pessoal.

{25} - WASHINGTON STATE UNIVERSITY, —. Critical temperatures for blossom buds. Apples. *Ext. Circ. 369. Wash. Sta. Univ.*

{26} - WASHINGTON STATE UNIVERSITY, —. Critical temperatures for blossom buds. Pears. *Ext. Circ. 370. Wash. State Univ.*

{27} - WASHINGTON STATE UNIVERSITY, —. Critical temperatures for blossom buds. Cherries. *Ext. Circ. 371. Wash.Sta. Univ.*

{28} - WASHINGTON STATE UNIVERSITY, — Critical temperatures for blossom buds. Prunes. *Ext. Circ. 372. Wash. Sta. Univ.*

{29} - WASHINGTON STATE UNIVERSITY, —. Critical temperatures for blossom buds. Peaches. *Ext. Circ. 373. Wash. Sta. Univ.*

{30} - WASHINGTON STATE UNIVERSITY, —. Critical temperatures for blossom buds. Apricots. *Ext. Circ. 374. Wash.Sta. Univ.*

{31} - WEISER, C.J. 1979. Plant freezing injury and resistance, *In:* BARFIELD, B.J. & GERBER, J.F. (ed.). *Modification of the Aerial Environment of Crops.* St. Joseph.

{32} - WHITEMAN, T.M. 1957. Freezing points of fruits, vegetables and florist stocks. *Marketing Research Report No. 196. US. Depart. of Agriculture.*

{33} - YELENOSKY, G. 1978. Freeze survival of citrus trees in Florida. *In:* LI. P.H. & SAKAI, A. (ed.). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress.* Vol. I. Acad. Press. Inc. 297-311 pp.

{34} - YELENOSKY, G. & GUY, C.L. 1982. Seasonal variations in physiological factor implicated in cold hardiness of citrus trees. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. (ed.). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress.* Vol. II. Acad. Press. Inc. 561-573 pp.

MÉTODOS DE LUTA

CONTRA

AS GEADAS

CAPÍTULO VIII

CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE LUTA CONTRA AS GEADAS

A partição do conjunto dos autores, em função da classificação que adoptam, tem uma norma que facilmente sobressai. Com efeito, muitos são os autores que subdividem, primeiramente, os métodos 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.

Apresenta-se seguidamente uma classificação que nos parece adequada.

VIII.1 - Métodos indirectos (passivos):

Biológicos (aumentam a resistência das plantas)	- Indução de resistência à geada sem alterar o património genético das plantas. - Tratamento das sementes com micro-elementos e outros produtos químicos. - Selecção e melhoramento. - Escolha apropriada da época de desenvolvimento. - Utilização de reguladores de crescimento e outras substâncias químicas.

Ecológicos (colocam a planta num melhor ambiente físico e/ou químico).	- Selecção do local de cultura. - Modificação da paisagem com o fim de actuar sobre o microclima. - Controlo do estado nutricional das plantas. - Actuações sobre o solo. - Supressão de infestantes e outros "mulches".

VIII. 2 - Métodos directos (activos)

VIII.2.1 - Métodos que diminuem (ou anulam), a taxa de arrefecimento das superfícies do solo e das plantas, sem aumento apreciável da entrada de calor sensível e/ /ou latente para o sistema ar-plantas-solo(*)

VIII.2.1.1 - Utilização de coberturas de:

(1) materiais orgânicos:

(2) solo;

(3) plásticos e outras folhas sem estruturas de suporte; e

(4) plásticos e vidros com estruturas de suporte.

VIII.2.1.2 - Utilização de nevoeiros artificiais (e fumos)

VIII.2.2 - Métodos que adicionam calor sensível ao sistema ar — plantas — solo (*).

(*) Podemos considerar como fronteiras deste sistema heterogéneo as faces de um paralelipípede de dimensões mínimas que contém todas as plantas a proteger, e o solo da parcela até à profundidade em que se deixam verificar oscilações diurnas da temperatura.

VIII.2.2.1 - Aquecimento directo do ar com:

(1) combustível líquido;
(2) combustível sólido; ou
(3) combustível gasoso.

VIII.2.2.2 - Mistura de ar — interior e exterior ao sistema(*) — aumentando a temperatura das camadas superficiais à custa de ar suprajacente mais quente — quando há inversão térmica.

(1) ventiladores;
(2) Helicópteros.

VIII.2.3 - Métodos que se baseiam na libertação do calor latente de fusão de água trazida para o sistema.

VIII.2.3.1 - Rega de lima.

VIII.2.3.2 - Rega por aspersão.

VIII.2.4 - Métodos mistos

(*) Ver nota da pág. anterior.

CAPITULO IX

MÉTODOS INDIRECTOS DE LUTA CONTA AS GEADAS.

IX. 1 - Aumento artificial da geado-resistência

Pretende-se com este método passivo imitar a aclimatação (natural) (ver cap. VII).

Incide sobre as sementes e plântulas de numerosas hortícolas (tomate, melancia, pepino, etc.) e consiste (alguns casos mencionados) numa exposição a temperaturas baixas antes da sua instalação no campo. Tem, conduzido a resultados erráticos {2}.

IX.2 - Sistemas de condução, podas a dois tempos e outras técnicas culturais que actuam sobre as plantas a proteger.

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 2°C podem conseguir-se elevando os orgãos 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 {5,6}.

Em zonas em que as temperaturas, no inverno, descem até valores muito baixos a poda feita muito cedo deixas vias de, entrada a microrganismos patogénicos e, favorecendo o crescimento junto aos cortes, pode levar à geladura junto a eles {26}.

O uso de reflectantes e isolantes, diminuindo a temperatura máxima diurna dos tecidos cambiais, pode, no fim da dormência, atrasar o abrolhamento das fruteiras caducifólias

{26}. A rega por aspersão tem efeito semelhante (ver cap.XIV).

A fotossíntese e seus produtos são essenciais à aclimatação das plantas. Consequentemente, todas as ocorrências, ou operações culturais, que diminuam a taxa fotossintética, ou provoquem a deplecção dos seus produtos, — baixam a geado-resistência.

Daqui se conclui, p.ex., que ataques parasitários à folhagem, desfolhas, colheitas grandes e tardias, podem aumentar a extensão dos danos causados pela geada. Foi-nos dado observar(*), p.ex., que em citrinos com a folhagem parcialmente "queimada", as árvores mais atacadas por cochonilhas sofreram danos maiores.

IX.3 - Tratamento das sementes com microelementos e outros produtos químicos

Bagdonas, 1978,{2} faz uma síntese da experimentação conduzida por diversos autores neste campo. Muitos são os casos referidos em que os tratamentos dados a sementes (milho, pepino, algodão, tomate) e plantas — com microelementos e elementos secundários: Cu, B, Mg, Zn, Al, Mo, Mn — conduziram a um aumento da resistência ao frio/geada.

IX.4 - Selecção e melhoramento

"A constituição genética é o factor mais importante na determinação das respostas das plantas às baixas temperaturas". {23}.

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 {5}:

(*) Colares, Janeiro de 1985.

(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.

Para que se atinjam estes objectivos pode recorrer-se às variedades existentes, sujeitando-as a um processo de selecção e escalonamento em relação à geado-resistência;ou desenvolver novas linhas que evidenciem características mais favoráveis, sob este ponto de vista.

As fruteiras caducifólias (prunóideas, pomóideas e vinha), no Continente Português, durante o período dormente, não sofrem geladura dos seus troncos e ramos, nem são,de um modo geral, afectados os gomos dormentes {24}. Esta circunstância favorável faz com que diversas linhas de trabalho e - xistentes noutros países, para a selecção, escalonamento e criação de novas variedades com resistência acrescida às geadas, — se dispensem nas nossas condições.

Em Portugal Continental basta uma boa sincronização entre a época de crescimento e a de baixa frequência de geadas para que os danos sejam mínimos no caso das fruteiras caducifólias. Uma rebentação/floração tardia é uma característica chave.

Nos citrinos a variabilidade é grande e podem-se,também, criar variedades mais resistentes, pois a resistência é um factor hereditário {13}.

O estudo de Ikeda {13} é um bom exemplo do muito que se pode alcançar através da selecção e melhoramento no caso dos citrinos.

Durante o crescimento activo as plantas recorrem,apenas, à evitação das temperaturas baixas e à evitação da congelação (ver fig. VI.1): a tolerância à congelação é nula(ou

baixa) (ver cap.s VI e VII). É através do conhecimento pro - fundo daqueles dois métodos de sobrevivência às baixas temperaturas, que o melhorador pode aumentar a geado-resistência das plantas durante a estação de crescimento.

IX.5 - Escolha apropriada da época de desenvolvimento e utilização da espécie/variedade adequada ao local escolhido

IX.5.1 - Escolha apropriada da época de desenvolvimento

Baseia-se nos dados climáticos relativos às geadas, e no conhecimento das temperaturas críticas das diferentes fa - ses de desenvolvimento das culturas a instalar.

Consiste — caso das culturas anuais — na determina - ção da época de sementeira/plantação 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 — a sementeira/plantação pode ser feita mais ce - do. Então a relação (probabilidade de geada) — (temperatura crítica) só interessa a partir da instalação em local definitivo.

O que atrás foi dito pressupõe que a planta (anual) já foi escolhida. Esta escolha pode ter sido presidida por critérios estritamente técnicos, ou económicos, sociais, de "mar - keting", e afins. É, no entanto, de primordial importância em muitos casos.

IX.5.2 - Utilização da espécie/variedade adequada ao local escolhido

Quando os critérios são estritamente técnicos, os locais mais geladiços, devem receber culturas eleitas pela sua resistência às geadas. Esta resulta de uma boa sincronização entre as geadas e a geado-resistência, por um lado, e, por outro, de uma maior tolerância às baixas temperaturas por parte das plantas.

As fruteiras caducifólias devem ser escolhidas atendendo, também, à microclimatologia da parcela que ocuparão (ver IX.7). Uma rebentação e — talvez ainda mais importante — uma floração tardia ou escalonada, são características muito favoráveis nos locais mais geladiços. Note-se que aqui a escolha da planta determina a época de desenvolvimento. Deste modo, é, através da análise da relação (probabilidade de determinada temperatura mínima) — (temp. crítica) que se aceita ou rejeita determinada espécie/variedade.

IX.6 - Aplicação de substâncias químicas

Diversos reguladores de crescimento têm sido ensaiados com o fim de obter um aumento do grau de dormência, um retardamento do desenvolvimento vegetativo e/ou uma protelação do abrolhamento.

Sabe-se que uma diminuição da actividade cambial (aumento do grau de dormência) resulta favorável, tanto para espécies de folha persistente, como de folha caduca, durante o inverno: a resistência às baixas temperaturas aumenta.

Também é geralmente aceite, como dado adquirido, que um retardamento do crescimento conduz a uma diminuição das dimensões das células; diminui, coligativamente, o ponto de fusão do suco celular e intercelular, devido à maior acumulação de reservas; — aumentando a resistência às baixas temperaturas.

Olhando para as cartas e quadros do apêndice A conclui

-se, facilmente, também, que um abrolhamento mais tardio(mantendo-se este atraso), pode subtrair a vegetação emergente a muitas ocorrências de geada, devido à abrupta diminuição da probabilidade de ocorrência de geadas, à medida que a primavera avança.

Com o fim de induzir as plantas a esses comportamentos biológicos têm sido utilizados reguladores de crescimento em concentrações e épocas de aplicação diversas.

J. Nigond, 1960,{19} conseguiu com a aplicação de ácido α-naftaleno acético (ANA) retardamentos no abrolhamento até 20/27 dias, tendo-se mantido estes atrasos até ao estado de 3 folhas livres (ver quadro IX.1). Contudo naquele ano particular, de ausência de geadas de primavera, não se verificou um aumento de produção. Este pareceu-nos o resultado mais prometedor, mas infelizmente não nos foi possível encontrar mais casos semelhantes na bibliografia disponível.

Os resultados que chegaram ao nosso conhecimento,no que respeita à indução de dormência e retardamento do crescimento por via química — além de reguladores de crescimento também se ensaiaram anti-transpirantes e matérias plásticas {8}—são erráticos, inconclusivos ou com efeitos colaterais adversos {8,10,11,17} .

Parece-nos, portanto, que ainda não são de considerar como tecnicamente aceitáveis os resultados até agora obtidos, neste domínio. Temos, contudo, que confessar que estamos altamente curiosos sobre a experimentação que venha a ser conduzida no sentido de avaliar a possibilidade de protelar o abrolhamento da videira por processos análogos aos utilizados por Nigond.

Quando a geladura afectou flores e frutos jovens, pode-se, em casos em que apenas alguns tecidos foram afectados, recorre à aplicação, *a posteriori*, de substâncias químicas. Pretende-se neste caso o desenvolvimento partenocárpico dos

QUADRO IX.1 - Acção dos tratamentos à base de ANA sobre o desenvolvimento da casta "Aramon" na primavera (segundo ref. 19).

Data da poda	*Data do tratamento*	*Concentração em ANA p.1.000*		*Estado: abrolhamento*			*Estado: 3 folhas livres*		
				Cepas de testemunha	*Cepas tratadas*	*Atraso (dias)*	*Cepas de testemunha*	*Cepas tratadas*	*Atraso (dias)*
26/01/55	8/10/54	0,5	(1)	30/03/55	1/04/55	2	19/04	21/04	2
"	"	1,0		"	"	"	"	20/04	1
26/01/55	29/01/55	0,75	(2)	"	19/04/55	20	"	7/05	18
"	"	1,0		"	26/04/55	27	"	11/05	22
14/03/55	14/03/55	0,75		5/04/55	14/04/55	9	27/04	3/05	6
"	"	1,0		"	21/04/55	16	"	8/05	11
20/11/56	20/11/56	0,88	(2)	12/03/57	16/03/57	4	5/04	10/04	5
8/01/57	8/01/57	0,88		13/03/57	25/03/57	12	6/04	18/04	12
23/02/57	23/02/57	0,88		16/03/57	1/04/57	16	10/04	25/04	15

(1) À razão de 1 litro de solução por cepa.

(2) À razão de 0,2 litros de solução por cepa.

frutos (ver V.1).

IX.7 - Selecção do local de cultura e modificação da paisagem com o fim de actuar sobre o microclima

IX.7.1 - Selecção do local

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

Nos cap. II, III e IV puzemos em evidência alguns aspectos climáticos que nos permitem chegar a uma selecção apropriada dos locais de implantação de plantas sensíveis às geadas. Voltamos, de seguida, a este assunto procurando resumir e completar o que foi dito nesta matéria.

A latitude é um factor do clima que tem uma influência geral sobre a frequência e severidade das geadas. Daqui resulta que, em termos gerais, será de esperar uma melhor resposta às geadas, por parte de plantas sensíveis, quando a latitude é mais baixa.

Acontece, contudo, que há, por vezes, grandes variações no que diz respeito ao microclima nocturno — particularmente no que se refere a temperaturas mínimas — para locais muito próximos. Aquelas variações podem estar relacionadas com diferenças de elevação, declive, tipo de solo, coberto vegetal, escoamento do ar frio, etc. (ver também, III.2, III.4, IX.9).

Estudos meso e microclimáticos, que evidenciam os padrões de distribuição das temperaturas nocturnas, estão a ser realizados, com o auxílio de satélites e aviões, em alguns países {4,15,16}. Apoiam-se, teoricamente na lei de Stefan-Boltzmann.

Estudos com meios mais modestos, como foram referidos em III.4 e IV.1, devem ser levados a cabo no nosso país para completar os dados climáticos já existentes.

Quando os dados climáticos são inadequados convém, se houver tempo, fazer uma prospecção de temperaturas nocturnas. Pode consistir na recolha de dados térmicos (normalmente, temperaturas mínimas), estabelecendo-se para tal uma rede de estações meteorológicas especiais, consistindo muito simplesmente num abrigo meteorológico, contendo um termómetro de mínima e/ou um termógrafo. A utilização de um abrigo "standard" — tipo Stevenson — evita procedimentos incorrectos e permite uma "ligação" fácil à rede nacional.

Alguns autores, porém, preferem (para as fruteiras caducifólias) termómetros de mínima colocados a 40/50 cm de altura de modo a nos darem o "índice actinotérmico" por serem mais económicos e pelo facto destas leituras reflectirem melhor as temperaturas a que estariam sujeitos os orgãos vegetais mais expostos (p. ex.: ref.s 9,21, 27).

Como os microclimas nocturnos são geralmente bastante estáveis em torno de alguns modelos, no caso das geadas de radiação, uma prospecção feita durante 10-20 noites características pode permitir, já, ensinamentos válidos {6}.

Caso não seja possível fazer uma prospecção de temperaturas, e não existam dados microclimáticos para a zona, podemos, mesmo assim, estimar o risco de geada recorrendo a estudos efectuados em zonas climática e topograficamente semelhantes e/ou conhecimentos de carácter geral (ver cap.s II e III) que resumimos seguidamente.

IX.7.1.1 - Tipos de geada e locais menos geladiços

As <u>geadas de advecção</u> 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 da invasão da massa de ar gélido (ver fig. IX.1).

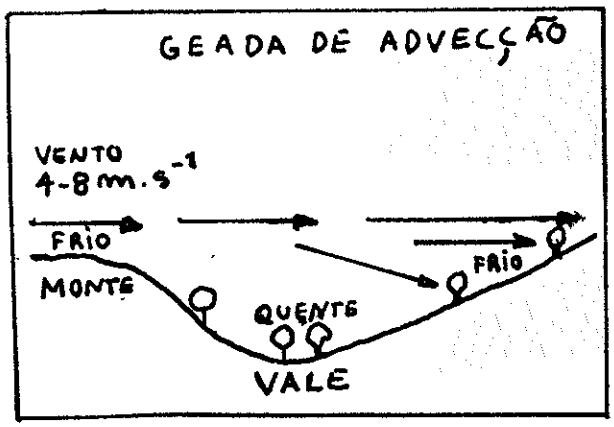


FIGURA IX.1 - Diagrama mostrando a micrometeorologia associada a uma geada de advecção, em solo acidentado. Em solo plano a micrometeorologia é semelhante ao cimo do monte à esquerda (Turrel, 1973; segundo a ref. 4).

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 (ver fig. IX.2).

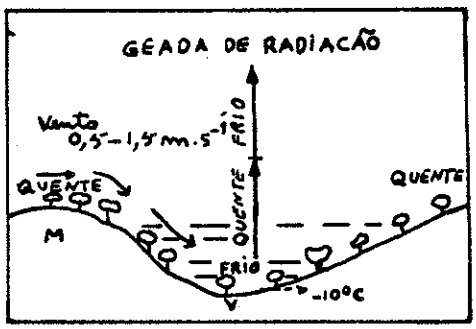


FIGURA IX.2 - Diagrama mostrando a micrometeorologia associada a uma geada de radiação,em solo acidentado(Turrel, 1973; seg. a ref.4).

IX.7.1.2 - Resumo dos factores que influenciam localmente a frequência e severidade das geadas de radiação

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 (ver cap. III)(*):

(1) Escoamento e acumulação de ar frio: as temperaturas mínimas nocturnas, acompanham aproximadamente as curvas de nível (ver fig.s III.9 e III.10).

(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 {28}(ver cap.III).

(5) Paisagem, obstáculos ao escoamento do ar e fontes secundárias de ar frio (ver IX.8).

IX.7.2 - Modificação da paisagem

Clareiras abertas em florestas têm um risco de geada e

(*) Resumo.

severidade acrescidos, devido à acumulação nelas do ar esfriado em contacto com as partes mais altas, e expostas ao céu, das copas das árvores.

Quando o fluxo catabático encontra uma barreira que o impede, o ar frio acumula-se a montante da barreira até ao seu bordo superior, só então a sobrepassa, continuando o ar frio a escorrer em direcção ao vale (fig. IX.3).

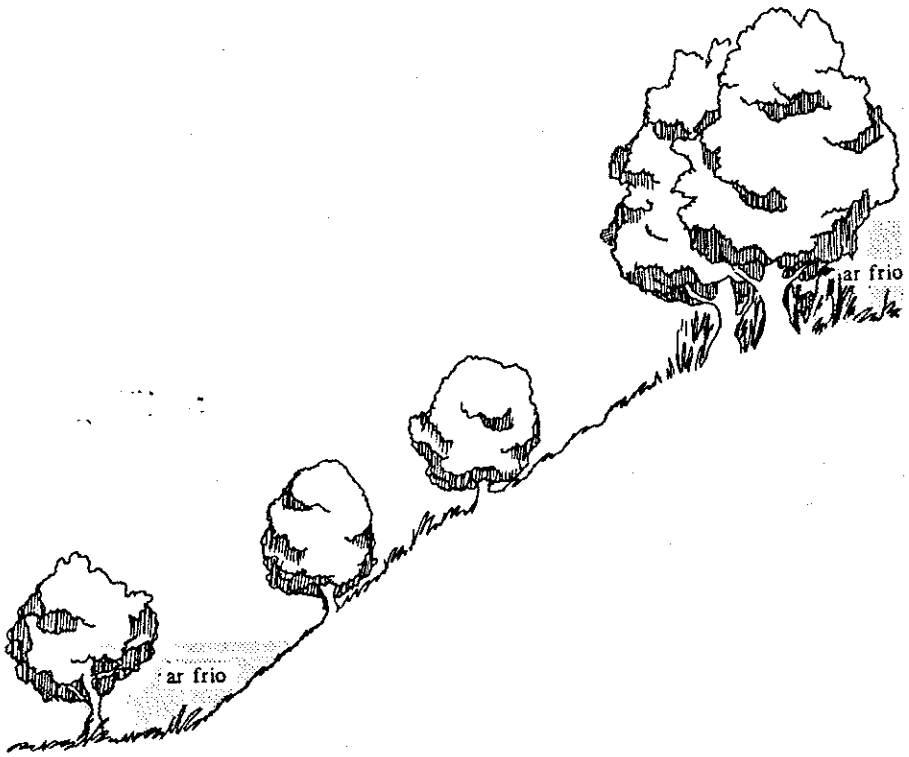


FIGURA IX.3 - Acima de uma barreira o risco de geada aumenta; abaixo diminui. (fig. extraída da ref. 18).

Estas barreiras podem ser linhas de árvores com arbustos, arbustos, vinhas, e barreiras sólidas (edifícios, paredes, sebes densas, etc.).

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. IX.4) {2,5,6,12}.

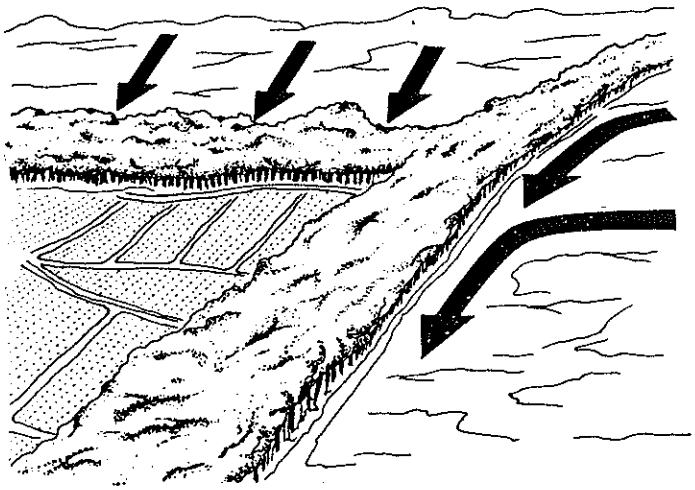


FIGURA IX.4 - Drenagem de ar frio (fig. ext. da ref. 18).

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. IX.5).

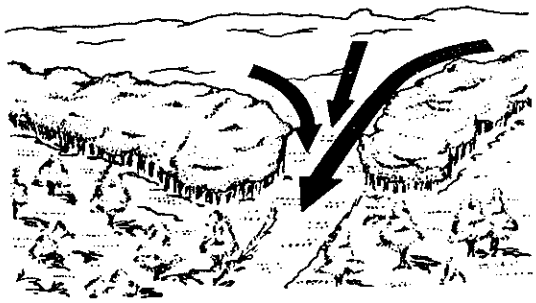


FIGURA IX.5 - Pequenas brechas nas faixas florestadas são vias de acesso de ar frio (fig.ext. da ref. 18).

Note-se que, por um lado, estas barreiras afectam o fluxo de ar frio e, emitindo radiação, abrandam a taxa de arrefecimento das superfícies próximas delas, que beneficiam desta radiação; e, por outro, diminuem a turbulência do ar favorecendo a estratificação — o ar mais frio fica junto à superfície.

b) Obstáculos ao livre escoamento do ar frio, situados a jusante da parcela devem ser removidos, ou minimizados através da criação de passagens {6,12}.

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 direção do maior declive para que não impeçam o escoamento natural do ar frio (fig. IX.6). 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.

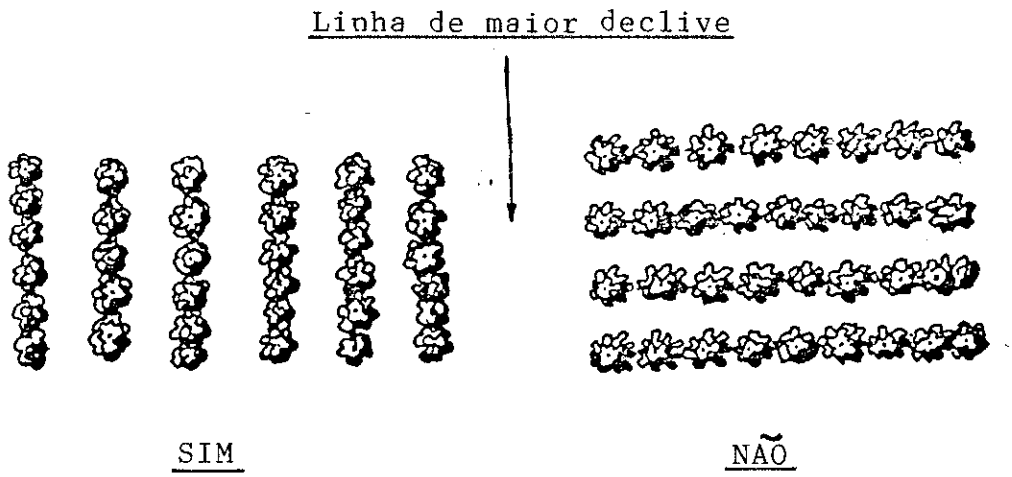


FIGURA IX.6 - As linhas devem ser perpendiculares às curvas de nível para permitir a livre drenagem do ar frio (ext. da ref. 3).

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.

IX.8 - Controlo do estado nutricional das plantas

Um aumento da geado-resistência exige a presença, nas plantas, de foto-assimilados {23}. Isto explica porque uma conveniente nutrição mineral e orgânica favorece a aclimatação {1,2}. A relação entre determinado nutriente mineral e o aumento da resistência, permanece obscura; a literatura está pejada de contradições e de interpretações parciais. Parece-nos que o estabelecimento de relações causa-efeito entre determinado elemento (ou composto), utilizado como nutriente, e a resistência resulta difícil.

Com efeito, nem todas as plantas respondem da mesma maneira à aplicação de determinado nutriente. A mesma espécie/variedade apresenta variabilidade acentuada neste particular. Frequentemente, também, o factor bioclimático mascara a resposta fisiológica; e, por sua vez, esta resposta é função não apenas do nível de aplicação dum elemento mas dum conjunto deles.

Em geral, o azoto aumenta a susceptibilidade das plantas à geada {1,2}, mas isto não tem sido verdade nas condições finlandesas, na cultura da batata. Valmari, 1959, {29}, verificou um efeito favorável da fertilização azotada nesta cultura. O crescimento luxuriante protegeu as plantas baixando as perdas de calor; mais uma vez, o factor bioclimático marcarou o efeito fisiológico.

Bagdonas, 1978, {2}, citando outros refere o comportamento "anormal" do feijão em relação à aplicação de doses altas de nitrato — aumento da resistência —, quando comparado com outras espécies. Ficamos sem saber se a quantidade de azoto realmente assimilada pela planta foi, ou não, maior.

É sabido que o nitrato tem efeito depressivo na inoculação e estabelecimento do rizóbio. Ou será que o factor mais importante foi bioclimático, como, p. ex., elevação do nível das vagens? Ou a explicação é outra?

"Quantidades crescentes de fósforo melhoram a aclimatação, mas podem também intensificar o crescimento a uma temperatura acima de 0°C, o que reduz a capacidade do feijão em suportar a geada"{2}. Por outro lado, por favorecer a divisão celular {25}, é importante na recuperação dos tecidos após geladura, promovendo novos crescimentos.

Relações pontuais entre a absorção de fósforo pelas raízes e a temperatura têm sido estabelecidas. Muitas variedades que apresentam uma resistência maior às baixas temperaturas têm uma maior absorção de fósforo quando a temperatura do solo está baixa, não estando esta absorção relacionada com o crescimento visível. Talvez a aplicação de adubos fosfatados — permitindo um aumento da absorção — possa favorecer a aclimatação das espécies mais susceptíveis (*cf.* 1).

É conhecido o efeito favorável do potássio na regulação do regime hídrico das plantas e na fotossíntese {25}. Dado que a geladura é, em muitos casos (ver cap. V), acompanhada por um processo de desidratação do protoplasma, e que um aumento dos produtos da fotossíntese conduz a uma melhor aclimatação (e evitação da congelação) é de admitir, *a priori*, que o efeito global do potássio é favorável. No entanto, os autores dividem-se a este respeito (*cf.* 1,2).

Quando baixa o teor em água dos tecidos aumenta-se a resistência dos tecidos à geladura — é precisamente o que acontece na aclimatação (natural) das plantas ao frio. Quando as condições a permitem pode-se, sujeitando as árvores de fruto e um choque hídrico — no outono —, acelerar a sua entrada em dormência.

A redução dos crescimentos no outono é de grande importância e não se deve — pela aplicação de água e/ou azoto — fazer com que as árvores de fruto não "interpretem" conve

nientemente a diminuição da insolação máxima; especialmente nas mais jovens e menos sensíveis a este último estímulo {23}.

Conclusões

De um modo geral pode, talvez, afirmar-se que:

- grandes quantidades de azoto diminuem a resistência fisiológica às geadas;
- o fósforo provoca, geralmente, um efeito favorável; em particular, na recuperação das plantas que sofreram geladura;
- um bom estado sanitário aumenta a resistência das plantas às geadas;
- plantas especialmente sensíveis aos baixos teores de determinados elementos beneficiam pela sua aplicação {2};
- a diminuição do turgor das células aumenta a sua geado-resistência. (ver cap. V).

IX.9 - Influência do estado e cobertura do solo

O fluxo de calor do solo, transmitido por condução, é a principal (quase única) 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 (T,ε) que,

(*) Ver III.2

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 (ver fig. IX.7)(*).

Resumindo, a taxa de arrefecimento nocturno em noites de geada de radiação pode ser reduzida:

(1) diminuindo a superfície radiante;

(2) aumentando a condutividade térmica; e

(3) aumentando a:

. capacidade calorífica do solo, e o

. calor armazenado no solo até S_{-1}.

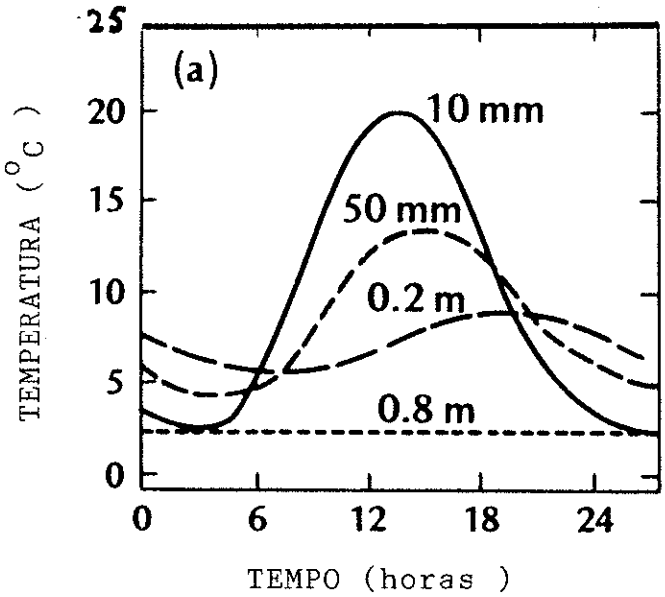


FIGURA IX.7 - Ciclos generalizados da temperatura do solo a diferentes profundidades: período diurno (ref. 20).

(*) Ver III.2.

Na Holanda, 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 {28}.

Bridley *et al.*, 1965, {7}, realizaram quatro tratamentos, num solo argiloso ("Belar clay"), com o fim de determinar a sua influência relativa na temperatura mínima nocturna do ar. O tratamento "O" consistiu em manter as vinhas livres de infestantes; o "R" previa, além da mobilização dada em "O" — exceptuando uma escarificação superficial(*) —, uma rolagem; "RW" foi um tratamento que incluía, além das operações culturais feitas em "R", a rega; "P" — tratamento, semelhante ao corrente na região de Vitória (Austrália) — consistiu numa escava junto às cepas, eliminando as infestantes, seguida de uma mobilização do solo com uma grade de discos, antes da primeira rega, seguindo-se, posteriormente, uma segunda, também de 150-200 mm. Este último tratamento refere-se a uma situação de semi-alagamento (*cf.* 7).

Noites com menos de 2/8 de céu coberto originaram temperaturas mínimas, a 91 centímetros, cuja média foi de 5,6°C — tratamento "O". O acréscimo médio da temperatura mínima atribuído ao tratamento "R" foi de 0,4°C; ao "RW" 0,6°C e ao "P" 0,4°C. Estes acréscimos foram maiores para as temperaturas mais baixas, no caso dos tratamentos "RW" e "P", sendo de prever um aumento de 1,1-1,4°C para temperaturas mínimas do ar inferiores ao ponto de fusão da água.

Estes resultados são, facilmente, explicáveis:

(1) A rolagem, aumentando a compactação superficial, aumenta a condutividade térmica do solo — diminuindo os poros do solo, preenchidos com ar (isolante). Permite, deste modo, uma maior penetração do calor no solo, durante o dia,

---

(*) "4-inch cultivation with a rigid tyne cultivator".

possibilitando, durante a noite, um maior afluxo de calor à superfície. A capacidade calorífica volumétrica é também acrescida, devido ao aumento da massa volúmica do solo na camada compactada.

(2) A irrigação aumenta também a condutividade térmica e a capacidade calorífica do solo (ver III.2 e XIV. 1).

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 {6} conhecem empiricamente, os perigos de uma aplicação precoce de um "*mulch*", na primavera, na cultura do morangueiro.

Valmari, {29}, refere uma experiência em que os resíduos existentes num prado foram queimados, levando a que metade da diferença entre a temperatura nocturna do ar sobre um prado (com resíduos) e sobre solo nú fosse esbatida.

A existência de ervas, matos, ou culturas intercalares em pomares e vinhas, conduzem a temperaturas mínimas mais baixas, podendo verificar-se um aumento muito importante dos danos {5,6}.

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 (ver quadro IX.2).

QUADRO IX.2 - Temperaturas mínimas registadas a 30 cm acima do solo. Coberto de relva (coluna 2); controlo mecânico das infestantes (coluna 3); e controlo químico (coluna 4). Médias de três localizações entre Dezembro de 1957 e Janeiro de 1963 (Segundo a ref. 14).

	Prática cultural		
1	*2*	*3*	*4*
Data	*Relva*	*Controlo mecânico*	*Controlo químico*
1/12/57	-6,7	-3,9	-3,3
12/12/57	-6,1	-5,0	-3,3
15/12/58	-6,1	-5,8	-3,9
16/12/58	-2,2	-2,2	-0,6
9/01/59	-2,8	-1,7	-0,6
6/12/59	-4,7	-3,6	-2,8
28/12/59	-1,9	-1,1	+0,3
20/01/60	-2,8	-2,2	-0,6
25/02/60	-3,9	-3,3	-2,5
26/02/60	-3,1	-2,8	-1,7
11/01/62	-11,9	-10,6	-9,4
12/01/62	-5,3	-4,2	-3,1
13/01/63	-2,8	-2,8	-2,2
20/01/63	-4,4	-3,1	-2,5
Temperatura média	-4,6	-3,7	-2,6

Nota: À altura de 1,5 m as diferenças ainda eram consistentes. A diferença entre a modalidade com controlo químico e a superfície arrelvada foi, em média, de 0,9°C.

É bem conhecido o carácter geladiço dos pântanos recém-drenados. A diminuição da humidade na camada superficial,

fortemente humífera, diminue a condutividade térmica, aumentando a taxa de arrefecimento superficial nocturno {5}.

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 {29}.

QUADRO IX.3 - Influência do estado da superfície do solo na frequência das geadas perigosas (Godard e Nigon, 1954, *cit in* ref. 6).

Estado da superfície do solo	*Frequência de anos perigosos*	*Número total de geadas em 100 anos*
Solo nu e compacto	1 ano em cada 7	35
Solo mobilizado de fresco	1 ano em cada 4	17
Solo relvado	1 ano em cada 4	102

O quadro IX.3 evidencia a relação entre o estado da superfície do solo e sua cobertura, e a frequência das geadas.

Este parágrafo (IX.9) coloca-nos, novamente, de sobreaviso para a importância dos aspectos microclimáticos na frequência de ocorrência e severidade das geadas, dando-nos uma amostra do muito que se pode fazer para modificar o ambiente aéreo das plantas.

IX.10 - Referências

{1} - ALDEN, J. & HERMANN, R.K. 1971. Aspects of the cold-hardiness mechanism in plants. *Bot. Rev.* 37:37-142.

{2} - BAGDONAS, A. GEORG, J.C. & GERBER, J.F. 1978. Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection. *Tech. Note No. 157, WMO,* Geneva, 160 pp.

{3} - BALLARD, J.K. & PROEBSTING, E.L. 1972. Frost and frost control in Washington orchards.*Ext. Bull. 634, Wash. State Univ.,* Pullman, Wash., 27 pp.

{4} - BARTHOLIC, J.F. 1979. Site selection. *In:* BARFIELD,B.J. & GERBER, J.F. (ed.).*Modification of the Aenial Environment of Plants.* St. Joseph.

{5} - BLANC, M.L., *et al.* 1963. Protection against frost damage. *Tech. Note No. 51. WMO.* 62 pp.

{6} - BOUCHET, R.J. 1965. Problèmes des gelées de printemps. *Agric. Meteorol.* 2:167-195.

{7} - BRIDLEY, S.F., TAYLOR, R.J. & WEBBER, R.T.J. 1965. The effects of irrigation and rolling on nocturnal air temperatures in vineyards. *Agr. Meteorol.* 2:373-383.

{8} - BURNS, R. 1973. Chemical spray for the protection of young trees. *Citrograph.* 59(1):7,8,22.

{9} - DURAND, R. 1965. Le risque de gelée: aplication au poiriers dans la region parisienne. *Phytoma, No.* 172, 35-41 pp.

{10} - HENDERSHOTT, C.H. 1965. Chemical induction of dormancy and cold resistance in citrus. *Meteorological Monographs* 6(28):87-89.

{11} - HOLVBOWICZ, T., PIENIAZEK, J. & KHAMIS, M.A. 1982. Modification of frost resistance of fruit plants by applied growth regulators. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A.(ed.) *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress.* Vol. II.Acad. Press Inc.

{12} - HURST, G.W. & RUMNEY, R.P. 1971. Protection of plants against adverse weather. Tech. *Note No. 118. WMO.*

{13} - IKEDA, I. 1982. Freeze injury and protection of citrus in Japan. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress.* Vol.II. Acad. Press. Inc.

{14} - LEYDEN, R. & ROHRBAUGH, P. 1963. Protection of citrus trees from freeze damage. *Proc. Amer. Soc. Hort.Sci.* 83:344-351.

{15} - MAHRT, L. & HEALD, R.C. 1983. Nocturnal surface temperature distribution as remotely sensed from low-flying aircraft. *Agr. Meteorol.* 28:99-107.

{16} - MARTSOLF, J.D. 1981. Satellite frost forecast system. *Hortscience.* 16(5):586.

{17} - MODLIBOUSKA, I. 1965. Action des substances chimiques sur la resistance des plantes au gel. *Phytoma,* No. 172, pp.10-12.

{18} - MOTA, F.S. DA. 1981. *Meteorologia Agrícola.* 5ª edição. Liv. Nobel. São Paulo. 327-359 pp.

{19} - NIGOND, J. 1960. Le retard au débourrement de la vigne par un taitement à l'acide α-naphatalène acétique et la lutte contre les gelées. *Comptes Rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France.* 46(7):452--457.

{20} - OKE, T.R. 1978. *Boundary Layer Climates.* John Wiley & Sons. New York. 372 pp.

{21} - PERRAUDIN, G. 1965. Résistance au gel printanier de quelques espèces et variétés frutières.*Phytoma,* 1965, No 172, 13-19 pp.

{22} - PERRY, K.B., MARTSOLF, J.D. & NORMAN, J.M. 1977. Radiant output from orchard heaters. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102(2):105-109.

{23} - PROEBSTING, E.L. 1978. Adapting cold hardiness concepts to deciduous fruit culture. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. (ed.). *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress.*Vol.I. Acad. Press. Inc.

{24} - RAPOSO, J.RASQUILHO. 1967. A defesa das plantas contra as geadas. *Junta de Colonização Interna. Est. Téc.nº7.* 111 pp.

{25} - SANTOS, J.Q. DOS. 1976. *Nutrição Vegetal e Fertilização: Apontamentos para Orientação das Aulas Teóricas.* ISA. Lisboa.

{26} - SAVAGE, E.F., JENSEN, R.E. & HAYDEN, R.A. 1976. Peach tree micro-climate and methods of modification. *Georgia Agr. Exp. Sta., Res. Bn.* 192, 44 pp.

{27} - SCHREIBER, K.F. 1965. Étude du risque de gel à l'ouest du lac de Neuchâtel. *Phytoma, No.* 172, 31-34 pp.

{28} - SMITH, L.P. 1975. The modes of agricultural meteorology -Hazards. *In: Developments in Atmospheric Science* 3. 167-171 pp.

{29} - VALMARI, A. 1966. On night frost research in Finland. *Frost Research Station,* Pelsonsuo, Finland.

CAPÍTULO X

UTILIZAÇÃO DE COBERTURAS

X.1 - Coberturas propriamente ditas

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.

Em alguns países, de invernos muito rigorosos, costuma-se fazer uma amontoa com solo em volta dos caules de citrinos jovens até à altura que for possível. Pretende-se proteger os troncos das baixas temperaturas que acompanham as geadas de advecção {16,14}. Convém cobrir também a zona de enxerto {6}.

Troncos de citrinos jovens (laranjeiras e toranjeiras sobre laranjeiras azedas) têm sido protegidos no Texas por fibra de vidro suportada por rede de arame e por espuma de acolchoamento de poliuretano com protecção contra os raios ultravioletas numa das faces do material. A parte do tronco a proteger é envolta nesses materiais. Estes têm sido eficientes até no caso de geadas de advecção de grande severidade que se verificam naquele estado dos E.U.A.. Quando a parte não protegida é destruída pelo frio forma-se uma nova copa (em 2-3 anos) à custa do tronco e seus gomos dormentes. A protecção é tirada ao fim de 3 ou 4 anos {16, 4}.

Ensaios em citrinos, com uma nova técnica de protecção dos troncos das árvores jovens — em que estes são envoltos, em última análise, por um saco de água que liberta o calor latente de

fusão, por congelação — têm mostrado que é possível conferir ainda uma melhor protecção do que aquela que se consegue com a fibra de vidro ou a espuma de poliuretano {24}.

Em Portugal os troncos dos citrinos, nas zonas citrícolas com alguma expressão, não são afectados {11, 20}.

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 4°C. Ambos os tipos de coberturas são deixadas sobre as plantas até que se julgue passado o perigo da ocorrência de geada {19}. Faixas de polietileno (PE) negro de 1,2 m de largura, quando foram utilizadas para cobrir parcialmente videiras, conduziram a aumentos da temperatura do ar, junto da folhagem de cerca de 1,5°C {21}.

Esteiras e outros materiais isolantes também têm sido utilizados na Índia para proteger da geada o arbusto do chá *(Camellia sinensis)* {23}.

As coberturas são extensivamente empregadas em Portugal. Os tipos mais utilizados são os seguintes {11}:

a) Individuais:

a.1 - Esteiras horizontais ou inclinadas. São usadas para proteger árvores novas, sobretudo citrinos.

a.2 - Abrigos de diversas formas. Para a protecção, sobretudo de citrinos e arbustos de jardim.

a.3 - Invólucros de colmo enrolados às árvores novas.

a.4 - Coberturas próximas do solo (telhas de canudo, abrigos de barro, folhas de piteira, etc).

b) Colectivas

b.1 - Esteiras análogas às de a.1 mas maiores.

b.2 - "Abrigos formando como que uma meia cabana com parede vertical do lado norte". A orientação é de primordial importância; relacione com a drenagem de ar frio.

b.3 - Camada de palha assente no solo, cobrindo viveiros de horta.

As esteiras e abrigos utilizam materiais de produção local (palha, caniços, paus, tábuas, feno, etc.).

Embora os materiais utilizados, na maior parte dos casos, sejam de reduzido custo, algumas das técnicas supramencionadas tornam-se onerosas devido à quantidade de mão-de-obra que requerem.

Por vezes, levantam-se problemas fitosanitários, mormente criptogâmicos, devido às deficientes condições de arejamento.

Estas técnicas são de aplicação quase exclusiva a plantas de pequeno porte. Parece-nos, contudo, que podem continuar a ser úteis para a protecção de algumas plantas contra as geadas em algumas regiões de Portugal Continental.

X.2 - Estufas e túneis

A forma de túnel está consagrada como sendo a mais eficiente para cobertura temporária. Tem maior estabilidade e resistência, tem instalação em parte mecanizável e contraria a estratificação do ar. As suas dimensões variam em função da cultura a proteger, da largura do filme plástico, das restrições impostas pelo bom funcionamento da maquinaria de colocação do filme, operacionalidade e ventilação.

Um ensaio levado a cabo no Japão, em túneis, leva a crer que um túnel de (poli)cloreto de vinilo — PVC — encapotado por uma esteira produzida de palha, canas, papel, sacas,

vergas, e outros materiais produzidos localmente, — pode conduzir a temperaturas mínimas mais altas; conferindo uma boa protecção. Existem máquinas que fazem estas esteiras. É contudo necessário, em caso de geadas particularmente severas recorrer ao aquecimento dos túneis {2}. Várias coberturas, incluindo esteiras de palha de arroz e estufas de PVC, estão a ser usadas correntemente para a protecção dos citrinos, no Japão {17}.

Dificuldades que se prendem com a ventilação e mecanização fazem com que haja uma grande e crescente aceitação dos grandes túneis(*), aquecidos ou não. O plástico pode ser usado até três anos dependendo do desenho da estrutura e qualidade do plástico. O aquecimento destes túneis, pode ser feito por água quente, electricidade, vapor de água, ar quente, etc.

X.2.1 - Efeito dos materiais de cobertura sobre as temperaturas mínimas

Deve contudo salientar-se que as coberturas de vidro (e plástico) usuais não fazem subir necessariamente a temperatura mínima nocturna {cf.6}. É sabido que o efeito de estufa é mais pronunciado no vidro do que nos plástico pelo que vamos tomar o caso mais favorável. O vidro utilizado em estufas é um material com elevada transmissividade(**) para as ra

---

(*) Embora, talvez, segundo o glossário de A.A. Monteiro {8}, a designação de "estufa em forma de túnel" fosse, neste caso, mais adequada optou-se pela tradução à letra.

(**) Uma das características do vidro que é mais frequentemente realçada como favorável é a transparência (p.ex.,ref. 1). Confunde-se neste caso transparência com coeficiente de transmissão o que na realidade são coisas distintas. A C.I.E. dá a seguinte definição das palavras "transparen -

diações da região da radiação solar (0,15-4,0μm), porém, para a radiação terrestre ($\lambda_{max} \approx 10\mu m$) a transmissividade e reflectividade são reduzidas.

Durante o dia a radiação solar que atinge o vidro, transmite-se quase totalmente através dele, sendo parte aborvida pelo solo e transformada em calor e parte reflectida de acordo com o albedo da superfície do solo e plantas. A parte reflectida sai, quase totalmente, passando através do vidro(ver fig. X.1).

Algo de diferente se passa com a radiação emitida pelo solo e pelas plantas que quando atinge a face interna do vidro é absorvida e transformada em calor. A radiação atmosférica, que atinge o vidro (face externa) é também transformada em calor (ver fig. X.1).

Durante a noite, aquando de uma geada de radiação, a densidade deste último fluxo é inferior à densidade do fluxo radiante emitida pelo solo e plantas. O grandiente de temperatura ainda aumenta mais por contacto do vidro com o ar frio exterior favorecendo a saída de calor da estufa, por condução através do vidro seguida de convecção no ar. Por outro lado, há emissão de energia radiante para ambos os lados do vidro, perdendo este mais calor (ver fig. X.1).

(**) cont.
te" e "translucente" {5}:
- "Um corpo transparente transmite luz principalmente por transmissão regular, sem qualquer alteração de frequência nem de direcção do feixe incidente. Por outro lado, um corpo translucente transmite uma luz difusa; isto significa, sem qualquer alteração na frequência da radiação, mas a direcção dos raios incidentes é modificada". Efectivamente vidros translucentes {1}, podem ser utilizados como materiais de cobertura em estufas, conduzindo até a um aumento da radiação que atinge as plantas e o solo em determinadas condições.

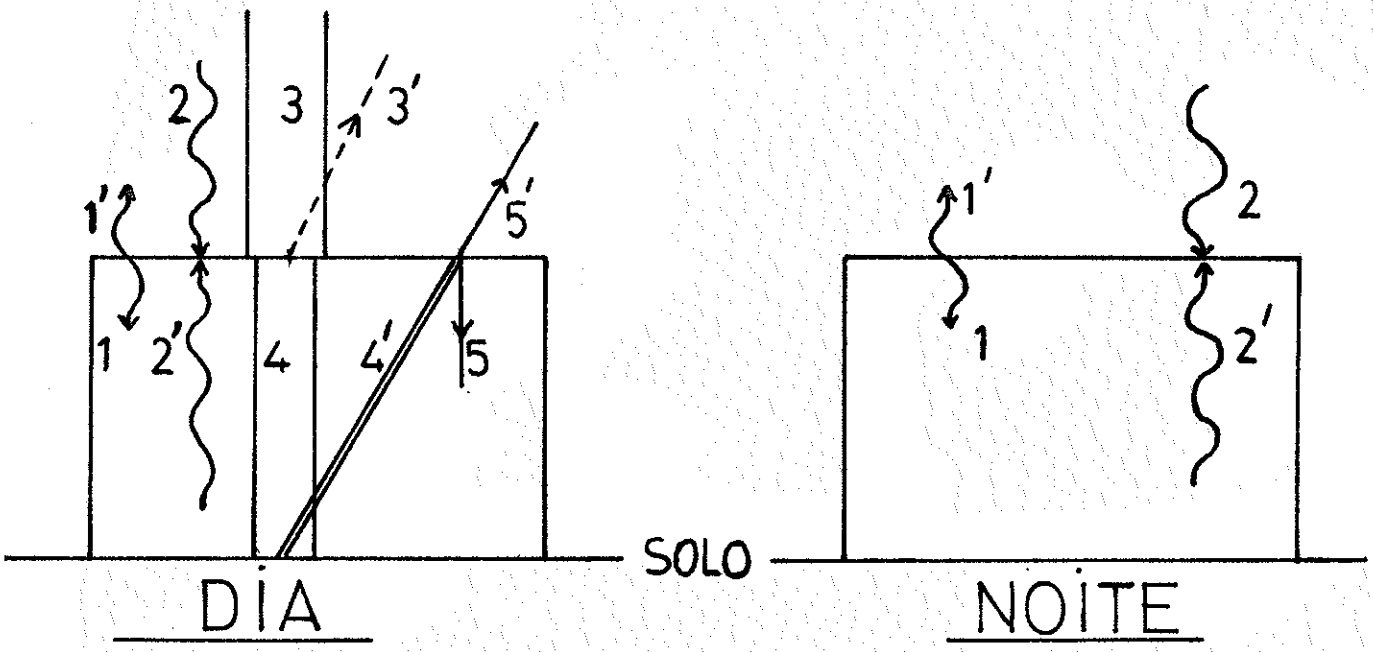


FIG. X.1

Fluxo 1 - Fluxo de grande c.d.o. emitido pelo vidro para dentro da estufa

" 1'- Fluxo de grande c.d.o. emitido pelo vidro para fora da estufa

" 2 - Fluxo da radiação da atmosfera

" 2'- " " " terrestre

" 3 - " " " solar

" 3'- " " " " reflectida pelo vidro

" 4 - Fluxo de radiação, solar transmitida pelo vidro

" 4'- Fluxo de radiação solar reflectida pelo solo e plantas

" 5 - Fluxo 4' que é reflectido pelo vidro

" 5'- Fluxo 4' que é transmitida pelo vidro

A temperatura, durante o dia, resulta contudo maior dentro da estufa porque as perdas de calor por convecção são drasticamente dificultadas e o solo continua a ser aquecido pela energia solar.

À noite, como se viu, o vidro perde calor e porque tem uma fraca capacidade calorífica fica rapidamente a uma temperatura mais baixa. Então, o ar dentro da estufa que com ele contacta arrefece e desce sendo substituído por outro mais quente, e assim sucessivamente. Por outro lado, e devido à relativa imobilidade do ar, a estratificação em função da temperatura é maior dentro do que fora da estufa. Só um factor nos parece significativamente favorável: a quantidade total de calor armazenada no ar e solo é maior.

Talvez isto explique resultados de ensaios, com vidro e plásticos, em que se verifica um ligeiro acréscimo da temperatura dentro da estufa. Na generalidade dos casos este acréscimo é no entanto reduzido.

Do exposto se conclui que as estufas com coberturas de vidro e plástico, *per se*, não são eficientes na protecção contra as geadas. Torna-se, porém, possível utilizar técnicas complementares de controlo ambiental.

X.3 - Espumas isoladoras

O estado da matéria a que aqui se dá o nome de espuma é formado por um constituinte de suporte líquido delimitando inúmeras bolhas de um elemento gasoso (normalmente ar), tendo propriedades físicas próprias, diferentes daquelas dos seus constituintes.

As espumas como isoladores térmicos a aplicar na luta contra as geadas tem uma curta, mas prometedora, existência.

X.3.1 - Formulações e constituintes

Algumas formulações alcançaram as especificações que se almejavam para as espumas isolantes para utilização na luta contra as geadas:

(1) Uma razoável estabilidade, já que as espumas são sistemas por natureza instáveis.

(2) Baixa condutividade térmica.

(3) Custo relativamente baixo.

(4) Facilidade de produção.

(5) Facilidade de se auto-destruírem antes que se tornem prejudiciais ao crescimento e sanidade vegetais.

(6) Ausência — ou quase — de fitotoxicidade.

Normalmente as formulações, além do(s) agente(s) espumogéneos — que diminuem a tensão superficial dos líquidos —, incluem estabilizador(es). Isto porque se verificou que a maior parte das espumas feitas à custa exclusivamente dos primeiros agentes têm baixas persistências. Mas os estabilizadores, diminuem a espumogenia dos agentes produtores de espuma.

Agentes espumogéneos, estabilizadores, e formulações de comprovada eficácia:

a) Agentes espumogéneos:

a.1 - "Retzolate 30S" da "Retzloff Chemical" {3}.

a.2 - Proteína hidrolizada {12,22}.

b) Estabilizadores (e ligantes)

b.1 - "Pluronic F-68" da "Wyandotte Chemical" {3}.

b.2 - "U.S. Gelatin's 7 APM" {3}.

b.3 - Pectina de citrinos {7}.

b.4 - Fosfato de amido (derivado do amido de milho) {7}.

b.5 - Polipectacto de sódio combinado com cálcio {7}.

c) Formulações mais eficazes:

c.1 - Segundo a ref. 3:

- "Retzolate 30 S, 1% (V/V);
- "Pluronic F-68", 0,5% (V/V); e
- Gelatina 7 APM , 0,5-1,5%(V/V)(o limite inferior corresponde a uma estabilidade de 4-6 horas e o superior de 10-16 horas); e
- água até perfazer os 100% (V/V).

c.2 - Conseguem-se boas formulações com pectina de citrino, fosfato de amido e polipectato de sódio combinado com cálcio, entre outros {7}.

c.3 - A "Agrifoam" vendida por Laurentian Concentrates Ltd ("Ottawa", Ontário, Canadá) {4,22}.

X.3.2 - Produção de espuma

O problema consiste em criar grandes quantidades de bolhas de ar, de tamanho apropriado, dento do agente espumogéneo, com uma taxa aceitável e na proporção, volume de espuma — volume de água, mais apropriada em função da agressividade do meio e das propriedades da formulação em causa.

Os requisitos para uma produção eficaz de espuma foram estabelecidos por Brand *et al.* {8}.

Bartholic {3} descreve um gerador de espuma de grande volume, montado ou rebocado por tractor, com uma taxa de produção de 3,7 m^3/min. utilizando a formulação citada em X.3. c.1. Alusão a outros geradores de espuma além dos citados pode-se encontrar na ref. 4.

X.3.3 - Resultados obtidos

Todos os ensaios de campo efectuados, que chegaram ao nosso conhecimento {12, 4, 9, 10, 15, 13, 22, 2} são unânimes em reconhecer as superiores características isoladoras de algumas espumas ensaiadas. Pode prever-se a temperatura mínima na interfase solo-espuma utilizando equações formuladas por Chesness e Braud {10} e que pres -

supõem a utilização de alguns parâmetros do solo, espuma e ar. Embora a concordância obtida seja manifestamente boa o processo não é, por enquanto, muito expedito.

A protecção obtida é variável conforme o tipo de geada. Numa noite de geada de radiação, a 2,5 cm acima do solo, a temperatura era 6,4°C mais alta dentro da espuma do que fora de - la, às 6.00 horas. Durante uma geada de advecção, a temperatura levou mais seis horas para atingir 0° C dentro da espuma {12}.

Diferenças até 9°C foram conseguidas utilizando proteína hidrolizada concentrada, contendo um estabilizador salino e gelatina — "Agrifoam" —{ 22}.

A aplicação de espuma a morangueiros resultou numa temperatura mínima 6,7-9,4°C mais alta, junto ao solo, dentro da espuma do que à mesma altura fora dela, na testemunha {13}. Com esta espécie, também, se obteve um acréscimo à altura das fo - lhas até 11,7°C, pela aplicação de espuma { 9 }.

Para maximizar a eficiência das espumas pode recorrer-se a novas técnicas de plantação. Ensaios em que a plantação de melão- cantalupo (*Cucumis melo* L.) foi feita em pequenas valas, revelaram um aumento de durabilidade e uma economia da espuma até 75% (V/V) — em relação à armação em camalhões(*). Além disso, conseguiu-se um efeito protector até 12°C, pelos efeitos combinados da armação inovadora e da espuma {15}.

Outro efeito que se pode considerar favorável é a libertação do azoto contido nas espumas proteicas.

Por vezes { cf.9, 13} há efeitos colaterais: toxicidade.

X.3.4 - Conclusões

Algumas espumas conduzem a resultados excelentes na protecção contra a geada de plantas de pequeno porte. Actuando co

(*) Inglês: "Ridge planting".

mo barreiras à saída do calor do solo conduzem a acréscimos de temperatura com duração suficiente, na maioria das situações.

A aplicação e produção de espuma em condições de campo também não constitui problema. Existem hoje no mercado e podem-se facilmente construir geradores eficientes de espuma.

O preço da espuma — nos E.U.A. — não é proibitivo. No caso português parece-nos que este processo pode vir a ser útil caso se consiga obter condições para uma previsão atempada e segura da temperatura mínima, e que, além disso, os preços dos constituíntes da espuma estejam em correspondência com os preços das produções agrícolas (hortícolas). Resumindo: as restrições à sua utilização, se as houver, são de natureza extra-técnica.

X.4 - Referências

{1} - ALPI, A. & TOGNONI, F. 1978. *Cultura em Estufas*. Edizione Agricole.

{2} - BAGDONAS, A., GEORG, J.C. & GERBER, J.F. 1978. Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection. *Tech. Note No. 157. WMO*. Geneva. 160 pp.

{3} - BARTHOLIC, J.F., HEILMAN, M.D. & FARRIS, B.M. 1970. Large volume generator of stable foam for freeze protection. *Hortscience*. 5(6):486-488.

{4} - BARTHOLIC, J.B. & BRAUD, H.J. 1979. Foam insulation for freeze protection. *In:* BARFIELD, B.J. & GERBER, J.F. (ed.) *Modification of the Aerial Environment of Crops*. p. 353-363.

{5} - BASIAUX, P., DELTOUR, J. & NISEN, A. 1973. Effect of diffusion properties of greenhouse covers on light balance in the shelters. *Agric. Meteorol*. 11:357-372.

{6} - BLANC, M.L. *et al*. 1963. Protection against frost damage. *WMO. Technical Note No*. 51. 62 pp.

{7} - BRAUD, H.J. & CHESNESS, J.L. 1970. Physical properties of foam for protecting plants against cold weather. *Transactions of the ASAE* 13(1):1-5.

{8} - BRAUD, H.J., ESPHAHANI, M. & CHESNESS, J.L. 1971. Generation of agricultural foam. *Transactions of the ASAE* 14(2):346-349.

{9} - CHESNESS, J.L., BRAUD, H.J. & HAWTHORNE, P.L. 1970.Foam protects strawberries during freeze. *Agricultural Engineering* 51(2):80-81.

{10} - CHESNESS, J.L. & BRAUD, H.J. 1971. Predicting temperatures under a layer of foam insulation used in freeze protecting plants. *Trans. of the ASAE*. 14(5):868-870.

{11} - CUNHA, J.M. ARRIAGA e . 1952. *Contribuição para o Estudo do Problema das Geadas em Portugal*. Relatório Final do Curso de Engenheiro Agrónomo. ISA. Lisboa.

{12} - DESJARDINS, R.L. & SIMINOVITCH, D. 1968. Microclimatic study of the effectiveness of foam as protection against frost. *Agric. Meteorol*. 5:291-296.

{13} - EGGERT, D.A. 1968. Use of liquid foam to prevent freeze injury to strawberry blossoms. *Hortscience* 3(1):11--12.

{14} - FUCIK, J.E. 1979. Protecting citrus from freezing with insulating wraps. *In:* BARFIELD, B.J. & GERBER, J.F. *Modification of the Aerial Environment of Crops*.364--367 pp.

{15} - HEILMAN, M.D. *et al.* 1970. Frost protection with foam applied in small trenches. *Hortscience* 5(6):488-490.

{16} - HENSZ, R.A. 1969. The use of insulating wraps for protection of citrus trees from freeze damage.*Proc.First Int. Citrus Symp.* 2:575-576.

{17} - IKEDA, I. 1982. Freeze injury and protection of citrus in Japan. *In:* LI, P.H. & SAKAI, A. *Plant Cold Hardiness and Freezing Stress*. Vol. II. Acad. Press. Inc.

{18} - MONTEIRO, A.A. 1983. *Estufas Hortícolas no Algarve.Aspectos pertinentes para a sua construção*. ISA. Lisboa.

{19} - PEYER, E.1965. La protection des vignes contre le gel par des convertures. *Phytoma. No.* 172, p. 61-62.

{20} - RAPOSO, J.RASQUILHO. 1967. A defesa das plantas contra as geadas. *Junta de Colonização Interna*. Est. Téc. nº 7. 111 pp.

{21} - SCHULTZ, H.B. 1961. Microclimates on spring frot nights in Napa Valley vineyards. *Amer. J. Enology and Viticul.*, p. 81-87.

{22} - SIMINOVITCH, D. *et al.* 1967. Use of protein-based foams to protect plants against frost. *Can. J. Plant Sci.* 47:10-17.

{23} - VON LEGERKE, H.J. 1978. On the short-term predictability of frost and frost protection — a case study on dunsandle tea estate in Nilgiris (south India). *Agric. Meteorol.*19:1-10.

{24} - YELENOSKY, G. 1981. A new insulator wrap to protect young citrus trees during freezes. *Hortscience.*16(1): 44-45.

CAPÍTULO XI

UTILIZAÇÃO DE NEVOEIROS ARTIFICIAIS (E FUMOS)

XI.1- Fundamentos do método

Este método baseia-se no conhecimento de que a atmosfera é particularmente transparente à radiação infravermelha de comprimento de onda (c.d.o.; λ) entre 8-12 μm — "janela atmosférica".

A superfície terrestre emite energia radiante aproximadamente como um corpo negro, sendo uma parte relativamente apreciável da radiação de c.d.o. entre aqueles valores. Senão vejamos:

XI.1.1 - Estimativa do c.d.o. correspondente ao poder emissivo mono-cromático máximo - λ_{max} — da superfície terrestre a 0°C.

Admitindo uma temperatura média de 0°C (273 K) — além da hipótese do corpo negro — o $\lambda_{max} = \frac{A}{T} = \frac{2897}{273} = 10,6$ μm; pela lei de Wien. "A" é uma constante e"T" a temperatura absoluta (em kelvins).

XI.1.2 - Estimativa do poder emissivo da superfície terrestre (0°C) com 8 μm < λ < 12μm.

XI.1.2.1 - Dedução das fórmulas a utilizar {19,17}.

Tomemos a lei de Planck.

$$E_{b\lambda} = \frac{c_2 . \lambda^{-5}}{\exp(c_2/\lambda . T)^{-1}} \qquad (XI.1)$$

onde

$$c_1 = 3{,}740404 \times 10^8 \ w.\mu m^4.m^{-2}$$

$$c_2 = 2{,}5896 \times 10^4 \quad \mu m.K.$$

Então a energia total entre λ_1 e λ_2 — ou seja, $E_b(\lambda_1 \rightarrow \lambda_2)$ —, é

$$E_b(\lambda_1 \rightarrow \lambda_2) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{b\lambda} \ d\lambda \qquad \text{(XI.2)}$$

donde a fracção do poder emissivo total é

$$\frac{E_b(\lambda_1 \rightarrow \lambda_2)}{E_b = \int_0^{\infty} E_{b\lambda} d\lambda} = \frac{E_b(\lambda_1 \rightarrow \lambda_2)}{E_b = \sigma T^4} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{E_{b\lambda} \ d\lambda}{\sigma T^4} \qquad \text{(XI.3)}$$

sendo E_b o poder emissivo total que é dado, de acordo com a lei de Stefan-Boltzmann, por σT^4; $\sigma = 5{,}675 \times 10^{-8} w.m^{-2}.\ k^{-4}$.

Note-se que $\frac{d(\lambda.T)}{T} = d\boldsymbol{\lambda}$. Então de (XI.3)

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{E_{b\lambda}}{\sigma T^4} \ d\lambda = \int_{\lambda_1 \cdot T}^{\lambda_2 \cdot T} \frac{E_{b\lambda}}{\sigma T^5} \ d\ (\lambda.T) \qquad \text{(XI.4)}$$

A alteração dos limites de integração deriva da propriedade de linearidade do operador integral (ver PISKOUNOV,1974).

Continuando,

$$\frac{E_b(\lambda_1 \to \lambda_2)}{\sigma T^4} = \int_{\lambda_1 \cdot T}^{\lambda_2 \cdot T} \frac{E_{b\lambda}}{\sigma T^5} \, d(\lambda.T) = \int_{\lambda_1 \cdot T}^{o} \frac{E_{b\lambda}}{\sigma T^5} \, d(\lambda.T) +$$

$$+ \int_{0}^{\lambda_2 T} \frac{E_{b\lambda}}{\sigma T^5} \, d(\lambda.T) = \int_{o}^{\lambda_2 \cdot T} \frac{E_{b\lambda}}{\sigma T^5} \, d(\lambda.T) - \int_{o}^{\lambda_1 \cdot T} \frac{E_{b\lambda}}{\sigma T^5}$$

$$d(\lambda.T) = \frac{E_b(0 \to \lambda_2 \cdot T)}{\sigma T^4} - \frac{E_b(0 \to \lambda_1 \cdot T)}{\sigma T^4} \qquad \text{(XI.5)}$$

Estes dois últimos termos estão tabelados {19,17}.

XI.1.2.2 - Cálculo de $E_b(\lambda_1 = 8\ \mu m \to \lambda_2 = 12\ \mu m)$.

Utilizando as tabelas, temos que

$$\frac{E_b(o \to 12 \times 273)}{\sigma T^4} = 0{,}335$$

e

$$\frac{E_b(o \to 8 \times 273)}{\sigma T^4} = 0{,}098$$

donde

$$\frac{E_b(\lambda_1 = 8\mu m \to \lambda_2 = 12\ \mu m)}{E_b} = 0{,}237 = 23{,}7\%$$

Daqui se conclui que, aproximadamente, 23,7% da radiação terrestre (74,7 w/m^2) — admitindo as hipóteses supracitadas — têm c.d.o. que caiem dentro da janela atmosférica. Es-

te cálculo pareceu-nos útil para termos uma ideia da eficiência que se poderia obter caso se conseguisse, por meios, artificiais, "fechar" a janela atmosférica.

Falta-nos, contudo um elemento extremamente importante. Qual é a radiação terrestre efectiva (aprox.) numa noite de geada de radiação?

XI.1.3 - Estimativa da radiação terrestre efectiva numa noite de geada.

Para o efeito vamos utilizar a fórmula de Brunt de 1934 (ver equação III.6 e/ou ref. 8):

$$R_T = \sigma T^4 (0,56-0,08 \sqrt{e}) (1-aC)$$

onde R_T é a radiação terrestre efectiva, e é a tensão real do vapor (mb), a é uma constante dependente do tipo de núvens e C é a nebulosidade em décimos de céu coberto.

Admita-se a hipótese de céu limpo, então

$$R_T = \sigma T^4 (0,56-0,08 \sqrt{e})$$

Admitindo que a temperatura da superfície do solo, é de 0^oC e que a tensão de vapor é máxima (0^oC) resulta que

$$R_T = 8,17 \times 10^{-11} \times (273+0)^4 (0,56-0,08 \sqrt{6,1}) = 0,16 \text{ cal. cm}^{-2}. \text{ min}^{-1} = 111,6 \text{ w/m}^2.$$

Daqui se conclui que a quantidade de energia que, sendo emitida pela superfície terrestre, passa através da janela atmosférica em noites típicas de geada de radiação é cerca de 67% das perdas de radiação terrestre. Daqui se infere a grande eficiência que teria uma técnica que conseguisse fechar a janela

atmosférica.

X.1.4 - Resumo:

(1) Admitindo a hipótese de corpo negro para uma superfície terrestre a $0^{o}C$, então, $\lambda_{max} \simeq 10$ µm.

(2) $$\frac{E_b(\lambda_1 = 8\ \mu m \rightarrow \lambda_2 = 12\ \mu m)}{E_b} = 0,24 = 24\% \ (t = 0^{o}C)$$

(3) $$\frac{E_b(\lambda_1 = 8\ \mu m \rightarrow \lambda_2 = 12\ \mu m)}{R_T} = 0,67 = 67\%$$

para uma temperatura média da superfície terrestre rondando os $0^{o}C$ e em condições de céu limpo.

XI.2 - Resolução teórica do problema de "fechar" a "janela atmosférica

"Fechar" a janela atmosférica seria eficiente já que, por um lado, actua numa banda de c.d.o. em que, devido à transparência quase total da atmosfera, a radiação terrestre se perde quase totalmente, por outro, interferir-se-ia com uma parte importante da radiação terrestre — aproximadamente 67% da radiação terrestre efectiva, numa noite típica de geada de radiação, "passa" através da janela atmosférica.

Como poderia isto ser alcançado? Não, certamente, à custa de um aumento do teor de vapor de água, que para estes c.d.o. tem coeficientes de absorção muito baixos {4,10,14,15}. Resta imitar a natureza: "fechar" a janela atmosférica por meio de gotas de água de dimensões apropriadas, como acontece nas núvens.

De Boer{4} chegou à conclusão que esferas de água com

raios entre 7,5 e 8,5 μm dariam um bom resultado (raio óptimo calculado de 7,875 μm), com um consumo de água próximo do mínimo. Gotas de água de raio óptimo transmitem radiação de 10 μm — recorde-se que o λ_{max} calculado em XI.1.1 foi de 10,6 μm — cerca de 18 vezes menos do que a água e cerca de 97 vezes menos do que o vapor de água, para a mesma água precepitável (d) de 0,001771 cm(*). Para c.d.o. de 8 e 9 μm as condições para as gotas de água são ainda mais favoráveis. Com λ = 12 μm, a transmissividade da água é um terço do que a das gotas de água, sendo esta menor do que 1% para d=0,00177 cm.

Para "fechar" em 99% a janela atmosférica utilizando esferas de água com raios entre 7,5 e 8,5 μm é necessária uma altura de água precipitável de 0,002 cm. Cerca de $8,2 \times 10^5$ esferas, de raio entre 7,5 e 8,5 são necessárias numa coluna vertical de secção recta igual a 1 cm^2, para que d=0,002 cm.

O estudo da estrutura das núvens provou que o número de gotas pode ir até 1000/cm^3 com uma média de 175 gotas por cm^3. Uma concentração de mais do que 500 gotas por cm^3 ocorre em 6% dos casos. Por outro lado, as dimensões das gotas de núvens que não provocam precipitação estão mais frequentemente entre 5 e 10 μm. Daqui resulta que para obter $8,5 \times 10^5$ gotas(7,5μm < < raio < 8,5 μm) numa coluna vertical de área da base igual a 1 cm^2 com 500 (175) gotas por cm^3 são necessárias núvens com 16,4 (50) metros.

XI.3 - Soluções práticas deste método

XI.3.1 - Nevoeiros artificiais

Céu limpo ou quase é uma das condições que mais favorece a ocorrências de geadas de radiação. Isto porque parte sig-

---

(*) Estes valores foram calculados para o vapor de água a 100°C e a água e gotas a 20°C, pelo que o valor de 97 foi sobrestimado.

nificativa da radiação emitida pela superfície terrestre sai imperturbada para o espaço exterior, mormente a de c.d.o. da faixa da "janela atmosférica" (8 μm < λ < 12 μm) (ver XI.1).

A passagem de núvens baixas pode ocasionar um súbito aumento de temperatura — embora temporário — seguido por uma estabilização ou ligeira descida da temperatura superficial, enquanto se mantém a sua passagem.

O nevoeiro artificial é, pois, uma tentativa de reproduzir estas condições naturais favoráveis de balanço de radiação de grandes comprimentos de onda.

O problema teórico, exposto acima, já foi convenientemente formulado e resolvido, mas os métodos práticos propostos até 1969 têm tido pouco sucesso{1,3,5,6,11,13,18}.Contudo em 1969 uma pequena firma de Los Angeles (Califórnia) — Mee Industries Inc. — começou a desenvolver um sistema totalmente novo de produção de nevoeiro artificial, que começa a dar resultados técnicamente bons {13,2}. Produz gotas de diâmetros entre 10 μm e 20 μm, por um sistema de pressão directa em que os bocais,de diâmetro interno muito pequeno, injectam água de encontra a alfinetes de impacto. A água à pressão de 35kg/ /cm^2 passa através de um filtro, dirige-se ao bocal, onde um cilindro de água de pequeno diâmetro é "moldado"; sendo projectado a alta velocidade contra o alfinete. Pela sua forma este obriga a corrente a tomar interiormente, a forma cónica, em que a película de água mais avançada se estreita cada vez mais até que se parte, formando as gotas.

Os atomizadores são instalados em linhas de água aéreas suportadas por postes.

Embora este processo dê uma boa protecção e seja muito económico em termos energéticos — umas 300 vezes mais económico do que o uso de aquecedores — o seu custo de instalação e proibitivo pelos menos por enquanto, em Portugal(*).

(*) Descrição completa na ref. 13.

XI.3.2 - Fumos

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 {1}.

Sabe-se hoje, contudo, que a pequena protecção que muitas vezes confere (1-2°C {1}) é devida à efectiva libertação de calor que acompanha o processo de produção de fumo { p. ex. 9}. Estes dois efeitos foram confundidos durante muito tempo. O fumo, tal como o nevoeiro e as núvens, obscurece o céu e diminue a visibilidade. No entanto, esta analogia de comportamento não se verifica para as grandes c.d.o., pelo que somente as núvens e nevoeiros são capazes de exercer efeito protector.

As dimensões das partículas que constituem o fumo — diâmetro médio menor do que 1,0 μm {13} — embora sejam suficientes para a diminuição drástica da transmissividade da atmosfera para c.d.o. da zona espectral da visível (0,4-0,7μm) não permitem que o fumo tenha uma acção significativa na transmissividade das radiações infravermelhas emitidas pela superfície terrestre.

Interessa, pelo contrário, minimizar a produção de fumo quando se utilizam fogareiros, para maximizar a eficiência térmica da combustão e minimizar a poluição. O fumo, ao nascer do Sol, também atrasa o aquecimento da parcela a proteger conduzindo a um maior consumo de combustível (ver cap.XII).

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 {1}. A ausência de provas no primeiro caso {7}leva-nos a desprezar a possível vantagem desta última contribuição.

Esta técnica deve, de acordo com tudo o que foi dito, ser abandonada.

{1} - BAGDONAS, A., GEORG, J.C. & GERBER, J.F. 1978. Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection. *Tech. Note No. 157, WMO,* Geneva,160 pp.

{2} - BARTHOLIC, J.F. 1974. Freeze protection with a man-made fog. *Sunshine State Agric. Res. Rep.* 19:3-5.

{3} - BLANC, M.L., *et al.* 1963. Protection against frost damage. *WMO. Tech. Note No.* 51, 62 pp.

{4} - BOER, H.DE. 1965. Comparison of water vapor, water drops of various sizes, as a means of preventing night frost. *Agric. Meteorol.* 2:247-258.

{5} - BOUCHET, R.J. 1965. Problèmes des gelées de printemps. *Agric. Meteorol.* 2:167-195.

{6} - BREWER, R.F. *et al.* 1972. An evaluation of man-made fog for frost protection on citrus in southern California. *Hortscience* 7(3):250-252.

{7} - BURKE, J.M. *et al.* 1977. Does washing frost from plants reduce cold damaga? *Hortscience* 12(2):101-103.

{8} - CHANG, J. 1968. *Climate and Agriculture.* Aldine Pub.Comp. 304 pp.

{9} - COLLOMB, C. 1966. A propos des recentes gelées de printemps. *Phytoma, an. 18, No.* 178, pp. 23-25.

{10} - GEIGER, R. 1961. *Manual de Microclimatologia. O clima da Camada de Ar Junto ao Solo.* Fundação Calouste Gulbenkian. 4ª ed. Lisboa, 556 pp.

{11} - HEWETT, E.W. 1971. Preventing frost damage to fruit trees. *Information series No. 86. New Zealand Dept. of Sci.and Ind. Res.* 55 pp.

{12} - MARTSOLF, J.D. 1979. Heating for frost protection. *In:* BARFIELD, B.J. & GERBER, J.F. (ed.). *Modification of the Aerial Environment of Crops,* pp. 391-314.

{13} - MEE, T.R. & BARTHOLIC, J.F. 1979. Man-made fog. *In:* BARFIELD, B.J. and GERBER, J.F. (ed.). *Modification of the Aerial Environment of Crops,* pp.334-352.

{14} - OKE, T.R. 1978. *Boundary Layer Climates.* John Wiley & Sons. New York. 372 pp.

{15} - PEIXOTO, J.P. 1981. *A Radiação Solar e o Ambiente.* Comissão Nacional do Ambiente. Lisboa.

{16} - PISKOUNOV, N. 1974. *Cálculo Diferencial e Integral.* Vol. I. Lopes da Silva (ed.). Porto. p. 445.

{17} - PITTS, D., SISSOM, L. 1981. *Fenômenos de Transferência. Transmissão de Calor, Mecânica dos Fluídos e Transferência de Massa.* McGraw-Hill.

{18} - TABARD, P. 1967. Étude comparative des diverses modes de protections antigel. *Phytoma, an. 19, No.* 187. 31-34 pp.

{19} - WOLF, H. 1983. *Heat Tranfer.* Harper & Row, Publishers, New York. 522 pp.

CAPÍTULO XII

AQUECIMENTO DIRECTO DO AR

XII.1 - Introdução

As perdas de energia num pomar, numa situação de geada, podem ser compensadas pela utilização maciça de combustíveis(sólidos, líquidos e gasosos) queimados em aquecedores de vários tipos. Estes emitem energia radiante, em parte interceptada, e libertam calor que é transportado por convecção (fig. XII. 1).

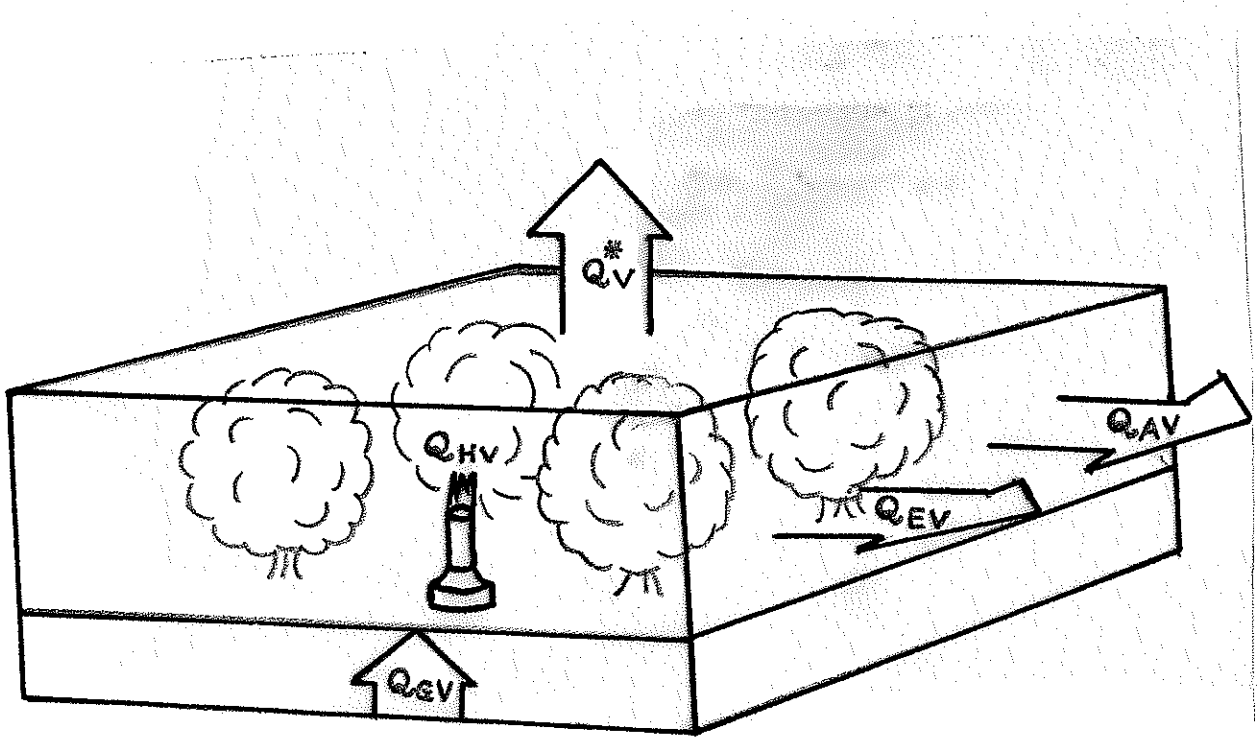


FIGURA XII.1 - Pomar encerrado num paralelipípedo imaginário. Os fluxos de energia representados são: perdas líquidas por radiação:(Q_V^*), perdas de calor por advecção (Q_{AV}), calor do solo (Q_{GV}), perdas de calor latente (Q_{EV}), calor adicionado pelo aquecimento (Q_{HV}). (Seg. a ref.1).

As condições que favorecem a eficiência deste método são as mesmas que referiremos acerca dos ventiladores (cap. XIII): geadas de radiação com inversões fortes (e vento fraco), (fig. XII.2).

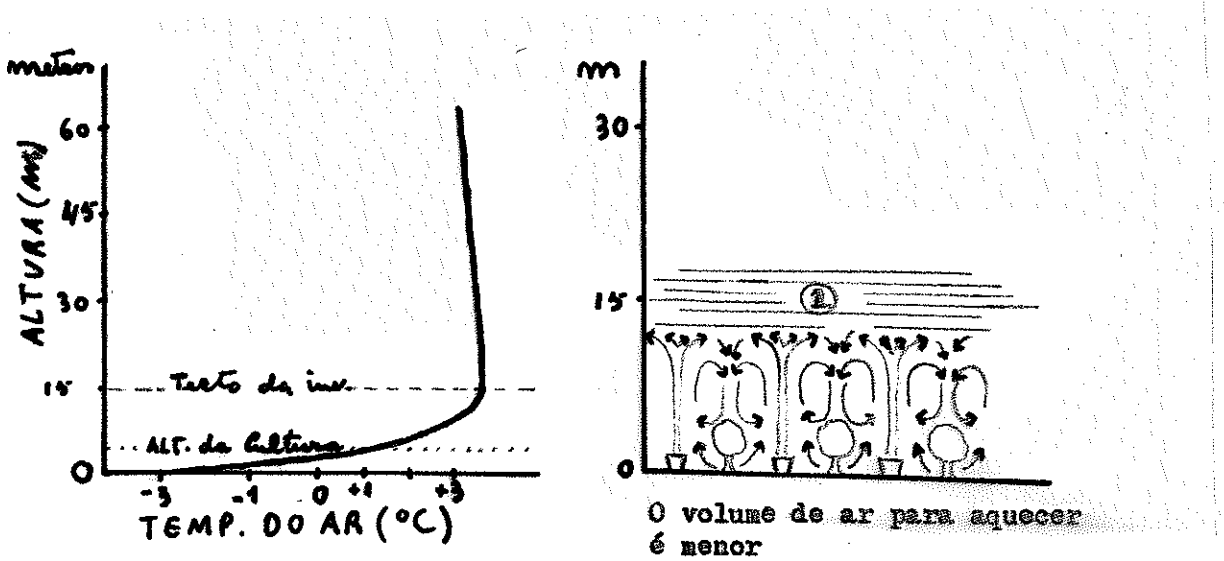


FIGURA XII.2 - O aquecimento dos pomares é mais eficiente quando a inversão é forte (Seg.ref. 10).

Quando as geadas são do tipo advectivo, ou as inversões fracas, o volume de ar a aquecer torna-se muito grande e os aumentos de temperatura conseguidos modestos (fig. XII.3).

Os ventos intensos, aumentam a advecção de calor, para fora do pomar, e desfazem as inversões.

Este método é tecnicamente muito seguro e aquele que foi o eleito pelos agricultores americanos, até quase aos nossos dias. Foi, contudo, ultrapassado em favor da utilização de ventiladores combinados com aquecedores, devido aos elevados preços que os combustíveis têm atingido (2) e que, certamente, se agravarão no futuro. Este método é totalmente incomportável, e desnecessário na maioria das situações — devido à amenidade relativa do nosso clima. Pode contudo ser utilizado em alguns casos pontuais de culturas ricas.

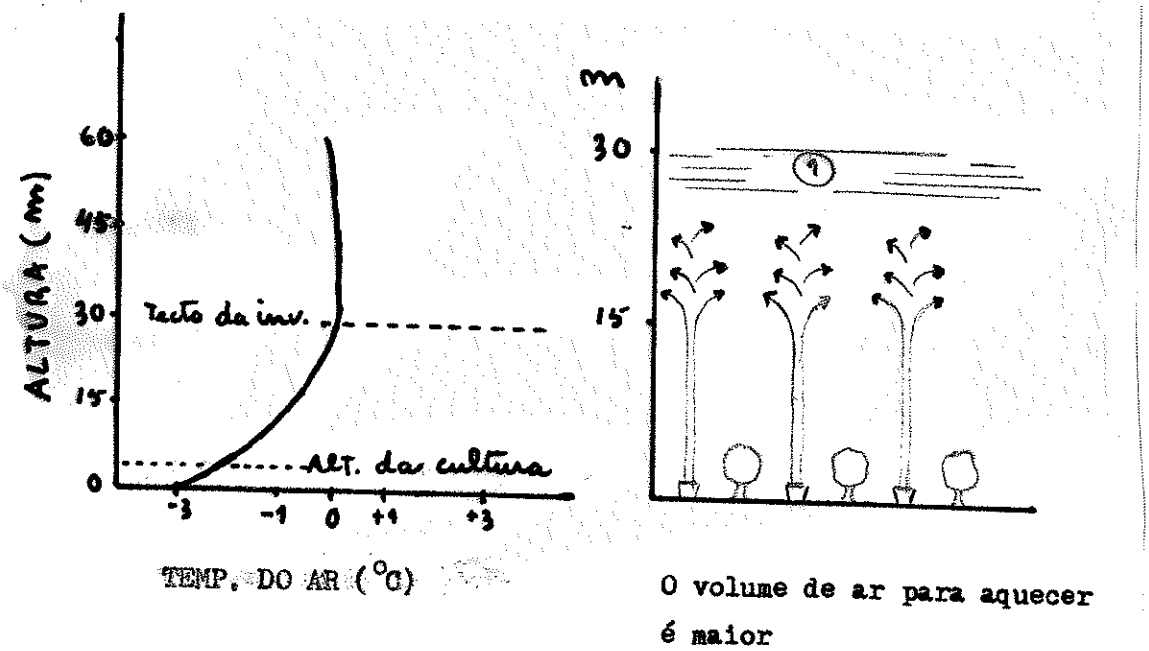


FIGURA XII.3 - O aquecimento dos pomares é menos eficiente quando a inversão é fraca (Seg. a ref. 10).

XII.2 - Aquecimento com combustíveis sólidos

Os combustíveis sólidos foram os primeiros a serem utilizados para a protecção contra as geadas. Foram abandonados na Califórnia em favor dos óleos minerais, quando a existência de poços petrolíferos perto das regiões citrícolas, permitiram preços baixos {14}.

Mais tarde houve um ressurgimento vigoroso dos combustíveis sólidos quando se descobriu que a razão entre a energia radiante emitida e a totalidade da energia calorífica gerada era de 40% para o carvão de madeira e coque, em comparação com 25% para os melhores queimadores de combustíveis líquidos {12,14}. Esta característica — fracção radiante elevada — é muito importante quando as inversões são pequenas e os ventos intensos como acontece nas geadas de advecção.

A desvantagem principal dos combustíveis sólidos é a sua

taxa decrescente de combustão {9,14}, precisamente quando as necessidades aumentam. Por outro lado, a iniciação lenta é inconveniente, devido ao facto de se terem que acender muito antes de se atingirem as temperaturas críticas, podendo, eventualmente, estas não serem atingidas e haver desperdício de combustível, mormente porque são de difícil extinção.

Os combustíveis mais utilizados são a madeira, carvão de madeira, coque, pneus velhos, etc..

Poderá ter interesse em casos especiais, a utilização de queimadores de coque, devido à sua elevada fracção radiante(aproximadamente 40%). É por este motivo o aquecimento ideal para ser utilizado junto às bordaduras das parcelas a proteger por aquecimento, em casos de inversões fracas e vento relativamente intenso {12}.

Algumas companhias petrolíferas lançaram no mercado produtos registados constituídos por "cera de petróleo"(*) — um sub-produto de refinação — e coque. Podem aparecer com diversas formas: velas, tijolos, etc..

Os resultados, quando comparados com as queimadores de combustíveis líquidos, são animadores:

(1) Velas de "cera de petróleo" (fig. XII.4) foram utilizados para aquecimento "debaixo da árvore" — um novo método — dando um aumento médio da temperatura dos frutos de 1,7°C, quando colocados dois debaixo de cada toranjeira. A eficiência — medida pela temperatura dos frutos dentro e fora da copa — mais do que duplicou, por causa da colocação: debaixo da árvore {17}.

(2) Obteve-se 2,2°C de aumento da temperatura a 1,1 m com

(*) Em inglês: "petroleum wax".

375 tijolos(*) de "cera de petróleo", e coque por hectare. Gastou-se apenas metade da energia térmica necessária para que, com queimadores convencionais, alcançasse o mesmo aumento de temperatura (2,2°C). A colocação foi na linha {18}. Com o mesmo material, noutra experiência, conseguiu-se, utilizando apenas 60% das calorias normalmente necessárias, obter a mesma protecção {20}.

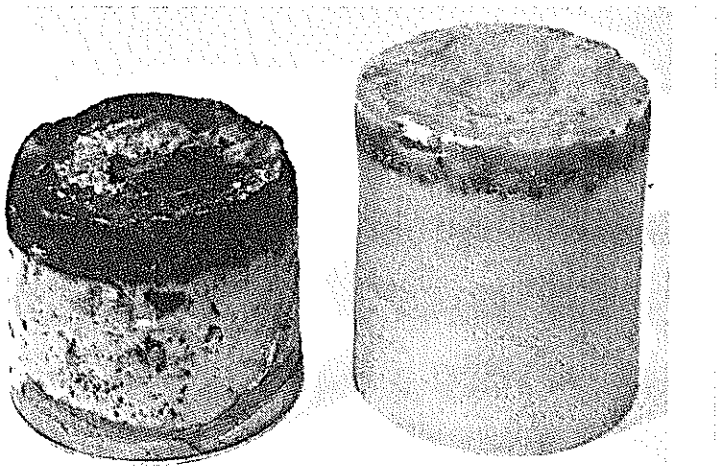


FIGURA XII.4 - Aquecedores de combustível sólido tipo vela (com o cartão envolvente removido). A vela da esquerda foi queimada durante doze horas(Segundo a ref. 17).

(3) A camada de modificação da temperatura foi menos espessa quando, se utilizaram tijolos de "cera de petróleo" e coque, do que quando se recorreu a queimadores de chaminé de retorno {7}. Mais uma vez se confirmou a regra de que muitos e pequenos fogos são mais eficientes do que poucos e grandes.

(*) Estes tijolos são de 4 libras cada. Têm o nome comercial de "Tree-Heet" e são vendidos na América do Norte pela Mobil.

Em Portugal as geadas são de um modo geral menos severas do que nas regiões dos E.U.A. onde estes tipos de combustíveis sólidos estão a dar bons resultados, sendo a percentagem de geadas de advecção, também, muito menor. Tudo isto, assim como a inexistência destes produtos de marca em Portugal, tornam a sua utilização problemática.

XII.3 - Aquecimento com combustíveis líquidos

XII.3.1 - Tipos de combustível

Os combustíveis líquidos mais utilizados são o óleo diesel, petróleo e "fuel-oil". Este último pode trazer problemas em Portugal se o seu tipo for semelhante ao utilizado em Espanha (cf. 19).

XII.3.2 - Tipos de queimadores

Os queimadores podem ser de vários tipos (fig. XII.5 e XII.6), sendo aconselhada, por vezes, a utilização de queimadores de chama livre (sem chaminé) {10,1} , por serem muito mais baratos; podem ser improvisados com latas de tinta, óleo, etc.. Nestes, contudo, muito do combustível vaporizado perde-se sem arder, baixando o rendimento térmico e dando origem a fumos abundantes. O fumo — como poluente que é — levanta problemas e não traz qualquer vantagem em termos de protecção (ver XI.3.2). Estes queimadores têm, também, a vantagem de permitirem um fácil transporte e reabastecimento. Devido ao facto de, normalmente, os queimadores deste tipo serem de menores dimensões — o que obriga a maior densidade — evita-se a ocorrência do efeito de chaminé, poupando-se calorias.

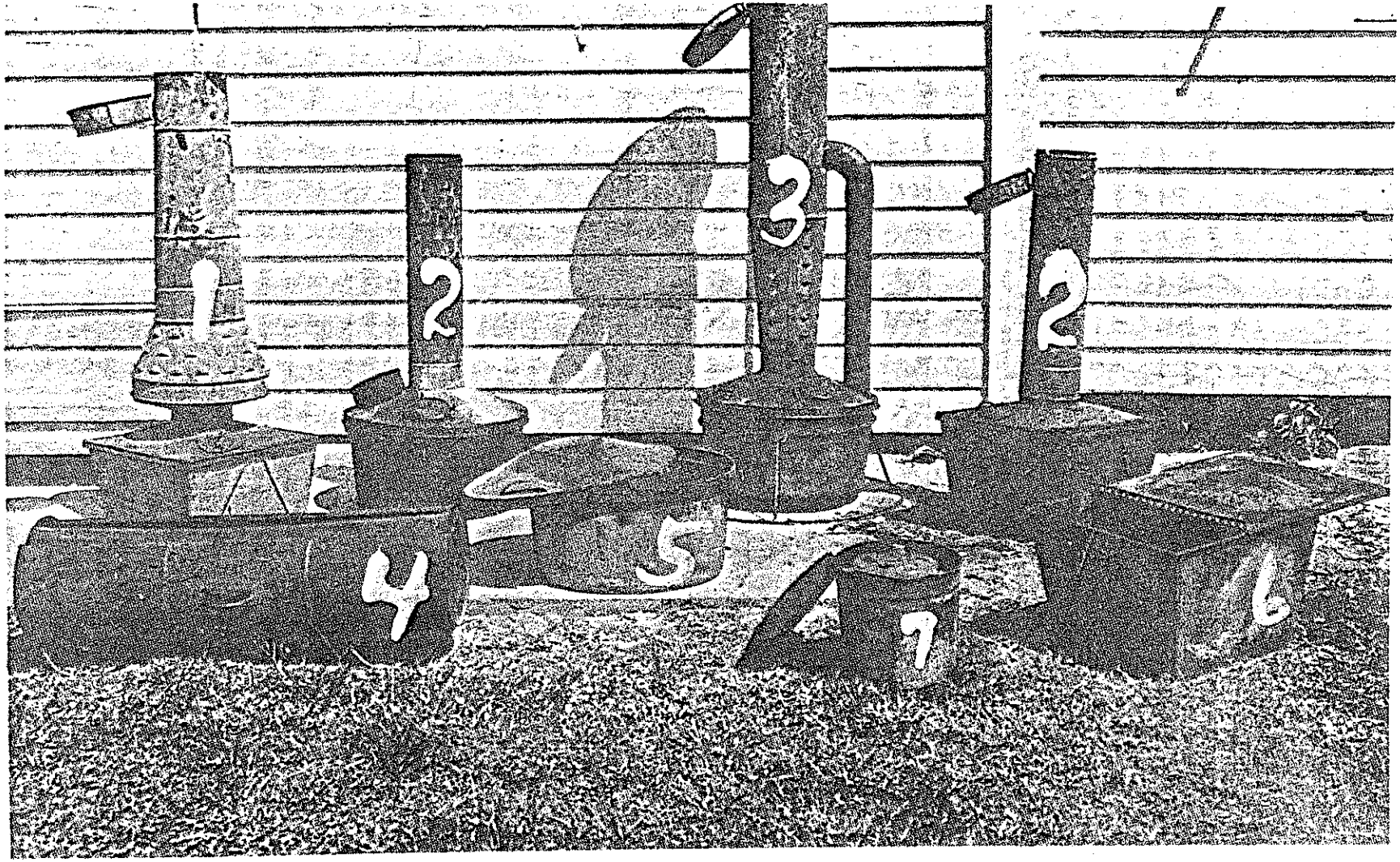


FIGURA XII.5 - Alguns tipos de queimadores de combustíveis líquidos: 1. "Jumbo Cone" 2. "Lazy Flame" — chaminé de 24 polegadas; 3. Chaminé de retorno. 4. Tipo tanque; 5. Recipiente redondo; 6. Recipiente quadrado; 7. Queimador de óleo mineral de 10/4 de galão americano (Segundo ref. 3).

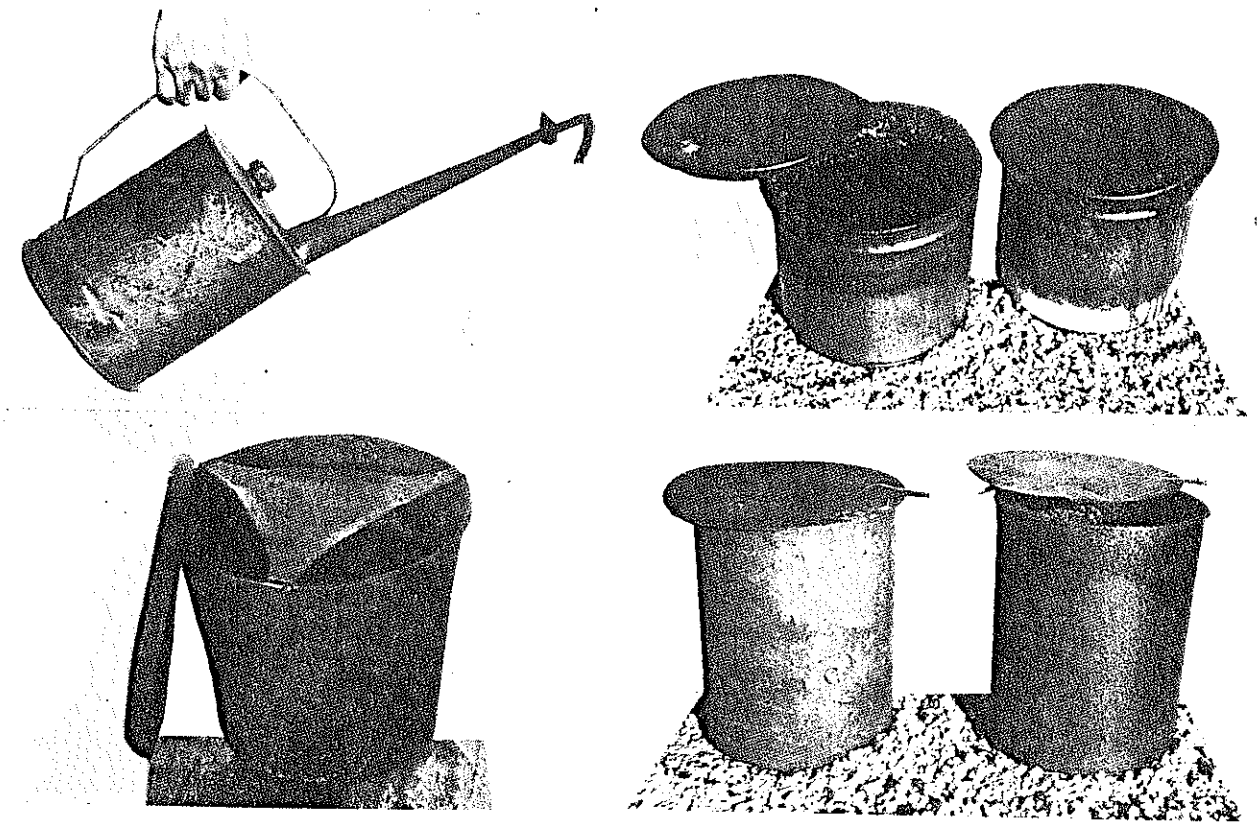


FIGURA XII.6 - Superior esquerdo: Acendedor. Superior direito: Queimador de 1,75 galões, tipo Harvey. Esquerdo inferior: Queimador de 5/4 de galão, tipo "lard-pail", com controlador de combustão. Direito inferior: Queimador de 3,5 galões, tipo Harvey. (Segundo a ref.10).

XII.3.3 - O que se sabe sobre o método e exemplos escolhidos

O ar aquecido pelas combustões mistura-se com o ar circundante aumentando a sua temperatura, resultando numa ascensão de ar quente até que a massa de ar ascendente, encontre uma camada de ar à mesma temperatura. É evidente que, no caso de inversões fortes as camadas de ar quente estão mais próximas da superfície. O percurso da massa de ar ascendente é, então, menor e o volume total aquecido mais pequeno (fig. XII.2). Por outro lado, o grau de mistura do ar aquecido e circundante

é maior no caso da subida do primeiro ser mais lenta, o que acontece quando as fontes de calor são relativamente pequenas (fig. XII.7). Mas o ar está, também, continuamente a arrefecer, por radiação, a nível superior havendo descida de ar arrefecido entre os aquecedores, gerando-se uma circulação que está esquematizada na fig. XII.8.

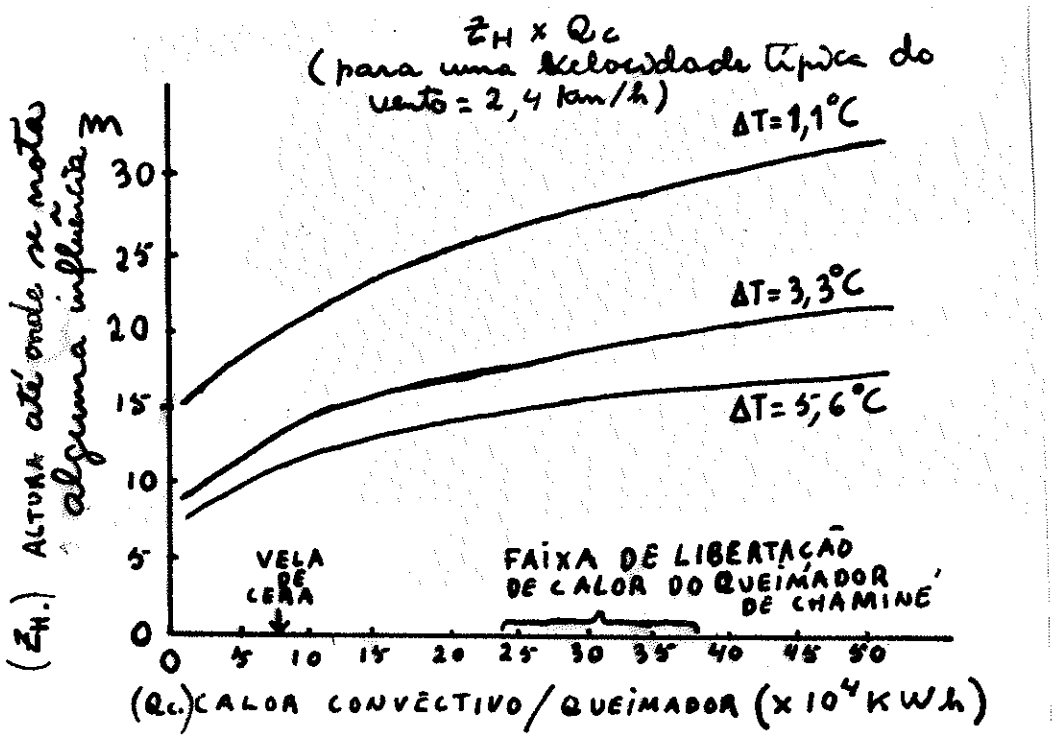


FIGURA XII.7 - Efeitos da intensidade da inversão de temperatura (ΔT) e do débito de calor por aquecedor (Q_c) na altura sobre a qual o aquecimento tem influência. Por ser menor a espessura aquecida pelos aquecedores de baixo débito eles são mais eficientes — muitos fogos pequenos são mais eficientes do que poucos e grandes (Segundo a ref.8).

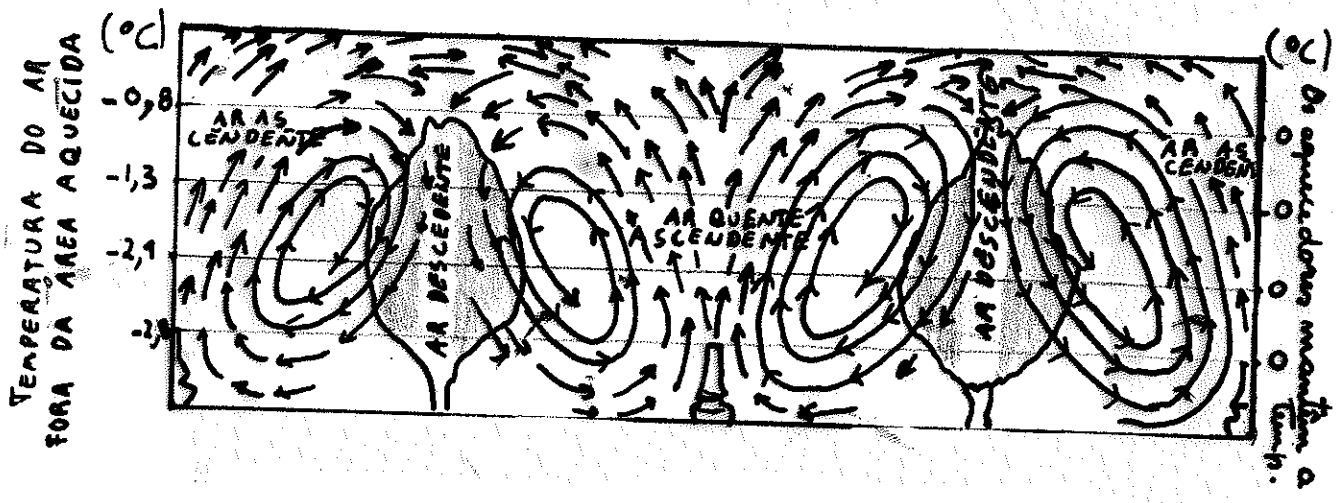


FIGURA XII.8 - O esquema representa um corte ao longo de uma linha de árvores e aquecedores num pomar. A inversão torna o aquecimento possível. Representa-se as condições numa noite de geada calma, pouco tempo após a ignição dos aquecedores. (Segundo ref.3).

Inversões fracas provocam maiores perdas de calor por convecção: o volume de ar aquecido é maior e a protecção conseguida menor (ver fig. XII.3). Nestas circunstâncias a fracção radiante do aquecedor, passa a ter grande importância{12}, porque a energia radiante benificia directamente as plantas sem ter que aquecer todo o volume de ar.

Por vezes, o calor é arrastado pelo vento, que em situações de geada de radiação não ultrapassa, geralmente, uns 5 km/h. Vai, então, benificiar zonas do pomar (ou cultura) a sotavento, deixando entrar o ar frio junto à linha de limite de barlavento. Daqui resulta que se deva reforçar a protecção junto a esta bordadura (ver fig. XII.9).

Tem-se notado, também que o ar frio — não aquecido — costuma invadir a parcela a proteger não só pela(s) bordadura(s) a barlavento, mas, em geral, por todas; embora a extensão neste último caso, seja menor. Este fenómeno deve-se à subida generalizada de ar quente por convecção. Assim se expli-

plica o facto de alguns autores aconselharem o reforço do aquecimento em todas as bordaduras.

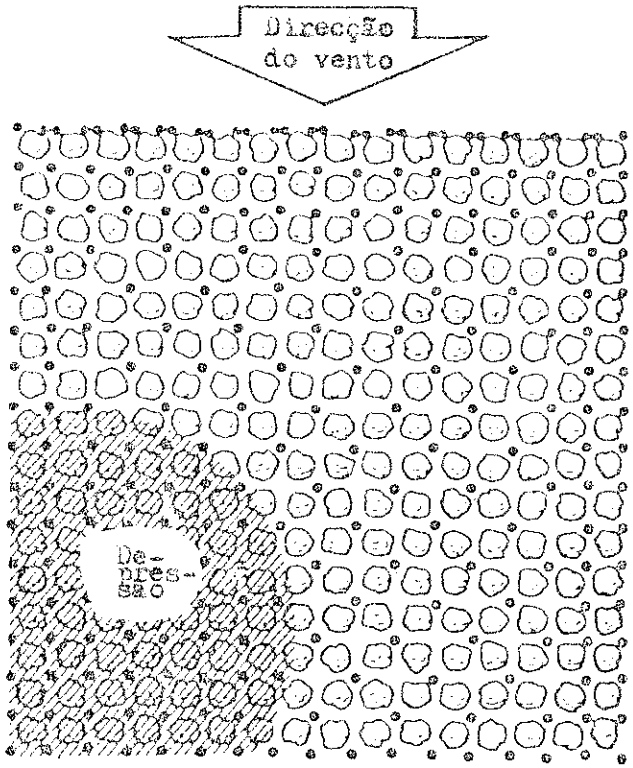


FIGURA XII.9 - Um arranjo possível dos aquecedores.(Segundo ref. 2).

O que fica dito permite-nos compreender, facilmente, a razão pela qual é mais económico aquecer uma grande parcela — ou parcelas vizinhas de parcelas protegidas — do que uma pequena: a extensão relativa da bordadura é menor naquele caso.

É, muito mais fácil, também, proteger árvores grandes do que pequenas. Isto deve-se ao facto do ar quente subir, produzindo um aumento menos marcado da temperatura junto ao solo. As árvores grandes, com maior cobertura das entrelinhas e maiores volumes de copa, são, também, melhores captores da pequena quantidade de radiação emitida {12}.

Vejamos alguns casos exemplares que confirmam o que foi

dito acima, e acrescentam novos dados sobre a eficiência deste método:

(1) Um agricultor da Florida salvou a totalidade da sua produção de citrinos à custa da combustão de 208 000 litros de "fuel-oil", quando a temperatura mínima foi de -8°C.

Utilizou para tal 150 queimadores de chama livre (de 34 litros de capacidade), quadrados e com tampa deslizante, por hectare. Cada queimador consumiu cerca de 0,9 litros por hora, em média, durante uma protecção que totalizou 10 horas, sobre 160 ha {3}.

(2) Uma área de 6 ha foi aquecida com 112 fogareiros de chaminé queimando 2,8 l/h cada em média (3 15 litros. ha^{-1}. $hora^{-1}$) {12}. A temperatura mínima do ar foi de 1,7°C. O talhão experimental era quadrado e estava a ser atingido por um vento de leste para oeste — esquerda → direita no esquema da fig. XII.10 — com a velocidade de 2,4 a 3,2 km/h.

Os gráficos representam a distribuição longitudinal do acréscimo da temperatura pela utilização dos aquecedores na direcção do vento e ao longo da linha média central. O gráfico B da figura assinala os benefícios alcançados pela utilização do dobro dos aquecedores na bordadura de barlavento.

Notar que, em ambos os gráficos, o maior aumento de temperatura se obteve aproximadamente a meio do campo, segundo a direcção do vento, e que aquele foi reduzido junto à bordadura de barlavento (aprox. 40%) e de sotavento (aprox. 60%).Daqui se infere a necessidade de colocar aquecedores suplementares em todas as bordaduras e não só na de barlavento. No gráfico B também se pode verificar que um aumento da ordem dos 50% foi conseguido com um reforço do número de aquecedores — duplicou-se o seu número.

Acontece mesmo que alguns agricultores cancelam as suas operações de defesa por aquecimento quando vêem os aquecedores nos pomares vizinhos acesos{21}.

GRÁFICO A

Efeito de inversão

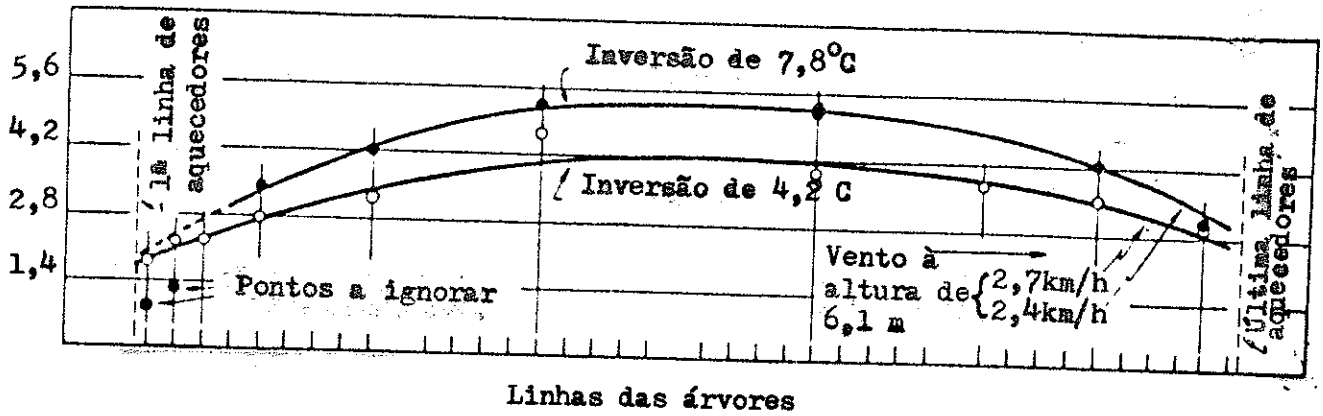


GRÁFICO B

Efeito dos aquecedores de bordadura; inversão: 4,2° C

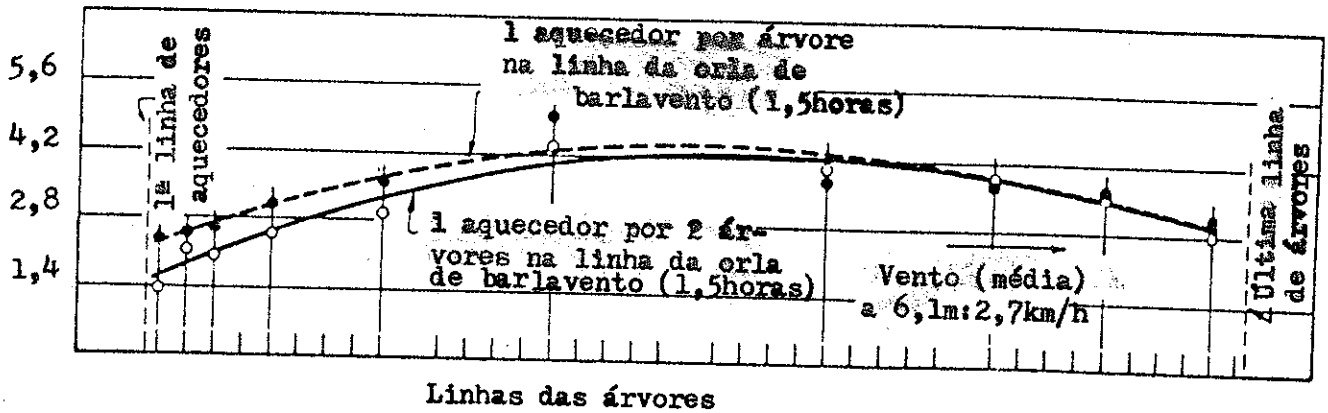


FIGURA XII.10 - Aquecimento de uma área de 6 ha. (Seg. a ref. 12).

(3) Como vimos (ver X.1.3) as perdas de energia radiante da superfície terrestre, numa noite típica de geada de radiação, são aproximadamente 0,16 cal. cm^{-2}. min^{-1}. Isto equivale a 9,6 x x 10^8 cal. ha^{-1}. h^{-1}.

Na ref. 3 refere-se que as necessidades reais determinadas por Cendenin, situam-se entre 12 x 10^8 até 24 x 10^8 cal.ha^{-1}. h^{-1}. Em termos de combustível (1 litro de gasóleo ≃ 9,1 x 10^6 cal) isto significa um gasto de 132 - 264 litros por hora e por ha(3). A protecção conferida é quase linear com o número de aque

cedores utilizados.

(4) Mason, citado na ref. 3, quanto ao número de aquecedores de chama livre -"5-quart lard pail"[*] —, diz que:

"Ensaios mostraram os seguintes resultados:

Nº de queimadores por hectare	Máxima protecção
150 sem controladores de combustão	4°C
112 " " " "	2°C
150 com " " "	1,5°C
112 " " " "	1°C

Um aquecimento económico não deve requerer mais do que 150 aquecedores por ha, embora possam ser utilizados mais em sítios particularmente susceptíveis".

XII.3.4 - Algumas questões ligadas com a prática do método

É prática corrente e aconselhável que os aquecedores fiquem em posição de funcionamento durante toda a época normal de protecção com a sua dotação.

Por vezes os aquecedores ficam todo o ano no campo, especialmente quando se adoptam modelos de grandes dimensões.

A distribuição deve ser uniforme dentro da parcela, — atendendo contudo às particularidades do terreno — aumentando junto a todas as bordaduras, especialmente na(s) de barlavento,

---

[*] Ver figura XII.6. Estes aquecedores de 5/4 de galão americano, sem controlador de chama consomem o combustível em 1,5 horas, e com controlador em 4 horas.

a concentração dos queimadores (ver fig. XII.9).

Quanto a números já demos uma ideia, sendo boa prática a ignição à medida que as necessidades aumentam e/ou os aquecedores diminuem em eficiência. Isto acontece como se disse mormente nos de chama livre, devido à acumulação de carbono não queimado e à descida do nível do combustível. Para obviar a este inconveniente temos instrumentos que se podem revelar úteis:

(1) "Sprays" catalíticos que ocasionam a diminuição da acumulação de carbono.

(2) Enchimento dos recipientes antes que fiquem quase vazios.

(3) Limpeza dos aquecedores de chama livre em funcionamento com uma vara, ou, simplesmente, percurtindo o aquecedor de molde a soltar a fuligem acumulada.

Para a ignição podem-se utilizar acendedores de tipo especial, utilizando como combustível uma mistura de gasóleo e gasolina em partes iguais (fig. XII.6).

Os aquecedores em operação, ou após uma geada, têm que ser reabastecidos de combustível, podendo-se utilizar baldes ou meios mais sofisticados e eficientes como tanques rebocados pelo trator e que permitem encher duas filas de queimadores simultâneamente.

Quando se utiliza o aquecimento directo começa-se a fazer a protecção quando nos aproximamos da temperatura crítica, medida em abrigo apropriado (ver fig. XII.11). Deve-se começar por acender os queimadores junto às bordaduras e prosseguir sempre de fora para dentro.

Poderiamos alongar-nos bastante mais sobre os aspectos práticos deste método mas a sua importância em Portugal não o justificaria.

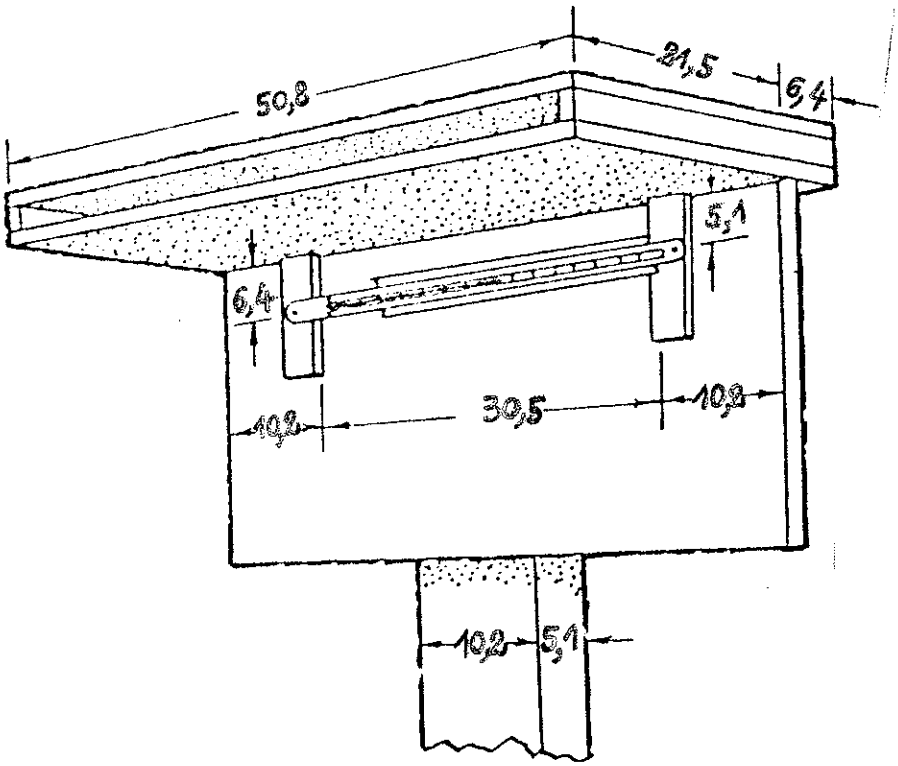


FIGURA XII.11 - Abrigo padrão (Seg. ref. 2).

XII.4 - Sistemas de distribuição centralizada

Estão hoje em funcionamento sistemas que utilizam tubagens de vários tipos, incluindo de PVC e PE, para o transporte de combustível para os aquecedores; trabalhando estes a gás natural, propano líquido, e gasóleo. O grau de automatização pode ser muito grande incluindo, além da distribuição de combustível e regulação da taxa de combustão, ignição e fecho automáticos. O Homem nas instalações mais evoluídas limita-se a ver se tudo corre bem.

O custo das instalações deste tipo é muito elevado, mas há economias no que respeita a mão-de-obra, em combustível, —

porque a taxa de combustão, é ajustada automaticamente. É uma instalação do futuro, aparentemente sem futuro devido ao crescente preço dos combustíveis que faz com que este método tenha vindo a ser abandonado.

XII.5 - Outros sistemas de aquecimento

Martsolf {14} refere Turrel (1973) como tendo descrito um sistema de lâmpadas de filamento de carvão com reflectores colocadas a cerca de 1,5 m por cima de citrinos, em 26 pomares no sul da Califórnia. Este mesmo autor referia a baixa eficiência do sistema.

Um sistema que tem validade técnica limitada consiste na instalação de radiadores de infravermelhos {13, 16, 4}. Evita-se aquecer o ar ambiente, mas a temperatura elevada e a pontualidade das fontes emissoras diminuem a sua eficiência. Além do "fuel-oil" utiliza-se também o propano líquido como combustível. Para que este sistema seja eficiente são necessários muitos aparelhos que devido ao seu preço de compra elevado, tornam este processo anti-económico {13, 16, 4}.

Testes foram feitos para o aquecimento electrostático de citrinos; explora-se mais esta hipótese para a protecção das plantas contra as geadas {11}.

XII.6 - Combinação de aquecedores com outros métodos

XII.6.1 - Combinação de aquecedores e rega por aspersão

Este método utiliza tanto a libertação do calor latente de fusão como o calor sensível libertado pelos aquecedores (ver fig. XII.12).

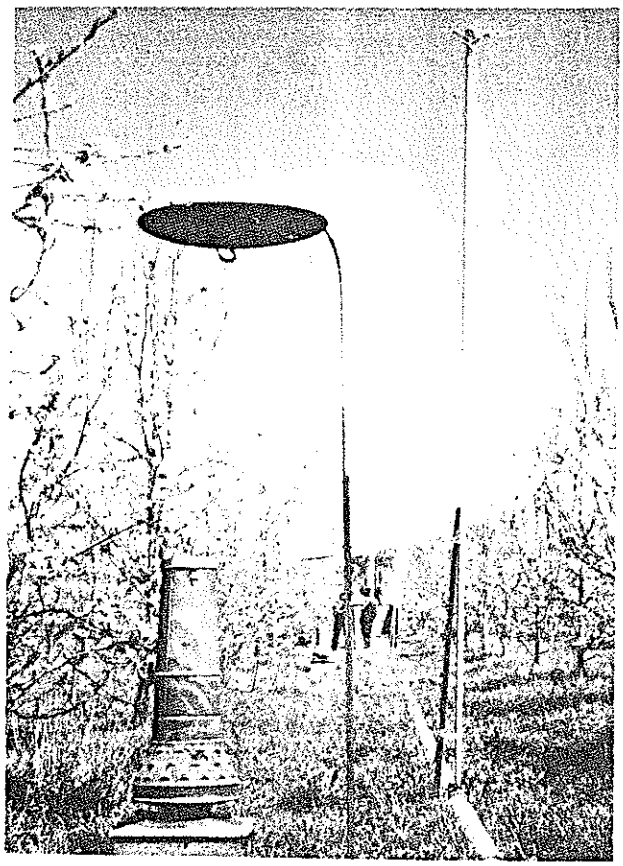


FIGURA XII.12 - Uma combinação eficiente de aquecimento e rega por aspersão (Seg. ref. 14).

XII.6.2 - Combinação de aquecedores com nevoeiro artificial

Martsolf {14} diz que há possibilidades de que o nevoeiro aumente a eficiência dos aquecedores, impedindo (em parte) as perdas de calor por radiação. Não há, contudo, resultados significativos.

XII.6.3 - Combinação de aquecedores e ventiladores

A resposta conseguida pela operação conjunta de ventiladores e aquecedores foi 20-30% superior em termos de aumento da

temperatura — do que a soma das respostas obtidas pelos dois meios isoladamente. Isto quando se utilizou um ventilador de 90 c.v. e 38 aquecedores por ha {5}.

Outro ensaio {6}registou que, pelo simples facto de se terem colocado aquecedores junto aos limites de um talhão de 4,4 ha de pessegueiros, houve aumentos de temperatura sensí - veis (ver fig. XII.13).

Esta prática melhora bastante o rendimento de um ventilador porque as barreiras de ar quente que ascende, com o re - sultado da convecção forçada, delimitam o espaço físico a in - fluenciar pela máquina, tornando a sua tarefa mais fácil em situações em que não há forte advecção. Caso a advecção seja significativa os aquecedores aquecem, também, um pouco o ar que invade a parcela.

Devem-se colocar aquecedores dentro da parcela quando necessário, mas não nas imediações do ventilador — uns 30 me - tros sem aquecedores para ventiladores de 100 c.v. {15}. Veja-se um dos esquemas possíveis na fig. XII.14 admitindo a existência de uma direcção com vento dominante. Angus é creditado por Martsolf, {15}, como tendo afirmado que cerca de 37 aquecedores de chaminé de retorno por ha é um número aconselhável,com o "American Machines System". Este sistema utiliza ventilado - res que desenvolvem uma potência de aproximadamente 100 c.v., sendo as hélices colocadas em torres até 12 metros.

Junto aos cantos dos talhões quadrados, ou sempre que a influência do ventilador já não se faz sentir, os aquecedo - res têm que assegurar toda a protecção.

Em noites de geada pouco severa e com inversões fortes pode-se dispensar a utilização dos aquecedores.

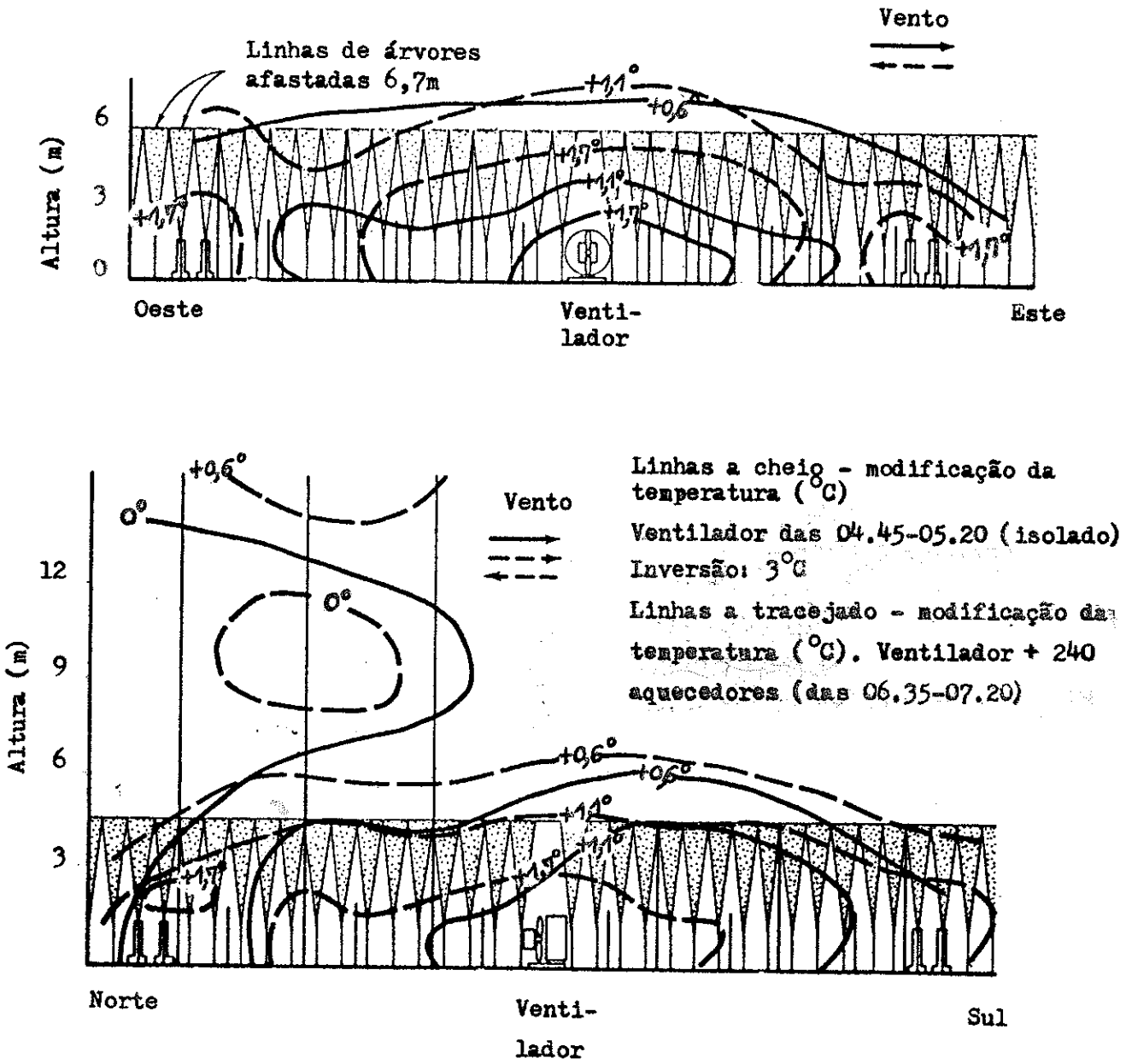


FIGURA XII.13 - Corte esquemático das respostas de temperatura produzidas por operação com um ventilador acompanhado ou não por aquecedores.(Seg. ref. 6).

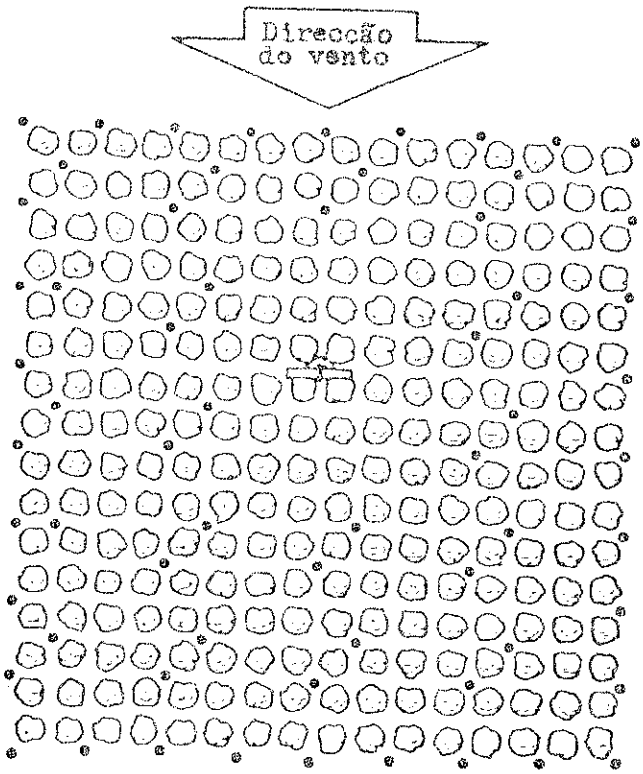


FIGURA XII.14 - Arranjo possível de aquecedores em combinação com ventiladores. Note-se que os aquecedores não estão na proximidade do ventilador. (Seg. ref. 2).

XII.7 - Conclusões

Este método — aquecimento directo — é muito eficaz, mormente quando as condições são propícias: geadas de radiação e inversões fortes. É, todavia, muito caro em qualquer país, sendo apenas suportável, em larga escala, em países produtores e/ou onde os combustíveis são menos caros. Mesmo nestes casos, está a ser progressivamente abandonado, em favor de outros métodos. Além disso os encargos em mão-de-obra também são importantes. Alguns métodos mistos citados neste capítulo já são, contudo, mais acessíveis.

Em Portugal este método é de excluir totalmente para a generalidade das culturas, porque, por um lado, existem métodos alternativos mais económicos e igualmente eficientes nas nossas condições; por outro lado, os combustíveis são no nosso País muito caros, em termos absolutos e relativos, e os preços atingidos pela maioria das produções são baixos.

Em Portugal uma protecção incidindo sobre 1 ha, durante 6 horas e duas vezes por ano, oneraria a cultura em:

(1 ha x 6 h x 2 vezes x 150 queimadores x 1,18 l/h x 66$00/l)=

= 132.034 escudos/(ha.ano)(*)

Note-se que, apesar de tudo, e de acordo com que foi dito em XII.3.3., a protecção a esperar seria, apenas, de 1,5°C.

(*) Admite-se, a utilização de 150 queimadores de gasóleo - tipo: "5-quart lard pail" - com controlador de combustão, gastando 1,18 l/h, a 66 escudos o litro.

{1} - BAGDONAS, A., GEORG, J.C. & GERBER, J.F. 1978. Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection. *Tech. Note No. 157, WMO,* Geneva.160 pp.

{2} - BALLARD, J.K. & PROEBSTING, E.L. 1972. Frost and frost control in Washington orchards. *Ext. Bull. 634, Wash. State Univ.*, Pullman, Wash., 27 pp.

{3} - BLANC, M.L., *et al.* 1963. Protection against frost damage. *Tech. Note No. 51. WMO.* 62 pp.

{4} - BOUCHET, R.J. 1965. Problèmes des gelées de printemps. *Agric. Meteorol.* 2:167-195.

{5} - BROOKS, F.A., RHOADES, D.G. & SCHULTZ, H.B. 1950. Frost protection by combining wind machines with distributed heatears. Calif. Agric. 4(9).

{6} - CRAWFORD, T.V. 1965. Protection from cold. Frost protection with wind machines and heaters. *In:* WAGGONER,P.E. (ed.), *Agricultural Meteorol.*, chap. 4, sec. 2. *Meteorol. Monogr. 6:81-87. Amer. Meteorol. Soc.* Boston.

{7} - GERBER, J.F. 1969. Petroleum coke heatears v.s. conventional heatears. *In:* CHAPMAN, H.D. (ed.), *Proc.First. Int. Citrus Symps.* II, pp. 535-538. Univ. of Calif., Riverside.

{8} - HAMER, P.J.C. 1975. Frost protection by heating. *In:* PEREIRA, H.C. (ed.), *Climate and the Orchard.* Commw.Bur. Hortic. Plant Crops, Res. Rev., 5:82-87.

{9} - HENSZ, R.A. 1969. Petroleum coke fuel blocks: alone and with wind machines. *In:* CHAPMAN, H.P. (ed.), *First Int. Citrus Symp.* II. pp. 529-533. Univ. of Calif., Riverside.

{10} - HEWTT, E.W. 1971. Preventing frost damage to fruit trees. *Information Series No. 86.* New Zealand Dept. of Sci.and Ind. Res. 55 pp.

{11} - HORANIC, G.E. & YELENOSKY, G. 1969. Electrostatic heating of citrus trees. *Proc. First Int. Citrus Symp.* Vol. 2, pp. 539-544.

{12} - KEPNER, R.A. 1951. Effectiveness of orchard heatears. *Calif. Agric. Exp. Bull.* 723. 30 pp.

{13} - LEHOCZKY, M.M.L. & NACSÀDY, A. 1980. Méthodes et moyens de protection contre la gelée. *Rapport Agri/ /Mech No 85. Commission Économique pour l'Europe. Nations Unies.* 27 pp.

{14} - MARTSOLF, J.D. 1979. Heating for frost protection. *In:* BARFIELD, B.J. & GERBER, J.F. (ed.). *Modification of the Aerial Environment of Crops,* pp. 391-314.

{15} - MARTSOLF, J.D. 1979. Combination wind machines and heaters for frost protection. *In:* BARFIELD, J.J. & GERBER, J.F. (ed.). *Modification of the Aerial Environment of Crops,* pp. 325-326.

{16} - MAURY, P. & MARX, G. 1972. La protection des vignoles contre les gelées de printemps. *Progrès Agric. et Vitic.,* an. 89, No 7, pp.146-155.

{17} - MILLER, M.P.; TURREL, F.M. & AUSTIN, S.W. 1966. Solid fuel candletype orchard heatears. *Calif. Agric.*20(3): 2-4.

{18} - PARSONS, R.A., SCHULTZ, H.B.& LIDER, L.A. 1967. Petroleum coke-based bricks for frost protection. *Calif. Agric.* 21(1): 12-13.

{19} - QUERALTÓ, F.D. 1971. Prática de la defensa contra heladas. Ediciones Dilagro. Lerida. Espanha. 384 pp.

{20} - SCHULTZ, H.B., LIDER, L.A. & PARSONS, R.A. 1968. Orchard heating with solid fuel heating bricks under minimum favorable conditions. *Calif. Agric.* 22, pp. 4-6.

{21} - SCHULTZ, H.B. 1969. Influence of wind drift on frost protection methods. *In: Proc. First Int. Citrus Symp.* Vol. 2, 1969., pp. 571-573.

CAPÍTULO XIII

VENTILAÇÃO FORÇADA

XIII.1 - Introdução

Após a crise do petróleo de 1973 muitos fruticultores americanos (essencialmente citricultores) começaram a instalar nos seus pomares ventiladores com o fim de substituirem, ou coadjuvarem, os aquecedores. Aumentou, então, em flecha o número de ventiladores em operação.

Este método, embora com limitações, como veremos, pode conduzir a uma poupança de energia da ordem dos 90-95% por hora, quando aplicado isoladamente {5}.

O fundamento deste método assenta no seguinte:

(1) 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".

(2) 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 (ver III.3).

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

(4) 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 daquelas pode ser 2-3°C mais baixa do que a temperatura do ar em seu redor {4}, quando o ar está muito parado.

(5) 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 expessura, com auxílio de aquecedores. Ball (1956) utilizando uma equação por ele deduzida calculou que 10^{-1} joules/m^2 são necessários para misturar os 30 metros inferiores de uma atmosfera seca e estável, com uma inversão de 5°C de intensidade.

A potência necessária para manter um estado absoluto de mistura, quando uma camada de 30 metros está continuamente a ser arrefecida por baixo, é aproximadamente $4,5 \times 10^{-2}$ $J.m^{-2}.s^{-1}$ (387 Kcal. ha^{-1}. h^{-1} = 0,62 cv. ha^{-1}). Contudo {3}, são geralmente necessários cerca de 25 cv. ha^{-1} para obter, na prática, um bom estado de mistura do ar.

XIII.2 - Tipos de ventiladores: constituição e funcionamento

Basicamente estas máquinas são constituídas por uma torre, em cuja parte superior se instala a hélice a uma altura que deve variar entre 9 e 10 metros {1}. Também há modelos de duas hélices diametralmente opostas ("duals"). O motor pode estar no topo da torre ou na sua base. Existem máquinas que injectam calor no jacto da hélice; não são contudo eficientes devido à tendência que o ar quente tem para subir {3,6} (ver fig. XIII.1b).

A evolução dos ventiladores foi feita à custa de muitas tentativas frustradas. Inicialmente aparecem com hélices grandes e horizontais, montadas em torres altas, de fraca rotação e potência reduzida. Devido ao pequeno raio de acção destes modelos foram feitas experiências com hélices inclinadas.

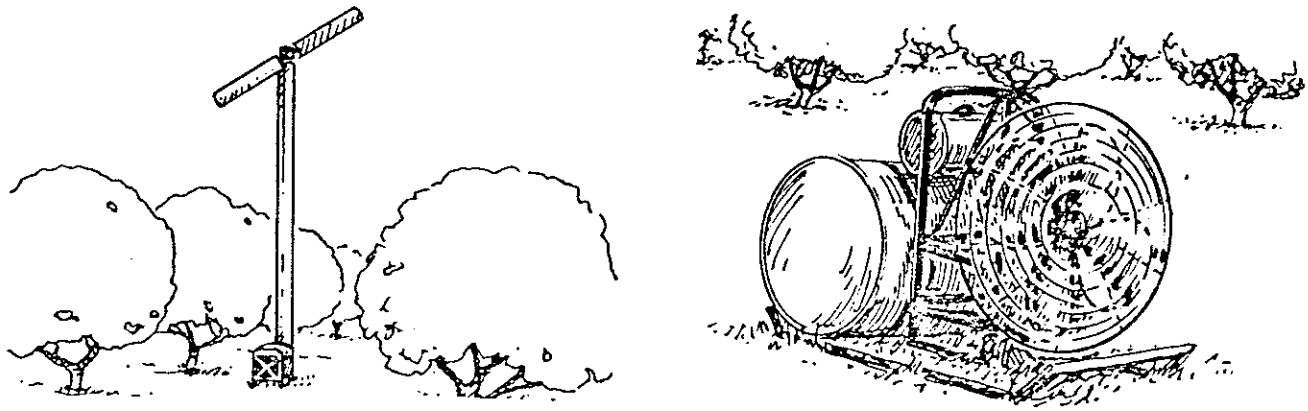


FIGURA XIII.1 - Ventiladores (ext.da ref. 3):
a) Modelo mais utilizado. Com hélice de pás planas e motores instalados no solo, junto à base da torre.
b) Modelo baixo que incorpora ar quente no jacto.São ineficazes.

Nos E.U.A. desenvolveram-se hélices pequenas e de grande velocidade, montadas também em torres, e formando ângulos pequenos com a horizontal — o acréscimo de temperatura é menor, mas o alcance é maior {1,4}. Os melhores modelos actuais são deste último tipo (fig. XIII.1.a)).

O problema teórico consiste em que (Ball, 1956):" A maior parte da energia cinética gerada por uma hélice ou é usada em mistura periférica, a qual não chega ao chão,ou é dissipado por forças de viscosidade resultando no aquecimento directo e ineficiente do ar. Uma hélice de grande diâmetro e baixa velocidade de rotação é ineficiente devido à primeira razão, e uma hélice pequena e de alta velocidade de rotação é ineficiente devido à segunda. O ideal é um compromisso entre os dois extremos". Daqui se conclui que haverá sempre perdas importantes de energia nas situações reais.Está,em parte, explicada a grande discrepância, apresentada em XIII.1, entre as potências calculadas (em condições ideais) e aquelas que na prática são necessárias para que se consiga misturar o ar na camada inferior da atmosfera, dissolvendo a

inversão térmica.

Os modelos mais utilizados têm normalmente os eixos das hélices inclinados para baixo uns 7 graus {p.ex., 10} ; comprimentos de 3-5 m { 1 }; rotação entre 600-800 r.p.m.{1}; rotação de 360° em volta da torre de 4-5 minutos {1}.

Os motores podem ser eléctricos, a gasóleo ou gasolina. Este último tipo é evitado devido aos roubos de gasolina. Como foi dito, acima de cerca de 25 cv/ha são necessários para manter uma mistura de ar adequada {3}. As potências mais comuns situam-se entre os 60-150 cv {1}.

A distância até onde o jacto penetra é de 90-120 metros, não indo a turbulência normalmente além dos 150 m {3}. A protecção efectiva varia de acordo entre os 2 e 5 ha {1}.

Os ventiladores de duas hélices são menos eficientes dos que os de uma — em termos energéticos —, mas resultam mais económicos porque reduzem as despezas na construção das torres {1}. Um ventilador de uma só hélice com um motor da classe dos 70 Kw pode proteger cerca de 4 ha, enquanto que um de duas hélices, com dois motores de 70 Kw aumenta a área protegida somente em 50% {5}.

XIII.3. - Alguns resultados de campo

Os ventiladores provocam uma circulação de ar que se traduz num padrão de distribuição da temperatura superficial com as seguintes características {10} (fig. XIII.2):

(1) Em cada local as temperaturas oscilam em torno de uma temperatura média em função do deslocamente do jacto. As mais baixas ocorrem imediatamente antes das passagens do jacto e as mais altas observam-se 90° a 150° depois da sua passagem.

(2) As isotérmicas apresentam uma configuração reniforme.

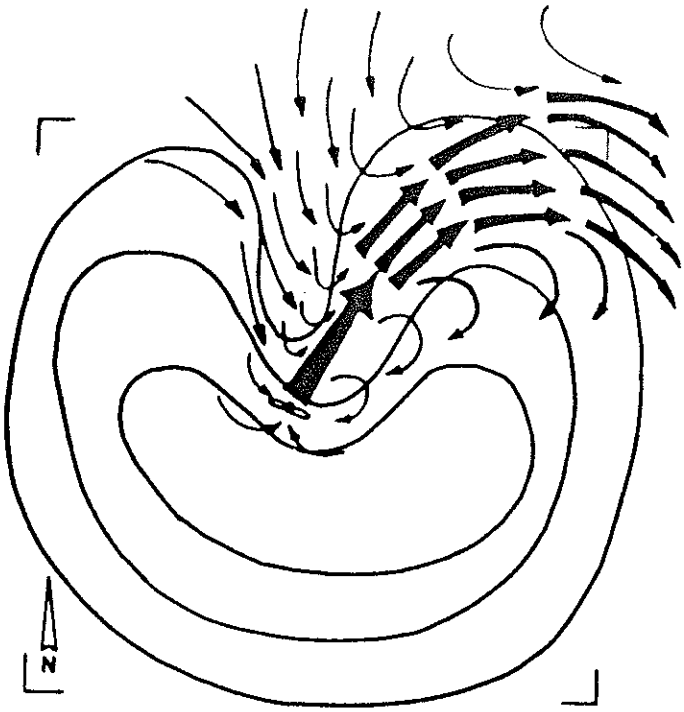


FIGURA XIII.2 - Observações visuais e medições de temperatura permitiram determinar o padrão típico da circulação do ar. As setas a cheio fino indicam que houve entrada de ar frio imediatamente antes da passagem do jacto: notar a depressão das isotérmicas. O jacto foi deflectido no sentido inverso ao movimento (setas a cheio grosso). (Ext. da ref. 10).

Contudo {1,5}, a área de modificação resulta circular, centrada na torre. A protecção decresce desta para o exterior (fig. XIII.3). Este padrão de modificação resulta distorcido, ovalizando-se e deslocando-se, quando há vento (fig. XIII.4).

O grau de protecção e a área beneficiada depende da intensidade do vento. Reese *et al.*, 1969, elaboraram um diagrama baseado em dados experimentais que permite, extrapolando, relacionar a intensidade da inversão com a protecção conseguida num pomar de citrinos com folhas (fig. XIII.5) e sem

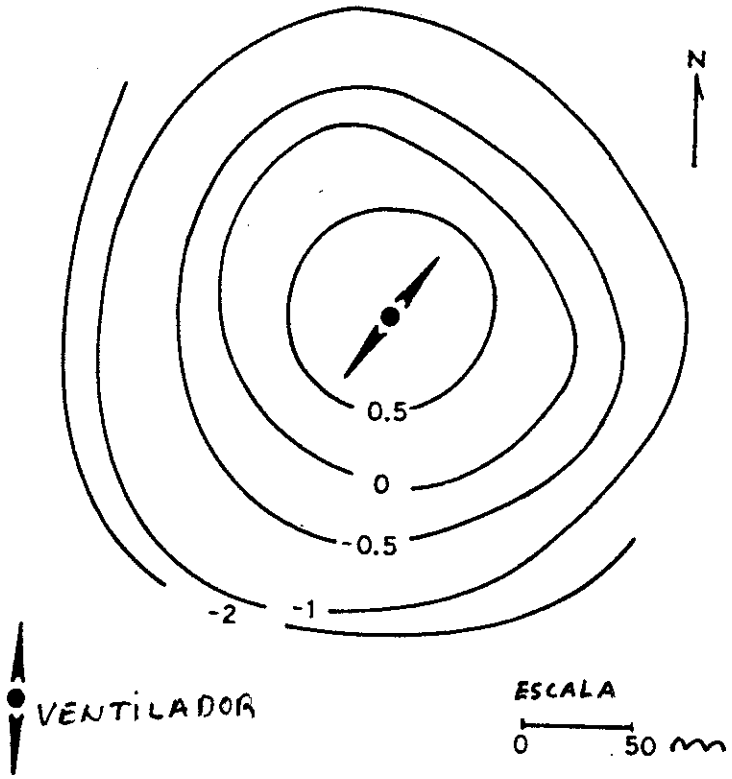


FIGURA XIII.3 - Padrão de protecção de um ventilador de 100 cv, em condições de calma. A intensidade da inversão era de 3,1°C(Seg. a ref. 1).

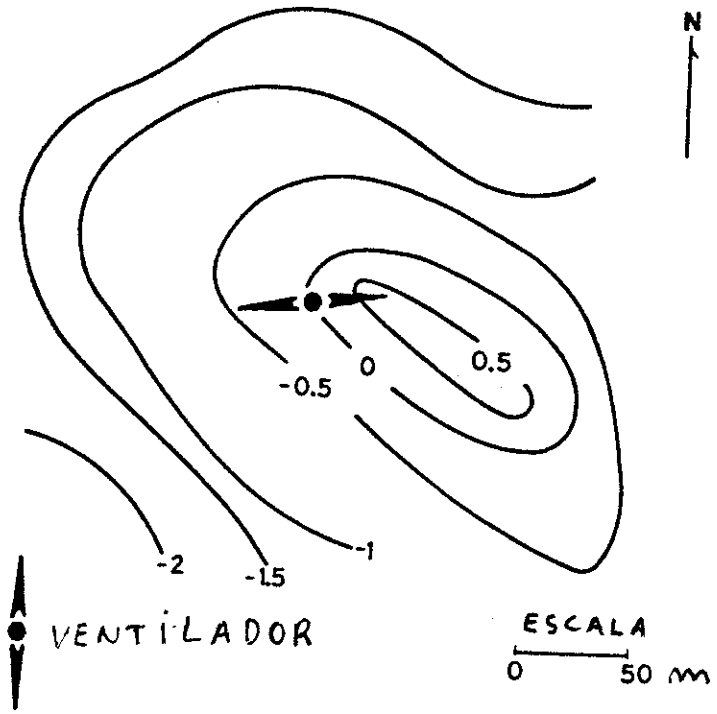


FIGURA XIII.4 - Padrão de protecção de um ventilador de 100 cv, com vento de 1,75 $m.s^{-1}$ à altura de 2 metros. A intensidade da inversão era de 2,2°C(Seg. a ref. 1).

folhas (fig. XIII.6).

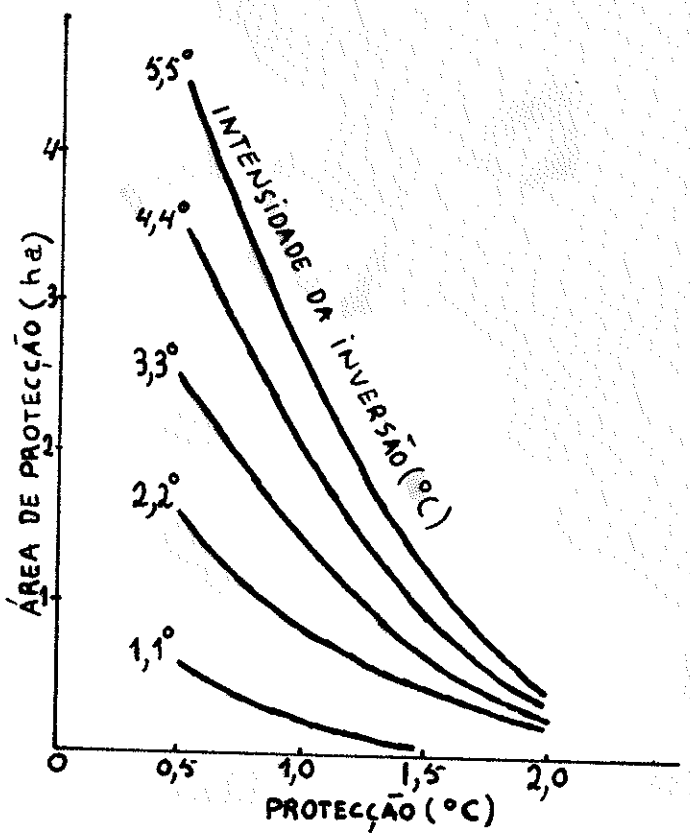


FIG. XIII. 5

Apenas 1/4 a 1/3 (1/2 segundo a ref. 1) da intensidade da inversão (diferença de temperatura entre 15 m e 1,5 m) pode converter-se num aumento da temperatura do ar a 1,5 m do solo {7}.

O tempo de resposta a 1,5 m (mistura adequada do ar) foi de 25-30 min para laranjeiras foliadas e de 15-20 minutos para as mesmas árvores desfoliadas {10}.

Os ventiladores devem começar a funcionar, ininterruptamente, a partir do momento em que a protecção começa a ser necessária {1}.

Numerosos relatórios são concordantes em que a inter -

rupção do funcionamento resulta na dificuldade de voltar a alcançar uma temperatura perdida, provavelmente porque a inversão desenvolvida resulta particularmente estável {1, 5}.

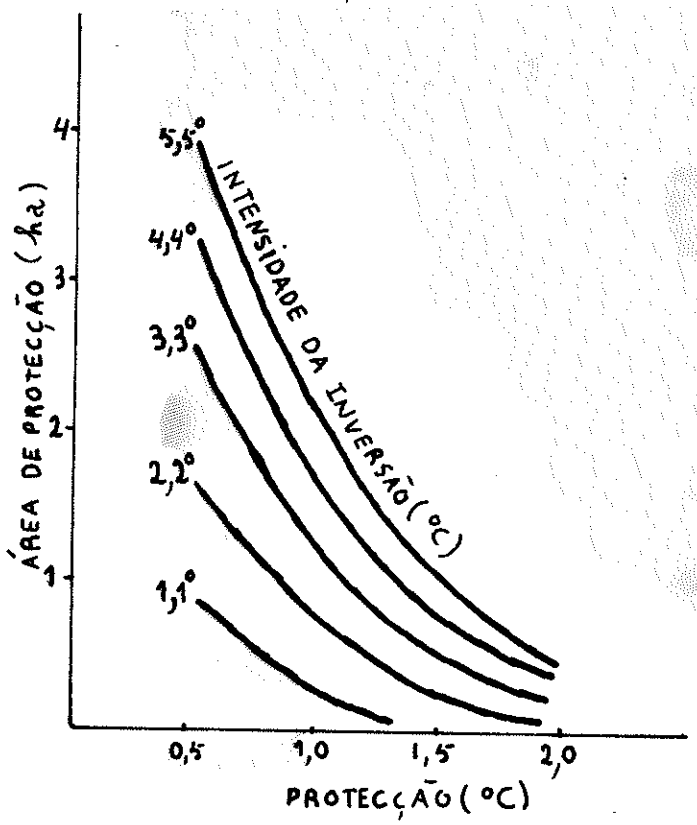


FIG. XIII. 6

XIII.4 - Conclusões e condições de operação

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:

(1) Frequência de ocorrência das geadas e sua severidade.

(2) Tipo: radiação ou advecção.

(3) Intensidade das inversões.

As geadas de advecção, inversões fracas, e severidade

elevada são condições que tornam o uso de ventiladores ineficaz.

No que respeita a saber se são economicamente viáveis devem-se considerar os encargos fixos — que são elevados — e os variáveis — relativamente baixos(*). Além da frequência, alternativas, valor comercial das produções, etc.

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

(1) Com velocidades do vento superiores a 2,5 m/s os ventiladores não devem ser postos em funcionamento {5}.

(2) A velocidade de rotação da hélice deve ser controlada por um conta-voltas {1,5} .

(3) A velocidade de rotação em torno da torre deve também ser controlada {1,5 } .

(4) As máquinas devem ser testadas antes da ocorrência de geada para que haja a certeza que se mantêm operacionais { 1,5 }.

(5) Múltiplas instalações de ventiladores são mais eficientes do que a soma delas. Este efeito sinergético, produzido pela interacção dos ventiladores, desaconselha as grandes unidades/potências {1,5,9}.

Os elevados custos do equipamento e escassez de algumas facilidades existentes noutros países — peças usadas de helicópteros e aviões, p.ex. — fazem afastar esta hipótese para Portugal,na generalidade dos casos.

(*) Miles *et al.*,{7}, referem encargos fixos da ordem dos 310 "U.S. Dolls" por hectare (em 1974). Os encargos variáveis em 1976, eram de $1,25/(ha.h).

XIII.5 - Helicópteros

O uso de helicópteros para fazer funções idênticas aos ventiladores, anteriormente referidos, tem sido uma realidade em alguns países.

Uma modificação de temperatura até 3,3°C e persistindo até 40 min, com $T_{15\ m} - T_{1,5\ m} = 7,8°C$ foi observada por Miles *et al.*, 1971, {8}.

Um helicóptero de 3 270 kg obteve uma protecção equivalente à dada por ventiladores, fazendo uma passagem de 10 em 10 minutos, a 40 km/h e abrangendo uma faixa de 75 metros de largura. Daqui se conclui que um único aparelho pode dar protecção a 60 ha.

Este helicóptero foi um Sikorsky S-55-T gastando 160 litros de combustível JP-4 por hora. O preço horário de aluguer era de cerca de $ 400 por hora (em 1976) {7}.

Para as condições californianas este é um método que, em grandes operações, é eficiente e menos caro {9}.

Em Portugal não se podem encarar soluções deste tipo.

XIII.6 - Referências

{1} - BAGDONAS, A., GEORG, J.C. & GERBER, J.F. 1978. Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection. *Tech. Note No* 157. *WMO*.Geneva.160 pp.

{2} - BALL, F.K. 1956.Energy changes involved in disturbing a dry atmosphere. *Quart. J. Royal Meteorological Soc.* 82 (351):15-29.

{3} - BALLARD, J.K. & PROEBSTING, E.L. 1978. Frost and frost control in Washington orchards. *Ext. Bull. 634. Washington State University*. Pullman, Wash., 27 pp.

{4} - BLANC, M.L. *et al.* 1963. Protection against frost damage. *WMO. Tech. Note No.* 51. 62 pp.

{5} - GERBER, J.F. 1979. Mixing the bottom of the atmosphere to modify temperatures on cold nights. *In:* BARFIELD, B.J. & GERBER, J.F. (ed.). *Modification of the Aerial Environment of Crops.* p. 315-324.

{6} - LEOCZKY, M.M.L. & NACSÀDY, A. 1980. Méthodes et moyens de protection contre la gelée. *Nations Unies. Commission Économique pour l'Europe. Rapport Agri/Mech No* 85. 27 pp.

{7} - MILES,J.A. & HINZ, W.W. 1976. Helicopters as frost protection devices. *Transactions of the ASAE* 19(4):672--674, 677.

{8} - MILLER, M. *et al.* 1971. Helicopters for frost protection. *Calif. Agri.* 25(11):3-4.

{9} - PROEBSTING, E.L. 1975. Reducing energy consumption in cold protection. *Hortscience* 10(5):463-465.

{10} - REESE, R.L. & GERBER, J.F. 1969. An empirical description of cold protection provided by a wind machine. *Am. Soc. Hort. Sci.* 94:697-700.

CAPÍTULO XIV

As regas

XIV. 1 - Rega clássica e rega de lima

A água é a segunda substância de maior calor específico — 1 cal. g^{-1}. $^{o}C^{-1}$. Por outro lado, a condutividade térmica da água é muito superior à do ar. Estas propriedades da água, a par do seu baixo custo, permitem a sua utilização nos aumentos da condutividade térmica e da capacidade calorífica volumétrica do solo, através da rega (ver III.2.1.3) {4,8,18}.

Podem separar-se os seguintes efeitos das regas:

(1) Aumento da condutividade térmica do solo.

(2) Aumento da capacidade calorífica do solo.

(3) Aumento da evapotranspiração.

(4) Transporte de calor sensível na água.

(5) Diminuição do albedo da superfície.

(6) Libertação do calor latente de fusão, em algumas situações.

(7) Aumento das susceptibilidade das plantas à geada, em alguns casos.

Embora a condutividade térmica da água seja menor do que a do solo seco e compacto, a rega aumenta a grandeza daquela propriedade. Isto, porque substitui o ar que é um bom isolador térmico {8}.

A condutividade térmica aumenta rapidamente até se atingir cerca de 20% (V/V) de saturação. A partir deste ponto o aumento é ligeiro. O tipo de solo e o estado de compactação jogam, também, um importante papel {8}.

A *capacidade calorífica* volumétrica de um solo húmido e homogéneo (densidade x calor específico) é igual à soma das capacidades caloríficas volumétricas dos seus constituintes, sendo dada pela fórmula:

$$c_v = \rho_b (c_s + \frac{PW}{100}) \quad [\text{cal. cm}^{-3}. \ ^{o}C^{-1}]$$

onde ρ_b é a massa volúmica do solo (g. cm^{-3}), c_s é o calor específico dos sólidos do solo (cal. g^{-1}. $^{o}C^{-1}$) e PW é a humidade do solo em percentagem.

Como a densidade e o calor específico da água são maiores do que os do solo, a capacidade calorífica aumenta constantemente até à saturação {8}.

É sabido que a *evapotranspiração* aumenta com a temperatura e défice de saturação do ar, radiação líquida, velocidade do vento, humidade do solo, etc. Cada grama de água que se evapora consome cerca de 600 calorias. Felizmente, contudo, em noites de geada de radiação as condições não são muito propícias à evaporação.

A água de rega tem uma temperatura positiva que depende da sua origem. No fundo de lagos e albufeiras está sempre acima de 4°C — temperatura para a qual a sua densidade é máxima. Em depósitos e reservas naturais subterrâneas as oscilações diurnas da temperatura são pequenas.

Como cada grama de água liberta cerca de 1 caloria quando a sua temperatura desce de 1°C, quantidades importantes de calor são transportadas pela água de rega, podendo ser libertadas para minorar o arrefecimento superficial do solo.

Este efeito tem, contudo, curta duração, *per se*, a não ser quando a água está permanentemente a ser renovada (p.ex., rega de lima).

O *albedo* (pequenos c.d.o.) das superfícies naturais diminui frequentemente quando a humidade do solo aumenta. Isto não resulta, porém, num aumento da energia térmica que é armazenada pelo solo durante o dia, visto que a evaporação também

aumenta {4}.

A *água, ao congelar*, liberta aprox. 80 cal/g. Em situações em que a rega é copiosa, ficando as plantas em parte submersas, e as condições muito rigorosas, aquele calor latente libertado reduz a taxa de arrefecimento. Frequentemente a congelação só se dá junto aos caules das plantas, devido ao facto de estas estarem mais frias.

Como vimos (Cap. V), o aumento da turgidez das células traduz-se, geralmente, numa *diminuição da geado-resistência*. Deve, contudo, notar-se que muitas plantas, independentemente do estado hídrico do solo, reduzem o teor de água das suas células durante o estado de aclimatação (p. ex., ref.10). Por outro lado, existe um certo desfasamento entre o aumento da humidade do solo e do estado hídrico das plantas. Este desfasamento pode ser suficiente para evitar que a rega afecte a turgidez das células (e a geado-resistência) durante as noites de geada.

No caso dos citrinos, a rega pode originar a rebentação invernal das plantas, aumentando a sua susceptibilidade às geadas { 4 }. Nas nossas condições, este problema não se deve pôr, visto que a pluviosidade é elevada naquela estação do ano.

XIV.1.1 - Rega clássica (ver também IX.9).

Os efeitos (1), (2), (4), (6) são favoráveis, sendo os (3) e (7) adversos. Dentre os primeiros, o aumento da condutividade térmica joga o papel mais importante.

Para minorar a acção dos efeitos 3 e 7 deve fazer-se a rega ao fim da tarde { 4 }.

Poder-se-ia, também, falar no efeito resultante do aumento da humidade atmosférica e formação de neblina ou nevoeiro, sobre a redução das perdas líquidas de radiação. Ele é, em geral, desprezável a não ser que a área regada seja muito grande, haja calma e a evaporação do fim da tarde permita uma elevação substancial do ponto de orvalho.

A irrigação clássica pode conferir até 4°C de protecção. A eficiência deste método é maior na primeira noite de geada, visto que nas subsequentes o transporte de calor sensível não existe {8}.

A rega pode ir até à submersão parcial ou mesmo total das plantas, quando estas são tolerantes. Tem como inconvenientes o facto de favorecer o aparecimento de doenças criptogâmicas e a asfixia radicular em plantas sensíveis e de ter efeitos perniciosos sobre a estrutura do solo.

Em Portugal, o método é empregue em culturas hortícolas, vinhas e citrinos { 4 }.

A sua maior eficiência será de esperar em culturas baixas, quando a área regada é apreciável, o vento é fraco, o défice de saturação do ar tem um valor baixo e o ar sobre a parcela não tem origem fora dela.

XIV.1.2 - Rega de lima

A rega de lima, prática corrente no Norte do País e em Espanha, consiste no escorrimento contínuo de uma camada de água sobre o terreno a proteger, sendo as plantas total ou parcialmente submersas { 4,17 }.

Os efeitos desta rega são os mesmos do que os citados em XIV.1.1, a propósito da rega clássica, sendo, desta feita, o transporte de calor sensível na água o efeito preponderante. A sua eficiência técnica e económica é, em geral, elevada. O caudal deve ser calculado atendendo à severidade da geada e à temperatura da água { 17}.

Em Portugal tem sido utilizada fundamentalmente para proteger prados de azevém e erva castelhana { 4 }, mas pode ser utilizada com êxito em muitas culturas baixas.

Calculemos, aproximadamente, o caudal necessário para que a superfície (da água) se mantenha a 0°C, supondo que a temperatura do ponto de orvalho é de 0°C (273 K) e que as perdas de calor por evaporação e advecção, mais pequenas no caso da

geada de radiação, são compensadas pelo gelo que sempre se forma.

A fórmula de Ångström (ver III.2.1.2) permite calcular a radiação da atmosfera ($L\downarrow$) numa noite de céu limpo:

$$L\downarrow \text{ (céu limpo)} = \sigma T^4 (a - b.10^{-c.e}) \quad (cal.cm^{-2}.min^{-1})$$

onde $\sigma = 8{,}26 \times 10^{-11}$ cal. cm^{-2}. K^{-4}, $\underline{T}$ é a temperatura do ar(K) e $\underline{a}$ = 0,820, $\underline{b}$=0,250, c=0,126 e $\underline{e}$ é a tensão real do vapor(mm de Hg).

A radiação efectiva (R_T) da superfície de um corpo negro à temperatura do ar será

$$R_T = \sigma T^4 - \sigma T^4 (a - b.10^{-c.e}) = \sigma T^4 (0{,}180 + 0{,}250 \times 10^{-0{,}126.e}) \quad [cal.\ cm^{-2}.min^{-1}] \qquad (XIV.1)$$

Considerando a superfície líquida como um corpo negro à temperatura de 0^oC e atendendo a que, por hipótese $\underline{e} = e_{max}$ = =4,58 mm Hg, temos que R_T dado por (XIV.1) é igual a 0,13 cal. cm^{-2}. min^{-1}.

Por hectare e por hora, a radiação efectiva será:

$$R_T' = 780 \times 10^6 \text{ cal. } ha^{-1}.\ h^{-1}$$

Como 1 litro de água (=1 kg) liberta 10^3 calorias por cada ^oC de abaixamento da temperatura:

$$Q = \frac{R_T'}{\Delta t.10^3} \qquad (l.ha^{-1}.\ h^{-1}) \qquad (XIV.2)$$

sendo $\underline{Q}$ o caudal e Δt a descida de temperatura da água em ^oC.

Por exemplo, utilizando uma água a 10^oC:

$$Q = \frac{780 \times 10^6}{10 \times 10^3} = 78\ 000\ l/(ha.h)$$

A fórmula (XIV.2) deve ser afectada de um factor que atenda ao maior ou menor afastamento das hipóteses formuladas. Por outro lado, nada impede que consideremos valores diferentes para as temperaturas do ar e da superfície líquida.

A rega deve começar antes que se atinja 0°C (p.ex., 1°C) atendendo ao tempo previsto para alagar a parcela e à taxa de descida da temperatura.

XIV.2 - Rega por aspersão

XIV.2.1 - Introdução

A rega por aspersão, como método de luta contra as geadas, tem vindo a ser utilizada em muitos países (Alemanha, Estados Unidos da América, Itália, França, Áustria, Suíça, Inglaterra, Espanha, Argentina, etc.). Em Portugal também já existem instalações de rega por aspersão que são usadas para esse fim {19}.

As técnicas deste método fundamentam-se, normalmente, no aproveitamento pelas plantas de parte do calor latente de fusão da água (cerca de 80 cal/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 orgãos destas mantém-se próxima de 0°C — 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.

Por vezes, também, com a rega por aspersão pretende-se exactamente alcançar os mesmos efeitos do que com a rega clássica, na luta contra as geadas (ver XIV. 1.1.).

XIV.2.2 - Fundamentos do método

XIV.2.2.1 - 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 {1,16}.

Anderson *et al.* (1973) conseguiram assim atrasar a floração em 15 e 17 dias em cerejeiras e macieiras, respectivamente. O sistema automático de rega por aspersão iniciava o seu funcionamento quando após o fim do repouso a temperatura excedia 7,2°C.

Esta técnica está, porém, ainda numa fase experimental.

XIV.2.2.2 - Libertação do calor latente de fusão da água

XIV.2.2.1.1 - Rega por aspersão por baixo das copas.

Os citrinos, árvores de folha persistente, são por vezes muito danificadas pelo peso do gelo que se forma aquando da protecção resultante da rega por aspersão por cima das copas. Por esta razão esta usa-se muito pouco nos E.U.A. {3,9} preferindo-se a rega por aspersão por baixo das copas, com aspersores de jacto rasante. Contudo, em Portugal, onde as geadas são menos severas, a quantidade de gelo não é de molde a danificar muito as árvores, sendo possível e aconselhável — como veremos — a utilização da rega por cima das copas.

A protecção alcançada é de cerca de 1°C — com o ponto de orvalho acima de 0°C. O calor latente de fusão é libertado quando a água se transforma em gelo e a transferência de calor para a copa faz-se por radiação e convecção {2}.

XIV.2.2.1.2 - 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 (80 cal/g). 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 de agitação do ar.

Um défice de saturação e agitação elevados provocam perdas de calor latente por evaporação 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 (ver caps. V, VI e VII), 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 (ver XIV.1) que contribuem para a sua eficiência, embora secundariamente.

Só este processo será aprofundado, dado o seu maior interesse.

(*) O calor sensível libertado como resultado do abaixamento de temperatura da água até 0°C perde-se no trajecto ar-planta: as gotas que atingem as superfícies vegetais estão a uma temperatura muito próxima de 0°C {9}.

XIV.2.3 - Parâmetros da rega

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.).

Experiências recentes (em França) levam a que se aconselhe as seguintes *pluviometrias* {19}:

citrinos ----------	2,0 a 2,5 mm/h
fruteiras caducifólias ----------	4,0 "
vinhas altas ----------	4,0 "
" médias ----------	3,0 a 3,5 "
" 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 atender-se às condições mais desfavoráveis, de que ainda vale a pena proteger as plantas, para a estimativa deste parâmetro de rega {9,16}.

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

---

(*) Existem, contudo, sistemas de rega por aspersão que fornecem automaticamente uma pluviometria variável. Têm a grande vantagem de permitir minimizar a aplicação da água, tornando este método exequível num maior número de casos e aumentando a sua eficiência. Hamer (1980) alcançou uma protecção eficiente contra uma geada primaveril utilizando apenas metade da quantidade normal de água.

{2,3,20}.

O *grau de pulverização* dos jactos deve ser bastante grande para que a distribuição da água seja quase perfeita, cobrindo-se todos os orgãos 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 deve utilizar pressões inferiores a 3,5 kg/cm^2 {19}.

Em geral, define-se o grau de pulverização g_p do jacto de uma agulheta por:

$$g_p = \frac{h_p}{d}$$

onde h_p (m) é a altura representativa da pressão de funcionamento do aspersor e d (mm) o diâmetro da agulheta. Então, o grau de pulverização mais apropriado, neste caso, é de 8 a 10, podendo chegar-se até 12 {19}.

XIV.2.4 - Equipamento utilizado

Pode utilizar-se o vulgar equipamento de rega por aspersão, destinado à rega de humedecimento, ou de preferência instalações especialmente concebidas para o efeito { 19,20}.

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 { 19}.

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 sobreposi

ção dos jactos {7,19}.

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 {20}.

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 {19}.

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 termostato de confiança, que inicia ~~mente~~ ou pára o motor a uma temperatura do ar determinada. No segundo, a retransmissão acciona uma válvula magnética {20,21,22}.

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 {20}.

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 lagoas {20}.

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

XIV.2.5 - Operação e precauções

A rega deve iniciar-se quando a temperatura, dado pelo termómetro molhado, desce abaixo de 0°C e terminar quando esta temperatura é novamente atingida. Embora alguns autores {3, 7,19} aconselhem que se continue a regar até que todo o gelo

seja fundido, não está provado que isto traga algum benefí - cio { cf.13 } e o dispêndio de água é um inconveniente evidente e certo.

Alguns autores { 9,14,20,22 } referem a possibilidade de começar a rega a uma temperatura negativa próxima da temperatura crítica. Este procedimento envolve, contudo, um elevado risco, não sendo recomendável. Há que prosseguir as investigações encetadas neste campo.

Outra maneira de economizar água e energia tem vindo a ser ensaiada {14,20}. Baseia-se no facto de que os danos causados nos botões das fruteiras caducifólias são, normalmente, até à floração, de pequena monta, afectando apenas um pouco a qualidade — aparecimento de "olhos de geada" e "linhas de geada". Deixa-se, então, de proteger as plantas das geadas que não atingem valores críticos de temperatura até à floração. Procedendo deste modo evita-se a maior parte das regas de protecção. A partir do início da floração a protecção é feita sempre que ocorre uma geada, protegendo-se as plantas numa altura em que tanto os danos qualitativos (p.ex., aneis suberificados) como quantitativos são mais relevantes.

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 subsalente, 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 { 7 }, p.ex. — deve ser perfeitamente transparente; deve ainda haver gotas de á -

gua a escorrer da planta. Gelo de aspecto leitoso é indí - cio de que a pluviometria está a ser insuficiente {9}.

XIV.2.6 - O caso particular da rega por aspersão sobre as coberturas

As culturas em estufas e estufins também podem ser protegidas pela rega por aspersão. Basta para tal aspergir água sobre as coberturas homogénea e continuamente em quantidade suficiente. A água e o gelo que se forma interceptam a radiação terrestre e evitam o contacto da cobertura(e massa de ar confinada por esta) com o ar exterior a uma temperatura inferior a 0°C. Por outro lado, há um ganho de calor resultante da libertação do calor latente de fusão,conse - quente da solidificação da água {cf. 5}.

Hogg (1963), num ensaio com observações em dois anos, obteve uma protecção média de 2,4°C utilizando a rega por aspersão sobre um estufim holandês (baixo e com a cobertura envidraçada). Em noites mais frias a protecção aproximou-se dos 4,5°C.

A pluviometria de 7,3 mm/h, que se pode considerar excessiva, resultou de uma deficiente escolha das agulhetas.

Em estufas com cobertura de plástico esta técnica tem vindo a ser ensaiada e utilizada. O polietileno de longa duração, de 0,2 mm de espessura, num ensaio em Itália {15}, teve um comportamento satisfatório. Conseguiu-se até 7°C de protecção com a utilização exclusiva da rega por aspersão. A instalação, de controlo automático, funcionava intermitentemente, sendo a pluviometria média — quando em funcionamento — de 11 mm/h. Este ensaio sugere:

(1) a necessidade de prosseguir a experimentação;

(2) o grande rendimento, em termos energéticos (consumo de combustível), desta técnica, mormente quan-

(3) É cómodo, pouco exigente em mão-de-obra e não poluente.

A rega sobre as coberturas é menos exigente em mão-de-obra do que a utilização de esteiras sobre as coberturas; as esteiras necessitam ser colocadas e retiradas {23}.

XIV.2.7.2 - 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:

(1) Obriga, quando se inicia/ para a rega a 0°C, a um maior tempo de protecção do que quando se usa o aquecimento directo, por exemplo. Este método só se aplica durante o tempo em que a temperatura está abaixo da temperatura crítica.

(2) 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:

- Quebra de ramos de fruteiras (mormente quando de folhagem persistente) e de plantas altas pouco resistentes.

- 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 elemen-

do as temperaturas são baixas, havendo congelação de quase toda a água sobre a cobertura;

(3) a quebra de rendimento resultante de pluviometrias exageradas, não havendo lugar à libertação do calor latente de fusão;

(4) a inadequabilidade — aliás previsível — desta técnica para a manutenção dentro da estufa de temperaturas positivas afastadas de 0°C; e

(5) a necessidade de levar em linha de conta a qualidade da água, devido à diminuição de transparência que certas águas salobras comunicam ao plástico.

No Algarve já se começou a praticar a rega por aspersão das coberturas das estufas, com resultados positivos {6}.

XIV. 2.7 - Vantagens e inconvenientes da rega por aspersão por cima das copas e plantas na luta contra as geadas

XIV.2.7.1 - Vantagens

(1) É um método muito eficaz, desde que a sua aplicação seja feita de modo correcto. O consumo de energia é apenas {9} cerca de 10% do necessário para a protecção com aquecedores. Ao invés de outros métodos (aquecimento directo, ventilação forçada) é especialmente eficaz para plantas baixas. Estudos em que se compararam os vários métodos {24,25} apontam este método como o mais indicado quando o número de intervenções começa a ser importante.

(2) As instalações de rega por aspersão para a defesa das plantas contra as geadas podem também ser utilizadas para outros fins (ver ref. 19).

to { 3,7 }.

- Aparecimento de pragas e doenças.

- A acção das bactérias do solo e a maturação dos frutos podem ser retardadas { 3 }.

XIV.3 - Referências

{1} ANDERSON, J.L. *et al.* (1973). Reducing freeze damage to fruit by overhead sprinkling. *Utah Science* 34:108-110.

{2} BALLARD, J.K. & PROEBSTING, E.L. (1978). Frost and frost control in washington orchards. *Ext. Bull.* 634.*Washington State University*. Pullman, Wash., 27 pp.

{3} BLANC, M.L. *et al.* (1963). Protection against frost damage. *Tech. Note No. 51 WMO.* 62 pp.

{4} CUNHA, J.M. ARRIAGA E (1952). *Contribuição para o Estudo do Problema das Geadas em Portugal.* Relatório final do Curso de Engenheiro Agrónomo. I.S.A. Lisboa.

{5} CUNHA, F.REIS (1982). O problema da "geada negra"no Algarve. *INIA. Divulgação* 12, Lisboa. 125 pp.

{6} CUNHA, F. REIS (1985). *Comunicação Pessoal.*

{7} DADIS, J.R. (1955). Frost protection with sprinkler irrigation. *Michigan State College. Ext. Bul.* 327. 12 pp.

{8} GEORG, J.G. (1979). Frost protection by flood irrigation. *In:* BARFIELD, B.J.& GERBER, J.F. *Modification of the Aerial Environment of Crops.* p. 368-371.

{9} GERBER, J.F. & MARTSOLF, J.D. (1979). Sprinkling for frost and cold protection. *In:* BARFIELD, B.J. & GERBER, J.F. *Modification of the Aerial Environment of Crops.* p.327--333.

{10} GUSTA, L.V., BURKE, M.J. & KAPOOR, A.C. (1975). Determination of unfrozen water in winter cereals at subfreezing temperatures. *Plant Physiol.* 56:707-709.

{11} HAMER, P.J.C. (1980). An automatic sprinkler system giving variable irrigation rates matched to measured frost protection needs. *Agric. Meteorol.* 21:281-293.

{12} HOGG, W.H. (1964). Frost prevention in dutch light frames. *Agric. Meteorol.* 1:121-129.

{13} JANICK, J. *et al.* (1977). Does washing frost from plants reduce cold damage? *Hort Science* 12(2):101-103.

{14} MODLIBOWSKA, I. (1965). Quantité d'eau minimale necessaire pour la protection par aspersion d'un verger contre les gelées printanières. *Phytoma* 172:55-60.

{15} PERGOLA, G.; RANIERI, M. DE & GRASSOTTI, A. (1983).Utilizazione della pioggia antigelo su una serra investita a garafano. *Colture Protette. Anno XII. N.11.* p.37--42.

{16} PROEBSTING, J.R., E.L. (1975). Reducing energy consumption in cold protection. *Hort Science* 10(5):463-465.

{17} QUERALTÓ, F.D. (1971). *Prática de la Defensa Contra Heladas.* Ediciones Dilagro. Lerida. Espanha.

{18} RAPOSO, J. RASQUILHO (1967). A defesa das plantas contra as geadas. *Junta de Colonização Interna. Est. Téc. No. 7.*

{19} RAPOSO, J.RASQUILHO (1979). *A Rega por Aspersão.* Clássica Editora, Lisboa.

{20} ROGERS, W.S.& MODLIBOWSKA, I. (1961). Pratical frost protection of fruit by water sprinkling. *Grower* 55:658-661 and *Pomol. Fr.* 3:101-108.

{21} ROGERS, W.S. & MODLIBOWSKA, I. (1962). Automatic protection from frost by water sprinkling. *Proc. 15 th Int. Hort. Congr., Nice,* 1958, 3, 416-25.

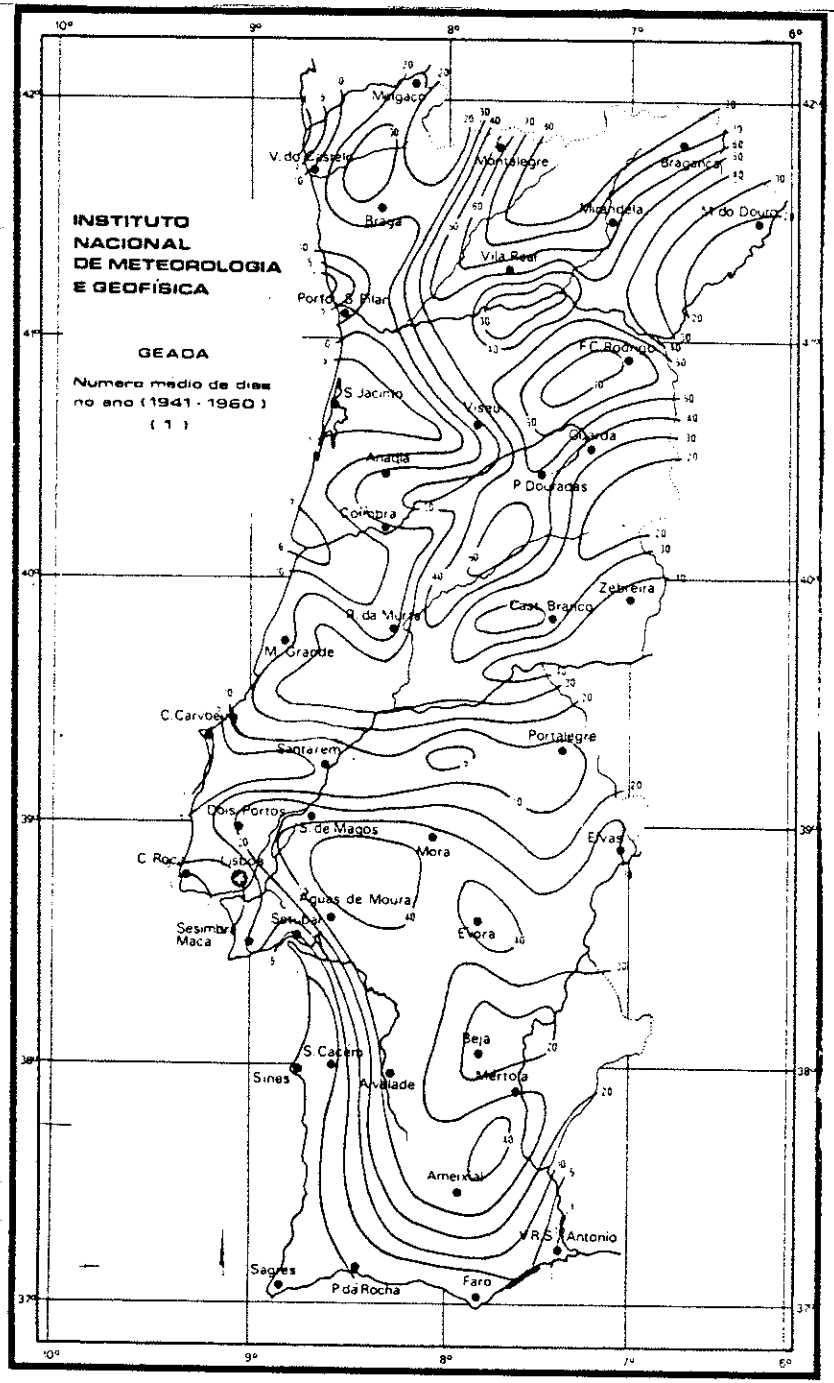
{22} ROGERS, W.S., MODLIBOWSKA, I. & SLATER, C.H. (1964).The value of automatic control in protection from frost by water sprinkling; with some comments on time of operation. *Proc. 16 th Int. Hort. Congr., Brussells,* 1962, 5, 203-7.

{23} SMITH, L.P. (1975). *The Modes of Agricultural Meteorology-Hazards.* Developments in Atmospheric Science 3.p. 167-171.

{24} TABARD,P. (1967). Étude comparative des divers modes de protection antigel. *Phytoma* 187:31-34.

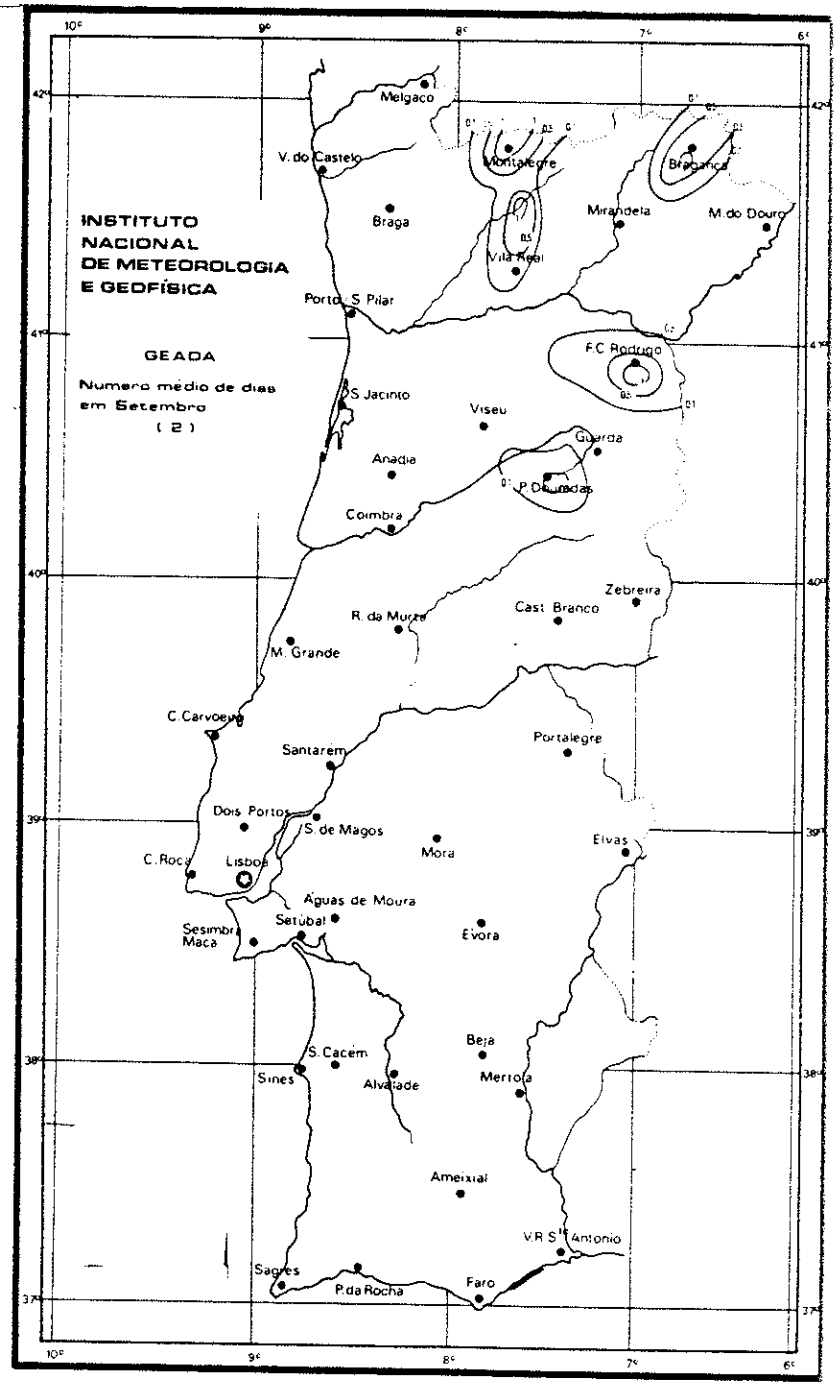
{25} TABARD, P. (1971). Étude des couts de la lutte antigel suivant les techniques utilisees. *Phytoma* 224:9-22.

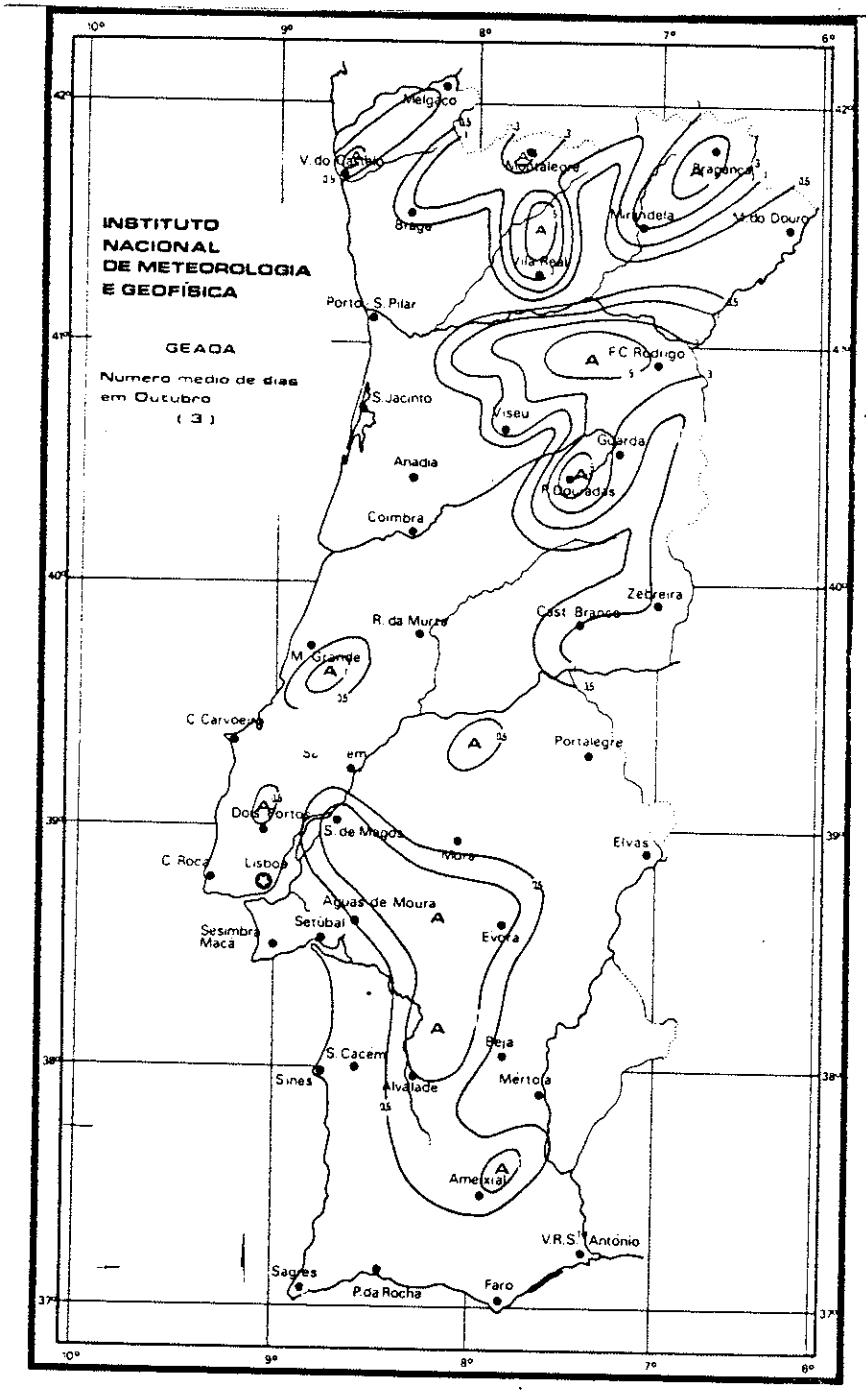
APÊNDICE A



← Carta 1

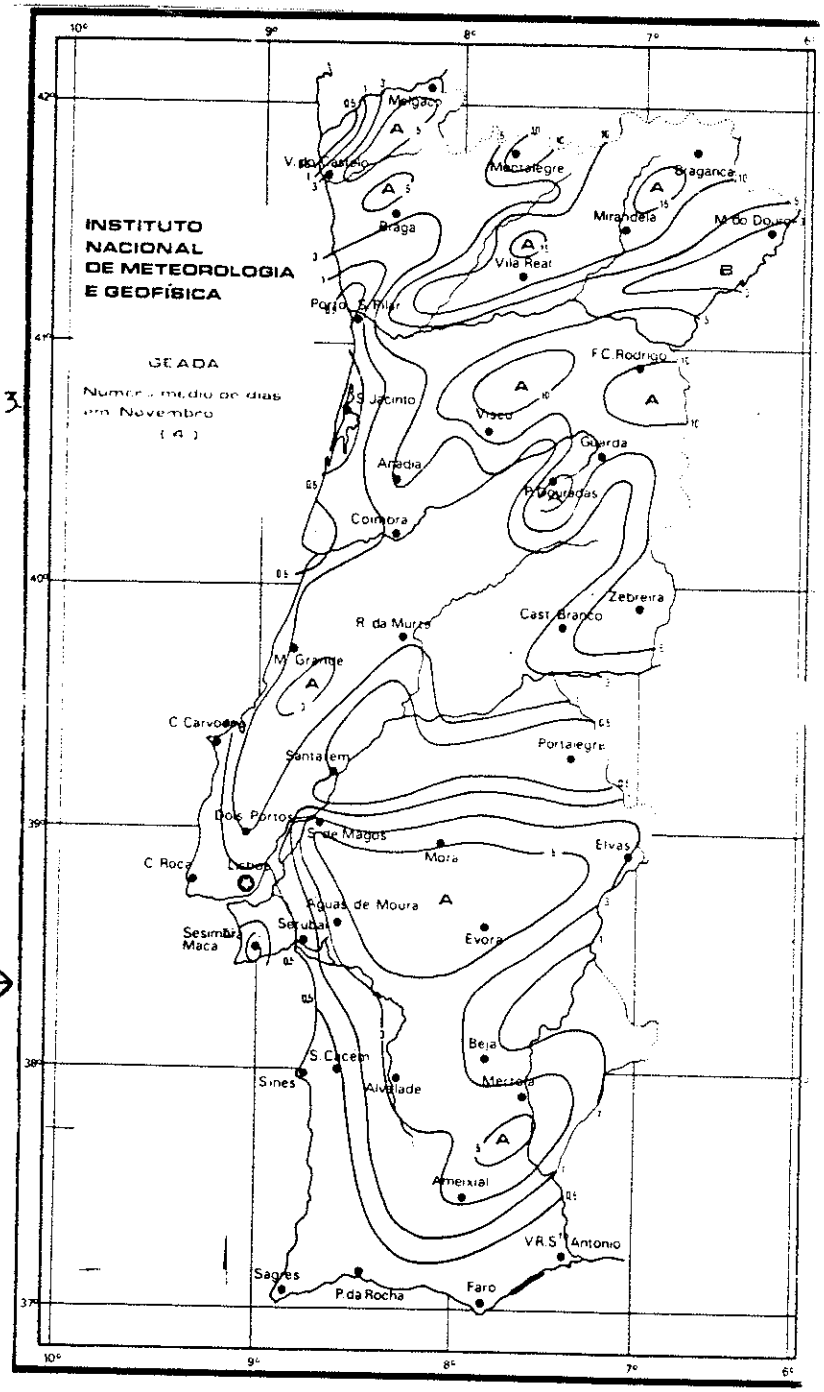
Carta 2 →

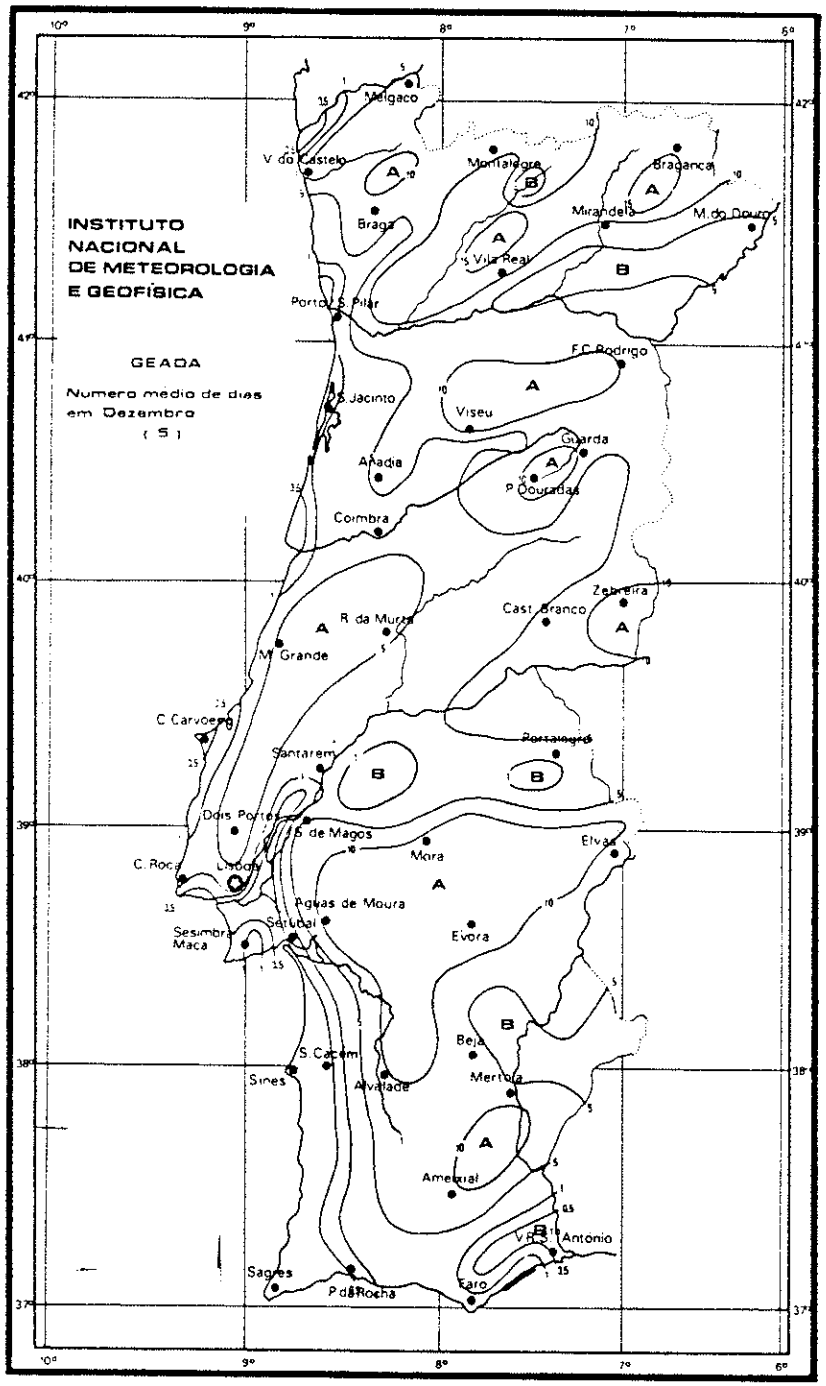




← Carta 3

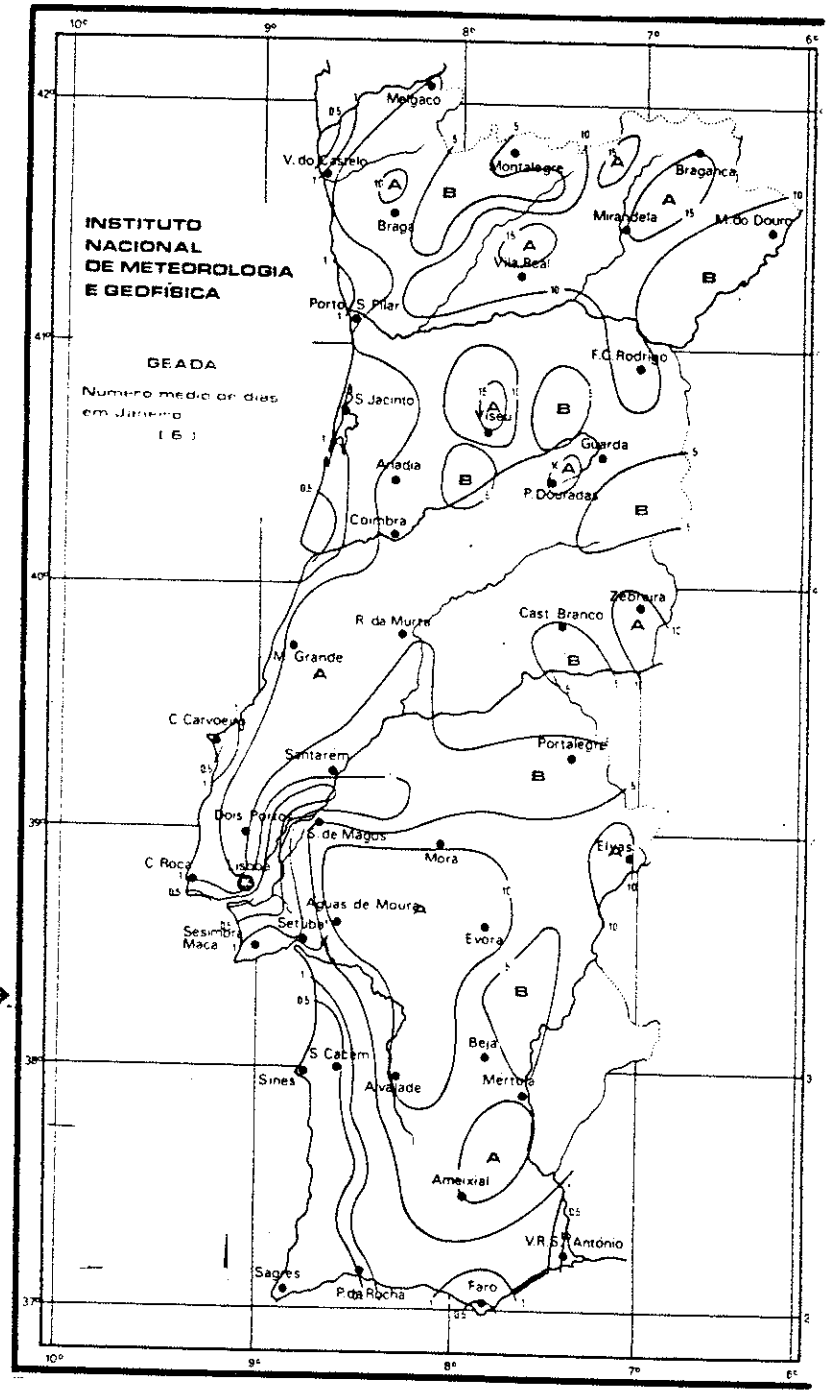
Carta 4 →

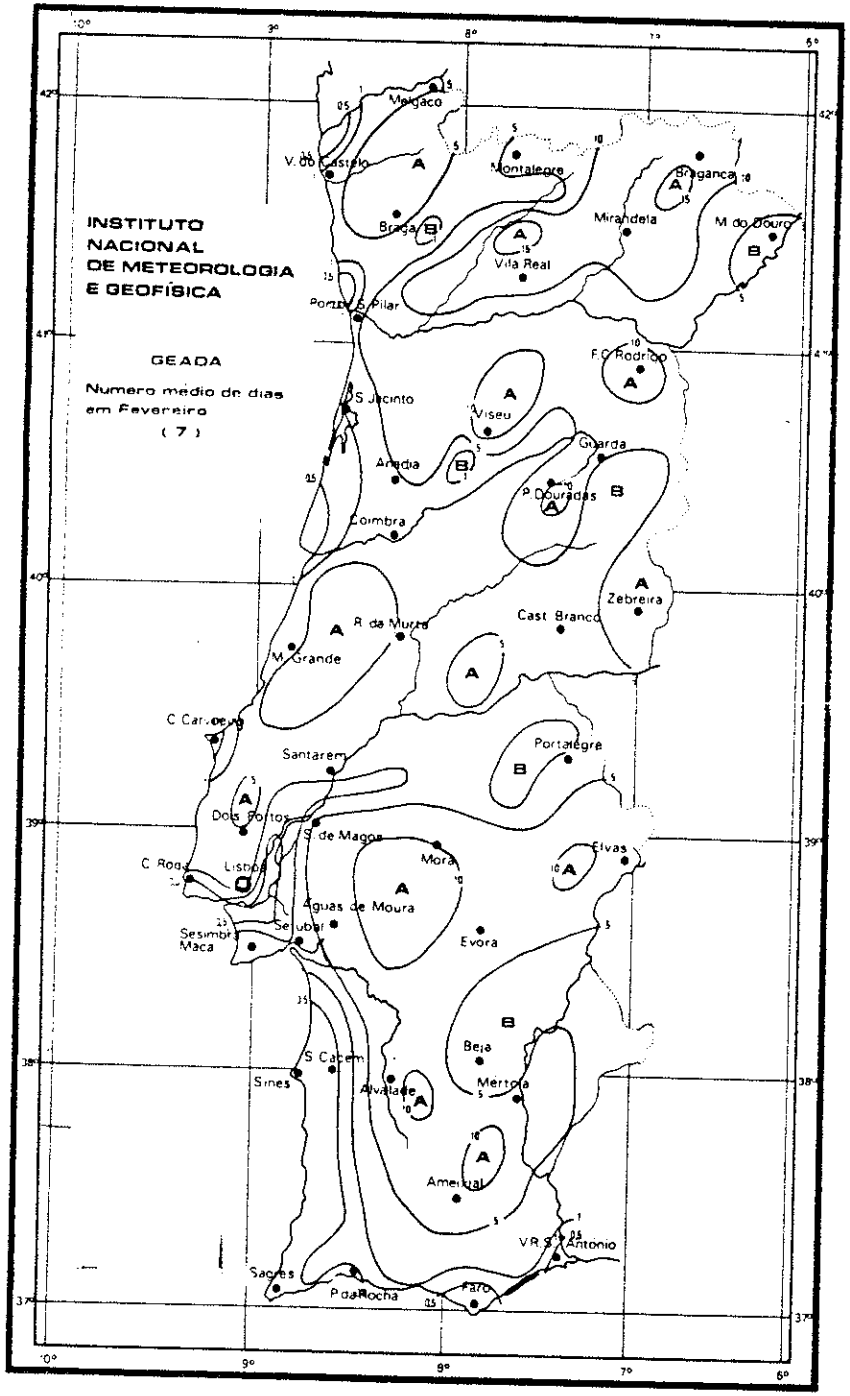




← Carta 5

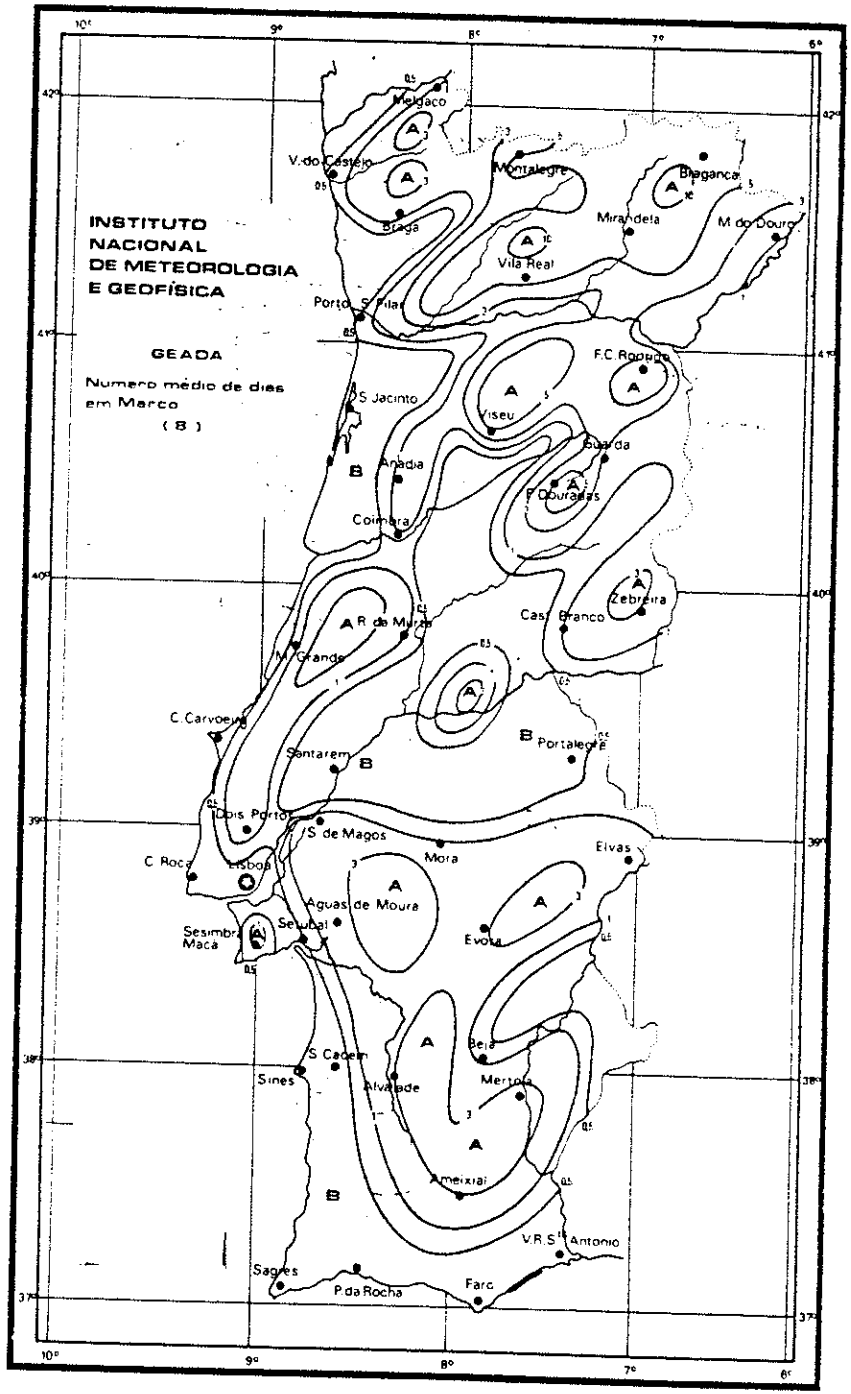
Carta 6 →

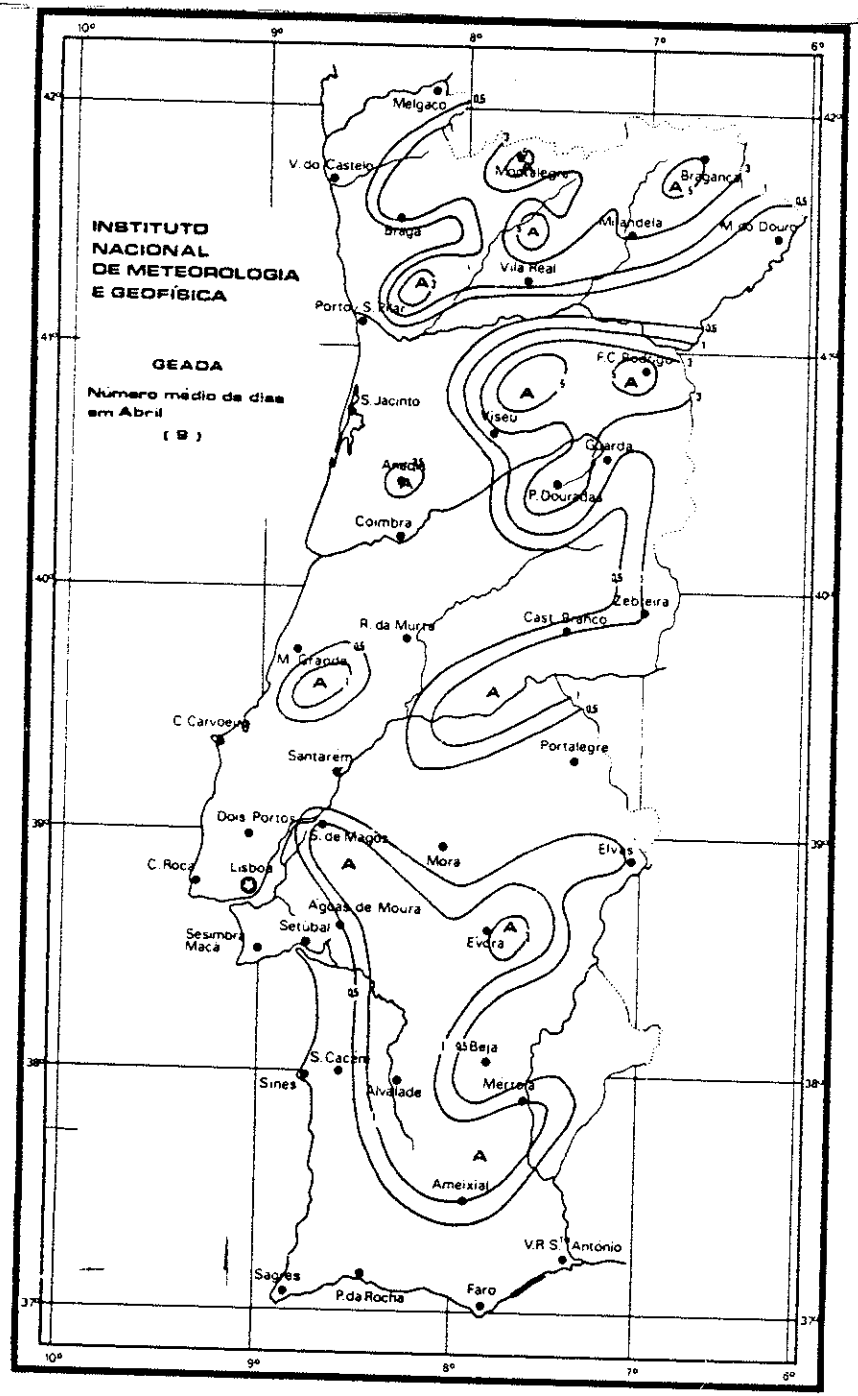




← Carta 7

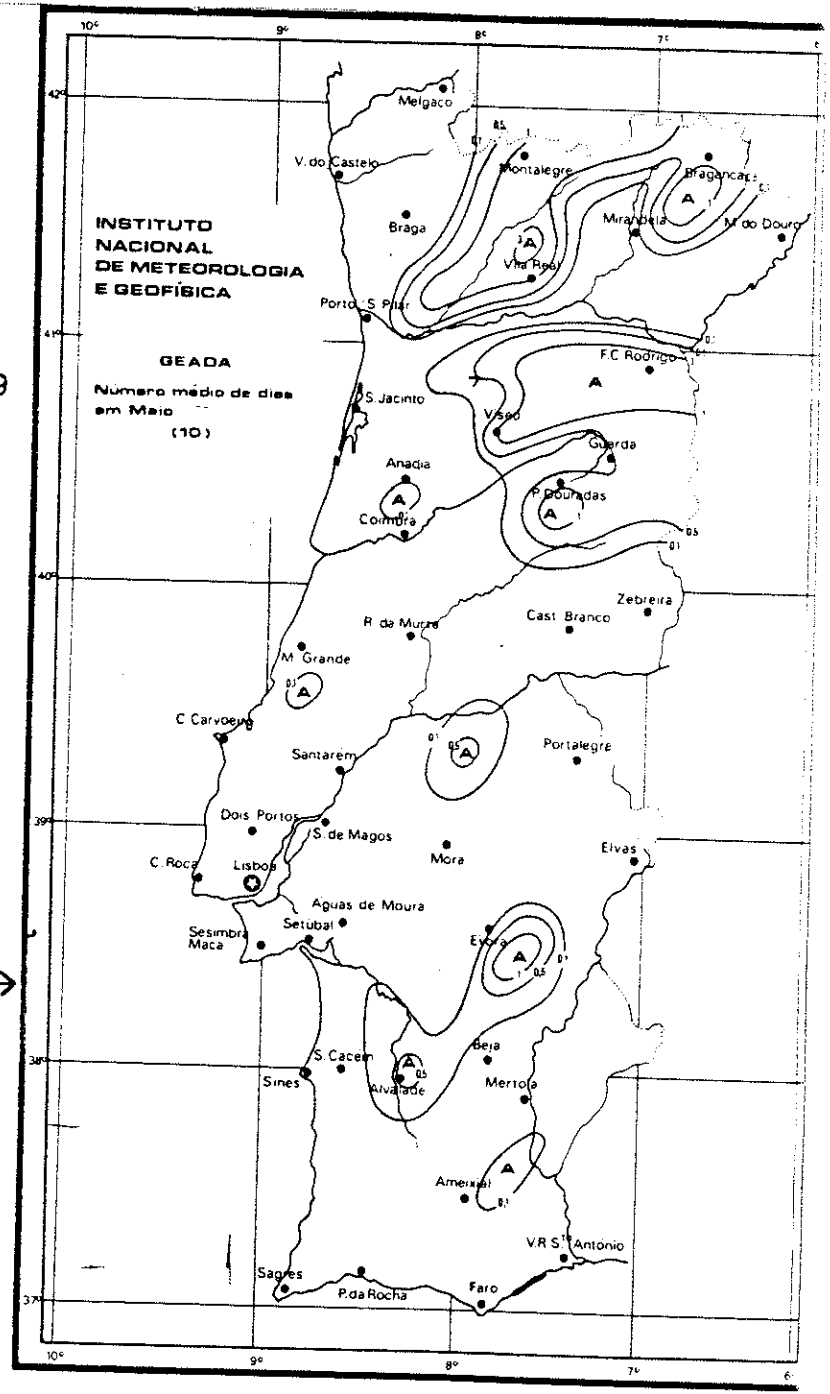
Carta 8 →

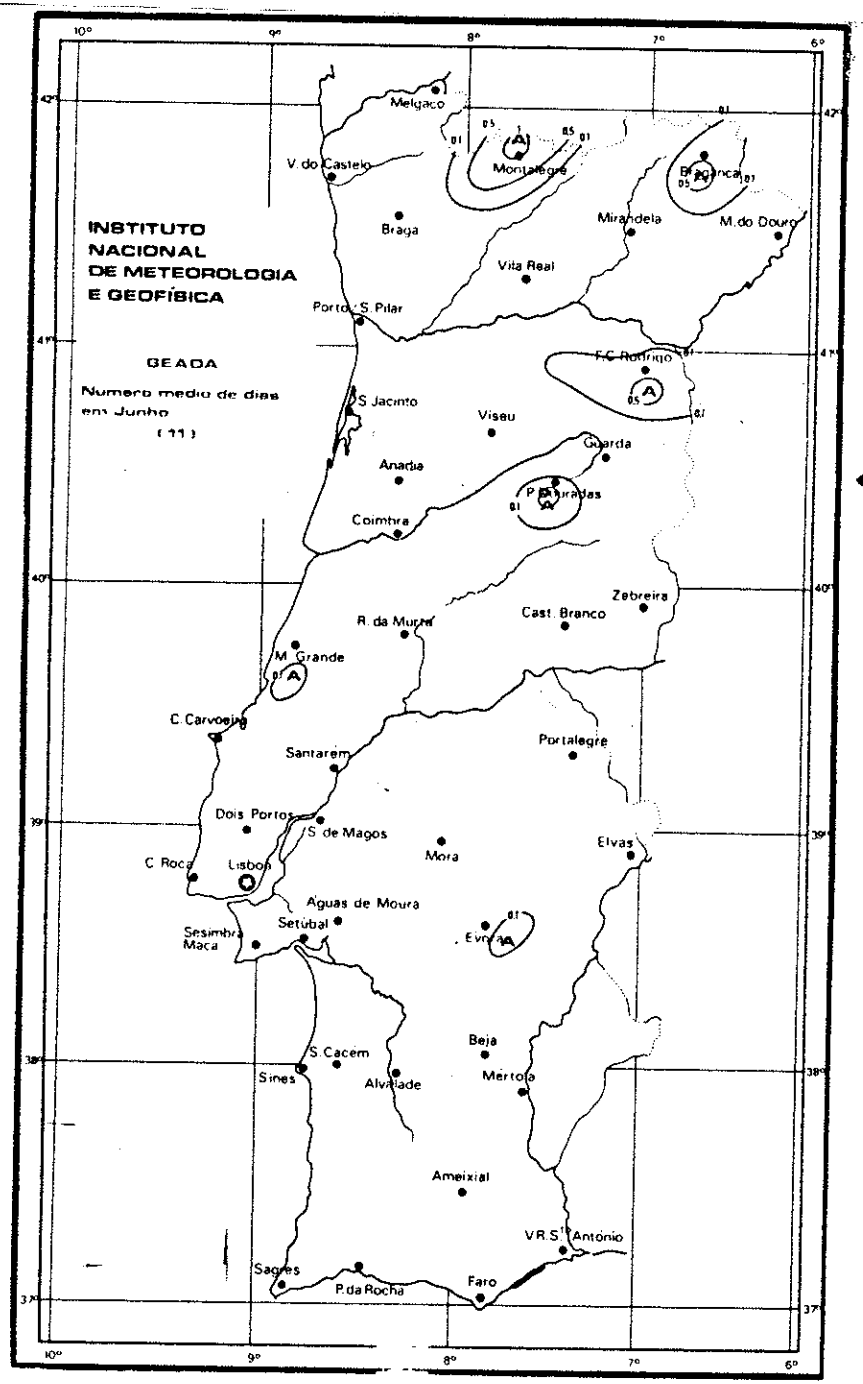




Carta 9 ←

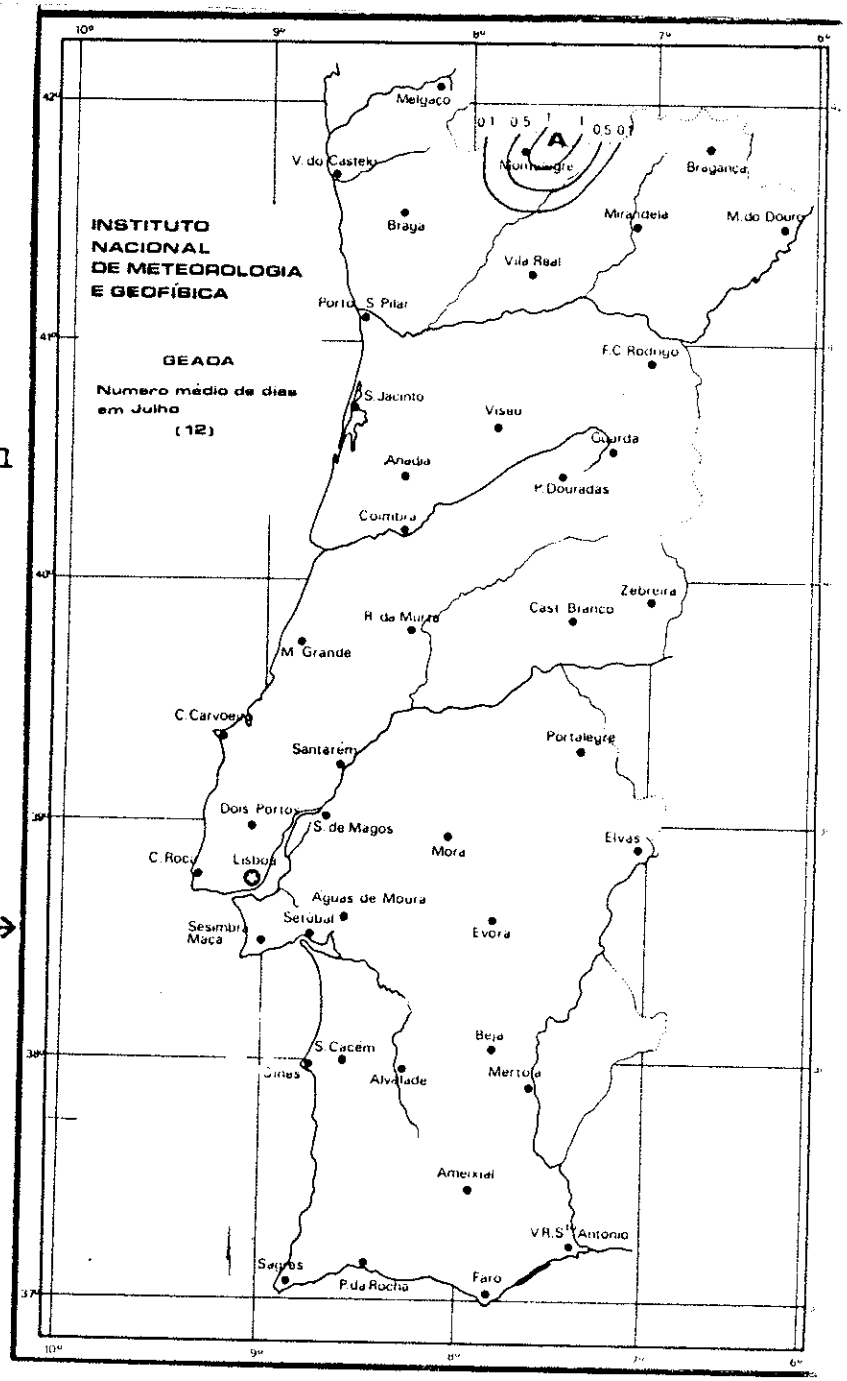
Carta 10 →

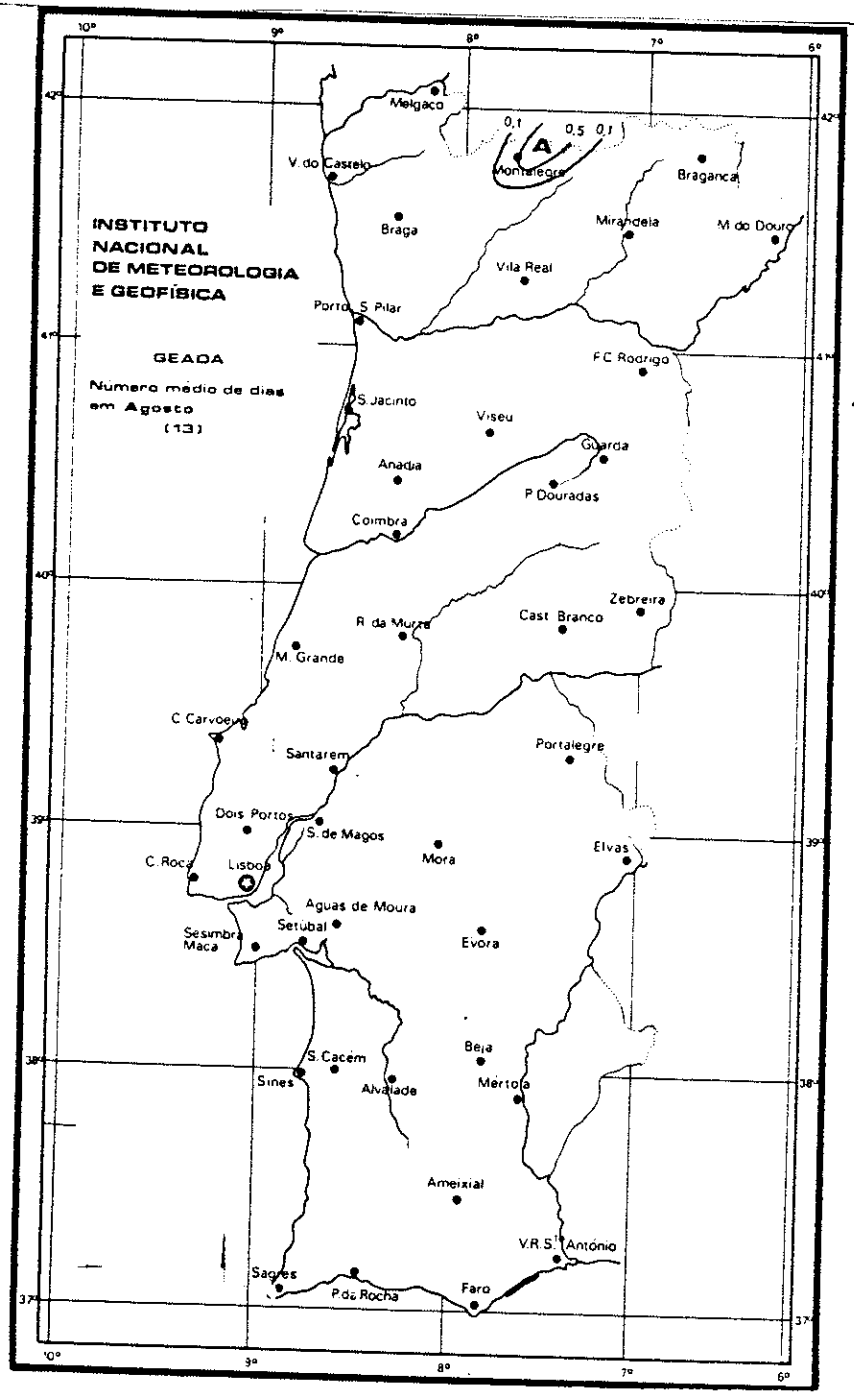




← Carta 11

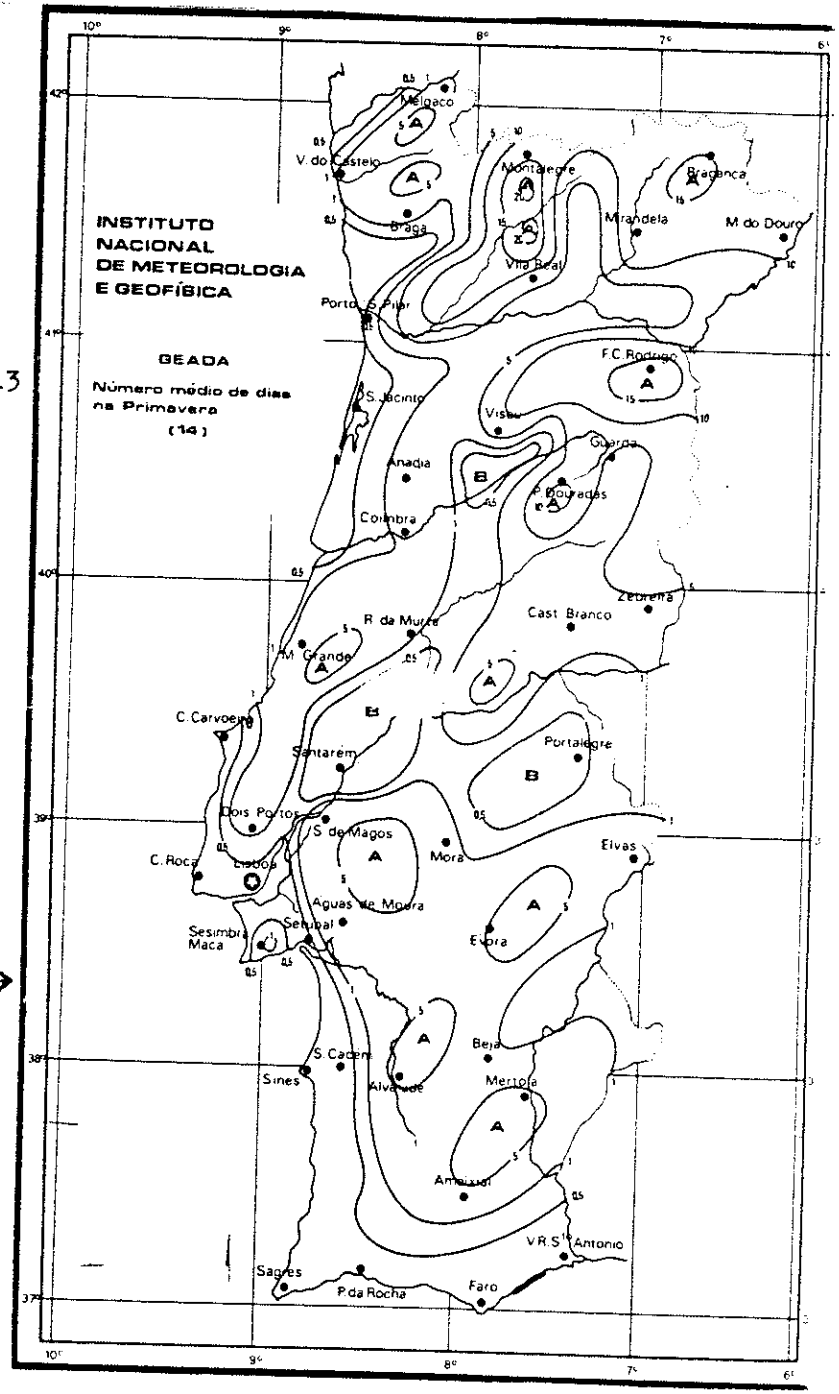
Carta 12 →

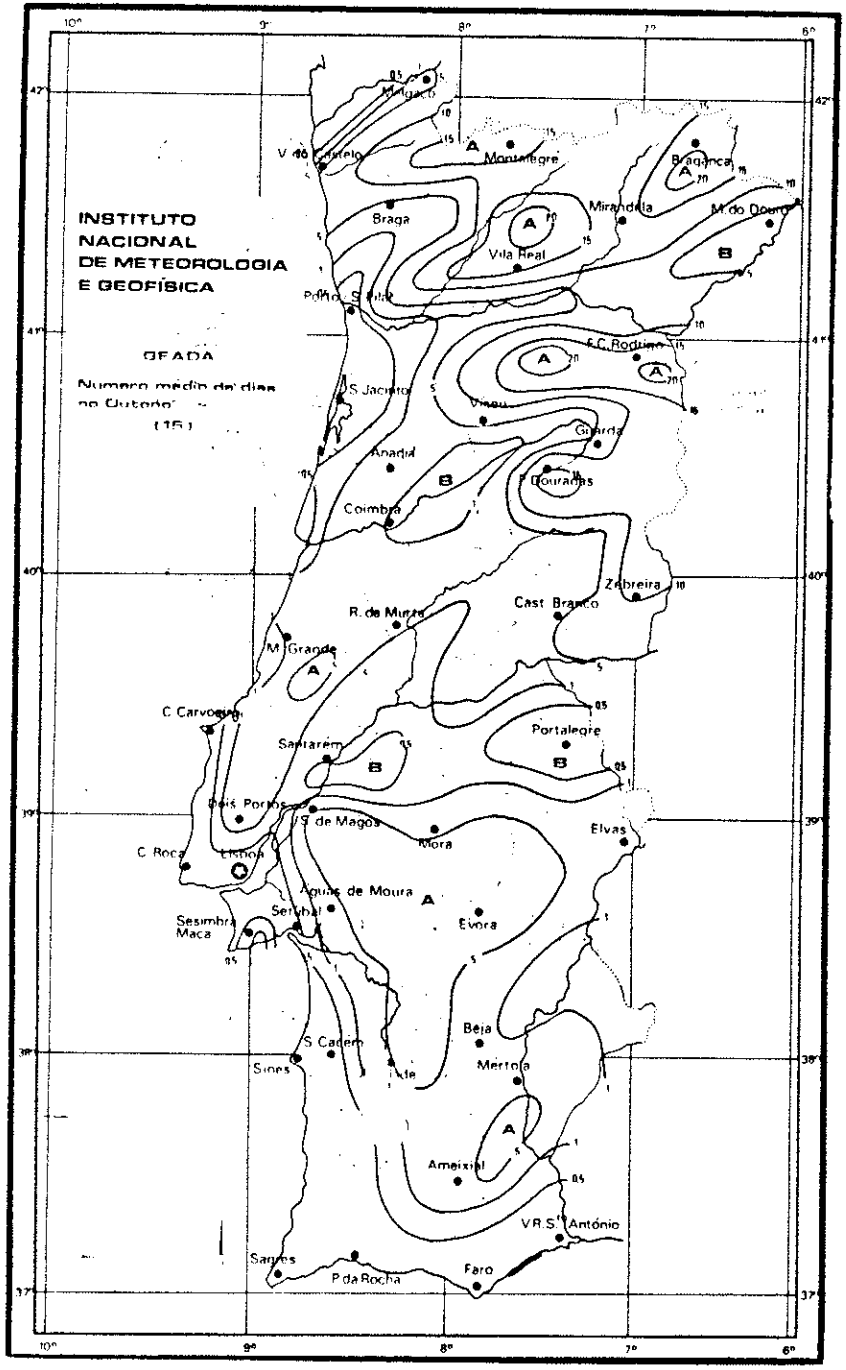




Carta 13

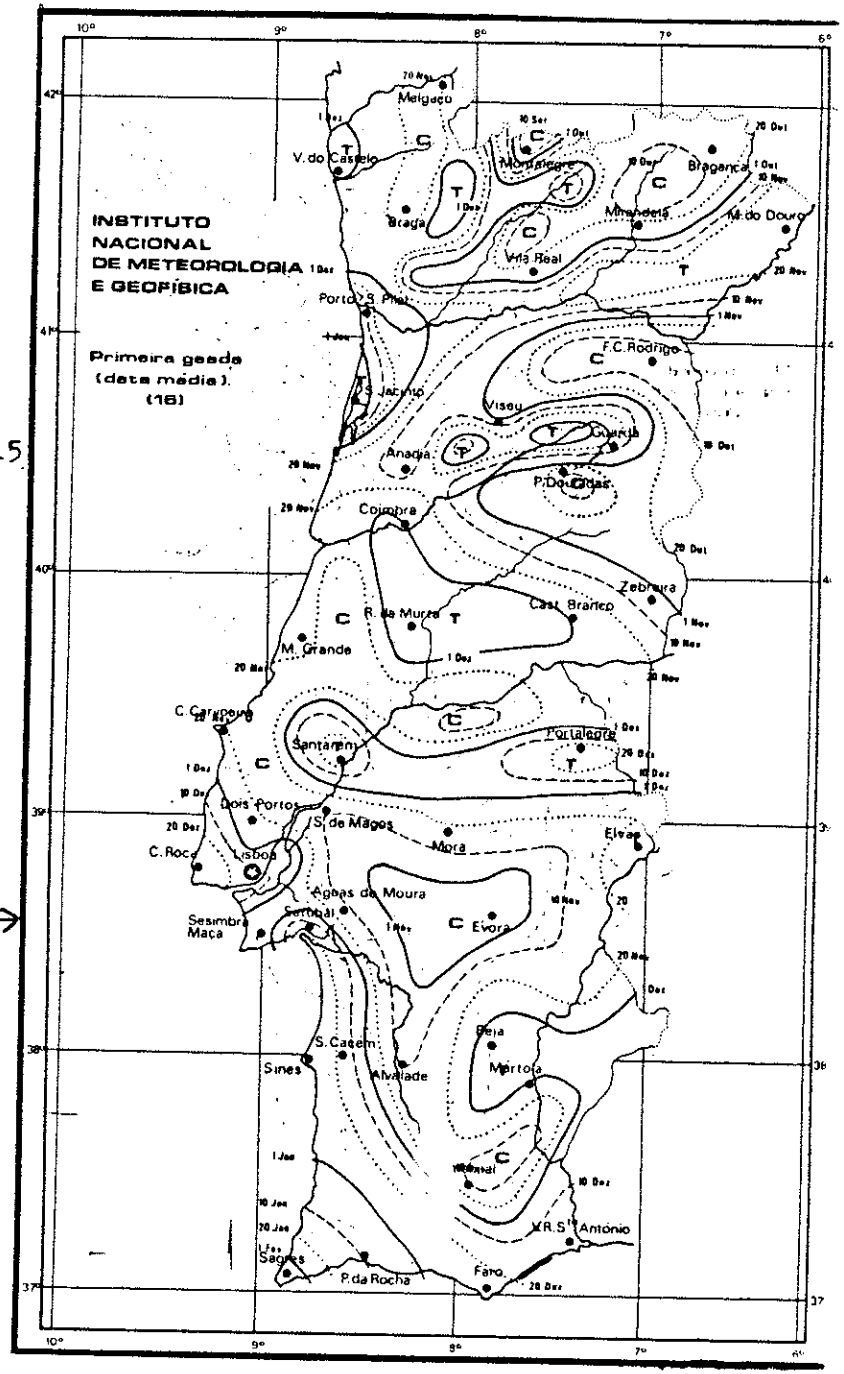
Carta 14

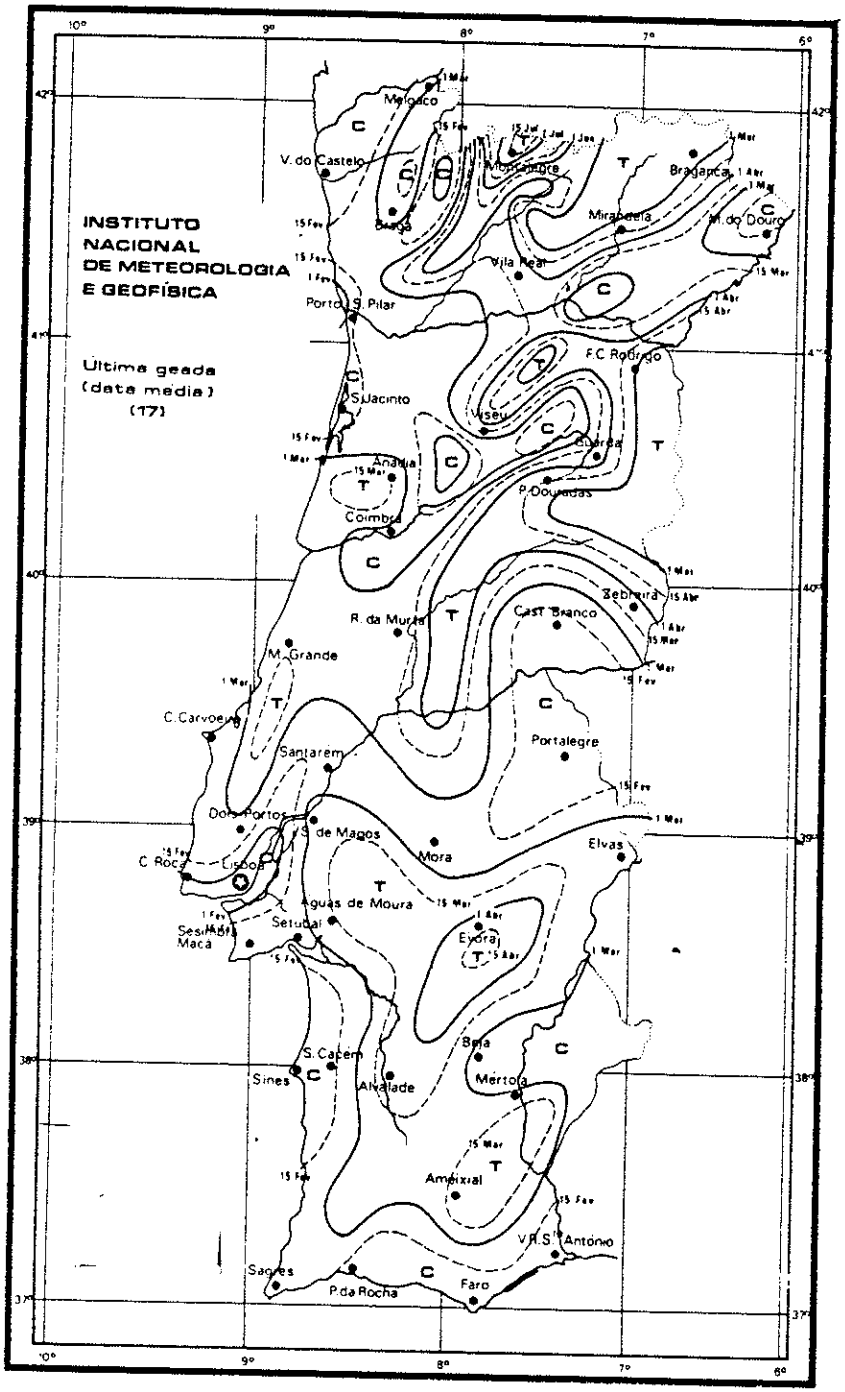




Carta 15

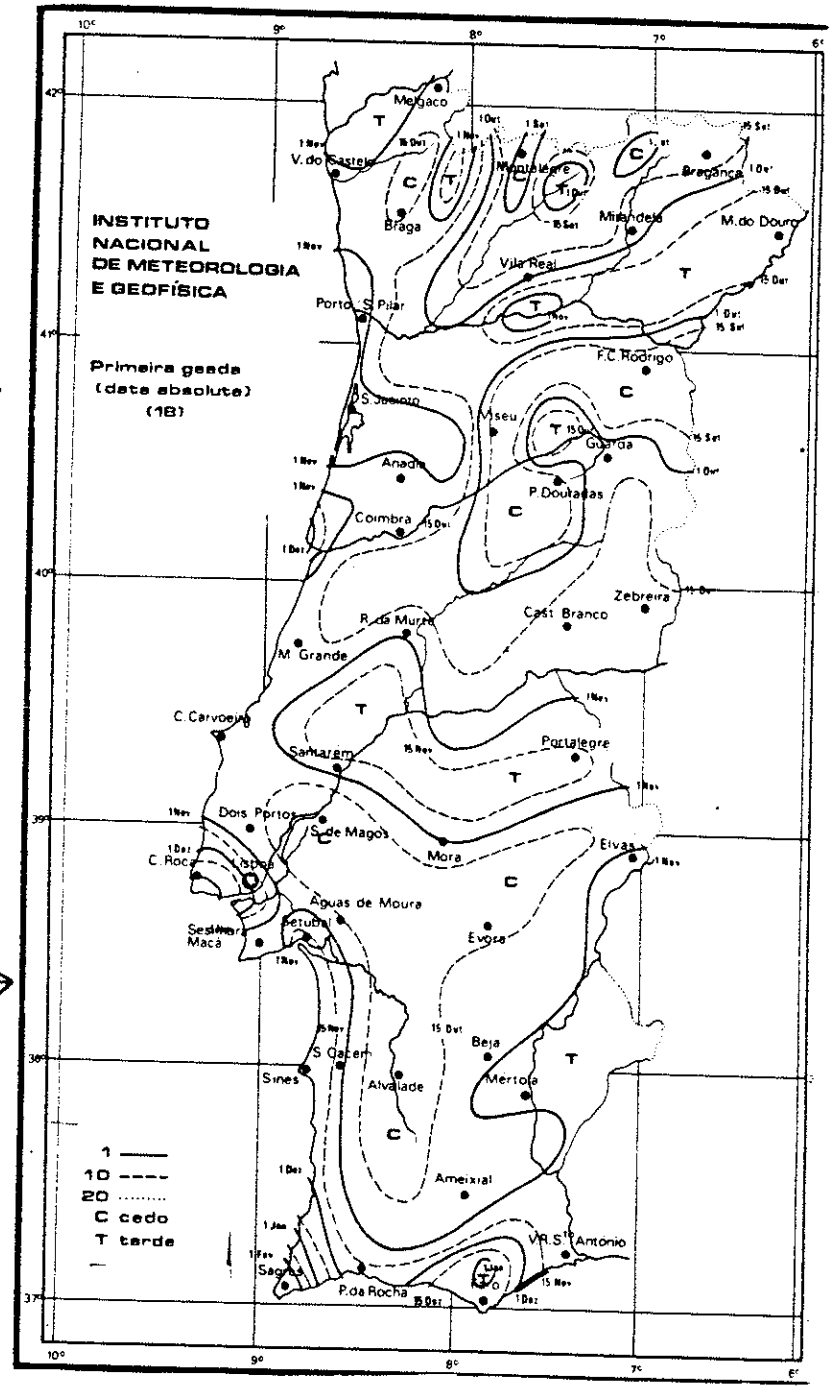
Carta 16

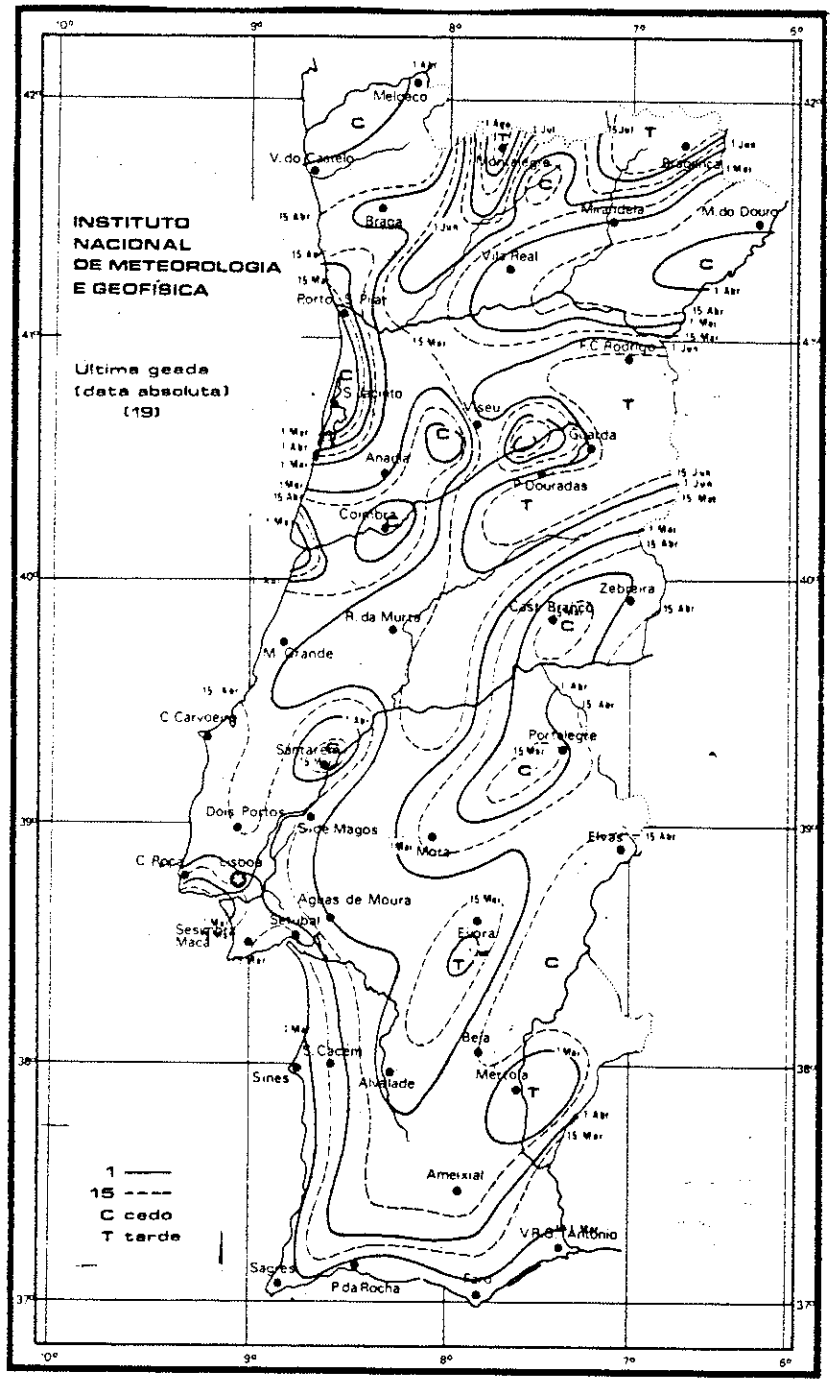




Carta 17

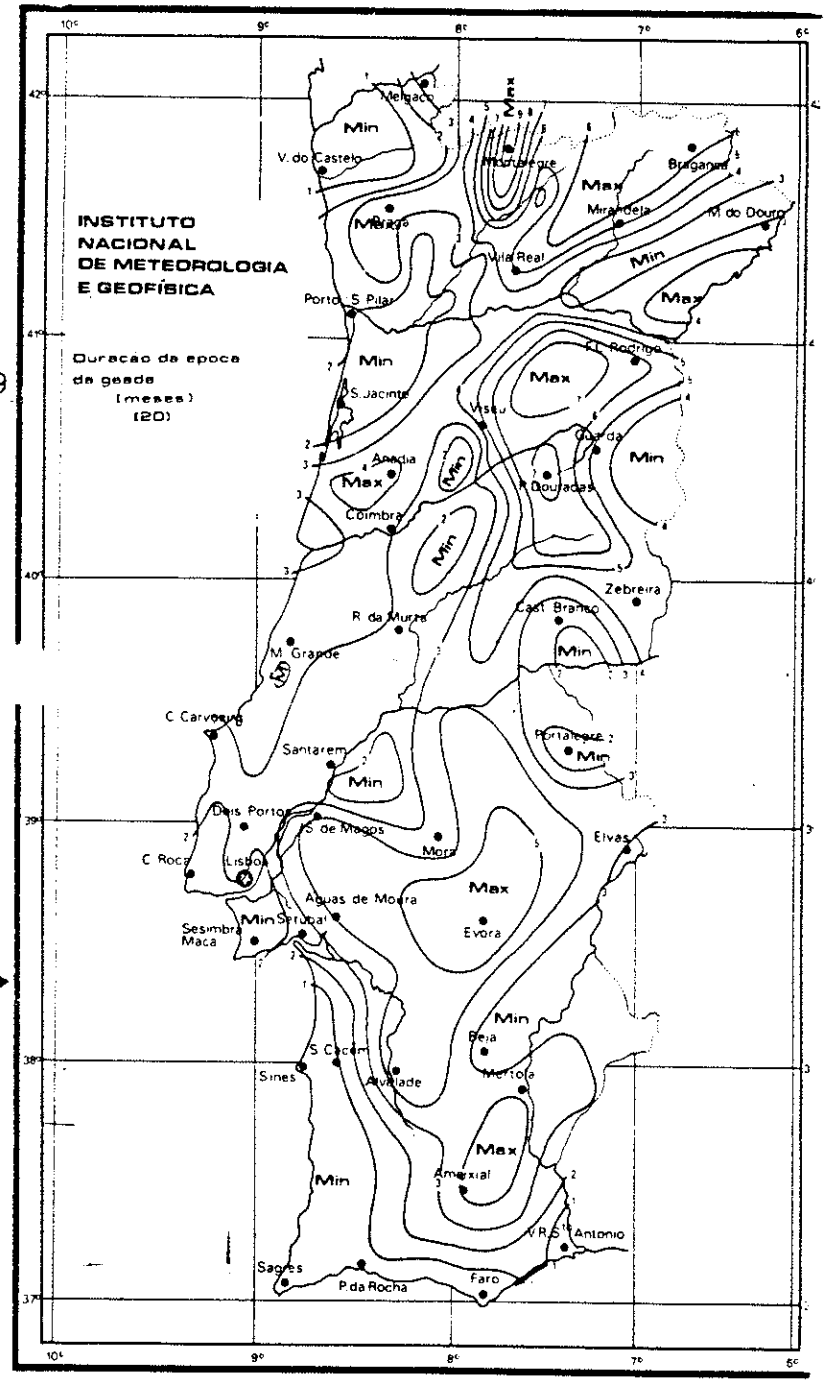
Carta 18





Carta 19

Carta 20



QUADRO — A

Local	Set (a)	Out (a)	Nov (a)	Dez (a)	Jan (a)	Fev (a)	Mar (a)	Mar (s)	Mar C.V. %	Abr (a)	Abr (s)	Abr C.V. %	Mai (a)	Mai (s)	Mai C.V. %	Jun (a)	Jul (a)	Ago (a)	ANO (a)	ANO (d)
ABRUNHOSA	0	0	1	3	5	2	0,2	0,6	320	0,1	0,2	510	0	0	0	0	0	0	11	48
ÁGUAS DE MOURA	0	0,4	3	9	10	7	2			0,4			0			0	0	0	32	114
ALANDROAL	0	0	4	10	9	8	3,0	3,1	103	0,3	0,6	186	0	0	0	0	0	0	34	104
ALCÁCER DO SAL	0	0,4	3	9	9	8	2,1	3,3	156	0,4	1	250	0	0	0	0	0	0	32	98
ALCOBAÇA	0	1	3	6	8	6	2,6	3,2	123	1,4	2,6	185	0,1	0,2	333	0,1	0	0	28	121
ALVALADE	0	1	4	9	10	8	3,1	2,8	90	1,6	1,8	112	0,2	0,6	300	0	0	0	37	134
ALVEGA	0	0,3	1	5	8	4	2			2			0,3			0	0	0	23	130
AMEIXIAL	0	1	3	9	10	9	3,4	3,0	88	0,9	1,4	155	0,1	0,5	450	0	0	0	36	135
ANADIA	0	0,4	3	5	7	4	1			0,6			0,1			0	0	0	21	126
ÂNCORA	0	0	0	0	0,2	0,6	0			0			0			0	0	0	1	—
AROUCA	0	1	3	5	7	7	0,2			0,4			0,2			0	0	0	24	—
AVEIRO BARRA	0	0	0	0,3	0,3	0	0			0			0			0	0	0	1	45
AZENHAS DO MAR	0	0	0	3	3	2	0,1	0,3	300	0,1	0,2	330	0	0	0	0	0	0	8	51
BEJA	0	0,1	2	6	6	3	0,9	1,6	177	0,1	0,3	340	0	0	0	0	0	0	18	75
BRAGA	0	1	3	8	8	7	1,4	1,5	100	0,6	1,0	166	0,2	1,5	750	0	0	0	29	115
BRAGANÇA	1	6	13	13	15	14	8,8	7,5	85	5,3	3,8	70	1,2	1,5	125	0,4	0,1	0	77	200
CABO CARVOEIRO	0	0	0	0	0	0	0			0			0			0	0	0	0	-
CABO DA ROCA	0	0	0	0	0	0	0			0			0			0	0	0	0	—
CABO S. VICENTE	0	0	0	0	0	0	0			0			0			0	0	0	0	—
CALDAS DA RAINHA	0	0,1	2	5	5	4	1,2	1,8	150	0,3	1,0	333	0	0	0	0	0	0	18	105
CAMPO MAIOR	0	0,1	3	10	10	6	0,5	0,5	98	0,1	0,2	440	0	0	0	0	0	0	30	100
CARAMULO	0	0	0,4	2	2	1	0,1	0,7	730	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	37
CASTELO BRANCO	0	1	4	6	4	3	1,0	1,7	170	0,5	1,4	280	0	0	0	0	0	0	20	64
CASTRO VERDE	0	0,2	3	7	9	7	3			1			0			0	0	0	30	100
COIMBRA	0	0	0,8	3	6	3	0,4			0			0			0	0	0	13	60
COIMBRA BENCANTA	0	0,3	2	5	7	5	0,9	1,8	200	0,1	0,3	300	0,1	0,2	400	0	0	0	20	96
CRASTA ALTA	0	0,3	2	4	5	5	1			0,2			0	0		0	0	0	18	105
DOIS PORTOS	0	0,5	1	6	6	5	1,7	3,7	217	0,1	0,3	325	0	0	0	0	0	0	20	65
DUNAS DE MIRA	0	1	3	8	9	8	3			1			0			0	0	0	33	120
ELVAS	0	0	3	8	10	6	2			0,5			0			0	0	0	30	90
ÉVORA/CURRAIS	0	1	6	12	12	8	4,3	3,8	88	3,8	3,8	100	0,4	0,7	175	0,1	0	0	48	163
FARO	0	0	0	1	0,5	0,1	0			0			0			0	0	0	2	—
FIGUEIRA C. RODRIGO	1	5	13	10	12	13	7,0	5,5	79	5,2	4,8	92	1,1	1,9	172	0,3	0	0	68	207
FIGUEIRA DA FOZ	0	0	0	0,3	0,3	0	0			0			0			0	0	0	1	—
GERÊS	0	0	0,8	2	2	2	0,6			0,1			0			0	0	0	8	45
GUARDA	0	1	5	9	8	5	2,4	2,8	116	1,7	2,7	158	0,5	1,4	280	0	0	0	33	138
GUIMARÃES	0	0,2	1	2	2	1	0			0,1			0			0	0	0	6	62
LAGOA COMPRIDA	0,2	3	8	7	8	7	4			5			1			0,4	0	0	44	200
LEÇA PALMEIRA	0	0	0	0,3	0,1	0,1	0			0			0			0	0	0	1	—
LISBOA/AJUDA	0	0	0	0,6	0,5	1,2	0			0			0			0	0	0	2	40
LISBOA (I.G.)	0	0	0	0,5	0,7	0,2	0			0			0			0	0	0	1	30
MARINHA GRANDE	0	0,1	1	6	6	4	1,3	1,9	146	0,3	0,7	236	0	0	0	0	0	0	19	100
MARVÃO	0	0	0,1	7	5	1	0,4			0,1			0			0	0	0	14	70
MELGAÇO	0	0,3	4	6	6	4	0,5	0,9	164	0,1	0,3	400	0	0	0	0	0	0	21	92
MÉTOLA	0	0,3	4	10	9	7	3			1			0,1			0	0	0	34	115
MINAS S. DOMINGOS	0	0	1	6	7	4	0,8	1,6	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	73
MIRANDA DOURO	0	0,1	2	5	7	4	1,6	2,2	137	0,4	1,1	275	0	0	0	0	0	0	20	87
MIRANDELA	0,1	3	11	10	14	12	7,3	5,8	79	2,7	3,0	111	0,2	0,6	300	0	0	0	61	170
MONCORVO	0	1	6	8	9	9	2,8	4,6	164	0,3	0,9	366	0	0	0	0	0	0	36	110
MONTALEGRE	2	5	11	9	6	7	6,0	6,5	108	5,3	4,7	88	2,6	2,3	88	1	1	0,5	56	285
MONTEMOR-O-VELHO	0	0,2	1	2	1	1	0,3			0,2			0			0	0	0	6	80
MONTIJO	0	0	0	0	0	0	0			0			0			0	0	0	0	—
MORA	0	0	5	12	10	9	1			0,1			0			0	0	0	37	100
MOURA	0	0,1	1	7	8	5	1,0	1,8	178	0,1	0,3	290	0	0	0	0	0	0	22	87
ODEMIRA	0	0	0	0	0	0	0			0			0			0	0	0	0	—
PAÇOS FERREIRA	0	2	9	11	12	12	4			4			1			0	0	0	55	175
PAIÃ	0	0	0,4	4	5	3	0,4			0			0			0	0	0	13	75
PEDRAS SALGADAS	2	7	14	15	15	15	10,7	7,5	70	9,7	7,9	81	4,0	7,6	190	0	0	0	92	210
PENHAS DOURADAS	0,5	6	11	11	10	10	5,1	5,1	100	4,4	4,2	95	1,5	1,5	100	0,1	0	0,1	60	214
PENHAS DA SAÚDE	0,1	3	7	8	7	7	4,0	4,5	112	2,3	1,9	83	0,8	1,1	151	0,2	0	0	40	196
PINHÃO	0	0,3	4	6	8	8	1,6	3,1	193	0,1	0,3	329	0	0	0	0	0	0	28	88
PORTALEGRE	0	0	0,1	2	3	2	0,4	0,9	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	45
PORTO/SERRA PILAR	0	0,1	0,9	5	7	5	1,2	2,4	200	0,3	0,9	300	0	0	0	0	0	0	20	45
FÓVOA DE VARZIM	0	0	2	2	2	2	0,1	0,2	229	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	77
PRAIA DA ROCHA	0	0	0	0,4	0,3	0,4	0			0			0			0	0	0	1	20
REGO DA MURTA	0	0	1	5	6	4	0,8	1,3	162	0,3	1,2	400	0,1	0,1	465	0	0	0	17	90
RÉGUA	0,1	0,1	4	6	7	7	1,9	2,6	136	0,2	0,9	470	0	0	0	0	0	0	26	100
RIO MAIOR	0	0	1	4	6	4	0,3			0,1			0			0	0	0	15	65
SALVATERRA MAGOS	0	2	5	5	6	5	1,5	2,7	180	0,7	1,4	200	0	0	0	0	0	0	25	117
SANTARÉM	0	0	0,5	2	2	2	0,2			0			0			0	0	0	7	50
SANTIAGO CACÉM	0	0	0	0	0	0	0			0			0			0	0	0	0	—
SANTO TIRSO	0	0	1	4	3	3	0,2			0,1			0			0	0	0	11	95
S. BRÁS ALPORTEL	0	0	0	0	0,7	0,7	0,3			0			0			0	0	0	2	—
S. PEDRO SUL	0	0,6	8	9	11	8	3			1			0			0	0	0	41	120
SETÚBAL	0	0,2	0,4	0,3	1	1	0,1	0,4	430	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	60
SESIMBRA/MAÇÃ	0	0,2	1	4	4	3	1			0			0			0	0	0	13	55
SINTRA	0	0	0	0,9	1	0,2	0			0			0			0	0	0	2	—
TAVIRA	0	0	0,1	2	2	1	0,1	0,3	310	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	46
VINA DO ALENTEJO	0	1	3	7	7	5	1,9	2,0	105	1,1	1,9	172	0,1	0,4	528	0	0	0	26	144
VIDAGO	0	0,1	2	4	4	3	1			0,4			0,2			0	0	0	15	120
VILA DO BISPO	0	0	0	0	0,2	0,4	0			0			0			0	0	0	1	—
VIANA DO CASTELO	0,1	1	4	6	5	4	1			0,1			0			0	0	0	21	—
VILA REAL	0,5	4	11	12	12	11	5,5	5,2	94	2,3	3,5	152	0,7	1,4	200	0	0	0	59	—
VISEU	0	2	7	12	15	13	5			3			1			0,1	0	0	58	190
ZEBREIRA	0	1	8	13	14	8	2,1	2,6	123	0,6	1,1	183	0	0	0	0	0	0	47	125

(a) — Número médio de dias
(s) — Desvio médio quadrático do número médio de dias
(C.V.) — Coeficiente de variação do número médio de dias
(d) — Duração da época de geada (dias)

QUADRO — B

LOCAL	ALTITUDE (M)	N.º DE ANOS	PRIMEIRAS GEADAS: DATA MÉDIA GRÁFICO	DATA MÉDIA NUMÉRICO	DATA 1.ª GEADA	DATA ÚLTIMA GEADA	m (d)	s (d)	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DEPOIS DE 75%	50%	25%	16%	2,5%
ABRUNHOSA	425	20	10-15 Dez	18 Dez	16 Nov	2 Fev	22	25	1 Dez	18 Dez	4 Jan	12 Jan	6 Fev
ÁGUAS DE MOURA	5	10	15-20 Nov		24 Out	11 Jan	14	18	11 Nov	23 Nov	5 Dez	11 Dez	29 Dez
ALANDROAL	350	12	15-20 Nov	23 Nov	1 Nov	4 Jan	18	22	7 Nov	22 Nov	7 Dez	14 Dez	5 Jan
ALCÁCER DO SAL	51	20	20-25 Nov	22 Nov	15 Out	25 Dez	12	15	1 Nov	11 Nov	21 Nov	27 Nov	11 Dez
ALCOBAÇA	75	20	5-10 Nov	11 Nov	20 Out	11 Dez	16	18	31 Out	11 Nov	23 Nov	29 Nov	17 Dez
ALVALADE	61	12	10-15 Nov	11 Nov	12 Out	1 Dez	—	—					
ALVEGA	51	7	10-20 Nov	—	23 Out	11 Jan	13	16	1 Nov	12 Nov	23 Nov	28 Nov	14 Dez
AMEIXIAL	260	12	10-15 Nov	12 Nov	24 Out	20 Dez	—	—					
ANADIA	45	10	5-10 Nov	—	23 Out	13 Dez							
ÂNCORA	13	12	NÃO HOUVE GEADA										
AROUCA	1045	6	—	—	7 Out	9 Nov	—	—					
AVEIRO/BARRA	3	11	1- 5 Jan	—	27 Nov	26 Jan	—	—					
AZENHAS DO MAR	78	15	25-30 Dez	26 Dez	2 Dez	3 Fev	14	17	15 Dez	26 Dez	6 Jan	12 Jan	30 Jan
BEJA	272	20	5-10 Dez	3 Dez	31 Out	24 Dez	17	19	20 Nov	3 Dez	16 Dez	22 Dez	10 Jan
BRAGA	190	20	15-20 Nov	18 Nov	6 Out	2 Jan	15	19	5Nov	18 Nov	1 Dez	7 Dez	26 Dez
BRAGANÇA	720	20	15-20 Out	14 Out	6 Set	31 Out	13	16	3 Out	14 Out	25 Out	30 Out	16 Nov
CABO CARVOEIRO	32		NÃO HOUVE GEADA										
CABO DA ROCA	142		NÃO HOUVE GEADA										
CABO S. VICENTE	67		NÃO HOUVE GEADA										
CALDAS DA RAINHA	61	18	15-20 Nov	20 Nov	30 Out	28 Dez	14	17	9 Nov	20 Nov	1 Dez	7 Dez	25 Dez
CAMPO MAIOR	280	20	20-25 Nov	24 Nov	28 Out	23 Dez	11	14	15 Nov	24 Nov	3 Dez	8 Dez	22 Dez
CARAMULO	810	20	20-25 Dez	20 Dez	1 Nov	19 Jan	19	22	5 Dez	20 Dez	4 Jan	11 Jan	2 Fev
CASTELO BRANCO	390	20	1- 5 Dez	29 Nov	25 Out	20 Dez	16	18	17 Nov	29 Nov	11 Dez	17 Dez	4 Jan
CASTRO VERDE	190	10	25-30 Nov	—	28 Out	11 Jan	—	—					
COIMBRA	141	19	15-20 Dez	—	16 Nov	17 Jan	—	—					
COIMBRA/BENCANTA	35	20	1- 5 Dez	28 Nov	23 Out	1 Jan	21	23	13 Nov	28 Nov	13 Dez	21 Dez	12 Jan
CRASTA ALTA	68	10	20-25 Nov	—	23 Out	8 Jan	—	—	—				
DOIS PORTOS	110	14	25-30 Nov	25 Nov	20 Out	29 Dez	22	25	8 Nov	25 Nov	12 Nov	20 Dez	14 Jan
DUNAS DE MIRA	14	20	15-20 Nov	—	24 Out	26 Dez	—	—					
ELVAS	208	11	5-10 Dez	—	1 Nov	3 Jan	—	—					
ÉVORA	309	20	5-10 Dez	—	7 Nov	15 Jan	—	—					
ÉVORA/CURRAIS	230	11	1- 5 Nov	7 Nov	15 Out	21 Dez	17	22	23 Out	7 Nov	22 Nov	29 Nov	21 Dez
FARO	36	20	—	—	29 Dez	11 Fev	—	—					
FIGUEIRA C. RODRIGO	587	10	5-10 Out	13 Out	4 Set	3 Dez	21	26	26 Set	13 Out	30 Out	8 Nov	4 DDez
FIGUEIRA DA FOZ	12	10	—	—	6 Dez	31 Dez	—	—					
GERÊS	370	8	15-20 Dez	—	16 Nov	5 Jan	—	—					
GUARDA	1019	20	10-15 Nov	10 Nov	1 Out	18 Dez	16	20	28 Out	10 Nov	23 Nov	30 Nov	20 Dez
GUIMARÃES	190	20	1- 5 Dez	—	25 Out	18 Jan	—	—					
LAGOA COMPRIDA	1560	12	20-25 Out	—	3 Set	15 Nov	—	—					
LEÇA DA PALMEIRA	12	14	1- 5 Jan	—	18 Dez	25 Jan	—	—					
LISBOA/AJUDA	60	12	10-15 Dez	—	7 Dez	5 Jan	—	—					
LISBOA (I. G.)	77	20	25-30 Dez	—	8 Dez	22 Jan	—	—					
MARINHA GRANDE	83	20	25-30 Nov	27 Nov	20 Out	26 Dez	15	18	15 Nov	27 Nov	9 Dez	15 Dez	2 Jan
MARVÃO	865	7	1- 5 Dez	—	13 Nov	16 Dez	—	—					
MELGAÇO	175	12	20-25 Nov	24 Nov	1 Nov	5 Dez	11	12	16 Nov	24 Nov	2 Dez	6 Dez	18 Dez
MÉRTOLA	190	12	15-20 Nov	—	22 Out	23 Dez	—	—					
MINAS S. DOMINGOS	168	18	5-10 Dez	4 Dez	2 Nov	26 Dez	15	18	22 Nov	4 Dez	16 Dez	22 Dez	10 Jan
MIRANDA DO DOURO	693	17	25-30 Nov	21 Nov	26 Out	17 Jan	13	15	11 Nov	21 Nov	1 Dez	6 Dez	21 Dez
MIRANDELA	240	12	20-25 Out	26 Out	26 Set	2 Dez	13	18	14 Out	26 Out	7 Nov	13 Nov	1 Dez
MOIMENTA DA BEIRA	670	5	5-10 Out	—	3 Set	15 Out	—	—					
MONCORVO	408	14	10-15 Nov	14 Nov	24 Out	2 Dez	11	13	5 Nov	14 Nov	23 Nov	27 Nov	10 Dez
MONTALEGRE	1005	20	20-25 Set	28 Set	1 Set	2 Nov	20	22	13 Set	28 Set	13 Out	20 Out	11 Nov
MONTARGIL	185	11	5-10 Dez	—	17 Nov	23 Dez	—	—					
MONTE ESTORIL	31	20	—	—	5 Jan	23 Jan	—	—					
MONTEMOR-O-VELHO	15	11	25 Nov-5 Dez	—	27 Out	27 Dez	—	—					
MONTIJO	10	10	NÃO HOUVE GEADA										
MORA	110	5	15-20 Nov	—	1 Nov	13 Dez	—	—					
MOURA	158	20	25-30 Nov	29 Nov	2 Nov	22 Dez	13	15	19 Nov	29 Nov	8 Dez	14 Dez	29 Dez
NELAS	440	6	—	—	3 Set	25 Dez	—	—					
ODEMIRA	70	6	NÃO HOUVE GEADA										
PAÇOS DE FERREIRA	320	5	15-20 Out	—	7 Out	4 Dez	—	—					
PAIÃ	50	19	10-15 Dez	—	2 Nov	12 Jan	—	—					
PEDRAS RUBRAS	70	12	1- 5 Dez	—	1 Nov	10 Jan	—	—					
PEDRAS SALGADAS	608	20	5-10 Out	5 Out	3 Set	20 Nov	16	20	22 Set	5 Out	18 Out	25 Out	14 Nov
PENHAS DOURADAS	1383	20	1- 5 Out	6 Out	3 Set	27 Out	12	15	26 Set	6 Out	16 Out	21 Out	5 Nov

m — DESVIO MÉDIO
s — DESVIO MÉDIO QUADRÁTICO
(d) — DIA

QUADRO — B (cont.)

LOCAL	ALTITUDE (M)	N.º DE ANOS	PRIMEIRAS GEADAS: DATA MÉDIA GRÁFICO	DATA MÉDIA NUMÉRICO	DATA 1.ª GEADA	DATA ULTIMA GEADA	m (d)	s (d)	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DEPOIS DE 75%	50%	25%	16%	2,5%
PENHAS DA SAÚDE	1510	20	20-25 Out	20 Out	5 Set	16 Nov	12	16	9 Out	20 Out	31 Out	5 Nov	21 Nov
PINHÃO	130	10	25-30 Nov	24 Nov	24 Out	15 Dez	15	17	13 Nov	24 Nov	5 Dez	10 Dez	27 Dez
PORTALEGRE	541	20	25-30 Dez	25 Dez	18 Nov	26 Fev	20	25	8 Dez	25 Dez	11 Jan	19 Jan	13 Fev
PORTO/SERRA PILAR	95	16	1- 5 Dez	1 Dez	3 Nov	26 Dez	16	17	20 Nov	1 Dez	12 Dez	18 Dez	4 Jan
PORTO/S. GENS	90	11	10-15 Dez	—	2 Nov	1 Fev	—	—					
PÓVOA DE VARZIM	13	14	25-30 Nov	30 Nov	1 Nov	20 Dez	14	17	19 Nov	30 Nov	11 Dez	17 Dez	3 Jan
PRAIA DA ROCHA	19	20	10-15 Jan	—	18 Nov	5 Fev	—	—					
REGO DA MURTA	218	20	5-10 Dez	5 Dez	1 Nov	16 Jan	20	23	20 Nov	5 Dez	20 Dez	28 Dez	20 Jan
RÉGUA	65	12	15-20 Nov	19 Nov	2 Nov	21 Dez	16	18	7 Nov	19 Nov	1 Dez	7 Dez	25 Dez
RIO MAIOR	75	10	15-20 Dez	—	16 Nov	11 Jan	—	—					
SALVATERRA DE MAGOS	5	0	10-15 Nov	9 Nov	1 Out	13 Dez	20	23	25 Out	9 Nov	24 Nov	2 Dez	25 Dez
SANTARÉM	54	20	20-25 Dez	24 Dez	2 Nov	20 Fev	31	35	1 Dez	24 Dez	16 Jan	28 Jan	4 Mar
SANTIAGO DO CACÉM	228	20	NÃO HOUVE GEADA										
SANTO TIRSO	62	20	25-30 Nov	—	1 Nov	11 Jan	—	—					
S. BRÁS DE ALPORTEL	330	12	—	—	3 Jan	—	—	—					
S. PEDRO DO SUL	190	10	5-10 Nov	—	24 Out	10 Jan	—	—					
SETÚBAL	35	20	20-25 Dez	17 Dez	20 Nov	11 Jan	14	17	6 Dez	17 Dez	28 Dez	3 Jan	20 Jan
SESIMBRA/MAÇÃ	120	8	25-30 Nov	—	29 Out	21 Dez	—	—					
SINTRA	200	15	15-20 Dez	—	12 Dez	20 Dez	—	—					
SINTRA/CAST. MOUROS	456	15	NÃO HOUVE GEADA										
SINTRA/PENA	471	10	NÃO HOUVE GEADA										
TAVIRA	25	12	15-20 Dez	18 Dez	19 Nov	16 Jan	18	22	3 Dez	18 Dez	2 Jan	9 Jan	31 Jan
VIANA DO ALENTEJO	202	11	15-20 Nov	16 Nov	23 Out	15 Dez	16	19	3 Nov	16 Nov	29 Nov	5 Dez	24 Dez
VIDAGO	320	10	15-20 Nov	—	25 Out	26 Dez	—	—					
VILA DO BISPO	115	14	—	—	3 Fev	4 Fev	—	—					
VIANA DO CASTELO	11	13	—	—	29 Out	1 Dez	—	—					
VILA REAL	479	15	25-30 Out	27 Out	30 Set	30 Nov	12	15	17 Out	27 Out	6 Nov	11 Nov	26 Nov
VILA REAL S. ANTÓNIO	7		NÃO HOUVE GEADA										
VISEU	443	12	25-30 Out	—	3 Set	15 Nov	—	—					
ZEBREIRA	391	10	10-15 Nov	9 Nov	20 Out	10 Jan	12	14	31 Out	9 Nov	18 Nov	23 Nov	7 Dez

m — DESVIO MÉDIO
s — DESVIO MÉDIO QUADRÁTICO
(d) — DIA

QUADRO — C

LOCAL	ALTITUDE (M)	N.º DE ANOS	PRIMEIRAS GEADAS: DATA MÉDIA GRÁFICO	DATA MÉDIA NUMÉRICO	DATA 1.ª GEADA	DATA ULTIMA GEADA	m (d)	s (d)	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DEPOIS DE 75%	50%	25%	16%	2,5%
ABRUNHOSA	425	20	1 - 5 Fev	4 Fev	12 Mar	4 Jan	17	20	22 Jan	4 Fev	17 Fev	24 Fev	16 Mar
ÁGUAS DE MOURA	5	10	5 - 10 Mar	—	20 Abr	9 Fev	—	—					
ALANDROAL	350	12	5 - 10 Mar	9 Mar	12 Abr	17 Fev	16	19	24 Fev	9 Mar	22 Mar	28 Mar	16 Abr
ALCÁCER DO SAL	51	20	25 - 28 Fev	28 Fev	21 Abr	15 Jan	20	25	11 Fev	28 Fev	17 Mar	25 Mar	19 Abr
ALCOBAÇA	75	20	20 - 25 Mar	21 Mar	1 Mai	23 Jan	23	28	2 Mar	21 Mar	9 Abr	18 Abr	16 Mai
ALVALADE	61	13	15 - 20 Mar	23 Mar	10 Mai	12 Fev	27	33	1 Mar	23 Mar	14 Abr	25 Abr	27 Mai
ALVEGA	51	7	25 - 30 Mar	—	27 Mai	14 Fev	—	—					
AMEIXIAL	260	13	20 - 25 Mar	26 Mar	19 Abr	21 Fev	16	18	14 Mar	26 Mar	7 Abr	14 Abr	2 Mai
ANADIA	45	10	10 - 15 Mar	—	11 Mai	22 Jan	—	—					
ÂNCORA	13	12	NÃO HOUVE GEADA										
AROUCA	1045	6	—	—	4 Mai	23 Fev	—	—					
AVEIRO/BARRA	3	11	10 - 15 Fev	—	1 Mar	18 Jan	—	—					
AZENHAS DO MAR	78	15	10 - 15 Fev	18 Fev	20 Abr	21 Jan	19	25	1 Fev	18 Fev	7 Mar	15 Mar	9 Abr
BEJA	272	20	15 - 20 Fev	19 Fev	15 Abr	15 Jan	22	26	2 Fev	19 Fev	8 Mar	17 Mar	11 Abr
BRAGA	190	20	5 - 10 Mar	10 Mar	9 Mai	7 Fev	20	25	21 Fev	10 Mar	27 Mar	4 Abr	29 Abr
BRAGANÇA	720	20	1 - 5 Mai	7 Mai	20 Jul	23 Mar	20	25	20 Abr	7 Mai	24 Mai	1 Jun	26 Jun
CABO CARVOEIRO	32		NÃO HOUVE GEADA										
CABO DA ROCA	142		NÃO HOUVE GEADA										
CABO S. VICENTE	67		NÃO HOUVE GEADA										
CALDAS DA RAINHA	61	18	25 - 28 Fev	28 Fev	15 Abr	18 Jan	24	27	13 Jan	28 Fev	18 Mar	27 Mar	23 Abr
CAMPO MAIOR	280	20	25 - 28 Fev	1 Mar	19 Abr	6 Fev	17	20	15 Fev	1 Mar	14 Mar	21 Mar	10 Abr
CARAMULO	810	20	20 - 25 Jan	27 Jan	12 Mar	5 Jan	20	22	12 Jan	27 Jan	11 Fev	18 Fev	12 Mar
CASTELO BRANCO	390	20	1 - 5 Fev	4 Fev	12 Mar	5 Jan	19	22	20 Jan	4 Fev	19 Fev	26 Fev	20 Mar
CASTELO VERDE	190	10	5 - 10 Mar	—	18 Abr	31 Jan	—	—					
COIMBRA	141	19	15 - 20 Fev	—	12 Mar	15 Jan	—	—					
COIMBRA/BENCANTA	35	20	1 - 5 Mar	5 Mar	9 Mai	228 Jan	21	27	15 Fev	5 Mar	23 Mar	1 Abr	28 Abr
CRASTA ALTA	68	10	1 - 5 Mar	—	14 Abr	15 Jan	—	—					
DOIS PORTOS	110	14	25 - 28 Fev	23 Fev	15 Abr	15 Jan	25	30	3 Fev	23 Fev	15 Mar	25 Mar	24 Abr
DUNAS DE MIRA	14	20	10 - 15 Mar	—	2 Mai	14 Jan	—	—					
ELVAS	208	11	1 - 5 Mar	—	2 Abr	2 Fev	—	—					
ÉVORA	309	20	25 - 30 Jan	—	8 Fev	19 Jan	—	—					
ÉVORA/CURRAIS	230	11	20 - 25 Abr	22 Abr	27 Mai	9 Mar	16	21	8 Abr	22 Abr	6 Mai	13 Mai	3 Jun
FARO	36	20	—	—	11 Fev	6 Jan	—	—					

m — DESVIO MÉDIO
s — DESVIO MÉDIO QUADRÁTICO
(d) — DIA

QUADRO — C (Cont.)

LOCAL	ALTITUDE (M)	Nº DE ANOS	PRIMEIRAS GEADAS						PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DEPOIS DE				
			DATA MÉDIA		DATA 1ª GEADA	DATA ULTIMA GEADA	m (d)	s (d)					
			GRAFICO	NUMERICO					75%	50%	25%	16%	2,5%
FIGUEIRA C. RODRIGO	587	8	5 - 10 Mai	11 Mai	19 Jun	4 Mar	23	24	25 Abr	11 Mai	27 Mai	4 Jun	28 Jun
FIGUEIRA DA FOZ	12	10	—	—	4 Fev	11 Dez	—	—					
GERÊS	370	8	25 - 30 Jan	—	14 Abr	5 Jan	—	—					
GUARDA	1019	20	10 - 15 Mar	28 Mar	30 Mai	4 Jan	30	34	5 Mar	28 Mar	20 Abr	1 Mai	3 Jun
GUIMARÃES	190	20	1 - 5 Fev	—	30 Abr	10 Jan	—	—					
LAGOA COMPRIDA	1560	12	10 - 15 Mai	—	18 Jun	1 Mar	—	—					
LEÇA DA PALMEIRA	12	14	1 — 5 Jan	—	25 Jan	22 Dez	—	—					
LISBOA/AJUDA	60	12	15 - 20 JAN	—	11 Mar	5 Jan	—	—					
LISBOA (I. G.)	77	20	20 - 25 Jan	—	15 Mar	13 Jan	—	—					
MARINHA GRANDE	83	20	5 - 10 Mar	9 Mar	20 Abr	30 Jan	17	22	22 Fev	9 Mar	24 Mar	31 Mar	21 Abr
MARVÃO	865	7	5 - 10 Fev	—	14 Abr	15 Jan	—	—					
MELGAÇO	175	12	10 - 20 Fev	20 Fev	2 Abr	22 Jan	21	24	4 Fev	20 Fev	8 Mar	16 Mar	9 Abr
MÉRTOLA	190	12	15 - 20 Mar	—	11 Mai	11 Fev	—	—					
MINAS DE S. DOMINGOS	168	18	15 - 25 Fev	18 Fev	12 Mar	11 Jan	14	18	6 Fev	18 Fev	2 Mar	8 Mar	26 Mar
MIRANDA DO DOURO	693	17	10 - 15 Fev	17 Fev	6 Abr	2 Jan	28	31	27 Jan	17 Fev	10 Mar	20 Mar	20 Abr
MIRANDELA	240	12	15 - 20 Abr	14 Abr	30 Abr	16 Mar	12	14	5 Abr	14 Abr	23 Abr	28 Abr	11 Mai
MOIMENTA DA BEIRA	670	5	1 - 5 Mai	—	30 Mai	15 Abr	—	—					
MONCORVO	408	14	1 - 5 Mar	3 Mar	6 Abr	20 Fev	12	14	22 Fev	3 Mar	12 Mar	17 Mar	31 Mar
MONTALEGRE	1005	20	10 - 15 Jul	17 Jul	29 Ago	20 Mai	32	35	25 Jun	17 Jul	9 Ago	21 Ago	25 Set
MONTARGIL	185	11	1 - 10 Mar	—	10 Mai	26 Jan	—	—					
MONTE ESTORIL	31	20	—	—	23 Jan	6 Jan	—	—					
MONTEMOR-O-VELHO	15	11	15 - 28 Fev	—	3 Abr	15 Jan	—	—					
MONTIJO	10	10	NÃO HOUVE GEADA										
MORA	110	5	20 - 25 Fev	—	14 Abr	19 Fev	—	—					
MOURA	158	20	20 - 25 Fev	25 Fev	14 Abr	25 Jan	17	22	10 Fev	25 Fev	12 Mar	19 Mar	11 Abr
NELAS	440	6	—	—	27 Mai	10 Fev	—	—					
ODEMIRA	70	6	NÃO HOUVE GEADA										
PAÇOS DE FERREIRA	320	5	10 - 15 Abr	—	28 Mai	22 Jan	—	—					
PAIÃ	50	19	20 - 25 Fev	—	31 Mar	12 Jan	—	—					
PEDRAS RUBRAS	70	12	15 - 20 Fev	—	25 Abr	15 Jan	—	—					
PEDRAS SALGADAS	608	20	5 - 10 Mai	7 Mai	14 Jun	19 Mar	21	28	19 Abr	7 Mai	26 Mai	4 Jun	2 Jul
PENHAS DOURADAS	1383	20	5 - 15 Mai	11 Mai	23 Ago	11 Mar	21	26	24 Abr	11 Mai	28 Mai	7 Jun	3 Jul
PENHAS DA SAÚDE	1510	20	1 - 5 Mai	7 Mai	18 Jun	9 Abr	17	20	24 Abr	7 Mai	20 Mai	27 Mai	16 Jun
PINHÃO	130	11	20 - 25 Fev	23 Fev	11 Abr	22 Jan	18	23	8 Fev	23 Fev	10 Mar	18 Mar	10 Abr
PORTALEGRE	541	20	5 - 10 Fev	10 Fev	12 Mar	3 Jan	16	20	28 Jan	10 Fev	23 Fev	2 Mar	22 Mar
PORTO/SERRA DO PILAR	95	20	15 - 20 Fev	15 Fev	12 Mar	18 Jan	15	17	4 Fev	15 Fev	26 Fev	4 Mar	21 Mar
PORTO/S. GENS	90	11	15 - 20 Fev	—	11 Mar	16 Jan	—	—					
PÓVOA DE VARZIM	13	14	15 - 20 Fev	17 Fev	21 Abr	3 Jan	28	34	25 Jan	17 Fev	12 Mar	22 Mar	25 Abr
PRAIA DA ROCHA	19	20	1 - 5 Fev	—	27 Fev	14 Jan	—	—					
REGO DA MURTA	218	20	5 - 10 Mar	4 Mar	[illegible] Mai	28 Jan	18	25	15 Fev	4 Mar	21 Mar	29 Mar	23 Abr
RÉGUA	65	12	1 - 5 Mar	1 Mar	9 Abr	16 Jan	23	28	9 Fev	1 Mar	20	29 Mar	26 Abr
RIO MAIOR	75	10	20 - 25 Fev	—	14 Abr	22 Jan	—	—					
SALVATERRA DE MAGOS	5	10	1 - 5 Mar	7 Mar	20 Abr	15 Jan	27	31	14 Fev	7 Mar	28 Mar	7 Abr	8 Mai
SANTARÉM	54	20	15 - 20 Fev	14 Fev	12 Mar	8 Jan	21	23	31 Jan	14 Fev	1 Mar	9 Mar	1 Abr
SANTIAGO DO CACÉM	228	20	NÃO HOUVE GEADA										
SANTO TIRSO	62	20	25 - 28 Fev	—	14 Abr	15 Fev	—	—					
S. BRÁS DE ALPORTEL	330	12	—	—	14 Mar	—	—	—					
S. PEDRO DO SUL	190	10	5 — 10 Mar	—	17 Abr	16 Fev	—	—					
SETÚBAL	35	20	15 20 Fev	17 Fev	12 Mar	6 Jan	18	22	2 Fev	17 Fev	4 Mar	11 Mar	2 Abr
SESIMBRA/MAÇÃ	120	8	15 - 25 Fev	—	15 Mar	17 Jan	—	—					
SINTRA	200	15	25 - 30 Jan	—	10 Fev	25 Jan	—	—					
SINTRA/CAST. MOUROS	456	15	NÃO HOUVE GEADA										
SINTRA/PENA	471	10	NÃO HOUVE GEADA										
TAVIRA	25	12	1 - 5 Fev	4 Fev	10 Mar	15 Jan	15	18	23 Jan	4 Fev	16 Fev	22 Fev	12 Mar
VIANA DO ALENTEJO	202	11	1 - 5 Abr	9 Abr	28 Mai	15 Jan	19	24	24 Mar	9 Abr	25 Abr	3 Mai	27 Mai
VIDAGO	320	10	15 - 25 Mar	—	9 Mai	22 Jan	—	—					
VILA DO BISPO	115	14	15 - 20 Fev	—	24 Fev	6 Fev	—	—					
VIANA DO CASTELO	11	13	—	—	8 Abr	26 Jan	—	—					
VILA REAL	479	15	20 - 25 Mar	21 Mar	30 Abr	9 Fev	20	27	3 Mar	21 Mar	8 Abr	17 Abr	14 Mai
VILA REAL S. ANTÓNIO	7		NÃO HOUVE GEADA										
VISEU	443	12	1 - 5 Mai	—	25 Jun	27 Fev	—	—					
ZEBREIRA	391	10	10 - 15 Mar	14 Mar	10 Abr	26 Jan	18	22	28 Fev	14 Mar	29 Mar	5 Abr	27 Abr

m — DESVIO MÉDIO
s — DESVIO MÉDIO QUADRÁTICO
(d) — DIA

APÊNDICE B

EXPERIÊNCIAS DE UM PROJECTO AGROMETEOROLÓGICO NA FINLÂNDIA(*)

Um estudo preliminar para o desenvolvimento de um Serviço Meteorológico para a Agricultura, teve início em Março de 1982. O Ministério da Agricultura e Florestas tem vindo a financiar o projecto em 100 000 marcos finlandeses, FIM, em 1982 (1 FIM = 27$00); 180 000 FIM em 1983; e 200 000 FIM, em 1984. Do total de 480 000 FIM as actividades operacionais representam 330 000 FIM.

As instituições que concorrem para o grupo de trabalho são: o Instituto Meteorológico da Finlândia (I.M.F.), o Centro de Pesquisa Agrícola (C.P.A.), a Associação dos Centros Agrícolas (A.C.A.) e a União Central dos Produtores Agrícolas (U.C.P.A.). As tarefas do grupo de trabalho são a avaliação dos problemas agrometeorológicos da agricultura finlandesa, fazer planos para a organização do Serviço Meteorológico para a Agricultura e estimar custos e benefícios deste.

No verão de 1983, 230 lavradores receberam, a título experimental, informação agrometeorológica na região de Häme — 7 500 km^2, 167 000 hectares cultivados e cerca de 8 000 lavradores.

As mensagens, que foram transmitidas por um sistema automático de telefone, incluiam uma previsão do estado do tempo para dois e cinco dias preparadas pelo I.M.F., suplementadas por um "panorama da agricultura" ("actual in agriculture") preparado pela Direcção Regional de Agricultura. O C.P.A. forneceu informação e conselho para este "panorama da agricultura".

As mensagens foram renovadas duas vezes por dia: às 11.00 e 16.00 horas. A previsão meteorológica para 2 dias foi feita 2 vezes e a para 5 dias 1 vez. O serviço foi prestado 5 dias por semana durante a época normal de crescimento. As mensagens também foram publicadas 2 vezes por semana em 4 jornais locais. Um sistema de "vidiotex" foi usado para estabelecer a comunicação entre as instituições envolvidas no projecto.

Havia apenas uma Estação Meteorológica na área. Estabelecendo-se especialmente mais 4. Uma das estações levou a cabo observações da temperatura do solo, insolação, radiação e evaporação. A soma de calor efectivo, evapotranspiração potencial, défice hídrico, balanço da radiação,etc., foram calculados diariamente a partir das observações.

As actividades do C.P.A. incluiram determinações do número de grãos caídos e da humidade dos grãos dos cereais utilizados na panificação, da humidade do solo e observações de doenças e pragas das plantas, suplementadas pelo conselho técnico necessário. Os resultados das determinações da qualidade da forragem e silagem e da qualidade da beterraba sacarina feitas pela Associação das Cooperativas Leiteiras e pela Finish Sugar Ltd., foram também utilizados.

As previsões do estado do tempo preparadas para o projecto foram mais precisas do que as das previsões gerais. Destaque-se elevado interesse que este aumento de precisão tiveram no que toca à ocorrência de geadas e chuva.

Os maiores ganhos foram alcançados nas operações de protecção das plantas e na defesa de batatas temporãs e culturas hortícolas da geada. As maiores vantagens deste serviço foram consideradas ser a disponibilidade das previsões a qualquer hora do dia e o aumento da precisão das previsões.

A razão custo/benefício do serviço foi avaliada em 1:30 e o lucro médio por hectare cifrou-se pelos 65 FIM.

O serviço vai ser extendido a todo o território até 1990. Na sua plenitude o custo dos serviços será de cerca de 3 milhões de FIM. A razão custo/benefício foi avaliada em 1:40. Os custos serão cobertos na sua maior parte pelas taxas das chamadas do serviço telefónico especial.

(*) Fonte: Comunicação pessoal de Martti Esala, Agricultural Research Centre, Jokioinen, Finlândia.