

AS GOTAS DE AR FRIO E O REGIME DA PRECIPITAÇÃO EM PORTUGAL

JOSÉ EDUARDO VENTURA

INTRODUÇÃO

Neste trabalho, pretende-se mostrar a importância das gotas frias no regime pluviométrico de Portugal. Procurou-se, sobretudo, averiguar qual a influência das chuvas que elas originam na evolução do regime pluviométrico, ao longo do ano, assim como nos contrastes espaciais, nomeadamente nos casos em que a habitual dissimetria Norte-Sul se inverte em favor das regiões mais meridionais ⁽¹⁾.

Um dos traços que mais individualizam o regime das precipitações do Sul do país é o dos meses chuvosos apresentarem, ao contrário do que acontece no Norte, quantitativos pluviométricos pouco diferentes. Esta característica tem especial interesse, pois traduz a importância das chuvas do fim do Inverno e Primavera, sobretudo nos anos secos, as quais são responsáveis pelo facto do máximo principal ocorrer mais tardiamente no Sul do que no Norte.

I — NATUREZA E IMPORTANCIA DAS GOTAS FRIAS

Foram consideradas gotas frias as colunas ciclónicas, normalmente em circulação de bloqueio, resultantes da advecção de ar frio polar ou ártico e que se marcam aos 500 mb por

⁽¹⁾ Esta matéria é tratada com maior desenvolvimento no seguinte trabalho do autor: «*Influência das gotas de ar frio no ritmo e na repartição espacial das chuvas em Portugal*», Linha de Acção de Geografia Física, Relatório n.º 24, C. E. G., Lisboa, 1986, 212 p. (policopiado).

uma ou mais isoipsas e isotérmicas concêntricas. Esta definição aproxima-se da apresentada por P. FONTAINE (1951, p. 98) e seguida, posteriormente, por D. DE BRUM FERREIRA (1980) no seu estudo sobre o clima dos Açores.

Segundo C. K. M. DOUGLAS (1947, p. 227), a descoberta das depressões frias espessas foi feita por W. H. DINES, no início deste século. Com o desenvolvimento do modelo norueguês das frentes, nos anos vinte, estas depressões frias passaram a ser identificadas como depressões em fase de envelhecimento ou oclusão, associadas às ondulações da frente polar.

No entanto, estes dois tipos de depressões são bastante diferentes. As gotas frias originam ciclones com estrutura térmica simétrica e geralmente com uma circulação mais acentuada em altitude. Por seu lado, as depressões associadas à frente polar são mais marcadas à superfície e de estrutura térmica completamente assimétrica. As primeiras têm um núcleo frio rodeado de ar quente; as segundas desenvolvem-se numa atmosfera baroclínica, em que há um sector de ar quente rodeado de ar frio. Foi no final dos anos quarenta, com a escola de Chicago, que surgiram as primeiras pesquisas sobre este tipo de depressões (*cold pools*) resultantes de mecanismos de *cutting-off* (fig. 1-A).

Segundo M. MEDINA (1976), a actividade das gotas frias bem como o seu deslocamento dependem dos ventos que as rodeiam. Enquanto estes se mantêm assimétricos, a gota fria é, em geral, bastante activa, com intensos movimentos ascendentes do ar e formação de nuvens de grande desenvolvimento vertical. Nesta situação, a gota fria desloca-se no sentido dos ventos mais fortes. Frequentemente, depois de se isolarem, as gotas frias mantêm na sua periferia um «troço» do *jet*, que se desloca, circundando a gota, e que é responsável pelo movimento por vezes caprichoso destas. Se os ventos que rodeiam a gota são simétricos, esta deixa de deslocar-se, convertendo-se num vórtice ciclónico quase estacionário, que absorve o ar quente das margens e o mistura com o seu próprio ar, homogeneizando-se o conjunto e entrando a perturbação em fase de dissipação (M. MEDINA, 1976, p. 100-101).

As gotas frias não se mantêm por muito tempo se, à superfície, não houver uma curvatura ciclónica das isóbaras.

Como factor mais importante para a manutenção da gota saliente-se a ausência de subsidência, a qual pode ser originada por factores externos que afectam sobretudo as gotas frias de menores dimensões, destruindo-as rapidamente. Também a não existência de novas advecções de ar frio, para substituir

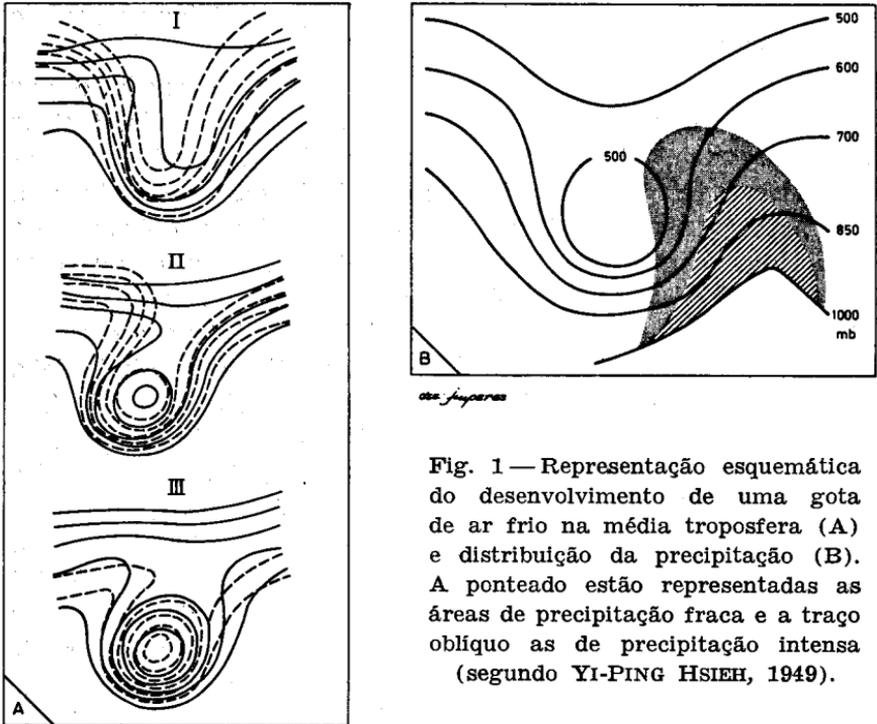


Fig. 1 — Representação esquemática do desenvolvimento de uma gota de ar frio na média troposfera (A) e distribuição da precipitação (B). A ponteados estão representadas as áreas de precipitação fraca e a traço oblíquo as de precipitação intensa (segundo YI-PING HSIEH, 1949).

o que subside, acaba por provocar a convergência, em altitude, do ar quente e a consequente colmatção da gota fria (C. K. M. DOUGLAS, 1947, p. 229).

As gotas frias reflectem-se em vários aspectos do estado do tempo, como na nebulosidade e na temperatura; mas é nas precipitações que a influência é mais nítida, as quais, em certos casos, podem ter, pela sua forte concentração no espaço e no tempo, consequências verdadeiramente devastadoras. No sector oeste e norte da gota, a subsidência do ar frio impede a formação de nuvens de grande desenvolvimento vertical, predominando as áreas de céu limpo ou de nuvens pouco espessas. No flanco oriental, especialmente no sector

sueste, o movimento é ascendente, propiciando a formação de precipitação (fig. 1-B). Assim, uma gota fria pode originar um aguaceiro muito intenso numa área relativamente restrita, enquanto, em regiões vizinhas, pode mesmo não chover. Esse facto, aliado ao reduzido número de estações meteorológicas com dados diários publicados, constitui uma das maiores dificuldades do estudo da influência das gotas frias no regime das precipitações.

No entanto, o desencadeamento da condensação e das chuvas não dependem apenas do sector da gota fria. Outros factores podem interferir, ou mesmo ser determinantes, nomeadamente o relevo, os contrastes verticais da temperatura, a estrutura vertical da troposfera e a velocidade do ramo do fluxo que geralmente envolve a gota fria, os quais, com excepção do relevo, estão dependentes da época do ano.

De uma maneira geral, as precipitações intensas ocorrem quando se conjugam fortes gradientes verticais de diminuição da temperatura (originados essencialmente pela advecção fria em altitude), com a presença de ar húmido na baixa troposfera que forneça o vapor de água necessário às condensações abundantes. Contudo, estas condições não são, por vezes, determinantes. Refiram-se as gotas frias que se estabelecem, no fim da Primavera e no início do Verão, na margem ocidental da Península Ibérica, as quais, apesar da existência de massas de ar quente e por vezes húmido na baixa troposfera, normalmente não originam precipitações. Isto porque, na época quente, o estado do tempo nesta região é influenciado, quase continuamente, pelas células de altas pressões subtropicais. A actividade das gotas frias, que se formam nestas circunstâncias, é normalmente muito fraca, não se chegando a marcar pelo aparecimento de uma área depressionária em superfície.

Nos últimos anos, as imagens obtidas pelos satélites contribuíram para um melhor conhecimento da estrutura das gotas e dos contrastes que elas provocam no estado do tempo. Assim, numa primeira fase de evolução, a gota fria é normalmente responsável pela formação de cumulonimbos que se juntam para formar um ou vários pequenos núcleos. Estes reagrupam-se seguidamente num sistema nebuloso de con-

tornos circulares e, portanto, nitidamente distinto das bandas nebulosas frontais (2).

Segundo M. MEDINA (1976, p. 295-298), estas depressões frias isoladas nas baixas latitudes originam nuvens geralmente cumuliformes, organizadas em alinhamentos, que tendem a ser concêntricos, apresentando-se o conjunto semelhante ao resultante de um processo de oclusão.

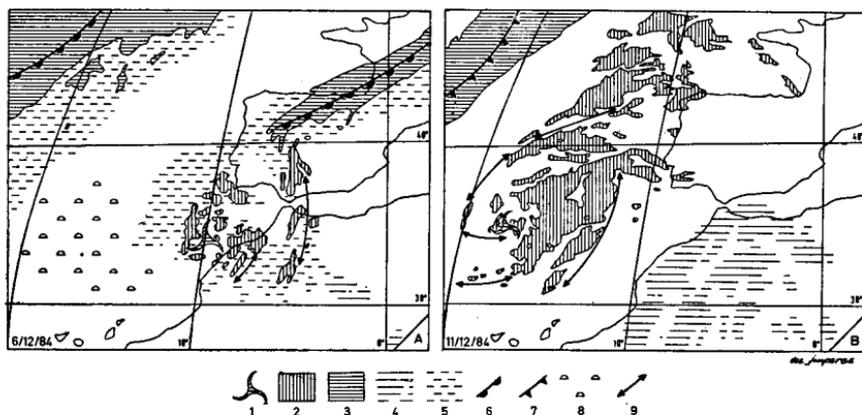


Fig. 2 — Nefanálises de situações de gota fria nos dias 6/12/84 (A) e 11/12/84 (B) (segundo imagens publicadas no Boletim Meteorológico Diário, I. N. M. G.).

- 1 — Vortex extratropical;
- 2 — Corpo nebuloso denso e convectivo;
- 3 — Corpo nebuloso espesso associado a um sistema frontal;
- 4 — Nuvens altas cirriformes;
- 5 — Nuvens baixas estratiformes;
- 6 — Frente quente;
- 7 — Frente fria;
- 8 — Pequenas nuvens cumuliformes dispersas em células abertas;
- 9 — Alinhamentos nebulosos.

Os corpos nebulosos do sector oriental podem apresentar estruturas diversas. Nas mais comuns, as nuvens estão organizadas em células convectivas isoladas (fig. 2-A), ou em alinhamentos nebulosos circulares (fig. 2-B). As precipitações originadas por estas formações nebulosas podem atingir uma grande intensidade, como aconteceu em Dezembro de 1975 em Faro (fig. 3-A), onde se registaram 225 mm das 18 horas

(2) Ver «Étude des perturbations dans l'hémisphère Nord», *La Météorologie*, VII Série, Maio, 1984, p. 24-35. (Este artigo é a recensão de uma tese com o mesmo título, sobre a ciclogénese no Atlântico e no Mediterrâneo, da autoria de R. M. THÉPENIER).

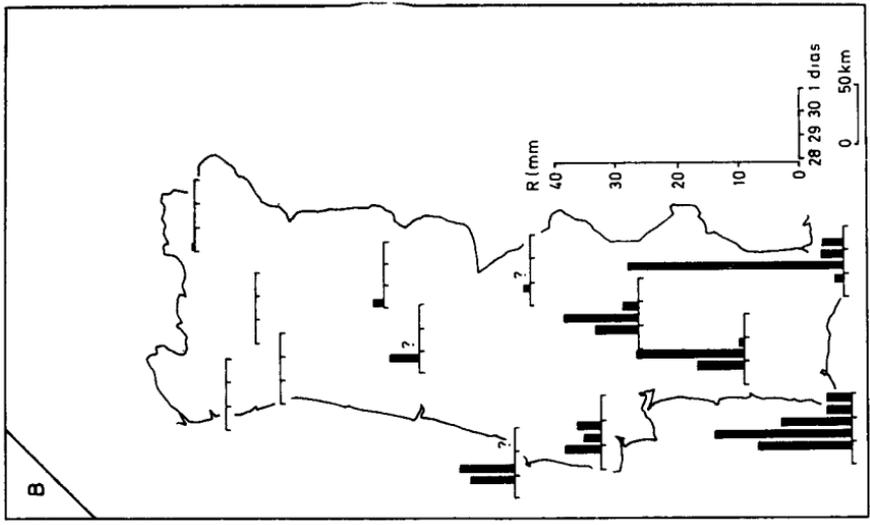
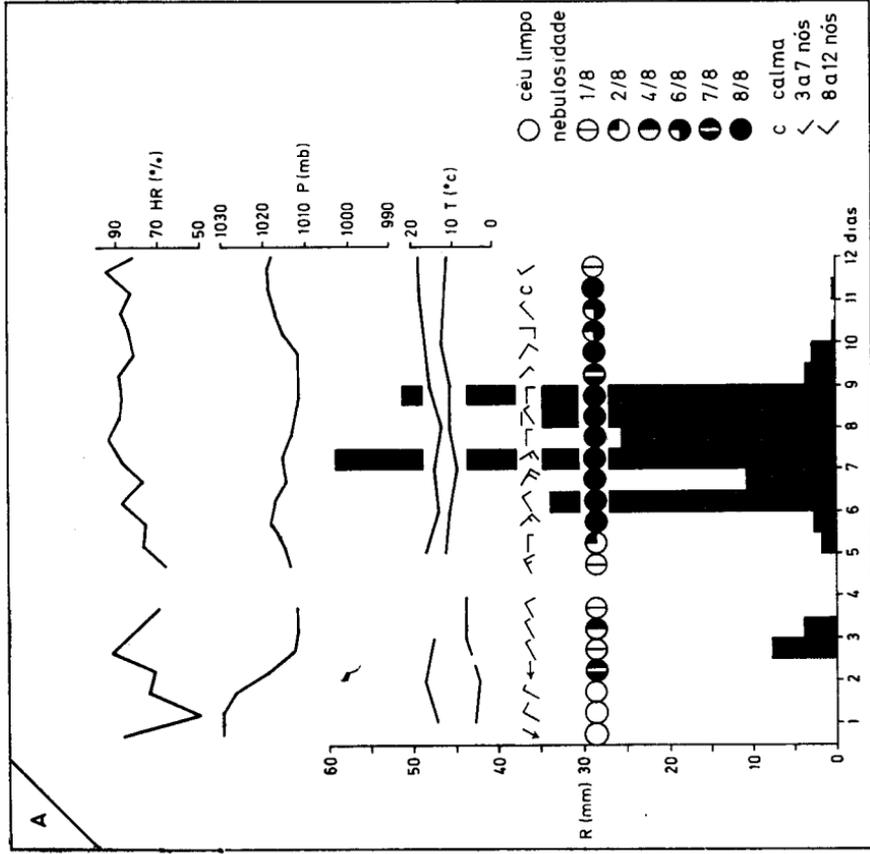


Fig. 3 — Evolução do estado do tempo do dia 1 ao dia 11 de Dezembro de 1975, em Faro (A). Totais de chuva registrados de 12 em 12 horas, do dia 28 de Abril ao dia 1 de Maio de 1976 (B).

des. Aguiar

do dia 5 às 18 horas do dia 9, o que corresponde a um valor bastante superior ao do nono decil (199 mm) de Dezembro, em Faro. A ocorrência deste tipo de chuvas leva ao aparecimento de fortes dissimetrias regionais dos totais pluviométricos, opondo regiões com totais muito elevados a outras onde não se regista sequer precipitação, como, por exemplo, no período de 28 de Abril a 1 de Maio de 1976 (fig. 3-B).

II — AS GOTAS DE AR FRIO NA PENÍNSULA IBÉRICA E NO ATLÂNTICO ORIENTAL

Neste trabalho foram recenseadas as gotas frias de Setembro de 1974 a Agosto de 1980, registadas no espaço coberto pelos mapas sinópticos do boletim meteorológico diário português. Este espaço corresponde à área que, simplificada, designaremos por Península Ibérica e Atlântico Oriental. Tendo em vista a análise da distribuição espacial e da frequência de ocorrência das gotas frias foi anotada a posição do seu centro, ao nível dos 500 mb.

1 — Tipos de bloqueio em que se formam as gotas frias

Na figura 4 estão considerados os três tipos fundamentais de bloqueio em que se podem originar as gotas: bloqueio difluente, *cut-off-low* e ómega.

O bloqueio difluente caracteriza-se por uma divisão do *jet* em dois ramos, o setentrional com curvatura anticiclónica e o meridional com curvatura ciclónica. Justapõem-se geralmente, em latitude, dois núcleos, um de altas pressões, a norte, constituído por ar quente, e outro de baixas pressões, a sul, com movimento ciclónico e que corresponde a uma célula de ar frio.

Os bloqueios em *cut-off-low* são bastante frequentes no Atlântico Oriental e resultam da progressão de ar frio para sul através de um vale, e o seu posterior isolamento na extremidade do talvegue, como consequência do restabelecimento do fluxo rápido a norte. Fica, assim, constituído um núcleo de ar frio, animado de circulação ciclónica e envolvido por um ramo do fluxo.

Quanto aos bloqueios em ómega, estes formam-se normalmente na passagem do Atlântico Oriental para a Europa

Ocidental. Este dispositivo sinóptico compreende uma dorsal quente, que atinge latitudes elevadas, flanqueada por invasões de ar frio: uma vinda de noroeste, do Norte do Canadá ou, mais frequentemente, da Gronelândia, e outra proveniente da Escandinávia ou do interior do continente europeu (esta última não se verifica na estação quente). Estas invasões geralmente originam gotas frias, uma em cada flanco da dorsal anticiclónica, que se estende normalmente de sudoeste para nordeste, desde a Península Ibérica até à Escandinávia. Na sua evolução, as colunas de ar frio tendem a convergir, e a

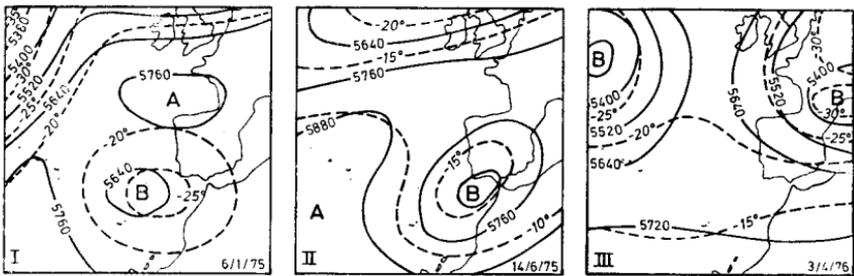


Fig. 4 — Tipos de bloqueio em que se formam as gotas de ar frio.
I — em bloqueio difluente; II — em *cut-off-low*; III — em ómega.

estrangular a dorsal, acabando por se originar uma célula de ar quente a norte, e uma coluna de ar frio a sul desta.

No espaço analisado, Península Ibérica e Atlântico Oriental, as gotas frias mais frequentes foram formadas pelos *cut-off-low*, as quais foram responsáveis por mais de metade dos dias com gotas frias (52 %). Aos bloqueios difluentes, também bastante frequentes, correspondem cerca de 33 %, aparecendo com percentagens bastante mais reduzidas os dias com gotas formadas em bloqueio em ómega (15 % dos dias). Destes 15 %, 9 % correspondem às gotas do flanco oriental (GOME) e 6 % às gotas do flanco ocidental (GOMW). Esta maior frequência de ocorrência das GOME deve resultar, em parte, dos dispositivos em ómega se formarem, como já foi referido, no Atlântico Oriental, acontecendo por vezes que a GOMW se localize já fora do espaço considerado. Em todo o caso, na análise efectuada, verificou-se que as invasões frias do flanco oriental da dorsal originam mais frequentemente uma gota fria do

que as do lado ocidental. Também, quando se formam as duas gotas frias (GOMW e GOME), normalmente é a GOME que forma uma depressão mais cavada, facto que parece estar ligado às mais baixas temperaturas ao nível dos 500 mb neste sector.

Quanto à variação intermensal dos tipos de bloqueios responsáveis pelas gotas frias, verifica-se que os *cut-off-low* são os que originam mais dias com gotas frias, excepto em Novembro, Janeiro e Abril, em que os bloqueios difluentes se avantajam aos *cut-off*. Deste modo, o número de dias com gotas resultantes de *cut-off* é mais frequente de Junho a Outubro, durante a estação quente. Na estação fria, de Novembro a Abril, aumentam os dias de gotas frias em bloqueio difluente e sobretudo dos bloqueios em ómega. Estes atingem os valores mais elevados de Dezembro a Maio, sendo na Primavera, em Abril e Maio, que se registam os valores máximos (32 % em Abril e 27 % em Maio, correspondendo 21 % e 19 % às GOME).

É, então, possível salientar um ritmo anual dos tipos de bloqueio responsáveis pelas gotas frias. Durante o Verão, a larga predominância dos *cut-off-low* deve estar relacionada com a formação de um vale à «entrada» do continente e o isolamento de uma célula fria por *cut-off*, geralmente, na região da Madeira. Com o início da estação fria, modificam-se as condições de circulação e torna-se mais frequente a formação de bloqueios difluentes e em ómega.

2 — *Variação anual*

Nos seis anos estudados (1974-75/1979-80), não houve grandes variações entre o número de dias com gotas frias ^(*), tendo-se registado, no entanto, valores ligeiramente mais elevados em 1974-75 e em 1975-76 do que nos restantes anos.

A análise sinóptica efectuada para estes seis anos permitiu verificar que 1974-75 e 1975-76, anos de características secas, registaram também os valores mais elevados da circulação meridiana e, dentro desta, da circulação de bloqueio.

(*) Tenha-se em atenção que não se contabilizou o número de gotas frias ocorridas, mas o número de dias com ocorrência de gotas.

Pelo contrário, nos outros quatro anos (1976-77 a 1979-80) acentuou-se o carácter zonal da circulação atmosférica (fig. 5) e, destes anos, apenas 1979-80 não teve características chuvosas. Deste modo, conclui-se que, em traços gerais, nestes seis anos a circulação zonal aparece associada aos anos de abundância pluviométrica, enquanto, pelo contrário, os anos em que predomina a circulação meridiana, e, dentro desta, a circulação de bloqueio, aparecem relacionados com a escassez de chuvas

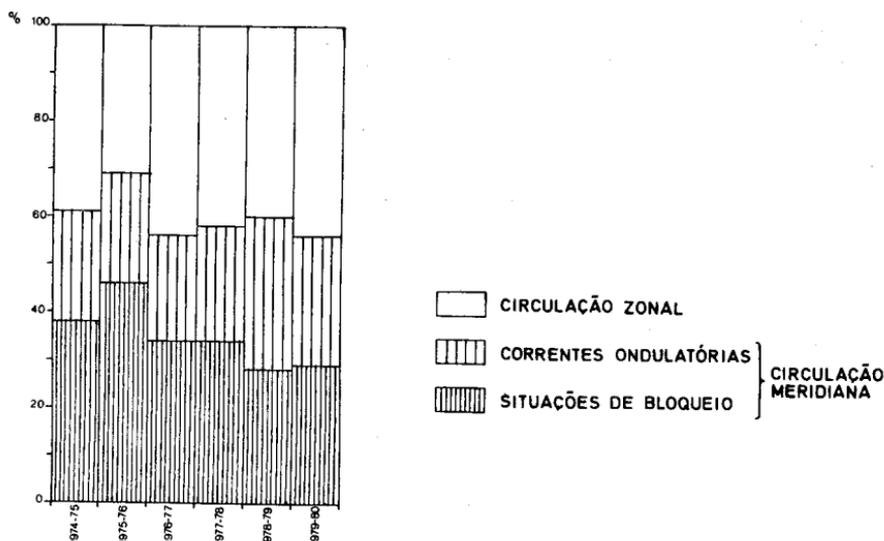


Fig. 5 — Variação interanual dos diversos tipos de circulação em altitude (1974-75/1979-80).

e com uma maior frequência de ocorrência de dias influenciados por gotas de ar frio.

Todavia, a fraca variação interanual do número de dias com gotas frias não significa, à partida, que as suas consequências não tenham sido muito diferentes, não só quanto à intensidade, mas também quanto às áreas afectadas. Aliás, a distribuição espacial das gotas apresenta uma nítida variação interanual.

Na análise da distribuição espacial e da frequência de ocorrência anual das gotas frias (fig. 6), verifica-se que são as regiões próximas do limite entre o continente e o oceano as mais atingidas pelas gotas. Estas são, em geral, mais

frequentes sobre o oceano do que sobre o continente, destacando-se neste, pelas elevadas frequências de ocorrência, a Península Ibérica.

Como área de maior «atracção» das gotas frias destaque-se o espaço compreendido entre a Península Ibérica, a costa africana e o arquipélago da Madeira. Esta região registou sempre as frequências de ocorrência mais elevadas, com

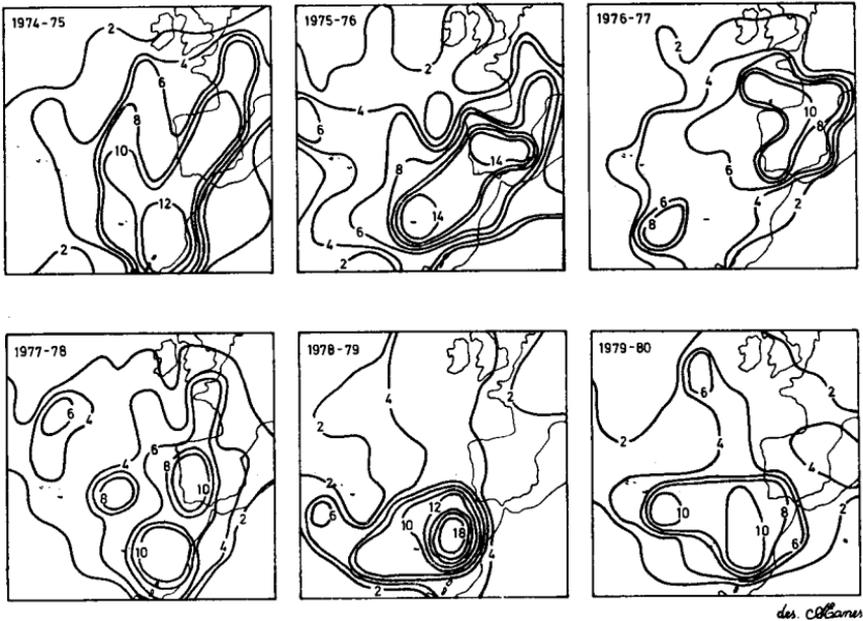


Fig. 6 — Distribuição espacial e frequência de ocorrência anual do número de dias com gotas frias de Setembro de 1974 a Agosto de 1980, no Atlântico Oriental e Península Ibérica.

des. Colares

excepção de 1976-77, em que estas se verificaram na região a oeste da Madeira e sobre a Península Ibérica e Golfo da Biscaia.

Restringindo a análise da distribuição espacial das frequências de ocorrência de dias com gotas à região da Península Ibérica (fig. 7), nota-se que a localização dos valores mais fortes de ocorrência varia de ano para ano. Assim, e apesar da importante variação interanual, é possível, no entanto, salientar áreas que são todos os anos intensamente afectadas pelas gotas, como a região sudoeste da Península Ibérica.

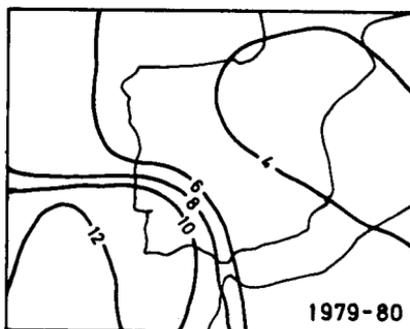
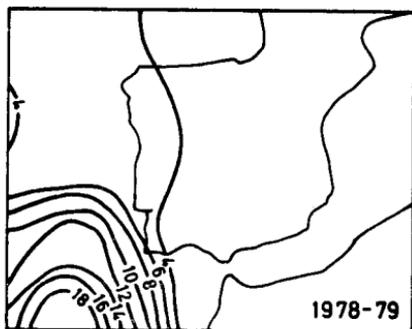
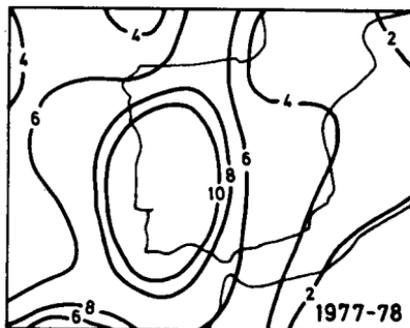
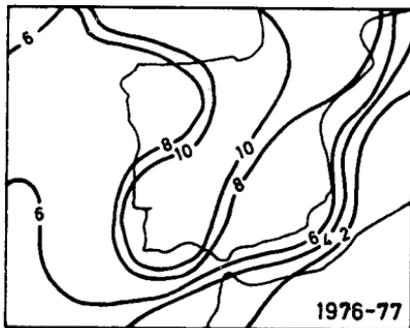
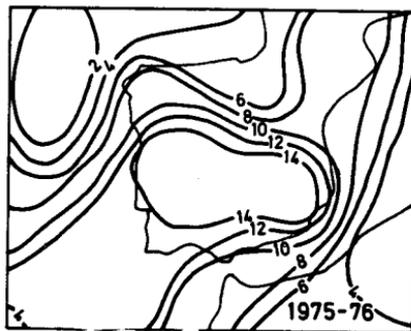
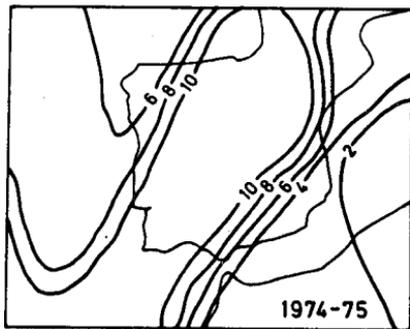


Fig. 7 — Distribuição espacial e frequência de ocorrência anual do número de dias com gotas frias de 1974-75 a 1979-80, na Península Ibérica.

Pelo contrário, a região noroeste aparece-nos como a menos sujeita à sua influência, verificando-se mesmo, em vários anos, junto ao litoral noroeste da Península, um mínimo bem marcado, como aconteceu em 1974-75 e 1975-76.

Uma análise atenta da distribuição, nos vários anos, mostra certas semelhanças, o que resulta da existência de «corredores meridianos de advecção de ar frio e de gotas, um pouco como existem trajectórias zonais de ciclones» (P. PEDELABORDE, 1957, p. 85).

P. FONTAINE (1951, p. 103) observou uma maior frequência de ocorrência das gotas frias no Atlântico Oriental do que no continente europeu e, mesmo, do que no Mediterrâneo. Na análise por nós efectuada, verificou-se que esta tendência é mais forte durante a época mais quente (principalmente no fim da Primavera e no Verão), resultando da progressão de ar frio na média e alta troposfera, à «entrada» do continente, situação que é frequentemente responsável pela formação de uma gota fria na região da Madeira. A este respeito, J. MOUNIER (1978) refere que as ondulações de fraca amplitude ligadas ao *jet* subtropical, e que se deslocam para este, a latitudes que podem atingir os 45° N, no decurso da sua evolução, acabam por «isolar a extremidade do vale frio que alimenta deste modo uma depressão estagnante (*ob. cit.*, p. 330). Fica, assim, constituída uma espécie de depressão potencial, favorável à posterior advecção de ar polar logo que se estabeleça um vale planetário à sua longitude.

3 — *Variação mensal*

De maior interesse que a variação anual é, sem dúvida, a variação mensal das gotas frias.

Apesar dos meses imporem limites temporais sem grande significado em climatologia, esta divisão em doze períodos, com duração semelhante, permite encontrar diferenças substanciais, quer na localização, quer na frequência das gotas, assim como do seu ritmo ao longo do ano.

Uma das principais características das gotas de ar frio é a sua irregularidade. Esta verifica-se não só nas diferentes consequências que podem ter no estado do tempo, mas também, como já foi referido por CASTILLO REQUENA (1978),

num artigo sobre as gotas na Espanha peninsular, pela irregularidade da sua presença.

Variação mensal do número de dias com gotas frias. — Quanto à variação mensal do número de dias com gotas frias na Península Ibérica e no Atlântico Oriental (fig. 8), verificaram-se três máximos: durante a Primavera e o início do Verão, no final do Verão e início do Outono e ainda outro no começo do Inverno. Dos três, destaca-se o primeiro, pelas elevadas frequências de ocorrência, as quais, embora nem sempre nos mesmos meses, se verificam em todos os anos estudados. Assinale-se também o máximo do começo do Inverno, o qual apresenta um maior interesse que o do final do Verão e início do Outono por ter, por vezes, valores bastante elevados, como aconteceu em Dezembro de 1975-76.

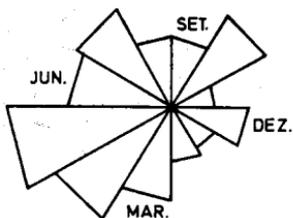
Comparando os vários anos, é também de salientar que as gotas frias têm tendência para apresentar o seu máximo de dias de ocorrência mais precocemente nos anos secos do que nos chuvosos. Este facto tem grande interesse no ritmo das chuvas, nos anos secos e especialmente no Sul de Portugal, como se verá mais adiante.

Distribuição espacial das gotas frias na Península Ibérica e no Atlântico Oriental. — A distribuição espacial das gotas, nos vários meses (fig. 9), apresenta uma grande variação. No entanto, é possível encontrar características comuns que permitem agrupar os meses da seguinte forma:

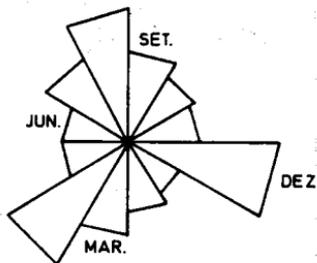
Setembro, Novembro, Fevereiro, Junho e Agosto, com um máximo a sudoeste da Península Ibérica, que atinge valores bastante elevados em Setembro e em Junho;

Outubro, Dezembro, Janeiro, Maio e Julho, com um máximo que se estende em diagonal, da Península Ibérica até à região da Madeira. Outubro, tem um só máximo, relativamente fraco, que engloba o Sueste da Península e o Norte de África; Dezembro, apresenta valores bastante elevados no Sudoeste da Península Ibérica e região da Madeira; Janeiro, tem um máximo principal, bastante intenso, a oeste da Madeira e outro, secundário, no Levante espanhol; Maio e Julho apresentam características semelhantes, ambos com valores elevados na região do País Basco e Golfo da Biscaia, especialmente no primeiro mês;

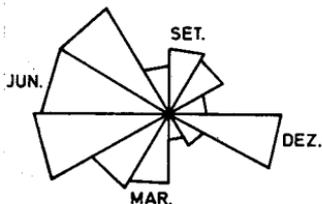
1974 - 75



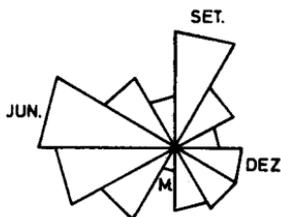
1975 - 76



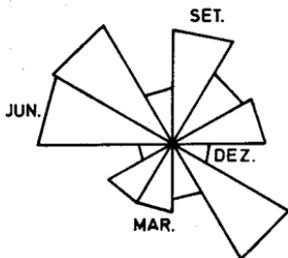
1976 - 77



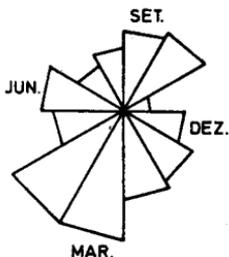
1977 - 78



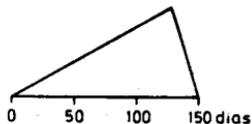
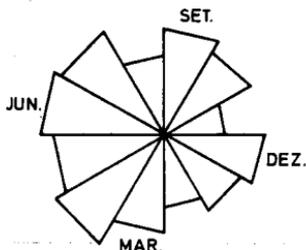
1978 - 79



1979 - 80

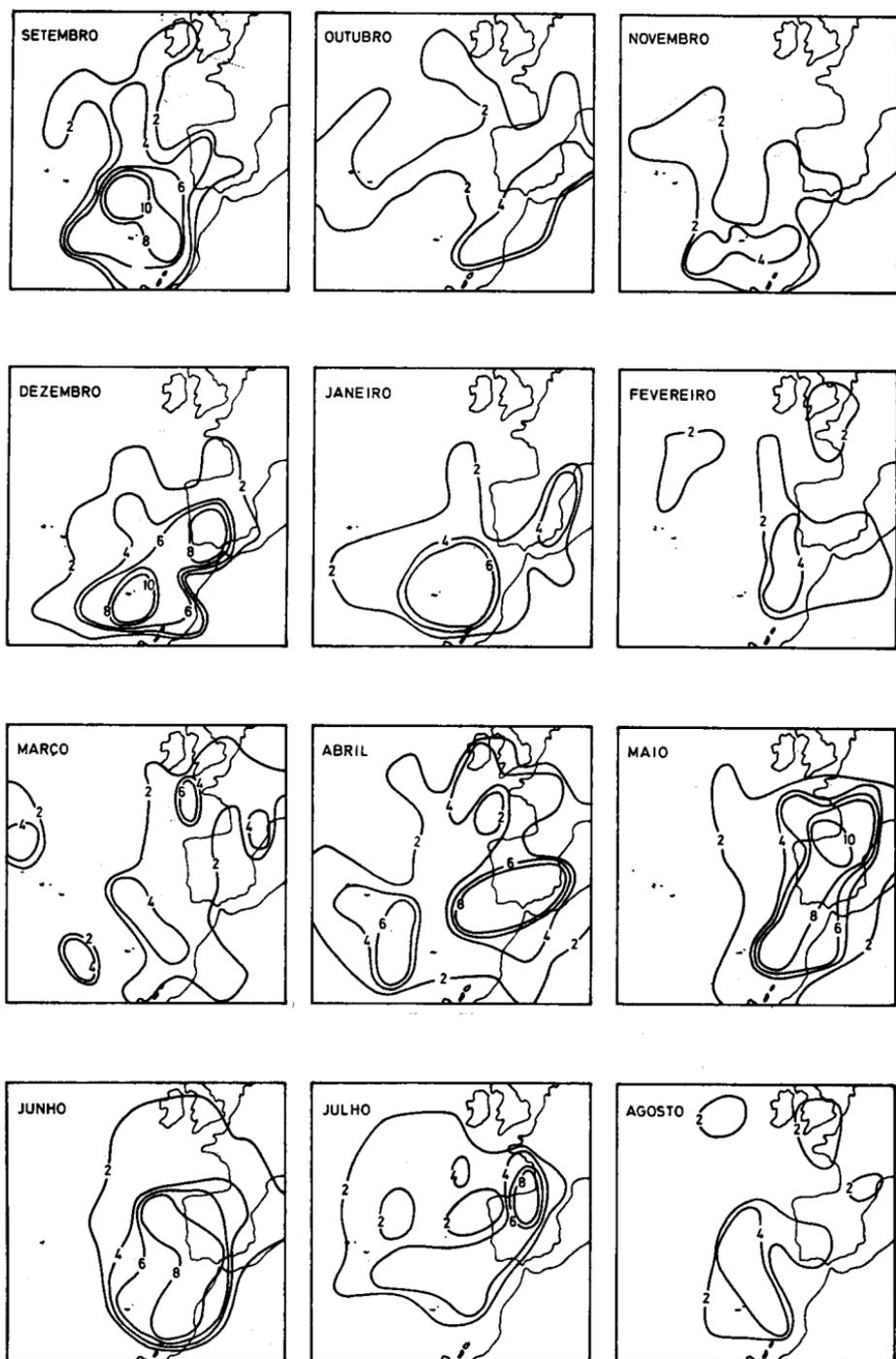


1974 - 75 / 1979 - 80



das fúerres

Fig. 8 — Evolução mensal do número de dias com gotas frias que ocorreram na Península Ibérica e Atlântico Oriental, nos anos 1974-75 a 1979-80.



des. Juperes

Fig. 9 — Distribuição espacial e frequência de ocorrência do número de dias com gotas frias nos vários meses (1974-75/1979-80).

Por último, os meses de Março e Abril caracterizam-se pela dispersão dos núcleos de mais elevada ocorrência dos dias com gotas frias. Saliente-se Abril, pelas frequências de ocorrência elevadas em toda a metade sul da Península.

Pode, pois, concluir-se que, na Península Ibérica, são as regiões meridionais as mais afectadas pelas gotas frias. Destacam-se, ainda, pela elevada ocorrência de gotas frias, a região do País Basco e Golfo da Biscaia, em Maio e Julho (4), e também o Levante espanhol, com frequências moderadamente elevadas em Outubro e Janeiro e valores bastante elevados, aliás como toda a metade sul da Península, em Abril.

Observa-se também uma tendência para a localização das gotas frias sobre o oceano, na região compreendida entre a Península Ibérica, os Açores e a costa africana, especialmente durante os meses de Agosto e Setembro. Este facto é referido por J. MOUNIER (1978), segundo o qual, no Verão, as expulsões polares evoluem entre as células anticiclónicas dinâmicas do Atlântico e do domínio ibero-mediterrânico e, estranguladas entre estas células, dirigem-se na direcção de Portugal e das Canárias (J. MOUNIER, 1978, p. 485).

III — *AS GOTAS FRIAS QUE INFLUENCIARAM PORTUGAL E A ORIGEM DAS INVASÕES FRIAS*

Do total das gotas recenseadas no espaço do boletim meteorológico português (Península Ibérica e Atlântico Oriental), só um número reduzido delas influenciou directamente Portugal. As regiões mais afectadas, como se disse, são as do Sul do território, diminuindo a frequência de ocorrência para norte.

Quanto ao número de dias em que Portugal foi afectado pelas gotas frias no período de 1974-75 a 1979-80, verifica-se que o máximo do fim do Verão e início do Outono encontrado

(4) Esta elevada frequência de ocorrência de gotas frias na região do País Basco e Golfo da Biscaia em Maio e Julho, allada à formação, nesta época do ano, de massas de ar quente e ricas em vapor de água que são aspiradas pelas colunas ciclónicas, foi já referida por J. MOUNIER (1978) sendo, segundo este autor, responsáveis por um máximo secundário de precipitação no País Basco.

para a Península Ibérica e Atlântico Oriental desaparece quase por completo, continuando a verificar-se apenas o do início do Inverno, bem marcado em Dezembro, e o da Primavera e início do Verão, de Abril a Junho, registando-se, neste último mês, o valor mais elevado.

Um outro aspecto analisado foi o da temperatura das gotas frias aos 500 mb. De Novembro a Março, as temperaturas são inferiores a -20°C . Temperaturas muito baixas, inferiores a -30°C , foram encontradas de Dezembro a Maio. Durante a época mais quente do ano as temperaturas variam, geralmente, entre -10°C e -20°C .

Foi tida em conta, também, a proveniência das invasões de ar frio que originaram as gotas frias que atingiram Portugal ⁽⁵⁾. Foram consideradas quatro regiões de origem do ar frio: canadiano-gronelandesa, ártico-islandesa, escandinava e europeia.

Essa análise mostrou que as invasões frias responsáveis por um maior número de gotas em Portugal foram as vindas da Islândia e do Ártico, às quais correspondem 40 % dos dias. As outras três origens aparecem com valores semelhantes: a europeia com 21 %, a canadiano-gronelandesa com 20 % e a escandinava com 19 % dos dias.

A sua importância ao longo do ano varia significativamente (fig. 10). As canadiano-gronelandesas têm maior relevo de Setembro a Março, sendo responsáveis, em Setembro, por 83 % dos dias. As invasões frias islandesas e árticas são especialmente frequentes em Dezembro e de Março a Agosto, registando o máximo de dias em Maio, com 64 %. Também as escandinavas ocorrem, preferencialmente, de Março a Agosto, com os valores mais elevados em Agosto (74 %) e em Janeiro (46 %). As invasões frias provenientes do continente europeu verificam-se especialmente em Novembro, em que são responsáveis por 67 % dos dias, e em Fevereiro, Março e Abril, respectivamente com 34 %, 24 % e 32 %.

Considerando os meses de maior número de dias com gotas frias, refira-se Dezembro, em que a origem do ar frio se repartiu quase equitativamente pela fonte canadiano-grone-

(5) A análise da proveniência do ar frio foi feita a partir do Boletim Meteorológico Alemão e do Boletim Meteorológico Europeu.

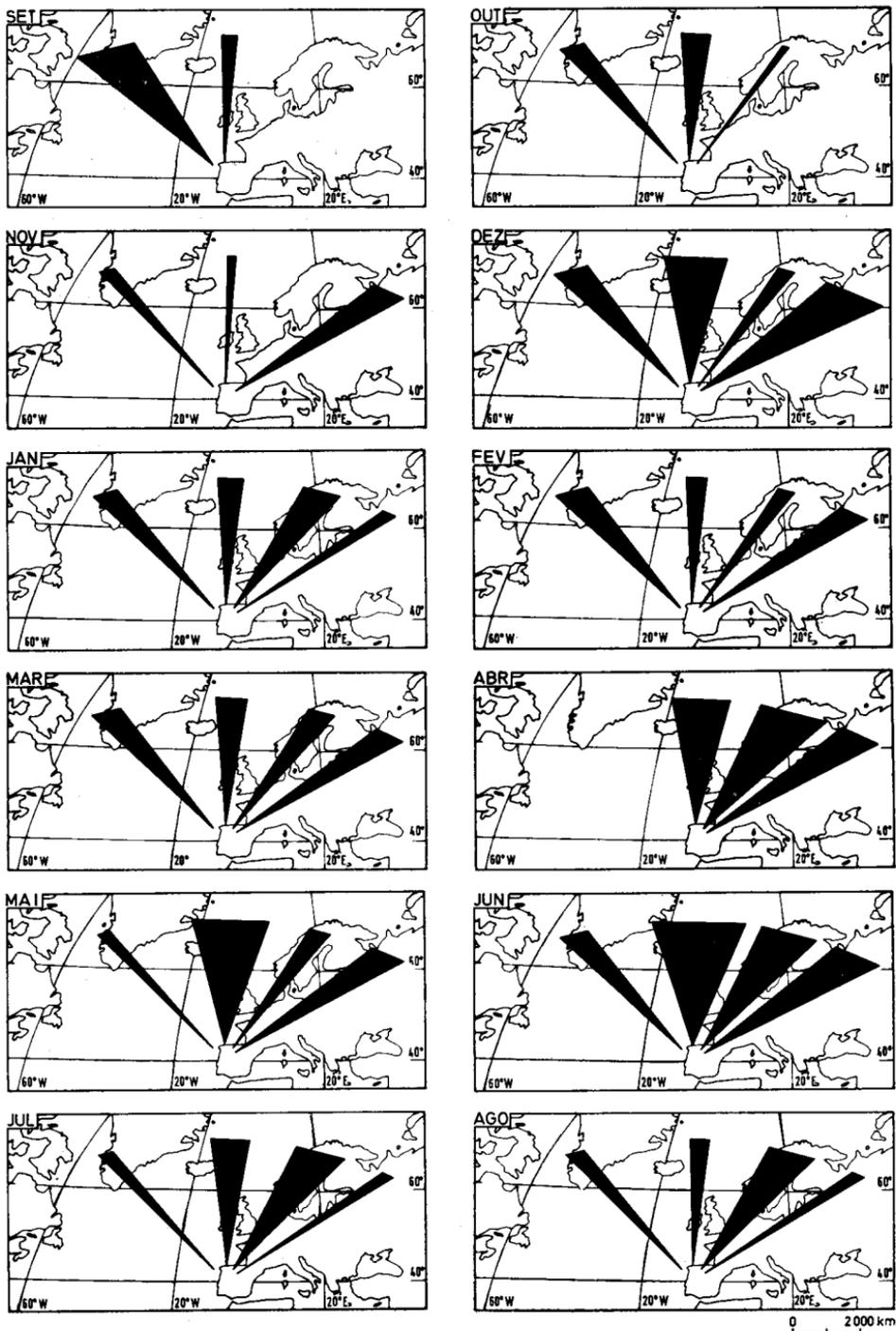


Fig. 10 — Proveniência do ar frio que originou em cada mês, no total dos seis anos (1974-75/1979-80), os dias com gotas frias que influenciaram Portugal Continental.

landesa, ártico-islandesa e europeia, com 30 %, 38 % e 27 % dos dias, e Junho, que apresenta uma forte predominância das ártico-islandesas, com 50 % dos dias.

IV — INFLUÊNCIA DAS GOTAS FRIAS NO RITMO E NA REPARTIÇÃO ESPACIAL DAS PRECIPITAÇÕES

As precipitações originadas pelas gotas frias no período de 1974-75 e 1979-80 foram calculadas somando, para as várias estações meteorológicas, as precipitações registadas no boletim meteorológico diário, nos dias em que o estado do tempo era inequivocamente influenciado pelas gotas frias. Quando estas apenas afectavam uma parte do país, por exemplo, o Norte ou o Sul, então somente foram consideradas as precipitações nas estações meteorológicas correspondentes à região afectada.

1 — *Tendências gerais*

No conjunto dos seis anos considerados nesta análise, as precipitações originadas pelas gotas frias não apresentam valores muito díspares nas várias estações meteorológicas. Os valores absolutos mostram-nos que estas são mais elevadas nas estações do interior (por exemplo Bragança) e sobretudo nas mais meridionais (Beja, Sagres e Faro). Como os totais anuais da precipitação são bastante mais abundantes nas regiões setentrionais, especialmente nas montanhas e próximo do litoral, as chuvas devidas a gotas frias representam aí apenas uma pequena parte da precipitação total; pelo contrário, o seu peso relativo é bastante mais elevado nas regiões interiores e sobretudo nas meridionais (quadro 1).

Assim, de maior interesse do que os valores absolutos são as percentagens do total das precipitações correspondentes às gotas frias. As estações do litoral norte registam as percentagens mais reduzidas, com uma média de apenas 8 % do total anual no Porto e em Viana. Estes valores aumentam para o interior, com 11 % em Vila Real e já 18 % em Bragança. Lisboa, no litoral ocidental, mas a uma latitude já bastante meridional, regista o mesmo valor que Bragança. As percentagens mais elevadas registam-se no Sul, com 31 % em Beja e valores ainda mais elevados no litoral meridional, com 35 % em Sagres e um máximo de 40 % em Faro.

Desta repartição espacial das percentagens das precipitações devidas a gotas frias em relação aos totais anuais (fig. 11-I), sublinhe-se o nítido aumento de noroeste para sueste, desde o litoral minhoto ao Algarve Oriental.

QUADRO I

Precipitações anuais devidas às gotas frias e sua relação com os totais anuais de precipitação (1974-75/1979-80)

	Precipitação média anual (mm)	Precipitação anual devida a gotas	
		em mm	em 0/0
Viana do Castelo	1473	121	8
Bragança	791	145	18
Porto	1372	109	8
Vila Real	1164	129	11
Coimbra	983	147	15
Lisboa	766	135	18
Évora	658	144	23
Beja	528	192	31
Sagres	474	166	34
Faro	544	215	40

Quanto ao número de dias de chuva, as gotas frias são responsáveis, em média, por um número compreendido entre os 20 e 30, em cada ano. Mais uma vez, embora não haja diferenças muito grandes em valores absolutos entre as várias estações, o peso relativo destes dias de precipitação é bastante maior nas estações do Sul, onde o total anual de dias de precipitação é bastante inferior ao registado no Norte, especialmente no litoral e nas montanhas (6).

Além do total de dias de chuva devidos às gotas frias, é também de grande interesse analisar a intensidade das precipitações diárias. Neste trabalho, consideraram-se como dias de chuva intensa aqueles em que o total diário foi superior ou igual a 20 mm. Na figura 12 representou-se o total de dias

(6) Por exemplo, a estação meteorológica do Porto/Serra do Pilar registou 155 dias de precipitação anual em 1931/60, enquanto em Beja e Faro esse valor foi de, apenas, 89 e 62 dias.

de precipitação intensa, devido a gotas frias, nos seis anos, por estação meteorológica. Estes apresentam um máximo de 18 dias em Beja e Faro; os valores mais baixos verificaram-se no Norte (no Porto, 5 dias, em Viana do Castelo e Vila Real, 7 dias). Precipitações muito intensas (≥ 50 mm), ocorreram

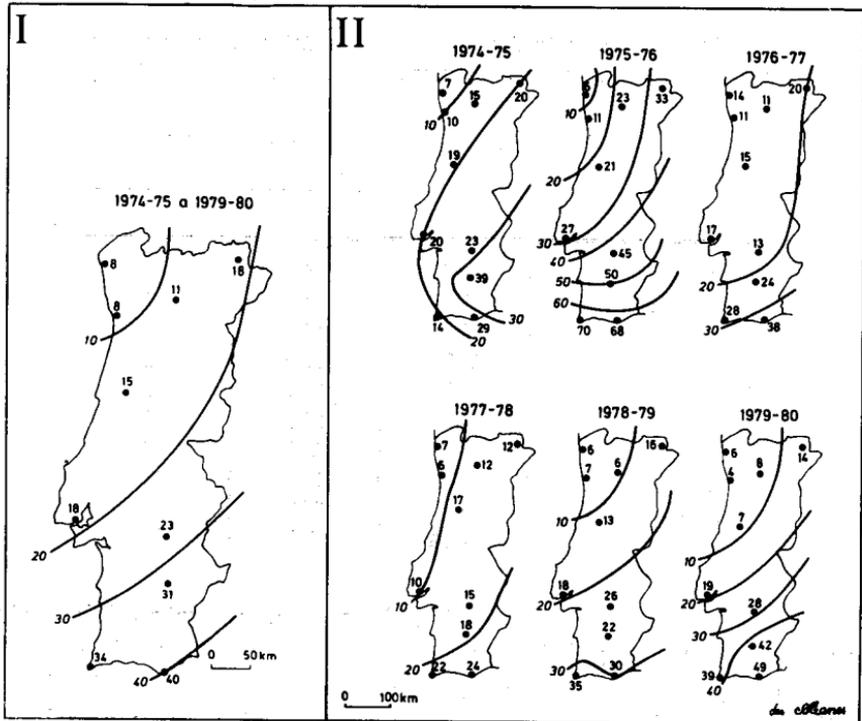


Fig. 11 — Variação espacial das percentagens das precipitações originadas pelas gotas frias: I — nos seis anos (1974-75/1979-80); II — em cada um dos anos considerados.

apenas em Beja (1 dia) e especialmente em Faro, com 4 dias, dos quais dois ultrapassaram os 60 mm.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que as gotas frias são responsáveis por chuvadas intensas, sobretudo no Sul, confirmando a hipótese levantada por S. DAVEAU (1972, p. 22) segundo a qual, no Algarve, as chuvadas intensas teriam uma origem diferente das que afectam o Norte.

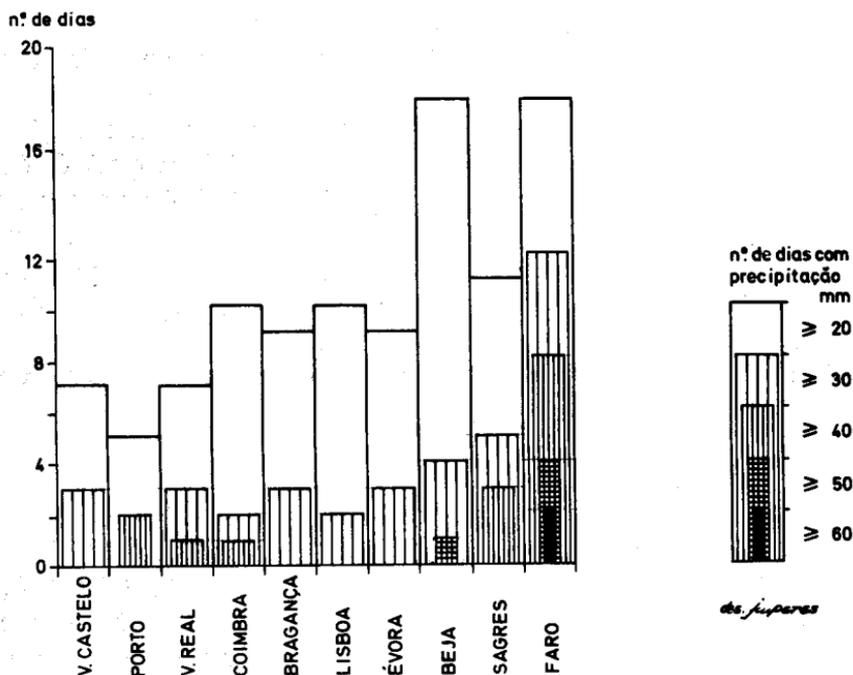


Fig. 12 — Total de dias de precipitação intensa devido a gotas frias, de 1974-75 a 1979-80, nas várias estações consideradas.

2 — *Variação anual*

Da análise feita, pode-se concluir que os contrastes espaciais entre o Noroeste e o Sueste se mantêm de ano para ano (fig. 11-II), variando apenas a sua intensidade, a qual é especialmente forte nos anos mais secos (1974-75, 1975-76 e 1979-80) e, nestes, no que registou um maior predomínio da circulação de bloqueio (1975-1976).

Os totais pluviométricos originados pelas gotas frias, ao contrário dos totais anuais de precipitações, são por vezes mais abundantes no Sul do que no Norte (quadro 1). Esta situação verifica-se especialmente nos anos secos e está relacionada com as variações da circulação em altitude (fig. 5). Nestes, conjugam-se normalmente dois factores: uma diminuição da circulação zonal durante o Inverno, com consequente redução das chuvas de origem frontal; um aumento da circulação meridiana e, nesta, da circulação de bloqueio, cujas

células depressionárias (gotas frias) affectam mais frequentemente o Sul do que o Norte do país, como se pode ver na figura 7.

Assim, os anos secos são marcados por uma redução, por vezes forte, das chuvas de origem frontal, a qual é, de certo modo, compensada, especialmente no Sul do país, por um aumento das precipitações originadas pelas gotas frias. Consequentemente, verifica-se um forte aumento das percentagens das chuvas devidas às gotas frias, as quais, nestes anos, podem mesmo ser o principal mecanismo responsável pelas precipitações nas regiões meridionais, com valores superiores a 50 % do total anual.

3 — *Variação mensal*

Também a nível mensal se verifica um maior contributo das gotas frias no Sul do que no Norte do país (fig. 13), constituindo, mesmo, nas primeiras, uma parte importante dos totais mensais, quer na época chuvosa, quer na época seca.

Enquanto os totais mensais diminuem rapidamente a partir do fim do Inverno, especialmente no Norte, as chuvas devidas a gotas mantêm valores semelhantes, ou aumentam mesmo, nos meses de Primavera, em relação aos de Inverno. Como consequência, regista-se um forte aumento das percentagens das chuvas devidas a gotas durante a Primavera, o qual, para algumas estações, se mantém no início do Verão.

Deste modo, as chuvas originadas pelas gotas frias contribuem para prolongar a estação chuvosa pelo início da Primavera, sobretudo nas estações do Sul, onde representam parte importante dos totais mensais. Esta característica parece estar ligada também ao facto de, no Sul, preferencialmente nos anos secos, com escassez de chuvas de origem frontal, as precipitações mensais terem o máximo principal mais tardiamente do que no Norte, onde há uma diminuição acentuada a partir do Inverno. No entanto, no Norte, as chuvas devidas a gotas, tal como no Sul, são normalmente mais abundantes nos anos secos. Estas, deverão, de algum modo, explicar o máximo secundário de precipitação que se verifica nos regimes prováveis, em Maio, nalgumas estações meteorológicas do Norte do país.

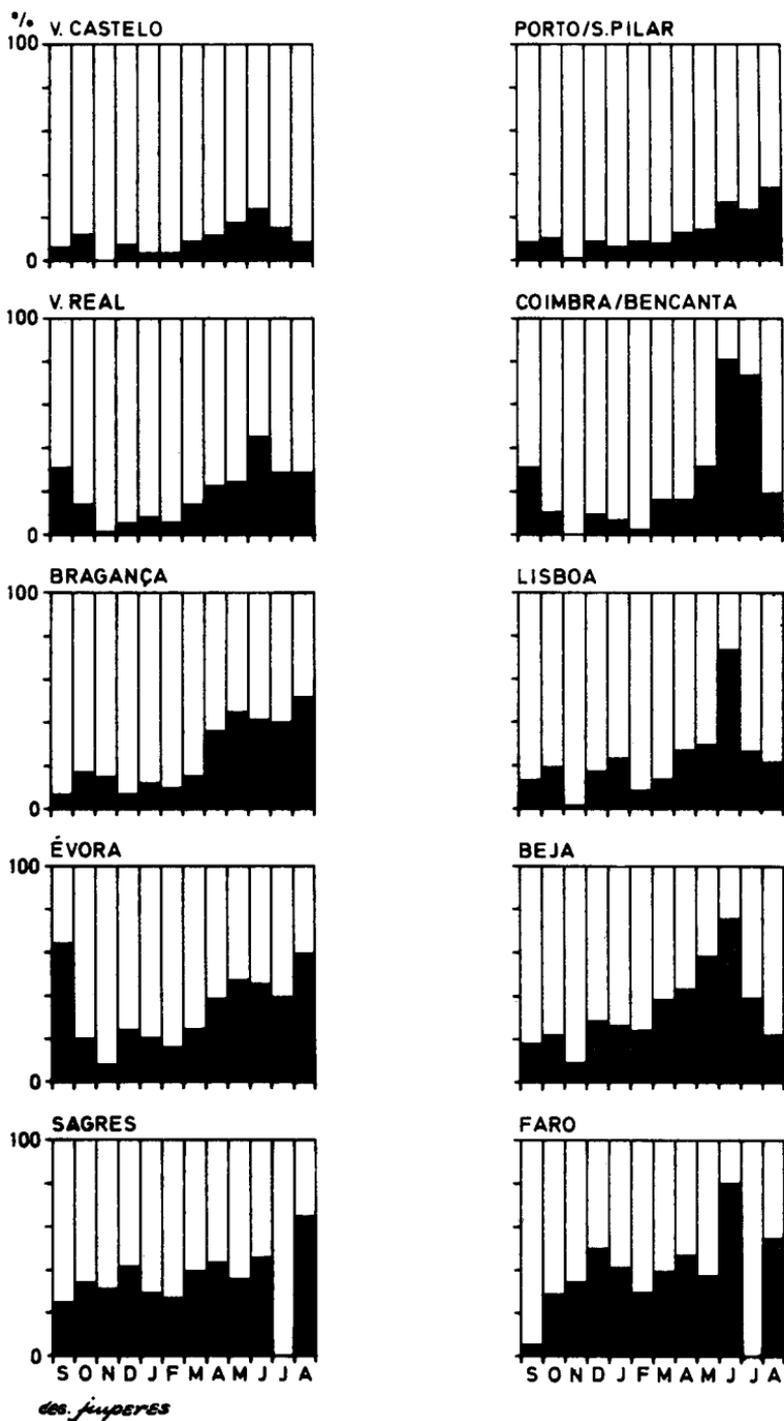


Fig. 13 — Variação intermensal das percentagens da precipitação originada pelas gotas frias (1974-75/1979-80).

Em valores absolutos, as precipitações devidas a gotas frias não têm grandes oscilações, verificando-se os valores mais elevados durante o Inverno e a Primavera. Em valores relativos (percentagens dos totais mensais), as variações são bastante mais acentuadas e diferentes nas várias estações meteorológicas (fig. 13). Nas do Norte e Centro há uma variação nítida ao longo do ano, com os valores mínimos no Outono e Inverno, e os máximos na Primavera e início do

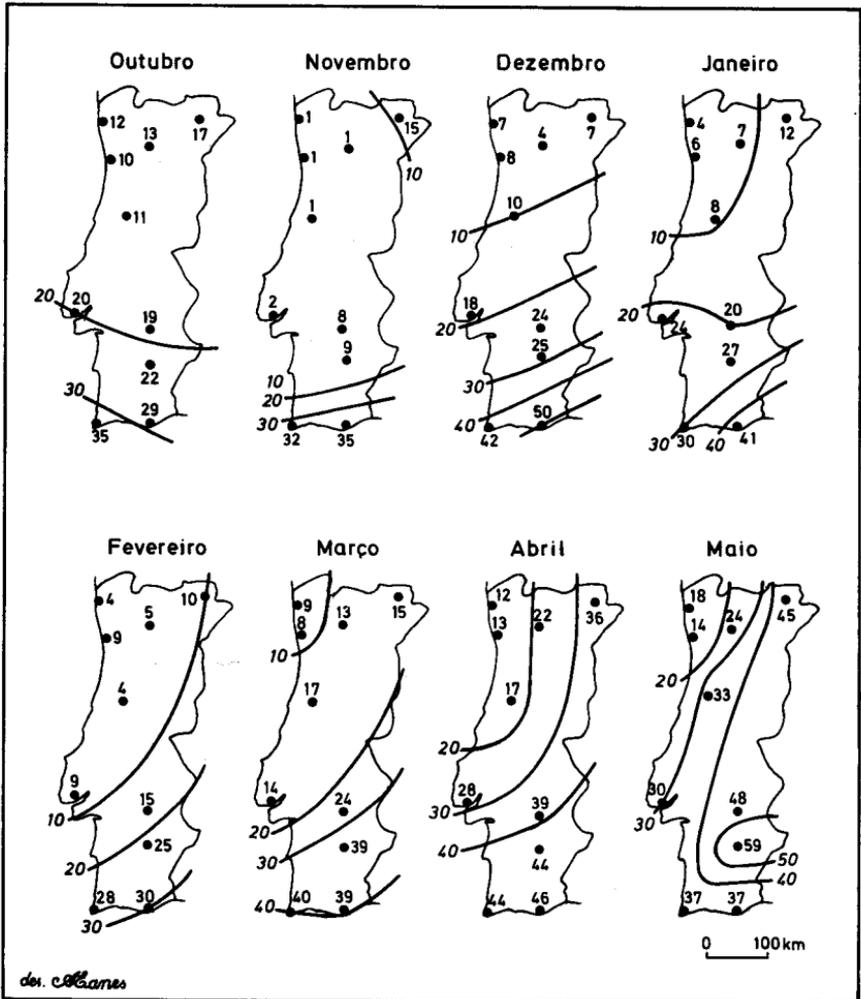


Fig. 14 — Variação espacial das percentagens de precipitação mensal média, originada pelas gotas frias (1974-75/1979-80).

Verão. No Sul, há valores elevados ao longo de todo o ano, especialmente em Sagres e Faro (com excepção de Junho na primeira e de Julho e Setembro na segunda), com o máximo nos meses de Primavera e do início do Verão e começando a destacar-se um máximo secundário em Dezembro.

Na figura 14 representou-se a variação espacial das percentagens de chuva originadas pelas gotas frias em cada mês (valores médios calculados para os seis anos considerados). Não foram incluídos os meses mais secos (Junho, Julho, Agosto e Setembro) pois, embora as percentagens das precipitações devidas a gotas por vezes sejam elevadas, correspondem a totais pluviométricos, em geral, muito reduzidos.

De Outubro a Maio, a variação espacial apresenta, consoante os meses, grandes variações, mantendo, no entanto, um traço comum: as percentagens mensais das chuvas devidas a gotas frias registam os valores mais baixos no Norte, geralmente no litoral, os quais aumentam para sul. Além deste aumento para sul verifica-se, também, um aumento do litoral para o interior que, embora não tão forte como o Norte/Sul, se vai acentuando durante o Inverno e atinge o máximo em Abril e Maio.

Concluindo, poderá dizer-se que os contrastes Norte-Sul, nítidos em Outubro, aumentam em Novembro e, sobretudo, em Dezembro. Em Janeiro, Fevereiro e Março são menos intensos do que em Dezembro, começando a acentuar-se os contrastes litoral-interior, os quais atingem a sua maior expressão no mês de Maio.

CONCLUSÃO

As gotas frias influenciam claramente o ritmo das precipitações nas regiões mais meridionais do país. Isto porque os totais de chuva devidos às gotas frias são aqui mais elevados do que nas regiões setentrionais, enquanto os totais absolutos são mais reduzidos no Sul do que no Norte.

As percentagens de chuva originadas pelas gotas frias aumentam, assim, de noroeste para sueste, do litoral minhoto para o Sotavento Algarvio. Este aumento, muito nítido nos valores médios anuais, mantém-se, embora com diferentes gradientes, nos vários anos. Nas percentagens médias mensais

continua a verificar-se o aumento de norte para sul, apesar das grandes oscilações de mês para mês.

A influência das gotas frias na repartição das precipitações é particularmente sensível durante a Primavera. Nesta época do ano, quando começam a rarear as chuvas de origem frontal, as gotas frias podem ser responsáveis, como foi visto, por intensas chuvadas, principalmente nas regiões mais meridionais. Nesta situação, pode-se mesmo inverter a distribuição normal das chuvas, com totais mensais mais elevados no Sul do que no Norte.

Nos anos secos, com acentuada escassez de chuvas de origem frontal e, pelo contrário, com chuvas devidas a gotas frias mais abundantes, pode também modificar-se o ritmo anual das precipitações, especialmente no Sul, prolongando-se a estação chuvosa pela Primavera e registando-se um máximo mensal de precipitação mais tardiamente do que nos anos chuvosos ou «normais».

As precipitações devidas a gotas frias, mais abundantes nos anos secos, relacionam-se com as modificações operadas na circulação atmosférica. Assim, nos anos secos, há uma diminuição da circulação zonal em relação aos anos chuvosos, e, também, uma redução acentuada das perturbações de oeste com trajectória próxima. A diminuição da circulação zonal é acompanhada do aumento da circulação bloqueada e, consequentemente, do aparecimento das gotas de ar frio.

Por último, refira-se que as chuvas devidas às gotas frias atingem grande significado do ponto de vista económico, se atendermos a que os seus quantitativos mais elevados se registam geralmente nos anos secos e nas regiões de maior escassez pluviométrica.

BIBLIOGRAFIA

- ALCALA DEL OLMO, J. (1955) — «La gota de aire frio», *Revista de Aeronáutica*, n.º 181, Madrid, p. 952-960.
- BOYDEN, C. J. (1963) — «Development of the jet stream and cut-off circulation», *The Meteorological Magazine*, vol. 92, n.º 1095, Bracknell, p. 287-299.
- BREZOWSKY, H.; FLOHN, H.; HESS, P. (1951) — «Some remarks on the climatology of blocking action», *Tellus*, vol. 3, n.º 3, Estocolmo, p. 191-194.

- CASTILLO REQUENA, J. M. C. (1978) — «Estudio sobre el comportamiento de la gota de aire frío y la distribución de sus consecuencias pluviométricas en la España Peninsular», *Paralelo 37*, n.º 2, Almería, p. 57-80.
- DAVEAU, S. (1972) — «Répartition géographique des pluies exceptionnellement fortes au Portugal», *Finisterra*, vol. VII, n.º 13, Lisboa, p. 5-28.
- DOUGLAS, C. K. M. (1947) — «Cold Pools», *Meteorological Magazine*, vol. 76, n.º 225, Bracknell, p. 225-231.
- FERREIRA, A. DE B. (1982) — «O regime das chuvas na Madeira e Porto Santo. Suas relações com a circulação atmosférica de altitude», *II Colóquio Ibérico de Geografia*, 1.º volume, C. E. G., Lisboa, p. 265-276.
- FERREIRA, D. DE B. (1980) — *Contribution à l'étude des vents et de l'humidité dans les îles centrales de l'archipel des Açores*, Rel. n.º 9. Linha de acção de Geografia Física, C. E. G., Lisboa.
- (1985) — «Les dépressions convectives du Bassin Atlantique Nord Subtropical Oriental», *Finisterra*, vol. XX, n.º 39, Lisboa, p. 25-45.
- FONT TULLOT, I. (1983) — «Algunas observaciones sobre las lluvias excepcionales en la vertiente mediterránea española», *Estudios Geográficos*, vol. 44, n.º 170-171, Madrid, p. 55-59.
- FONTAINE, P. (1951) — «Les gouttes d'air froid sur l'Europe, la Méditerranée et l'Atlantique Est», *La Météorologie*, n.º 2, Paris, p. 98-112.
- GARCIA DE PEDRAZA, L. (1983) — «Situaciones atmosféricas tipo que provocan aguaceros torrenciales en comarcas del mediterráneo español», *Estudios Geográficos*, vol. 44, n.º 170-171, Madrid, p. 61-73.
- HSIEH, Y. P. (1949) — «An investigation of a selected cold vortex over North America», *Journal of Meteorology*, vol. 6, n.º 6, Boston, p. 401-410.
- JANSÁ GUARDIOLA, M. J. (1966) — «Meteorología del Mediterráneo Occidental», *Servicio Meteorológico Nacional, Série A (Memórias)*, n.º 43, Madrid, p. 1-35.
- LAMB, H. H. (1972) — *Climate: Present, Past and Future*, vol. 1 — *Fundamentals and Climate Now*, Londres, Methuen e Co. Ltd.
- LÓPEZ GOMÉZ, A. (1983) — «Las lluvias catastróficas mediterráneas», *Estudios Geográficos*, vol. 44, n.º 170-171, Madrid, p. 11-29.
- MEDINA, M. (1976) — *Meteorología básica sinóptica*, Madrid, Paraninfo.
- MIRO-GRANADA GELABERT, J. (1983) — «Consideraciones generales sobre la meteorología de las riadas en el Levante español», *Estudios Geográficos*, vol. 44, n.º 170-171, Madrid, p. 31-53.
- MOUNIER, J. (1978) — *Les climats océaniques des régions atlantiques de l'Espagne et du Portugal*, Rennes, C. N. R. S.
- NAMIAS, J. (1964) — «Seasonal persistence and recurrence of European Blocking during 1958-60», *Tellus*, vol. 16, n.º 3, Estocolmo, p. 394-409.
- PALMÉN, E. (1949) — «On the origin and structure of high-level cyclones south of the maximum westerlies», *Tellus*, vol. 1, n.º 1, Estocolmo, p. 22-31.
- PÉDELABORDE, P. (1957) — *Le climat du bassin parisien*, Paris, Éditions M. Th. Génin.

- PETTERSEN, S. (1956) — *Weather analysis and forecasting*, 2.^e ed., vol. II, Nova York. Mc Graw-Hill Book Company.
- PETTERSEN, S., SMEBYE, S. J. (1971) — «On the development of extra-tropical cyclones», *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 97, n.° 414, Bracknell, p. 457-482.

RÉSUMÉ

Les gouttes froides et le régime des pluies au Portugal. — Les gouttes d'air froid modulent nettement le rythme des précipitations dans les régions méridionales du Portugal. Les totaux pluviométriques dus à l'influence des gouttes froides sont ici plus élevés que dans les régions septentrionales, alors que la distribution normale des pluies favorise nettement le Nord du Portugal.

La part des pluies associées aux gouttes froides augmente du Nord-Ouest au Sud-Est, du littoral du Minho à l'Algarve oriental. Cette croissance, très nette dans les valeurs moyennes annuelles, se vérifie également, à des degrés divers, en année particulière. Les taux moyens mensuels accusent encore cette augmentation du Nord au Sud, malgré les grandes variations mensuelles.

L'influence des gouttes froides sur la répartition des précipitations se vérifie surtout au printemps. A cette époque de l'année, alors que commencent à s'estomper les pluies frontales, les gouttes froides prennent le relai dans l'origine des fortes pluies des régions méridionales. Cette situation peut même inverser la distribution normale des pluies, les totaux mensuels devenant alors plus copieux au Sud qu'au Nord.

Durant les années sèches, marquées par un déclin accentué des pluies frontales, et par des gouttes froides plus abondantes, le rythme annuel des précipitations est modifié, surtout au Sud, puisque la saison pluvieuse se prolonge sur le printemps et le mois du maximum est ainsi plus tardif qu'en années pluvieuses ou «normales».

Les précipitations dues aux gouttes froides, plus abondantes en années sèches, sont associées à des modifications de la circulation atmosphérique. Ainsi, en années sèches, il existe un déclin de la circulation zonale et une diminution accentuée des perturbations d'ouest dont la trajectoire passe à proximité de la côte ibérique occidentale. Cette diminution de la circulation zonale est contrebalancée par une augmentation de la circulation méridienne et bloquée qui favorise l'apparition de gouttes d'air froid.

Enfin, ces pluies associées aux gouttes froides, qui bénéficient surtout les années sèches et les régions méridionales les plus faiblement arrosées du Portugal, ont une incidence économique évidente.

SUMMARY

The «cold pools» and the precipitation regimen in Portugal.—The «cold pools» clearly influence the precipitation rhythms in the more meridional regions of the country. This happens because the rainfall totals due to «cold pools» are higher than in septentrional regions, while in terms of absolute totals, these are more reduced in the South than in the North.

Thus, rainfall's percentage originated by «cold pools» increases from Northwest to Southwest, from Minho's coastland to Algarve's leeward. This increase is very clear in mean annual values, though with different gradients in several years.

In the monthly mean percentage one can still verify the increase from North to South, in spite of the great oscillations from month to month.

The influence of «cold pools» in the distribution of precipitations is particularly clear during spring. At this time of the year, when rains of frontal origin begin to be rare, the «cold pools» can produce intense rains, especially in the more meridional regions. In this situation, the normal distribution of rainfall may be inverted with monthly totals, higher in the South than in the North.

In dry years, with a powerful scarceness of frontal rains and a consequently abundance of «cold pools» rains, the annual rhythm of precipitation can also be modified in the South with an extent to spring in the rainy season, and registering a monthly maximum of precipitation later than in rainy or «normal» years.

The precipitations due to «cold pools» which are more abundant in dry years, are often related with modifications occurred in atmospheric circulation. Thus, when we compare dry years with «normal» ones, we can register a decrease of zonal circulation and also an accentuated reduction of West disturbance of forthcoming course. The lower zonal circulation is followed by an increase of the blocking circulation and a consequent appearance of «cold pools».

At last, one must point out that the rains due to the «cold pools» have a great economical significance if we consider that its higher quantitatives are normally registered in dry years, and in the regions where rainfall is more rare.