

Interreg Sudoe



Co-funded by
the European Union

An-Gel Sudoe

Esta publicação reflecte apenas os pontos de vista do autor.

A Comissão Europeia não é responsável por qualquer utilização que possa ser feita das informações aí contidas.

Estado da arte do controlo das geadas em França, Espanha e Portugal



An-Gel Sudoe

Projeto	An-Gel Sudoe (S1/2.4/F0016). "Combate e alerta contra a irrigação por geada de primavera na agricultura e arboricultura".
Grupo de trabalho	Estudo e definição de soluções sustentáveis
Atividade	A.1.1 Estudo transnacional sobre o estado da arte
Produto	E.1.1.1 Relatório transnacional sobre o estado da arte
Nível de difusão	Público
Data de validação	20/12/2024
Beneficiário responsável	Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries Àrea de Producció Vegetal Programa de Fructicultura
Beneficiários que participam na atividade	<ul style="list-style-type: none"> – Association Climatologique de la Moyenne-Garonne et du Sud-Ouest – Chambre d'Agriculture de la Dordogne – Invenio – NEIKER-Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario, S.A. Producción Protección Vegetal – Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental – Instituto Politécnico de Bragança Escola Superior Agrária – Comunidade Intermunicipal Viseu Dão Lafões – Hydrometeorological Innovative Solutions, S.L.

ÍNDICE

A. Introdução	5
B. Estudos climáticos regionais e efeitos das alterações climáticas	6
B.1. Europa.....	6
B.1.1. Europa. Risco de geada de primavera	6
B.1.2. Europa. Projecções climáticas	8
B.2. Espanha.....	9
B.2.1. Espanha. Risco de geada de primavera	9
B.2.2. Espanha. Projecções climáticas	10
B.2.3. Região de Múrcia. Climatologia e projecção de geadas e temperaturas	13
B.2.4. País Basco. Climatologia e projecção de geadas e temperaturas	15
B.3. França.	21
B.3.1. Moyenne-Garonne. Climatologia e projecções de geadas e temperaturas	22
B.3.2. Dordogne. Climatologia e projecção das geadas e das temperaturas	29
B.3.3. Castanheiros. Efeitos da climatologia	35
B.4. Portugal	36
B.4.1. Nordeste de Portugal. Climatologia e projecção de geadas e temperaturas.....	36
B.5. Conclusões	43
C. Episódios de geada relevantes nos últimos anos.....	45
C.1. Espanha.....	45
C.1.1. Região de Múrcia	45
C.1.2. País Basco	46
C.1.3. Lleida.....	47
C.2. França.	50
C.2.1. Sudoeste de França. Zona de cultivo do castanheiro	50
C.2.2. Moyenne-Garonne	50
C.1. Portugal	52
C.2. Anexos	53
C.2.1. Região de Múrcia. Zonagem do risco de geada.	53
C.2.2. Região de Múrcia. Estudos sobre as geadas	55
C.2.3. País Basco. Estudo sobre as geadas na região	58
C.2.4. Lleida. Estudo sobre as geadas na região	62
D. Princípios da geada.....	64
D.1. Geadas por radiação	64
D.2. Geadas de advecção	66
D.3. Geadas por evaporação	66
D.4. Mas a realidade é sempre mais complexa.....	68

E. Sistemas de proteção contra o gelo	69
E.1. Proteção passiva contra a geada. Aspectos gerais	69
E.1.1. Seleção do sítio, espécies e variedades	69
E.1.2. Práticas de cultivo	70
E.1.3. França. Defesa passiva no castanheiro	72
E.1.4. Portugal	73
E.2. Defesa ativa contra a geada	74
E.2.1. Sistemas baseados no abastecimento de água	74
E.2.2. Sistemas baseados no movimento do ar	76
E.2.3. Sistemas baseados na entrada de calor	80
E.2.4. Estimativas económicas	84
E.2.5. Considerações sobre os sistemas de proteção contra a geada	90
E.3. Proteção química contra a geada	92
E.3.1. Introdução	92
E.3.2. Utilização de produtos químicos na proteção contra o gelo	93
E.3.1. Conclusões	97
F. Aspectos sociais do controlo das geadas	101
F.1. Espanha	101
F.1.1. País Basco	102
F.1.2. Região de Múrcia	102
F.1.3. Lleida	103
F.2. França	105
F.2.1. Moyenne-Garonne	105
F.2.2. Zona de produção de castanha	108
F.3. Portugal	109
G. O papel do seguro agrícola na gestão do risco de geada	110
G.1. Espanha	110
G.2. França	113
G.3. Portugal	115
H. Conclusões e perspectivas para o futuro dos problemas da geada	117
H.1. Espanha	117
H.2. Portugal	119
H.3. França	120

A. Introdução

An-Gel Sudoe é um projeto cujo objetivo é reunir e aprofundar os conhecimentos sobre a ocorrência de geadas primaveris nas árvores de fruto e na vinha, os seus mecanismos de ação e os sistemas para as combater em várias zonas de França, Espanha e Portugal.

Para atingir o objetivo específico proposto no projeto, é necessário sistematizar o conhecimento sobre o risco de geada em fruticultura e viticultura, dentro e fora da própria associação, bem como o leque de soluções potencialmente aplicáveis. Assim, sob a direção do IRTA e com a participação de todos os parceiros, foi realizado um estudo preliminar do estado da arte.

Inicialmente, é feita uma **revisão do problema atual das geadas** em cada uma das áreas do projeto, com as situações de risco atuais, os episódios mais marcantes dos últimos anos e também com a **projeção** da evolução da incidência em resultado das alterações climáticas.

O estudo tem em conta as características específicas das regiões e das culturas em causa, a fim de adaptar as soluções desenvolvidas e garantir a sua eficácia e validade no contexto das culturas representativas do SUDOE, tanto do ponto de vista agronómico como económico. As soluções inovadoras previamente identificadas responderão cumulativamente às condições de eficácia, rentabilidade e sustentabilidade, incluindo, entre outras, a microrrega de alta precisão, as técnicas de gestão do solo, os sistemas de drenagem por convecção de ar frio, a utilização de sebes, a poda tardia da vinha ou as medidas de reparação ou de proteção contra as geadas.

O estado da arte das diferentes **técnicas e atividades de controlo das geadas**, tanto passivas como ativas, é uma parte fundamental do estudo. Inclui também um estudo económico das principais soluções disponíveis.

Além disso, o estudo também se centra no **papel dos seguros agrícolas** como elemento-chave para a sustentabilidade económica dos produtores quando ocorrem grandes geadas em diferentes países. Nos últimos anos, à medida que os danos causados pelas geadas se tornaram mais frequentes e graves, o custo da indemnização dos segurados aumentou consideravelmente, o que se refletiu no aumento dos prémios de seguro pagos pelos agricultores. Por seu lado, as administrações públicas, que anteriormente contribuíam para a compensação dos danos causados aos agricultores, alteraram a sua abordagem e preferem delegar as suas funções no sector dos seguros privados.

A avaliação dos aspetos sociais relacionados com a geada e os métodos utilizados para o seu controlo também é considerada, especialmente quando causa incómodo a outros cidadãos.

Por último, **são tiradas conclusões** sobre o estado da arte da geada e do controlo da geada, bem como sobre as prioridades de investigação para fazer face às novas situações que surgirão no cenário em mudança, em resultado dos efeitos das alterações climáticas.

B. Estudos climáticos regionais e efeitos das alterações climáticas nas geadas

Esta secção descreve os estudos sobre a climatologia atual e histórica nos vários países e regiões envolvidos no projeto, bem como as previsões do efeito das alterações climáticas nas geadas, especialmente as que ocorrem no final da primavera.

B.1. Europa

B.1.1. Europa. Risco de geadas primaveris

As geadas tardias da primavera, que ocorrem após a germinação das plantas herbáceas e o abrolhamento das plantas lenhosas, têm um grande impacto ecológico e económico na agricultura e na silvicultura nas regiões temperadas e boreais do mundo. Os danos induzidos pelo gelo em órgãos vegetais vulneráveis afetam significativamente o crescimento, a saúde, a competitividade e os limites de distribuição das plantas e, na América do Norte e na Europa, causam mais perdas económicas na agricultura do que qualquer outro risco relacionado com as condições meteorológicas. Embora seja difícil atribuir um único fenómeno de geada às alterações climáticas, tanto a frequência de ocorrência como a gravidade dos danos podem ser amplificadas pela crise climática.

O que aconteceu em 2021 pode ilustrar a tendência nos próximos anos (Programa Copernicus, 2021):

- A primavera de 2021 registou um recorde de temperaturas máximas em muitas partes da Europa no final de março. Estas condições continuaram no início de abril, parecendo seguir um padrão semelhante de um início de primavera quente que se tem verificado na Europa nos últimos anos. No entanto, uma mudança na circulação atmosférica trouxe consigo uma massa de ar frio, com temperaturas negativas a afetar grande parte da Europa; e o mês de abril foi o mais frio para toda a região desde 2003. O resultado foram temperaturas baixas que bateram recordes, pouco mais de uma semana depois de terem sido batidos recordes de temperaturas máximas em março. O início precoce do calor da primavera, que promoveu o crescimento das culturas, rapidamente seguido de uma geada tardia na primavera, teve impactos locais em alguns sectores agrícolas.
- Durante o mês de março registaram-se temperaturas muito mais quentes do que a média em grande parte da Europa. O primeiro dia em que as temperaturas máximas diárias atingiram 15 °C foi cerca de duas a três semanas mais cedo do que o habitual, numa área que se estende desde o Reino Unido e Irlanda, passando pelo oeste e norte de França, até à Europa Central e Balcãs. Este período quente foi de longa duração. Na maior parte de França, em partes do oeste da Alemanha e em muitas regiões do sul do continente, a temperatura máxima diária foi de pelo menos 10 °C durante períodos superiores a dez dias. Estas condições podem ser utilizadas como um indicador do início de desenvolvimento das plantas.
- Para muitas das regiões mais quentes, estes longos períodos de temperaturas elevadas não são invulgares. No entanto, em França, em partes do sul do Reino Unido e da Irlanda, no sul da Alemanha e em partes dos Balcãs, o período quente do início da primavera de 2021 foi invulgarmente longo. O período quente terminou abruptamente, com o ar frio a deslocar-se por grandes partes da Europa no início de abril. Esta mudança na circulação atmosférica foi causada por um extenso e forte sistema de alta pressão centrado no norte da Escandinávia.

- O contraste entre um março ameno e um abril frio foi observado em muitas partes da Europa. Em alguns casos, registaram-se temperaturas máximas recorde para o mês de março, como 25,5 °C em Sankt Andrä/Lavanttal (Caríntia), na Áustria, ou 24,8 °C em Beauvais (Hauts-de-France), apenas uma semana antes de as temperaturas descerem. Em Müllheim (Baden-Württemberg), na Alemanha, foi registada uma máxima de 25,9 °C apenas alguns dias antes da mudança de condições. Embora um dia de geada ligeira em abril seja comum, ocorrendo quase todos os anos no noroeste e centro da Europa, são raras as temperaturas tão baixas como as registadas no início de abril de 2021. Em Agen, a temperatura mínima sob abrigo era de -2,4°C em 7/04/2024, 9,4°C mais baixa do que no dia anterior, e não caía uma gota de chuva há dezanove dias, secando os solos superficiais, especialmente os cobertos de relva.
- A última geada da primavera de 2021 foi não só grave, mas também mais tardia do que a média. Durante o mês de abril, grande parte da Europa a norte da Península Ibérica registou temperaturas inferiores a -2°C. Esta condição é até duas a três semanas mais tarde do que a média para o período de referência 1991-2020.

Zohner et al. (2020) analisaram as geadas tardias da primavera entre 1959 e 2017 e as estratégias de resiliência das espécies lenhosas para prever a vulnerabilidade das florestas às alterações climáticas. Os dados sobre a fenologia foliar e a resistência ao congelamento das folhas provêm de cerca de 1500 espécies cultivadas em jardins comuns. O maior aumento de geadas de primavera que danificam as folhas ocorreu na Europa e na Ásia Oriental, onde as espécies são mais vulneráveis às geadas de primavera do que na América do Norte. Os dados indicam que 35% das florestas da Europa estão cada vez mais ameaçadas pelos danos causados pelas geadas. Por conseguinte, as estratégias de adaptação fenologia-clima que permitiram às árvores tolerar as geadas no passado serão cada vez mais desfasadas das condições climáticas futuras.

B.1.2. Europa. Projeções climáticas

As alterações climáticas podem conduzir a uma alteração de padrões e a um aumento da incidência de fenómenos extremos, tendo já desencadeado avanços na fenologia primaveril das plantas (por exemplo, o desenvolvimento das primeiras folhas na primavera foi adiantado em quase duas semanas entre 1982 e 2011 na Europa Ocidental, -Fu et al., 2014-), prevendo-se que esta tendência se mantenha ao longo do século XXI. Desde meados da década de 1980 tem-se debatido se a frequência e a gravidade das geadas e, por conseguinte, o risco de danos causados pelas geadas em climas temperados, irão aumentar ou diminuir nas próximas décadas. As temperaturas do ar mais elevadas devidas às alterações climáticas reduziram geralmente o número total de dias de geada por ano e aumentaram o período sem geadas. Por outro lado, não há consenso quanto ao facto de a ocorrência e a gravidade das geadas de primavera diminuir devido ao aquecimento global.

Com o aquecimento global, é indiscutível que a abertura dos gomos vegetativos após o repouso invernal está a ocorrer cada vez mais cedo na Europa. Atualmente, o ciclo vegetativo da videira começa 15 a 20 dias mais cedo do que na década de 1980 (Leolini et al., 2018). Embora o início mais precoce do ciclo vegetativo possa ter alguns efeitos positivos (o ciclo vegetativo é prolongado e o risco de stresse hídrico nos meses de verão diminui), significa também que a exposição às geadas da primavera é antecipada.

Em termos de projeções climáticas, na Alemanha, estima-se um avanço de 28 a 31 dias no abrolhamento para o final deste século, em comparação com a situação atual, num cenário de alterações climáticas mais gravoso, para todas as castas consideradas. Em Espanha, esta alteração estimada no abrolhamento é de 7 a 11 dias. O avanço estimado da floração na primavera é ligeiramente inferior ao avanço do abrolhamento, com a maior alteração em França: até 18-21 dias no final deste século, no cenário de alterações climáticas mais gravoso.

Alguns estudos mostram também que a frequência e a gravidade das noites frias de primavera estão a mudar, por exemplo, devido ao aumento da probabilidade de invasões de ar frio (ver, por exemplo, Huang et al. 2021).

Olschewski et al. (2024) estudaram o stresse da vegetação sob eventos extremos induzidos pelas alterações climáticas e, entre outros resultados, mostraram um potencial aumento da frequência de geadas no final da primavera em grandes áreas da bacia mediterrânica, afetando especialmente as áreas onde se verificaram períodos anteriores de aquecimento desproporcionado causados por alterações no comportamento das fases quente e fria da circulação atmosférica. Prevê-se a ocorrência de geadas que causem danos significativos, predominantemente em condições de alta pressão e de ventos de direção de norte a leste.

B.2. Espanha

B.2.1. Espanha. Risco de geadas primaveris

Muito poucos estudos abordam especificamente o risco de geada no final da primavera em Espanha, mas uma análise abrangente do regime de geada na Península Ibérica (PI) foi realizada por García-Martín et al. (2021). Utilizaram dados diários de 68 estações meteorológicas pertencentes ao European Climate Assessment and Dataset (1975-2018) para realizar um estudo espaço-temporal do regime de geadas. As variáveis calculadas incluíram a probabilidade de três tipos de geada de acordo com a sua gravidade, dias de geada, temperatura mínima absoluta média anual, primeiro dia de geada, último dia de geada e período sem geada. Estas variáveis foram integradas num sistema de informação geográfica, que permitiu a visualização gráfica dos seus padrões utilizando técnicas de interpolação geoestatística (krigagem). As alterações nas variáveis de geada foram investigadas utilizando o teste de Mann-Kendall e o estimador de declive de Sen. As conclusões foram as seguintes:

- Verifica-se uma redução geral do número de geadas por ano (valores de geada entre -0,04 e -0,8 dias por ano), bem como um aumento da temperatura mínima absoluta média (valores entre 0,04 e 0,10 °C por ano), com tendências significativas muito elevadas em todo o território.
- A redução do número de geadas é mais acentuada a altitudes mais elevadas. As datas das geadas variam muito devido às características orográficas da PI.
- A tendência geral é para um atraso significativo das geadas de outono (valores entre 0,4 e 1,06 dias/ano), bem como das geadas do início da primavera (entre -0,429 e -1,29 dias/ano) e, como consequência, de um período mais longo sem geadas. Todas as alterações foram muito mais fortes do que as encontradas noutras regiões do mundo.
- Estes efeitos das alterações climáticas devem ser atenuados através da alteração das espécies, das variedades e das técnicas de cultivo para garantir uma agricultura sustentável.

Em 2023, os mesmos investigadores (García-Martín et al, 2023) realizaram outro estudo com um conjunto de dados maior (1975-2020) e mais centrado nos efeitos nas principais zonas de fruticultura de Espanha. Para avaliar as tendências (1975-2020), foram utilizados dados diários de seis estações meteorológicas nas principais zonas de fruticultura do período de investigação. As variáveis analisadas são a temperatura mínima absoluta média anual e o último dia de geadas de primavera. Os resultados mostraram:

- Um aumento da temperatura mínima absoluta média (valores entre 0,06 e 0,10°C por ano), com tendências significativas muito elevadas em Múrcia e Sevilha.
- Uma grande variação das datas médias das geadas devido às características orográficas e à variabilidade interanual do nosso clima, mas a tendência geral e significativa é para uma geada mais precoce no início da primavera (entre 0,48 e 1,30 dias) e, consequentemente, um maior risco de danos durante a floração.

B.2.2. Espanha. Projecções climáticas

Em Espanha, a Agência Nacional de Meteorologia publicou em 2017 um Guia de Cenários Regionalizados de Alterações Climáticas em Espanha com base nos resultados do IPCC-AR5. Este documento apresenta uma secção específica dedicada ao número de dias de geada (dias com temperatura mínima inferior a 0°C) em Espanha, tendo em conta os cenários de alterações climáticas. A evolução deste índice está intimamente relacionada com o comportamento da temperatura mínima durante os meses frios. Para a Espanha peninsular, espera-se uma diminuição do número de dias de geada com uma evolução semelhante entre todos os cenários até 2050, e uma diminuição mais pronunciada para o cenário mais emissivo por volta de 2060.

Centrando-nos nas diferentes bacias hidrográficas, as maiores diminuições são esperadas na bacia do Douro, seguida da bacia do Ebro, onde o período de inverno concentra a perda de dias de geada. No final do século, na primavera, as bacias do Douro e do Ebro voltam a registar a diminuição mais significativa, entre 10 e 20 dias, em comparação com o resto das bacias, onde se prevê uma redução de 1 a 5 dias de geada.

De acordo com os dados da Agência Meteorológica Espanhola (AEMET), observou-se um aumento de aproximadamente 1,3°C nas temperaturas médias nos últimos 70 anos em Espanha (Figura 2).

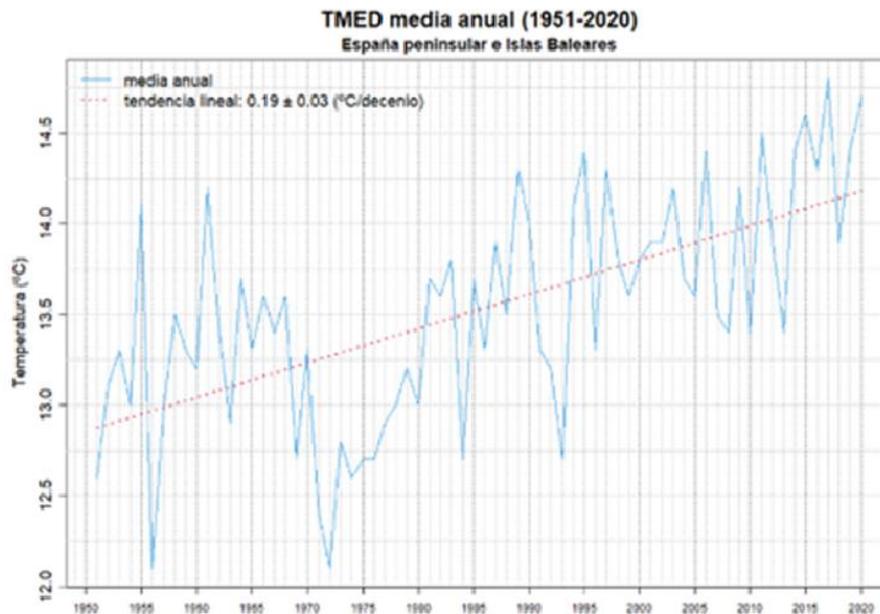


Figura 1.- Temperatura média anual em Espanha para o período 1951-2020 (AEMET, 2021).

O "Relatório sobre o estado do clima em Espanha 2021", indica que as temperaturas médias anuais aumentaram de forma constante, com sete dos dez anos mais quentes registados na última década, excluindo o ano de 2022. Globalmente, a temperatura média aumentou aproximadamente 0,19 °C por década na Península. Este aumento da temperatura média levou a um aumento da frequência de fenómenos extremos relacionados com temperaturas elevadas. A título de exemplo, as ondas de calor na década 2011-2020 duplicaram em relação às décadas anteriores (Figura 2).

Por conseguinte, um "pequeno aumento" da temperatura média pode conduzir a fenómenos extremos mais frequentes e mais generalizados.

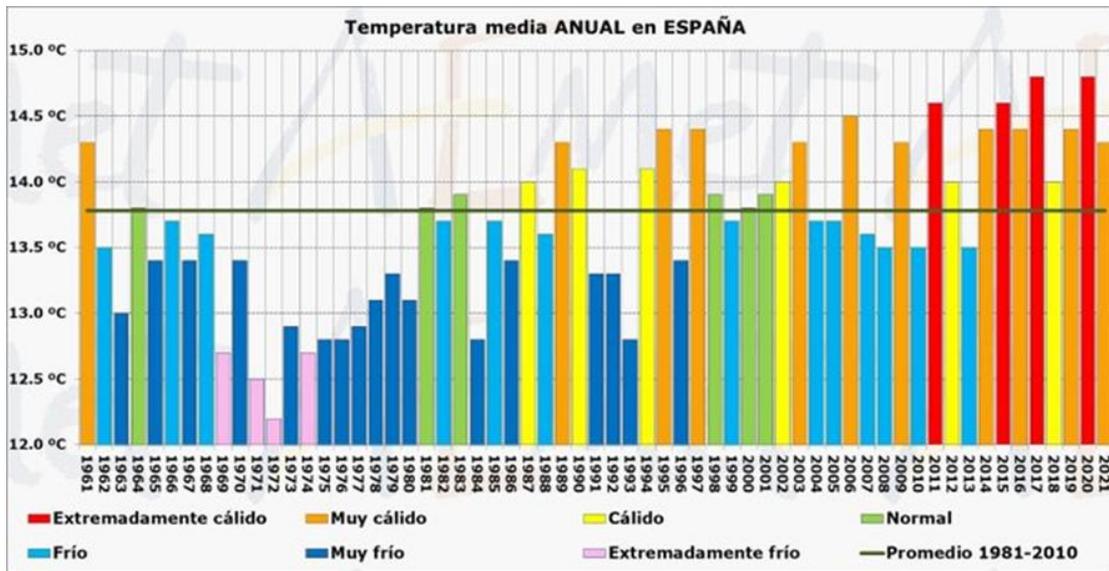


Figura 2.- Temperatura média anual em Espanha para o período 1961-2021 (AEMET, 2021).

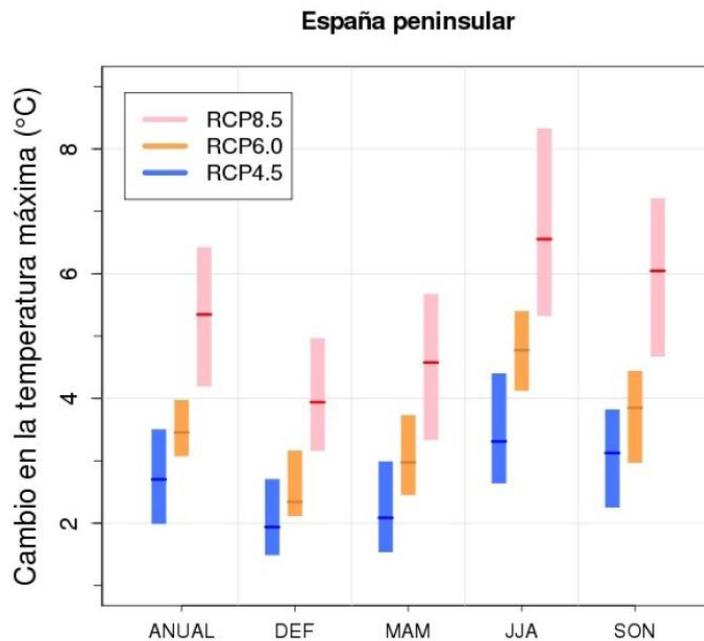


Figura 3.- Alteração dos valores médios anuais e sazonais (trimestrais) da temperatura máxima para a Espanha peninsular para os diferentes cenários de emissões (RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5) para o período 2081-2100. A barra central indica a mediana das projeções e a barra o intervalo entre os percentis 17 e 83 (Sanz, M.J. e Galán, E. (eds.), 2020).

O número de dias de geada é o número de dias com temperatura mínima inferior a 0 °C num determinado período. A variação deste índice está intimamente ligada ao comportamento das temperaturas mínimas nos meses mais frios. Para a Espanha peninsular, observa-se uma diminuição do número de dias de geada à escala anual (AEMET, 2021) com uma evolução muito semelhante entre os cenários até 2050 e uma diminuição mais acentuada para o cenário mais emissivo. Por comunidades autónomas, praticamente não se observam alterações em ambos os arquipélagos; as variações serão menores nas comunidades do norte, Valência e Múrcia, todas elas zonas costeiras com poucos dias de geada. Isto indica que, no final do século, a ocorrência deste fenómeno nestas zonas será extremamente rara. No entanto, as maiores alterações tenderão a ocorrer em Castela e Leão e Aragão (Figura 4).

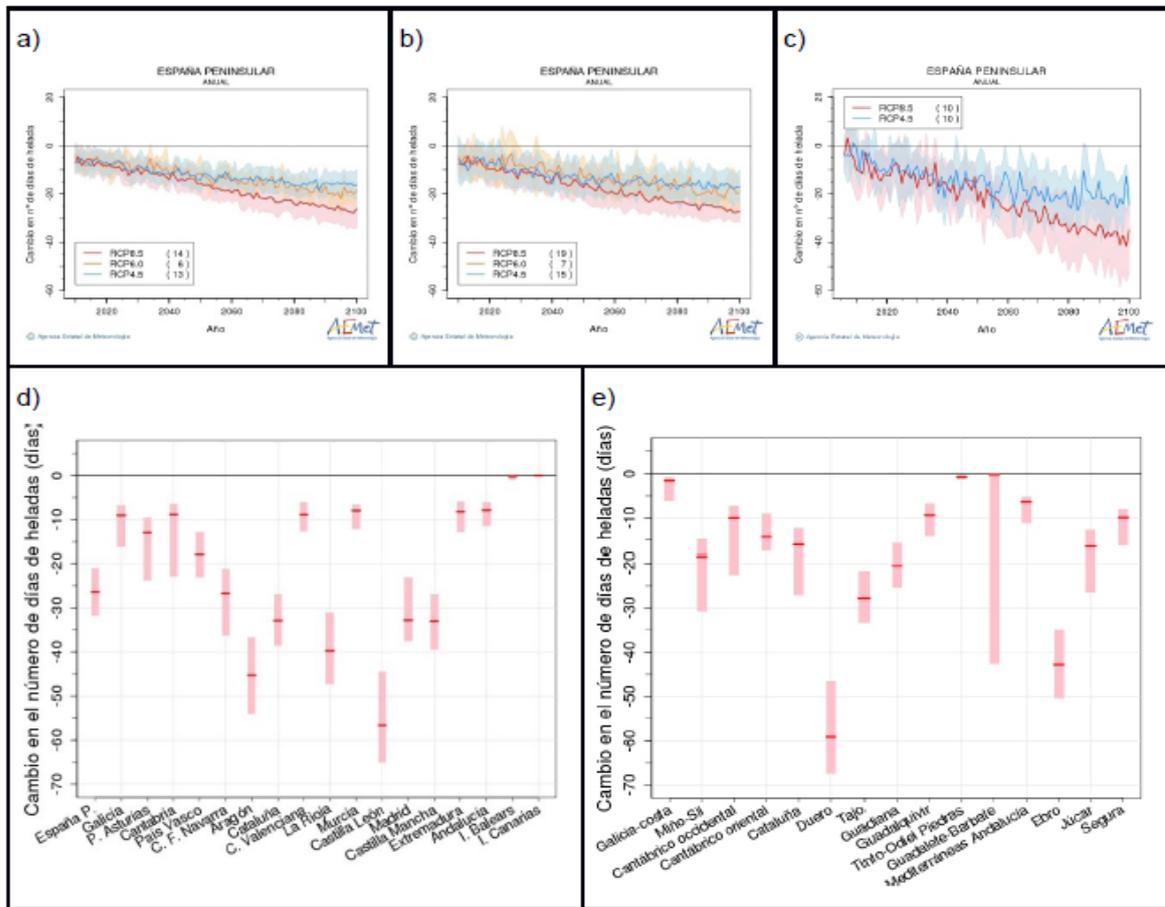


Figura 4.- Variação dos valores médios do número de dias de geada em Espanha continental e nas diferentes Comunidades Autónomas para os diferentes cenários de emissões (Sanz, M.J. e Galán, E. (editores), 2020).

B.2.3. Região de Múrcia. Climatologia e projeções de geadas e temperaturas.

De acordo com um estudo científico realizado por investigadores do Laboratório de Climatologia da Universidade de Alicante e do Observatório da Sustentabilidade, o aquecimento global provocou um aumento das temperaturas de até 1,5°C em comunidades como a Região de Múrcia e a Comunidade Valenciana desde 1950. Especificamente, em áreas urbanas como Múrcia, foi observado um aumento de 1,6°C na temperatura (Figura 5), enquanto nas zonas rurais de Múrcia o valor atingiu 1,2°C.



Figura 5.- Temperatura média anual de Múrcia no período 1950-2022 (AEMET, 2023).

Este estudo conclui também que grande parte do aquecimento observado nos observatórios urbanos afetou as temperaturas mínimas, com um aumento de 2°C entre 1950 e 2022.

Este aumento de temperatura foi muito mais acentuado no período dos últimos 40 anos (1984-2022), como mostra a Figura 6.

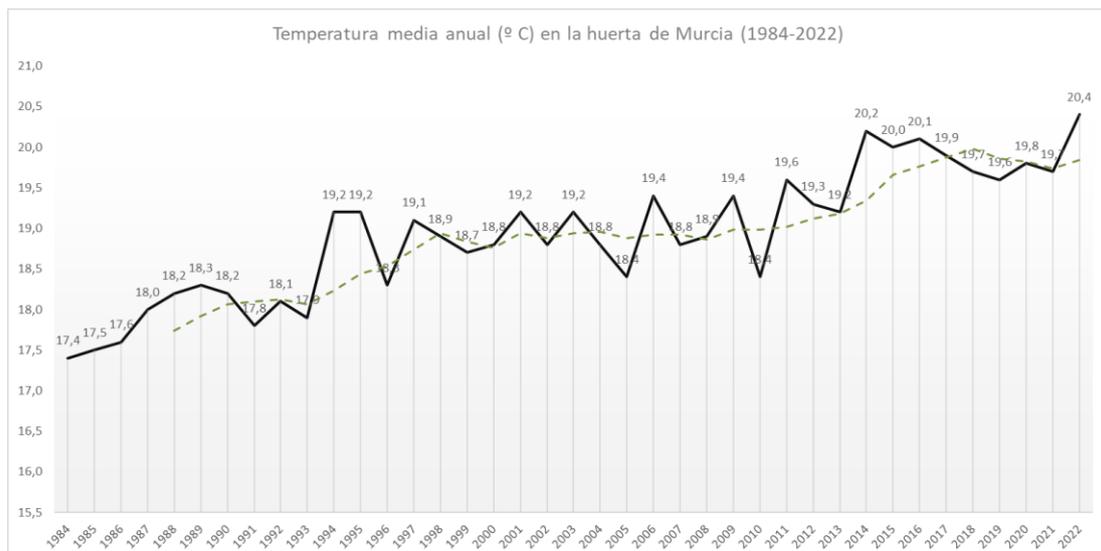
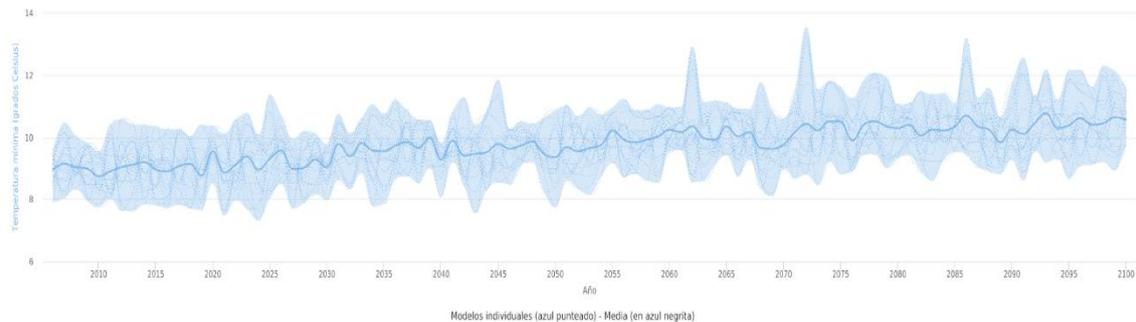


Figura 6.- Temperatura média anual de Múrcia no período 1984-2022 e média móvel de 5 anos.

Por outro lado, o Serviço de Alterações Climáticas do Copernicus (C3S) confirmou recentemente que "2023 foi o ano mais quente alguma vez registado". No caso da Região de Múrcia, a temperatura média registou um aumento de 2 °C em relação à última série histórica. A variação de 2023 em relação à média de 1981-2022 coloca Múrcia entre as seis províncias espanholas com maior aumento. Os dados da AEMET confirmam que 2023 entrará no grupo dos quatro anos mais quentes em Espanha, juntamente com 2017, 2020 e 2022. Na Europa, o ano passado foi o segundo mais quente, com 1,02 °C acima da média de 1991-2020 e apenas 0,1 °C mais frio do que 2020, o mais quente de que há registo.

As projeções do Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas (IPCC) para a região de Múrcia sugerem que as temperaturas continuarão a aumentar no futuro devido ao aquecimento global (Figura 7) e (Figura 8). As temperaturas mínimas primaveris também sofrerão um aumento, que pode ser analisado para as diferentes regiões espanholas com a aplicação do projeto Adaptateca (<https://escenarios.adaptecca.es/>).

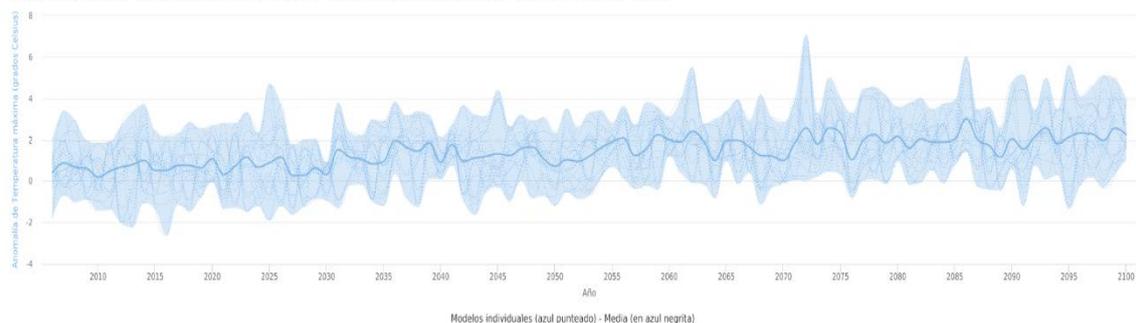
Escenarios AdapteCCa - Temperatura mínima - Datos en rejilla ajustados (media) - RCP 4.5 - Primavera - Murcia



Fuente: <https://escenarios.adaptecca.es>

Figura 7.- Temperatura mínima na primavera para a região de Múrcia no cenário RCP 4.5.

Escenarios AdapteCCa - Anomalia de Temperatura máxima - Datos en rejilla ajustados (media) - RCP 4.5 - Primavera - Murcia



Fuente: <https://escenarios.adaptecca.es>

Figura 8.- Anomalia da temperatura máxima na primavera em Múrcia no cenário RCP 4.5.

B.2.4. País Basco. Climatologia e projeção de geadas e temperaturas

Os cenários climáticos regionais constituem uma informação de referência de carácter transversal para estudos posteriores sobre o impacto das alterações climáticas em diferentes sectores, como a saúde, a agricultura, os recursos hídricos, o ambiente natural, etc., com o objetivo de identificar as melhores medidas de adaptação às alterações climáticas. No País Basco, foi desenvolvida uma ferramenta específica para obter projeções climáticas em diferentes cenários de emissões. Esta informação está disponível através da seguinte ligação web:

http://escenariosklima.ihobe.eus/#&model=multimodel&variable=tas&scenario=rsp85&temporalFilter=YEAR&layers=MUNICIPALITIES&period=MEDIUM_FUTURE&anomaly=RAW_VALUE

Os cenários climáticos apresentados nesta ferramenta fornecem dados sobre as variáveis básicas (temperatura e precipitação) até ao ano 2100 com alta resolução espacial (1km x 1km) e temporal (dados diários), bem como indicadores derivados destas duas variáveis (ondas de calor, noites tropicais, dias de geada...). Toda esta informação foi incluída num sistema de informação geográfica ou visualizador que permite:

- Visualizar as variáveis (temperatura, precipitação, etc.) para o período histórico de referência (1971-2000), futuro próximo (2011-2040), futuro médio (2041-2070) e futuro longínquo (2071-2100).
- Analisar e extrair a informação acima referida através de pesquisas em áreas específicas, que podem ser um município específico, uma região, um bairro, áreas de interesse ambiental, entre outras e existem vários tipos de pesquisas predefinidas, bem como a opção de desenhar uma figura no mapa (polígono) sobre a qual extrair a informação.
- Visualizar e descarregar dados de séries temporais, por ano ou por estação, quer sejam médias anuais ou dados diários.

Toda esta informação está disponível, no caso de dados futuros, tanto para a média dos diferentes modelos como para cada um dos modelos individuais.

Abaixo estão alguns gráficos que mostram a evolução das variáveis meteorológicas de interesse para o projeto An-Gel Sudoe durante os últimos 68 anos. Os dados pertencem à estação meteorológica de Arkaute, situada perto de Vitoria-Gasteiz. Neste caso, trata-se de dados de uma estação fixa. No entanto, com a ferramenta acima mencionada, os dados também podem ser extraídos no passado, desde 1971, com uma resolução de 1 km. Os dois últimos gráficos aqui apresentados combinam dados históricos da estação de Arkaute até 2023 com projeções climáticas até 2053 obtidas utilizando a ferramenta acima mencionada para 12 modelos climáticos diferentes (de acordo com a metodologia seguida pelo IPCC).

Na Figura 9 apresenta-se a evolução da temperatura média anual em Arkaute de 1955 a 2023, bem como as médias dos últimos 5 anos anteriores e as médias dos últimos 30 anos anteriores. Este último parâmetro mostra um aumento de quase 1 °C na média dos 30 anos de 1985 a 2023, que pode ser dividido em duas fases: um aumento mais lento de 0,5 °C de 1984 a 2013, e um aumento muito mais rápido de 0,4 °C nos últimos 10 anos.

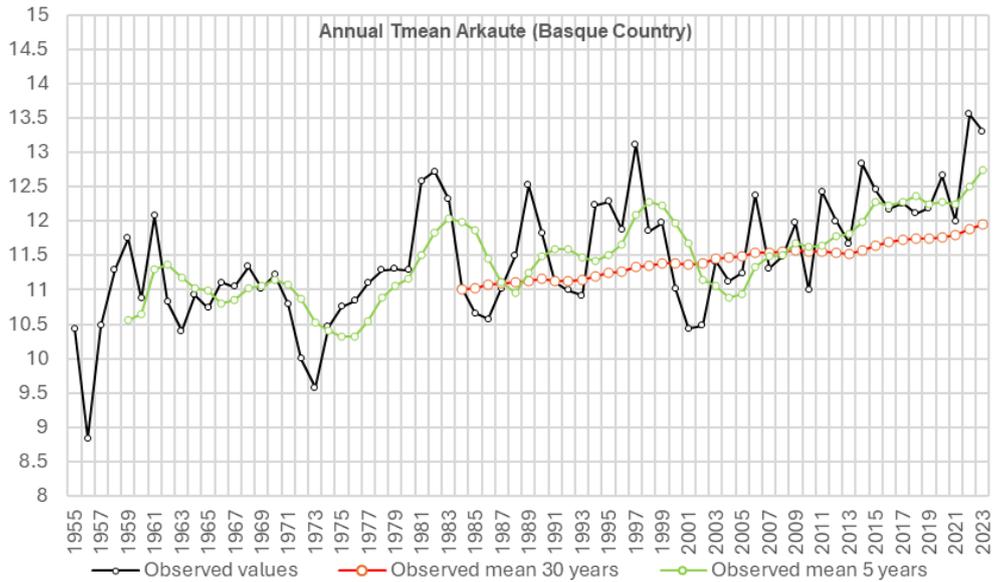


Figura 9.- Evolução da temperatura média anual (°C) na estação de Arkaute (linha preta). Temperatura média dos últimos 5 anos (linha verde) e média dos últimos 30 anos (linha vermelha).

Na Figura 10 apresenta-se a evolução da temperatura mínima absoluta e das temperaturas mínimas absolutas média e mínima dos últimos 30 anos (°C) para o mês de abril desde 1955 na estação meteorológica de Arkaute. A temperatura mínima absoluta apresenta uma certa estabilidade nos valores de 1984 a 2003, e um aumento das temperaturas mínimas absolutas em abril de cerca de 0,6 °C nos últimos 20 anos.

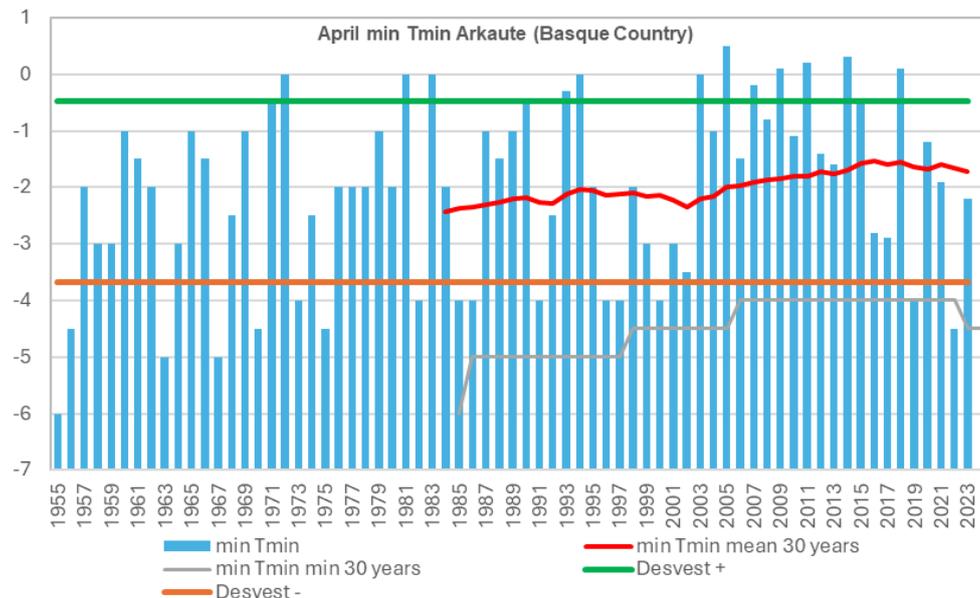


Figura 10.- Evolução da temperatura mínima absoluta (°C) em abril desde 1955 na estação de Arkaute (barras azuis). Média das temperaturas mínimas absolutas em abril nos últimos 30 anos (linha vermelha). Temperaturas mínimas absolutas mínimas nos últimos 30 anos (linha cinzenta).

A Figura 11 mostra a evolução da temperatura média em fevereiro e março desde 1955 em Arkaute (barras laranja). A análise da série de 30 anos (linha roxa) mostra uma certa estabilidade nos valores de 1984 a 2003, e um aumento nas temperaturas médias de fevereiro e março de cerca de 0,6 °C de 1984 a 2023.

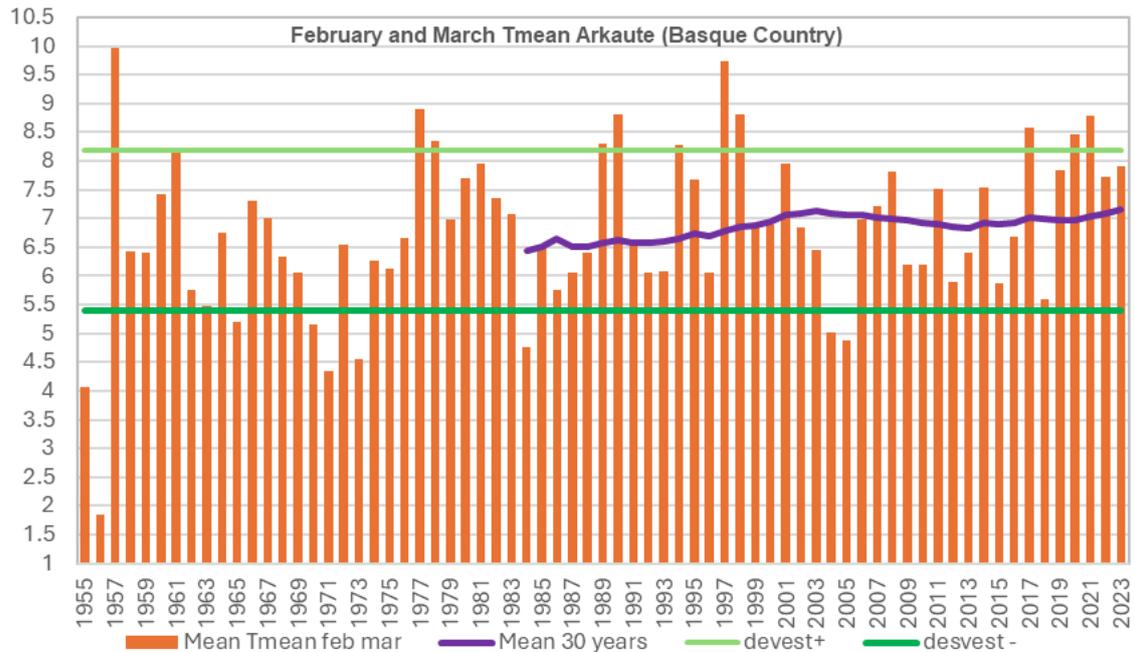


Figura 11.- Evolução da temperatura média (°C) para fevereiro e março desde 1955 na estação meteorológica de Arkaute (barras laranja). Temperatura média dos 30 anos anteriores (linha roxa).

A evolução dos dias de geada na primavera desde 1955 na estação meteorológica de Arkaute é apresentada na Figura 12 (barras azuis). A linha amarela representa o número médio de dias de geada primaveril (média dos 30 anos anteriores). Observa-se uma redução da média de 30 anos do número de dias de primavera de 1984 a 2017 de cerca de 2 dias. No entanto, nos últimos 6 anos, registou-se um ligeiro aumento desta média (de 30 anos) de cerca de 0,5 dias. Assim, desde 1984, registou-se uma redução do número médio de dias de primavera de 1,5 dias.

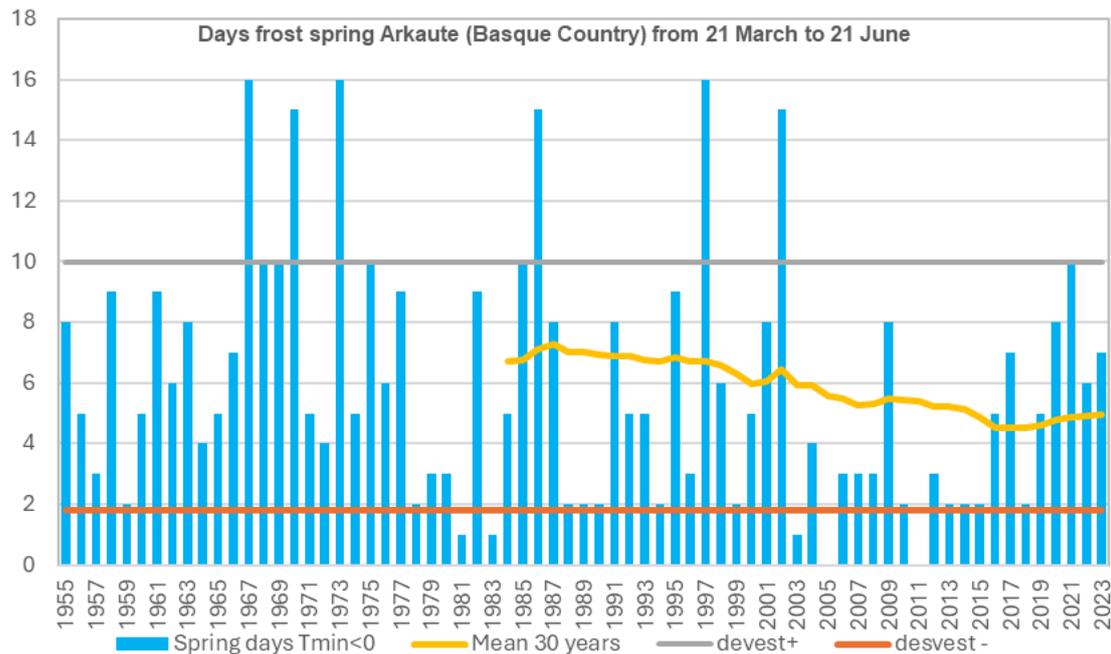


Figura 12.- Evolução dos dias de geada (barras azuis) e número médio de dias de geada nos últimos 30 anos (linha amarela) na primavera desde 1955 na estação meteorológica de Arkaute.

Na Figura 13 e Figura 14 estão representadas as séries históricas da temperatura média anual e dos dias de geada na primavera de 1955 a 2023 em Arkaute, combinadas com as projeções climáticas destes dados para esta mesma estação até 2053. Com base nos resultados de 12 modelos de projeção climática obtidos utilizando a ferramenta acima mencionada (de acordo com a metodologia seguida pelo IPCC) (linhas cinzentas nos gráficos), as linhas que representam as médias de 30 anos da temperatura média anual e dos dias de geada na primavera foram prolongadas até 2053. Para projetar estas tendências de 30 anos, foram utilizadas as médias dos 12 modelos de projeção climática utilizados. O cenário de emissões escolhido para estas projeções é o RCP 4.5. A Figura 13 mostra um possível aumento de 0,85 °C nas médias de 30 anos da temperatura média anual da estação de Arkaute para os próximos 30 anos. Por outro lado, no que diz respeito à evolução do número de dias de geada primaveris nos próximos 30 anos, não se observa uma variação significativa com base na série de médias de 30 anos projetadas até 2053 (Figura 14).

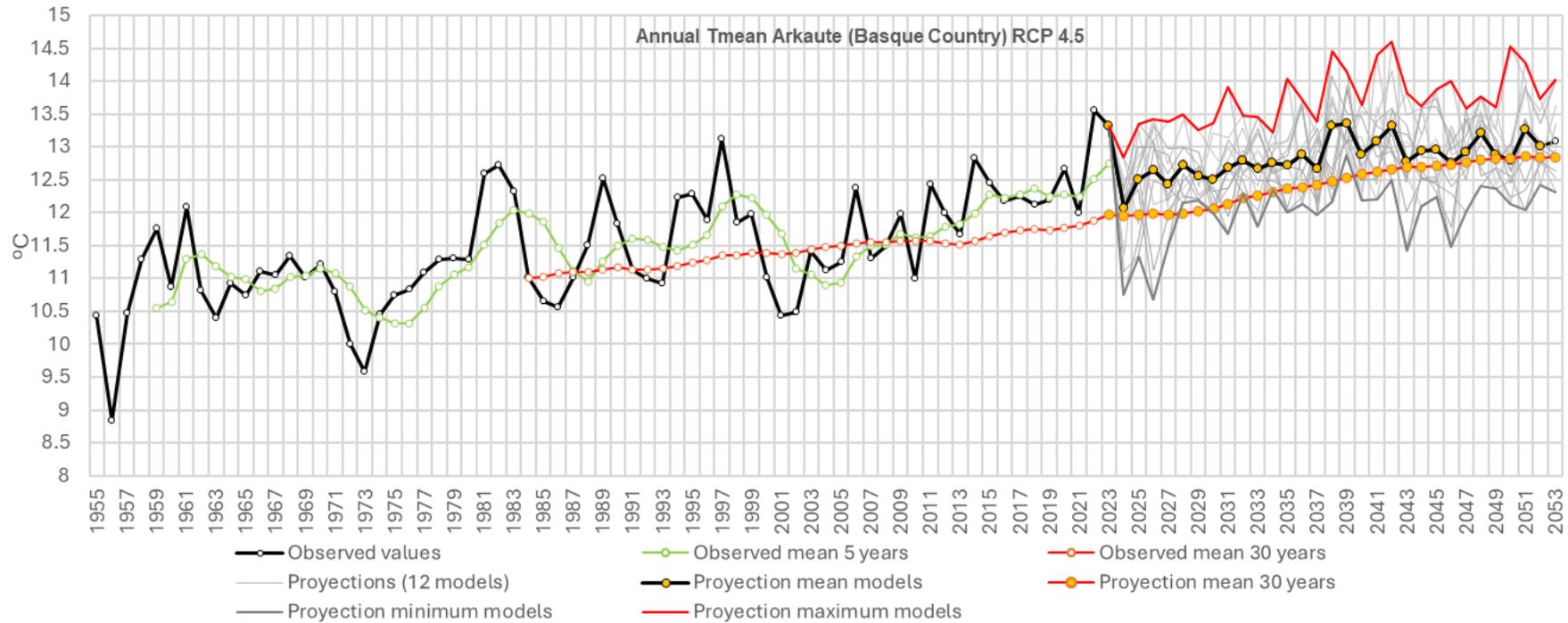


Figura 13.- Valores observados da temperatura média anual (°C) entre 1955 e 2023 (linha preta), média de 5 anos (linha verde), média de 30 anos (linha vermelha) e projeção da evolução da temperatura média anual (linha cinzenta) e média de 30 anos (linha vermelha com pontos amarelos) até 2053 na estação meteorológica de Arkaute.

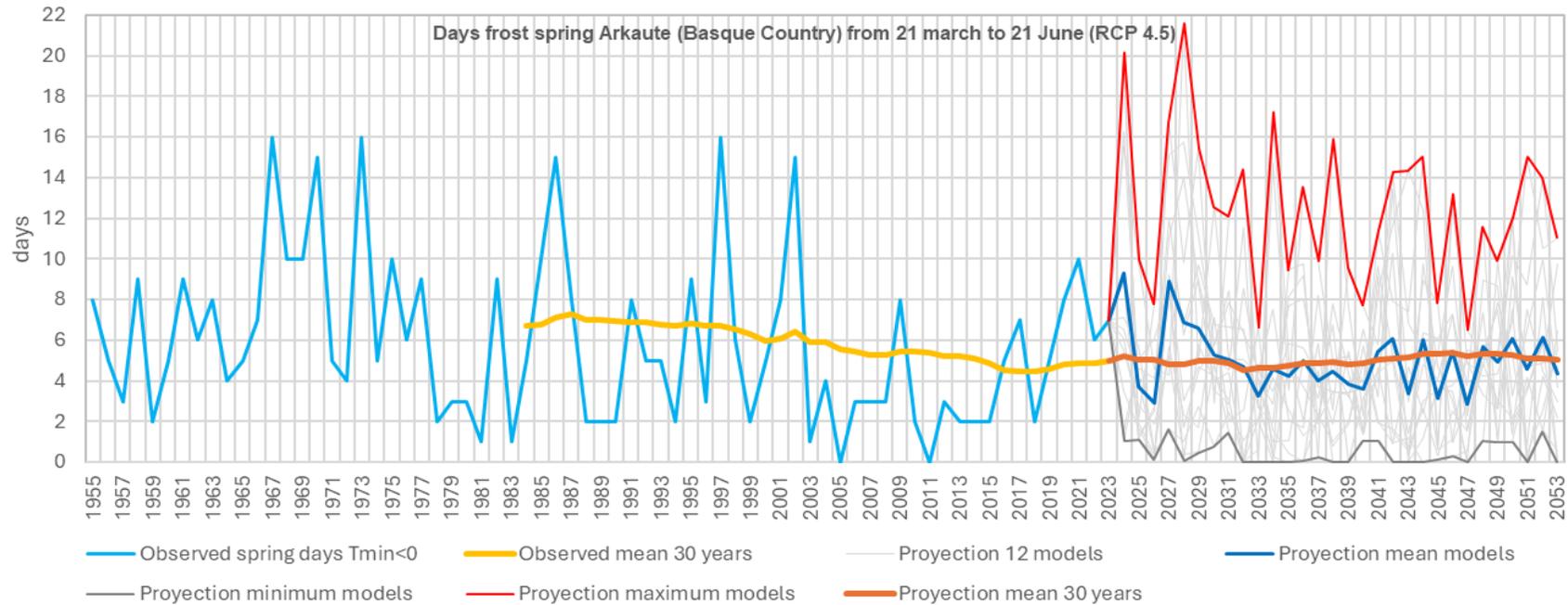


Figura 14.- Valores observados de dias de geada na primavera entre 1955 e 2023 (linha azul), média de 30 anos (linha amarela) e projeção da evolução do número de dias de geada (linha vermelha) e média de 30 anos (linha laranja) até 2053, na estação meteorológica de Arkaute.

Seria necessário efetuar um estudo mais aprofundado para vislumbrar os possíveis efeitos das alterações climáticas na zona em que se situa a estação de Arkaute em termos de incidência de geadas primaveris. Os gráficos apresentados mostram que o aumento previsto das temperaturas médias anuais até 2053 (0,85 °C) poderia acelerar o desenvolvimento fenológico de certas culturas e torná-las mais suscetíveis às geadas (não há uma tendência clara para a redução do número de dias de geada na primavera). No entanto, as temperaturas mínimas absolutas têm aumentado nos últimos anos, pelo que, embora não se apresentem os seus dados de projeção futura, é possível pensar que esta tendência se poderia manter, pelo que este facto poderia ter um menor efeito nos tecidos vegetais quando ocorrem estas geadas. A combinação de uma maior suscetibilidade, devido à aceleração do desenvolvimento fenológico associada ao aumento das temperaturas médias anuais, e de um menor impacto das geadas devido ao aumento das temperaturas mínimas absolutas, torna difícil tirar conclusões claras.

B.3. França.

B.3.1. Moyenne-Garonne. Climatologia e previsões de geadas e temperaturas

B.3.1.1. Introdução

Utilizámos todos os dados climatológicos disponíveis no ACMG desde os anos 50 para analisar a evolução das temperaturas médias anuais sob abrigo. Escolhemos a estação AGEN, que possui a série mais longa e é representativa das condições da Moyenne-Garonne, nos vales do Garonne e do Lot, entre Montauban e La Réole. As estações das encostas são menos frias.

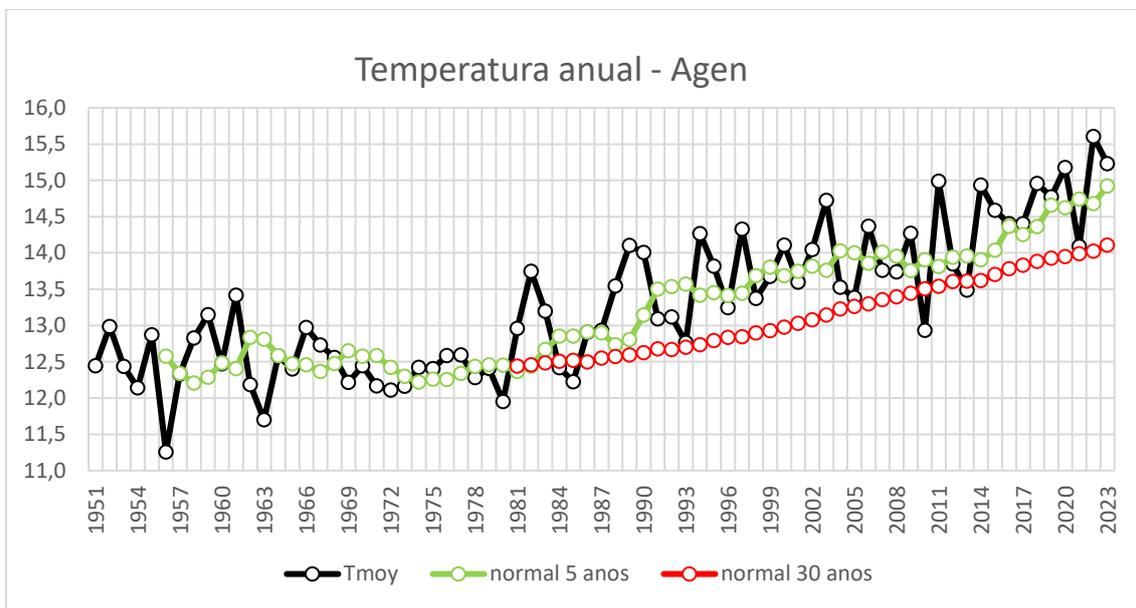


Figura 15.- Evolução histórica da temperatura média anual em Agen sob abrigo (a preto), da média quinzenal (a verde) e da normal a 30 anos (a vermelho).

O primeiro gráfico (Figura 15) mostra a evolução desta temperatura média anual sob abrigo, medida perto de Agen desde 1951 pela Météo-France e depois pelo ACMG perto do aeroporto de Agen, numa zona de relva, e desde 2022 no Agen Garonne Technopolis, ainda na margem esquerda do Garonne, também numa zona de relva e relativamente arborizada, sem a influência das pistas do aeroporto ou das estradas da zona TAG.

O ano mais frio foi 1956, quando se registou uma vaga de frio invernal dramática, com temperaturas mínimas em fevereiro frequentemente inferiores a -20°C , que matou as espécies mediterrânicas da região (oliveiras, loureiros, figueiras, etc.).

A partir da década de 1980, as temperaturas médias começaram a subir, ultrapassando o limiar de 14°C em 1989 e 1990. Desde então, as temperaturas continuaram a subir, apesar de alguns decréscimos de curta duração, como em 2010 e 2013. O máximo observado até agora em 2022, $15,6^{\circ}\text{C}$, corresponde a um aumento normal da temperatura de $1,8^{\circ}\text{C}$ nas últimas três décadas. Se olharmos para o aumento por década,

verificamos que, nos últimos 30 anos, se registou um aumento sucessivo, de dez em dez anos, de +0,5, +0,4 e +0,9°C.

O nosso objetivo é imaginar as condições climáticas e, portanto, térmicas em que viveremos nos próximos trinta anos. Propomos dois cenários: o primeiro é bastante otimista e baseia-se numa continuação da inclinação média observada nos últimos 30 anos, ou seja, um aumento de 1,8°C até 2053, e o segundo é mais realista e baseia-se numa extrapolação do que acabou de acontecer nos últimos anos, ou seja, um aumento de mais 2,7°C até 2053.

Como não dispomos de um modelo capaz de construir estas temperaturas, partimos do princípio de que os fenómenos climáticos de depressões passageiras e anticiclones observados nos últimos trinta anos continuarão a ocorrer, com uma única alteração importante, que será o aumento da temperatura. Assim, tomámos a variação observada, duplicámo-la e projetámo-la em função do aumento de temperatura de 1,8°C e depois de 2,7°C. Com estas novas séries de dados diários, traçámos o clima futuro do nosso sector.

Aplicámos este método em 2013 e, desde então, verificámos que ele permitiu antecipar os fenómenos extremos que vivemos em termos de ondas de calor. Não trabalhámos com a geada, mas previmos um início mais precoce dos ciclos vegetativos, sem imaginar as consequências que, infelizmente, se farão sentir em 2021 e 2022.

B.3.1.2. Resultados

Figura 16 mostra a evolução passada e futura da temperatura média anual em Agen sob abrigo (a preto), a média de 5 anos a verde e a normal a vermelho, tendo em conta um aumento moderado equivalente ao aumento observado de 1,8°C em 30 anos.

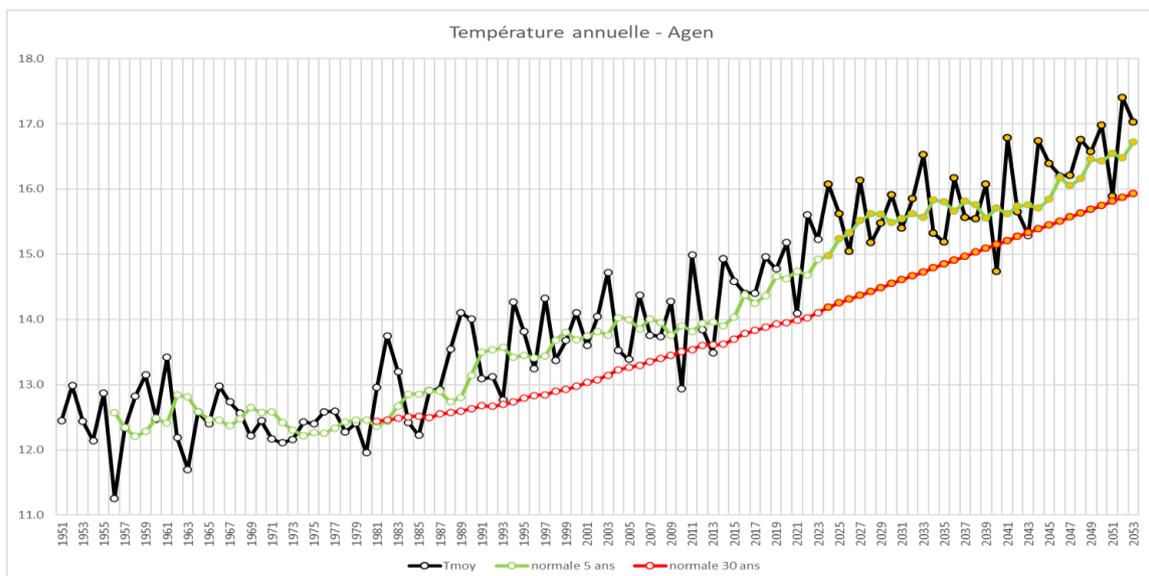


Figura 16.- Tendências passadas e futuras com um aumento de 1,8°C nos próximos 30 anos da temperatura média anual em Agen e sob abrigo (a preto), a média de cinco anos (a verde) e a normal (a vermelho). Os pontos amarelos e a linha são os dados previstos.

Podemos constatar que, em apenas 70 anos, a temperatura média em Agen poderá aumentar para quase 5°C se não reduzirmos o teor de gases com efeito de estufa na atmosfera, principalmente o CO₂. No cenário mais realista de progresso, de acordo com o que temos vindo a registar nos últimos dez anos, este aumento será de quase 6°C!¹

A partir deste conjunto de dados sobre as temperaturas máximas e mínimas da região de Agen, observadas entre 1951 e 2023, e dos dados produzidos até 2053, segundo o método acima descrito, analisámos os dados relativos às geadas primaveris. A primeira tarefa consiste em registar o número de dias em que as temperaturas desceram abaixo de 0°C em coberto, tendo em conta que isto corresponde a -2°C a 1,50 m ao ar livre, o que é prejudicial para as plantas sensíveis que começaram a crescer.

Figura 17 mostra a evolução, a partir de 1951, do número de dias com temperaturas mínimas inferiores a 0°C em Agen até 2023 para a parte observada e de 2024 a 2053 para a parte projetada, com um aumento de apenas 1,8°C.

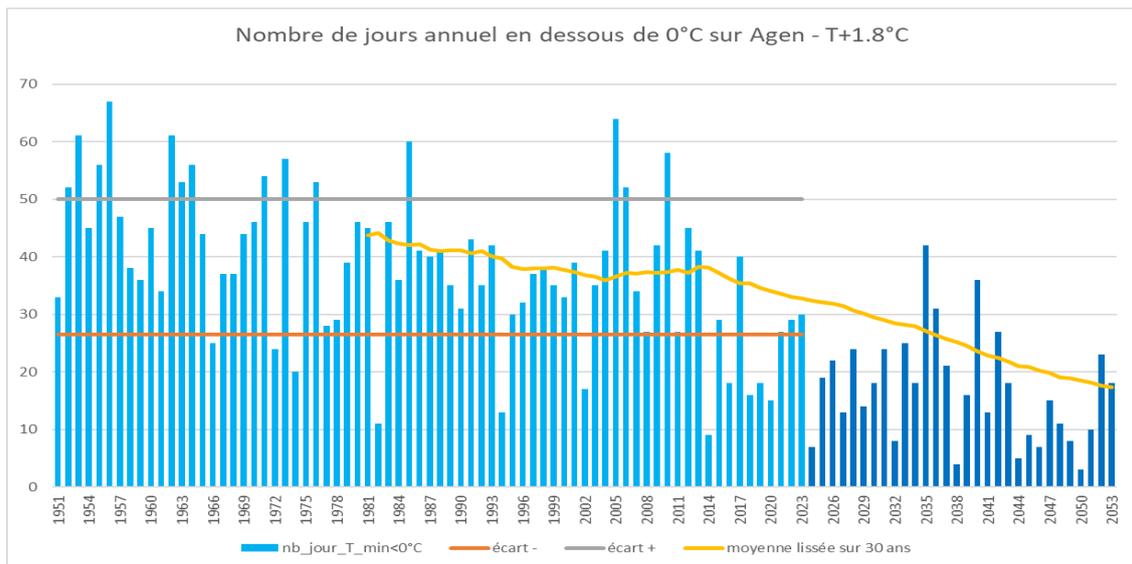


Figura 17.- Evolução passada e futura do número de dias anuais com temperaturas negativas em Agen e sob abrigo, em que o amarelo é a normal e o cinzento e o castanho são os desvios-padrão.

Note-se que este gráfico inclui dados relativos a todos os dias do ano, incluindo o outono, o inverno e a primavera, e não apenas os meses de risco de geada, de março a maio, como se mostra abaixo.

¹ Noutro documento, fizemos a mesma análise climática sobre a precipitação, onde mostramos que os totais de precipitação permanecerão estáveis ou até aumentarão, uma vez que a atmosfera mais quente será capaz de reter mais vapor de água do oceano ou do Mediterrâneo. No entanto, com temperaturas mais elevadas, as necessidades de água serão maiores.

Este facto confirma que será difícil cobrir as necessidades de frio das culturas, como foi o caso em 2014, quando se observaram períodos de floração muito longos nas maçãs Golden e em algumas ameixeiras. No futuro, esta situação poderá ocorrer com muito mais regularidade, como em 2032, 2038, 2044, 2045, 2046, 2049 e 2050. No final deste meio século, teremos perdido uma quinzena de geadas entre outubro e abril.

A partir dos registos das temperaturas mínimas observadas em abril desde 1951 em Agen, traçámos o gráfico da Figura 18 que mostra o valor extremo desta mínima no mês de abril. É fácil imaginar que, quando a temperatura mínima é inferior a -2°C sob coberto, ocorrem danos significativos por geada na região.

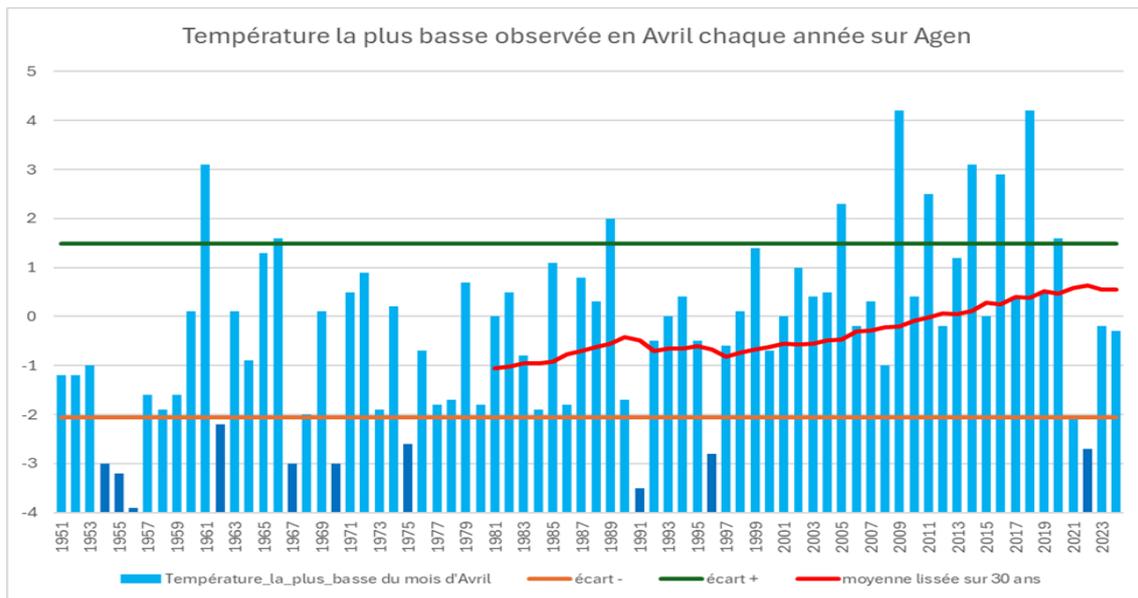


Figura 18.- Evolução da temperatura mínima sob abrigo para o mês de abril em Agen, de 1951 a 2024.

Os anos mais frios e mais afetados pelas geadas, como 1956, 1967, 1970, 1991 e 2021 e 2022, são claramente visíveis. No entanto, a tendência ao longo da média de 30 anos é claramente ascendente, com as temperaturas a subirem de -1°C, no início da década de 1980, para +0,5°C em 2020. Entre 1997 e 2020, as temperaturas mínimas em abril nunca desceram abaixo de -1°C, e apenas as culturas como os kiwis, os damascos, os pêssegos e as variedades precoces precisam de ser protegidas das geadas. No entanto, em 2021 e 2022 vivemos duas vagas de frio que fazem lembrar as dos anos 60 e 70, o que nos deve alarmar e obrigar a estar ainda mais atentos a estas intempéries, com meios eficazes de combater.

Vejamos o período de geada primaveril na Figura 19 que mostra os dados para os meses de março, abril e maio apenas, e para o cenário de 30 anos +1,8°C.

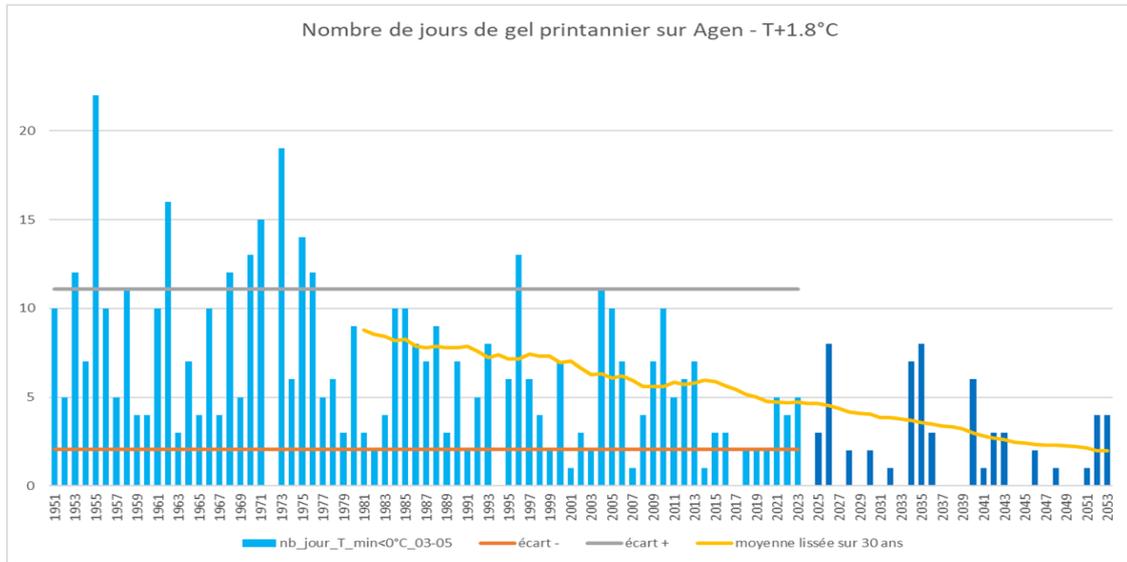


Figura 19.- Evolução passada e futura do número de dias com temperaturas negativas em Agen e sob abrigo entre março e maio, em que o amarelo é a normal e o cinzento e o castanho são os desvios-padrão.

Observando simplesmente a evolução do número de dias de geada nos meses de março a maio desde 1951 e projetando-a até 2053, segundo o método proposto acima, podemos constatar uma redução do número de dias de risco, com uma alternância cada vez mais frequente de ausência total de geada com algumas noites de geada, mesmo em abril. Isto já significa que o controlo das geadas, utilizado com menos frequência, continuará a ser utilizado regularmente, o que nos incita a manter uma proteção ativa. Além disso, constatamos que a redução do número de dias frios, nomeadamente em março, permite que a vegetação se torne ativa mais cedo, quando ainda são possíveis períodos de frio perigosos em abril. Este é o tipo de cenário que se verifica com bastante regularidade desde 2017 no sudoeste de França, tal como se verifica no sudeste desde 2004.

Por conseguinte, antecipámos e examinámos as tendências passadas e projetadas das temperaturas médias da copa das árvores de fevereiro a março, que influenciam a aceleração da iniciação da vegetação, uma vez satisfeita a necessidade de frio das plantas.

Figura 20 mostra a evolução das temperaturas para os meses de fevereiro e março medidas sob abrigo em Agen.

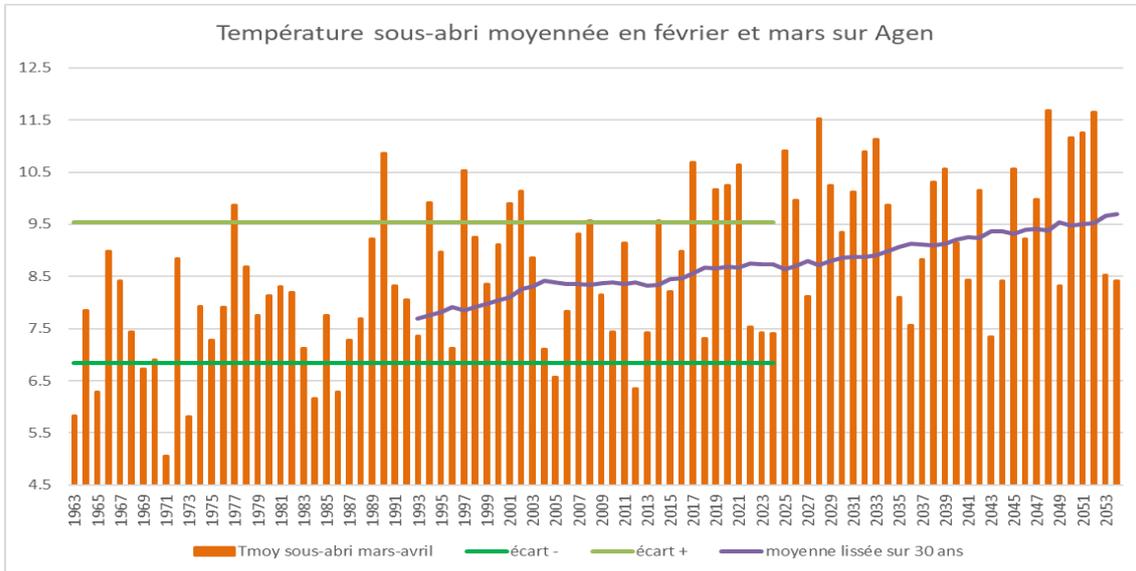


Figura 20.- Evolução passada e futura da temperatura média sob abrigo em Agen para os meses de fevereiro e março.

A variabilidade é elevada, com alguns anos a registarem menos de 6,5°C e outros mais de 9,5°C. A temperatura normal em 1993 era de 7,6°C, subindo para quase 8,5°C em 2000 e ultrapassando este limiar em 2017. De acordo com a projeção de +1,8°C, esta média aumentaria para 9,5°C antes da década de 2050, condições que efetivamente desencadearam o avanço de 2021 e a subsequente geada no início de abril.

A mesma análise foi repetida com o pressuposto de que o aquecimento continua ao ritmo atual de 0,9°C de dez em dez anos, ou seja, mais 2,7°C até 2053. A Figura 21 mostra as tendências passadas e futuras com este aumento de 2,7°C na temperatura média anual em Agen, medida sob abrigo.

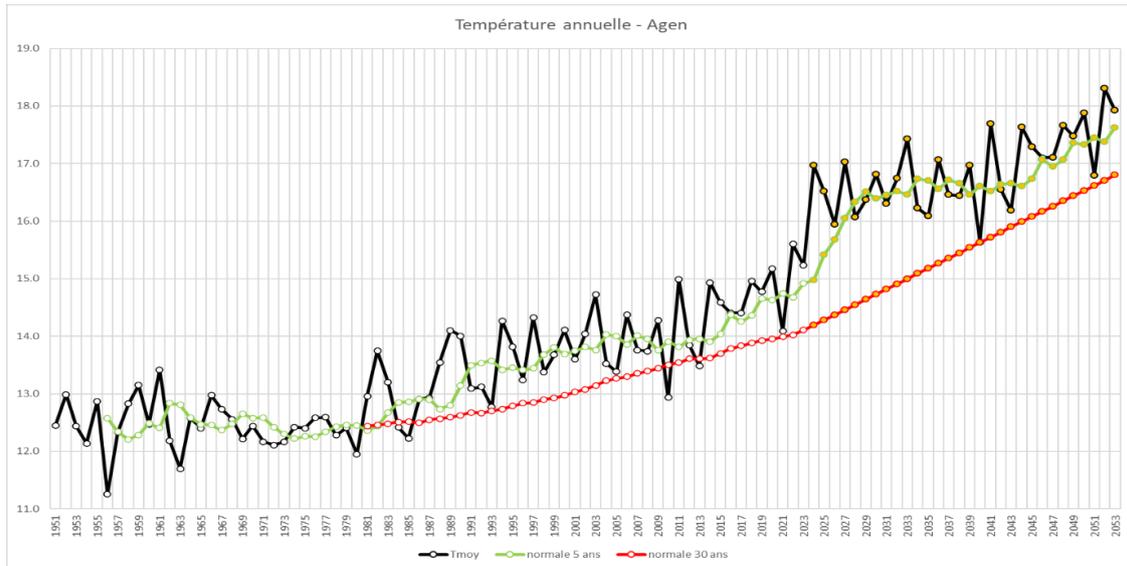


Figura 21.- Evolução passada e futura, com um aumento de 2,7°C nos próximos 30 anos, da temperatura média anual em Agen medida sob abrigo (a preto), a média de 5 anos (a verde) e a normal a vermelho.

A evolução parece irrealista, mas é uma tradução justa do que vivemos entre 1994 e 2023, à qual acrescentamos um aumento de 0,9°C de dez em dez anos, como temos vindo a registar nos últimos dez anos. Nestas condições, a diferença entre o que vivemos e o que vamos viver é de quase 6°C, o que aumentará as necessidades de água e acelerará o aparecimento mais precoce da vegetação.

Assim, o número de dias de geada entre março e maio deverá diminuir significativamente, sem desaparecer completamente. Imaginamos que as culturas adaptadas terão menos necessidade de frio, o que lhes permitirá começar o seu desenvolvimento mais cedo, em fevereiro e no início de março, tornando-as mais vulneráveis às vagas de frio durante esses períodos, quando atualmente essas plantas ainda estão em estado de dormência nesse período e podem suportar temperaturas até inferiores a -10°C.

Em conclusão, imaginamos que a água será o fator de adaptação necessário porque não deve ser limitada na primavera. Além disso, as soluções de controlo ativo ou passivo à base de água parecem-nos recomendáveis, principalmente devido à sua eficácia e facilidade de aplicação num contexto de custos elevados de mão-de-obra e energia. Os investimentos realizados nos próximos anos para assegurar esta proteção hídrica serão, sem dúvida, utilizados para apoiar as culturas no período estival, quando as vagas de calor serão mais frequentes e onde, mais uma vez, a água será um meio de adaptação sustentável. A evidência deste risco futuro de vagas de calor é confirmada neste último gráfico (Figura 22), que mostra a evolução do número de dias com temperaturas máximas superiores a 35°C (medidas em coberto) em Agen e a projeção futura até 2053.

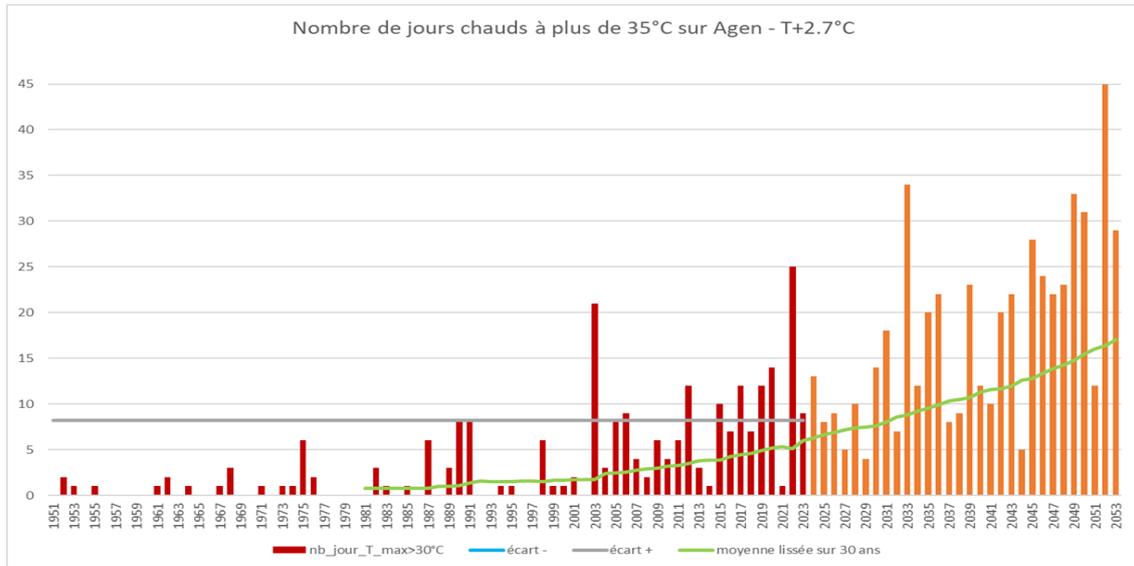


Figura 22.- Evolução passada e futura, com um aumento de 2,7°C nos próximos 30 anos, do número de dias em Agen com mais de 35°C (medidos sob abrigo).

O verão de 2003, que continua a ser um dos mais mortíferos em França devido à vaga de calor, já foi ultrapassado pelo verão seco de 2022. Prevê-se que o limiar de 20 dias por ano de canícula seja atingido regularmente a partir de 2035 e que seja largamente ultrapassado por volta de 2050. Esta situação aumentará as necessidades hídricas das culturas por um fator de, pelo menos, 0,5, aumentando as necessidades de irrigação das macieiras dos atuais 2500 m³/ha para quase 4000 m³/ha em 2050.

B.3.2. Dordogne. Climatologia e previsões de geadas e temperaturas

A evolução das temperaturas e dos dias de geada na Dordogne nos últimos 30 anos reflete as alterações climáticas globais e regionais. A Dordogne, situada no sudoeste de França, regista variações climáticas significativas que têm um impacto significativo no ambiente, na agricultura e nos meios de subsistência locais.

Tendências da temperatura

Nas últimas três décadas, as temperaturas médias na Dordogne registaram uma tendência para aumentar. Este aumento das temperaturas médias anuais é coerente com o aquecimento global observado a nível mundial. Os Verões são cada vez mais quentes, com vagas de calor mais frequentes e mais intensas. Em contrapartida, os Invernos tendem a ser mais amenos, reduzindo o número de dias de geada.

Dias de geada

Os dias de geada, definidos como dias em que a temperatura mínima desce abaixo de 0°C, estão a diminuir. Esta redução é uma consequência direta do aumento das temperaturas no inverno. A diminuição dos dias de geada pode ter vários efeitos na região. Pode, por exemplo, prolongar os períodos de crescimento de certas culturas, mas pode também aumentar a vulnerabilidade das plantas a pragas e doenças que já não são travadas pelas baixas temperaturas.

Comparação com valores climáticos normais

Para avaliar a extensão destas alterações, é essencial comparar os dados atuais com as normais climáticas dos últimos 30 anos. As normais climáticas são médias calculadas ao longo de um período de 30 anos, que suavizam as variações anuais e fornecem uma referência estável para medir as anomalias climáticas.

Implicações

O aumento das temperaturas e a diminuição dos dias de geada têm um impacto importante em vários aspetos da vida na Dordogne:

- Agricultura: as alterações de temperatura podem afetar os ciclos de crescimento das culturas, a distribuição das espécies agrícolas e a gestão da água.
- Biodiversidade: As alterações climáticas podem provocar a deslocação de espécies, alterando os ecossistemas locais.
- Saúde: A subida das temperaturas pode aumentar os riscos para a saúde, especialmente à medida que as vagas de calor se tornam mais frequentes.

Em conclusão, a evolução das temperaturas e dos dias de geada na Dordogne são indicadores-chave do impacto das alterações climáticas na região. A compreensão destas tendências é essencial para a adaptação e a atenuação dos potenciais efeitos negativos no ambiente e na sociedade.

Previsões de temperatura para a Dordogne

As projeções climáticas para a Dordogne, como para muitas outras regiões do mundo, indicam uma tendência contínua de aumento das temperaturas nas próximas décadas. Estas projeções baseiam-se em vários cenários de emissões de gases com efeito de estufa desenvolvidos por organismos como o Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas (IPCC).

Aumento das temperaturas médias

Os modelos climáticos sugerem que as temperaturas médias anuais na Dordogne poderão aumentar entre 2°C e 4°C até ao final do século, consoante o cenário de emissões (Figura 23). Os Verões serão particularmente afetados por este aumento e é provável que as temperaturas máximas no verão continuem a subir. As vagas de calor tornar-se-ão mais frequentes e intensas, prolongando os períodos de calor extremo e aumentando os riscos para a saúde pública e a agricultura.

Do mesmo modo, as temperaturas mínimas registarão um aumento de 0,95°C em 2050 e de 2,94°C em 2100, em comparação com a mediana do período 1985-2020 (Figura 24).

Température moyenne annuelle (°C)

RCP 8.5

Moyenne des températures entre le 1 janvier et le 31 décembre

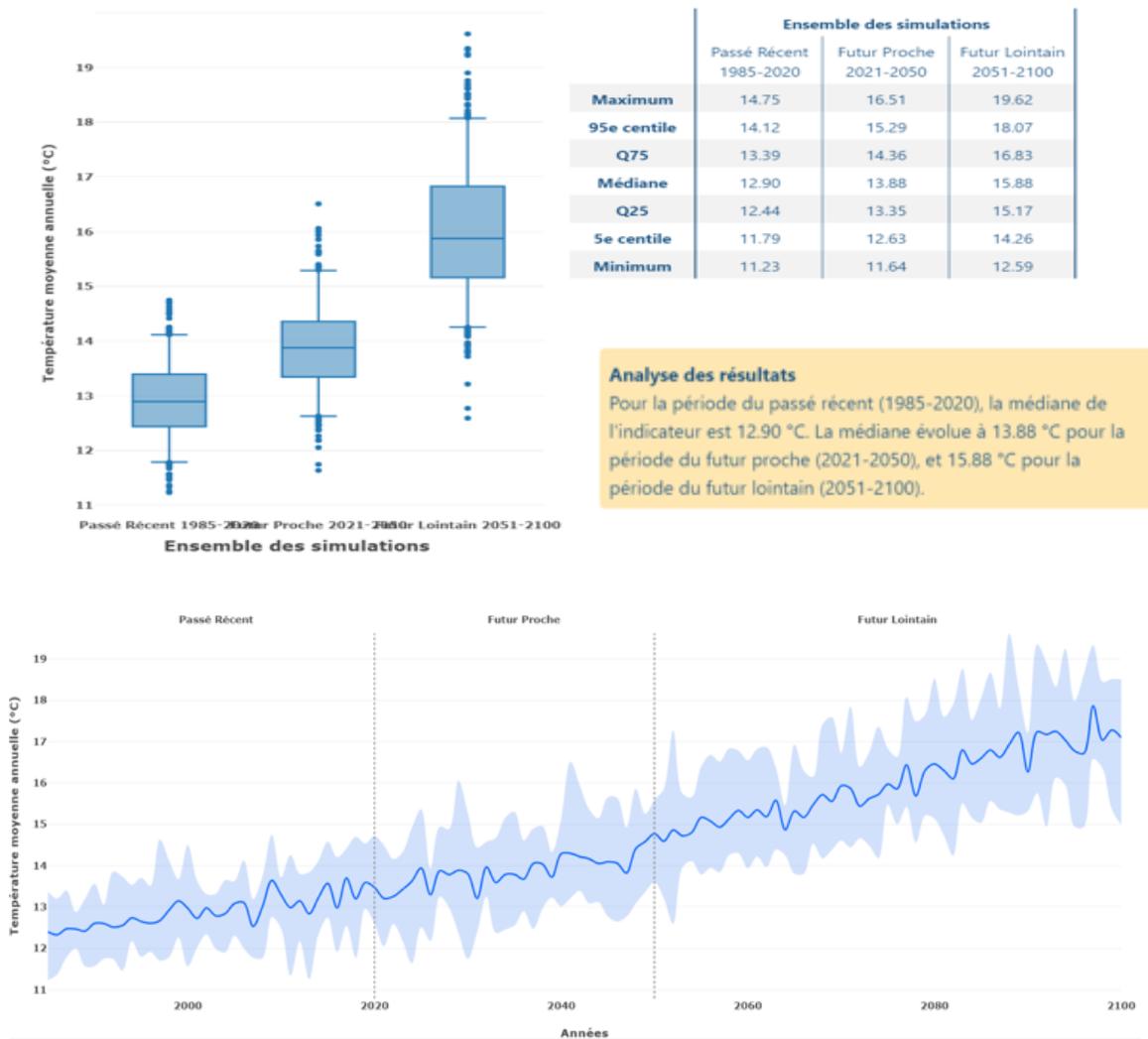


Figura 23.- Evolução da temperatura média anual desde 1985 e previsão a curto e longo prazo num cenário de alterações climáticas RCP8.5.

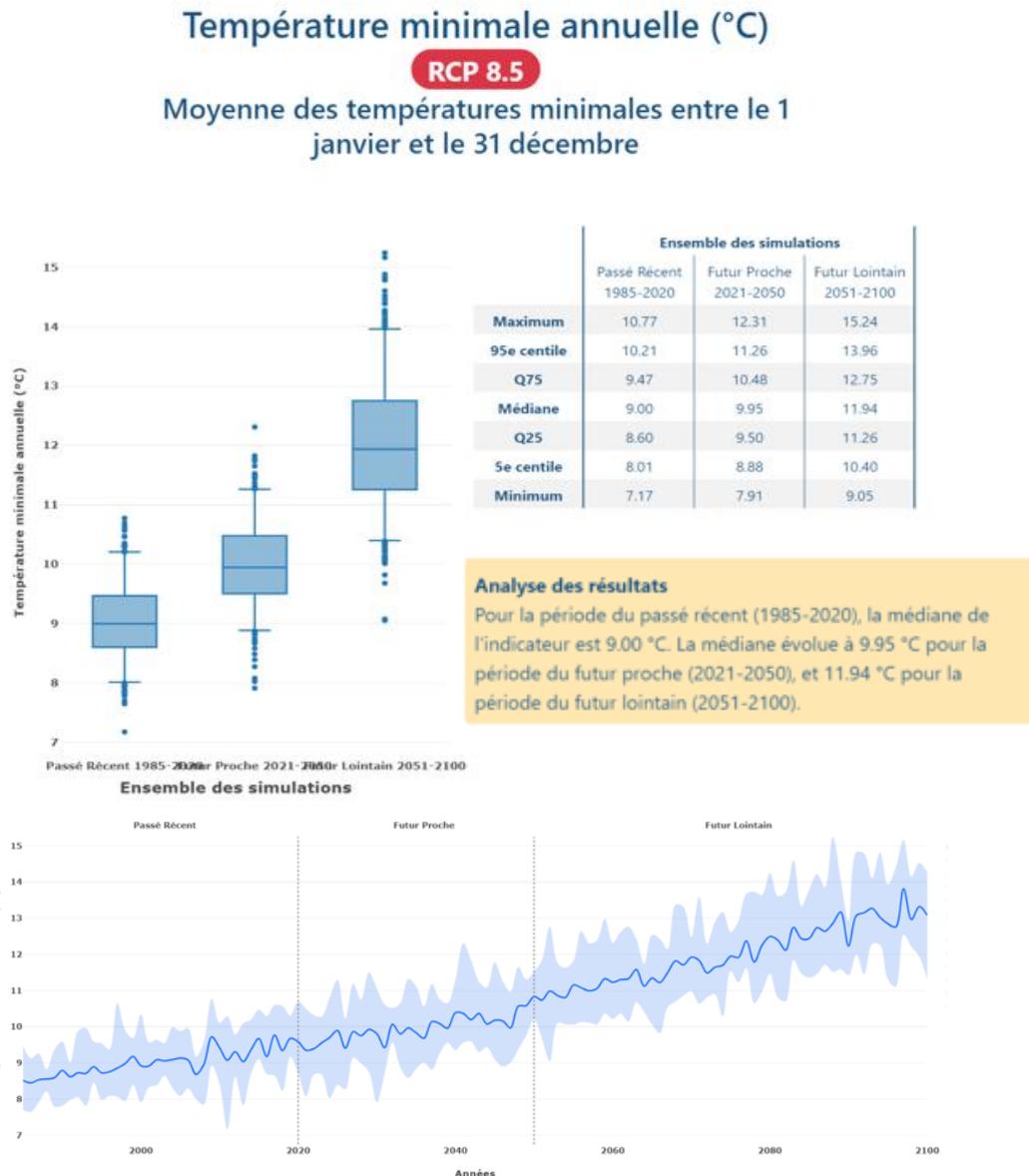


Figura 24.- Evolução da temperatura mínima anual (média das temperaturas mínimas diárias) desde 1985 e previsão a curto e longo prazo num cenário de alterações climáticas RCP8.5.

Redução do número de dias de geada

Ao mesmo tempo, o número de dias de geada na Dordogne deverá continuar a diminuir (Figura 25) de acordo com as projeções climáticas:

- Até 2050, o número de dias de geada poderá ser reduzido em 30-50% em relação aos níveis atuais.
- Até 2100, os dias de geada poderão tornar-se raros, nomeadamente em cenários com elevadas emissões de gases com efeito de estufa. É possível que, nalguns anos, haja poucos ou nenhuns dias de geada em certas zonas da Dordogne.

Nombre de jours de gel RCP 8.5 Dénombrement des jours durant lesquels la température minimale est en dessous de 0 °C entre le 1 mars et le 31 mai

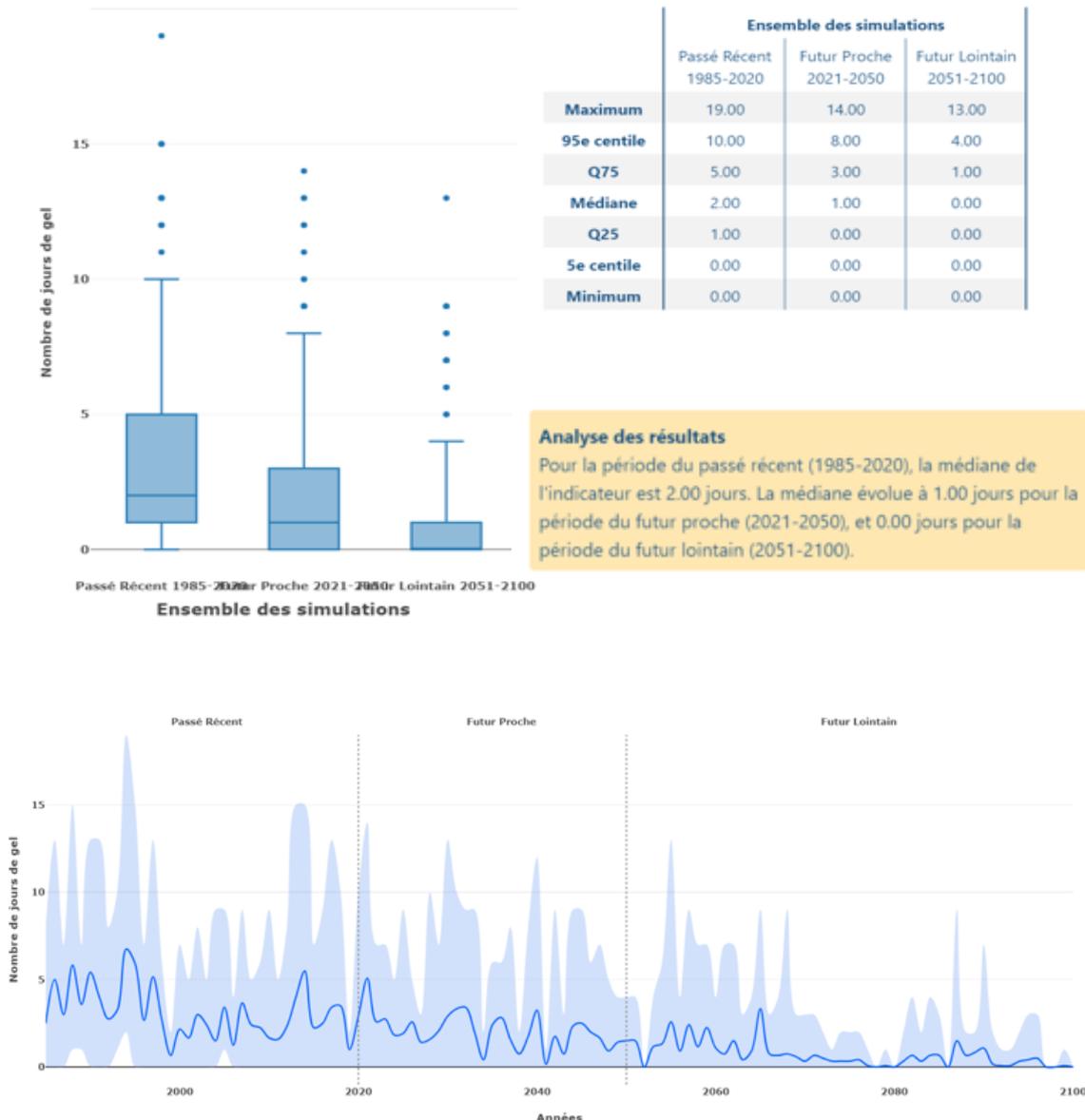


Figura 25.- Evolução do número de dias de geada (temperatura mínima inferior a 0°C) entre março e maio desde 1985 e previsão a curto e longo prazo num cenário de alterações climáticas RCP8.5.

Data da última geada

Da mesma forma, a data da última geada seria 10 dias mais cedo em 2050 e quase 1 mês mais cedo em 2100 do que no período 1985-2020 (Figura 26).

Dernier jour de gel **RCP 8.5**

Dernier jour où la température minimale est en dessous de 0 °C entre le 1 janvier et le 31 mai

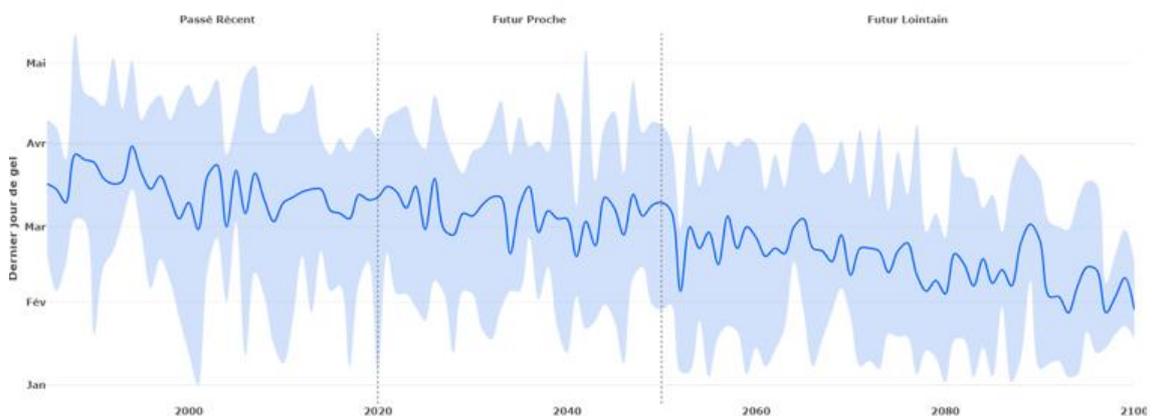
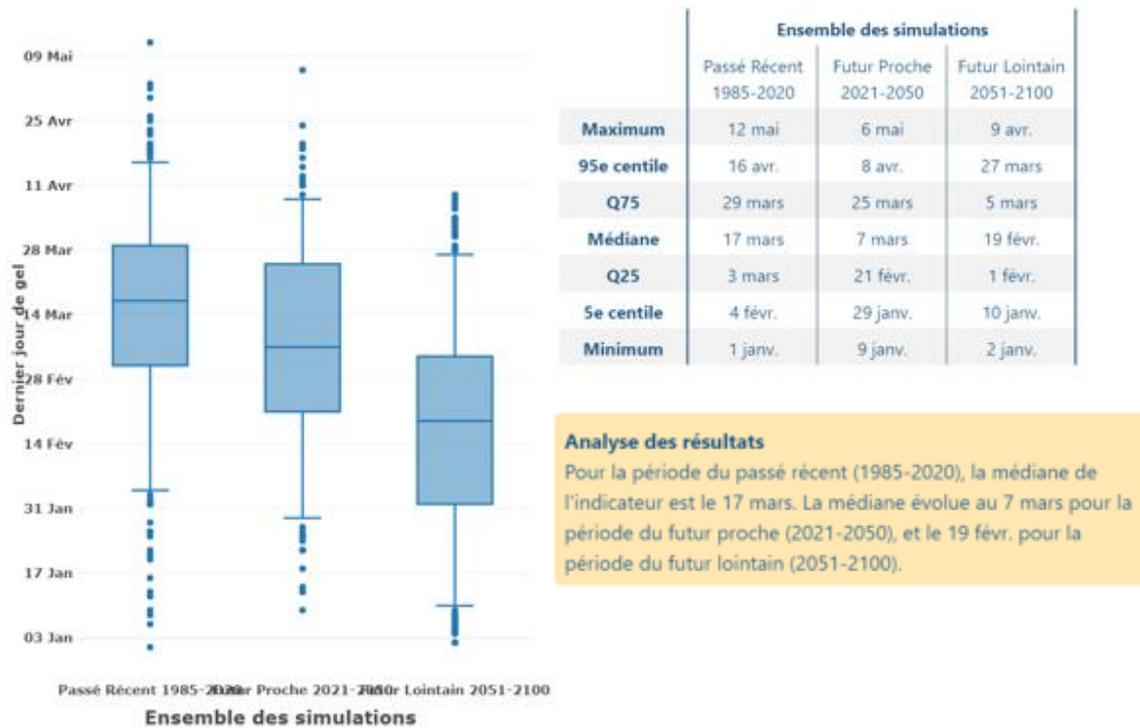


Figura 26.- Evolução do último evento de geada (temperatura mínima inferior a 0°C) entre janeiro e maio desde 1985 e previsão a curto e longo prazo num cenário de alterações climáticas RCP8.5.

B.3.3. Castanheiros. Efeitos da climatologia

Desde há vários anos, as datas das principais fases de desenvolvimento do castanheiro (abrolhamento, floração, maturação dos frutos) são antecipadas em vários dias ou mesmo semanas. Desde há cerca de 10 anos, as variedades Bétizac e Marigoule abrolham cerca de dez dias mais cedo (Mouravy, 2021).

Os castanheiros estão expostos ao risco de geada primaveril desde o início de março até meados de maio. Os estádios fenológicos potencialmente sensíveis à geada nesta altura são os estádios B (código BBCH 07), C (código BBCH 09) e D (código BBCH 11), cujos limiares de sensibilidade são respetivamente -8°C , -3°C e -2°C (Osaer et al, 1998). As geadas primaveris podem portanto danificar os gomos apicais das galhas e os gomos frutíferos. Este risco é ainda maior no contexto das alterações climáticas, que afetam a precocidade dos castanheiros, nomeadamente nos locais soalheiros e virados para sudoeste (Lheureux, 2023).

Os efeitos na produção dependem das variedades. Uma geada primaveril pode levar à anulação da produção da variedade Marigoule ou a uma redução parcial da produção das variedades Bouche de Bétizac ou Bellefer. Por outro lado, algumas variedades de *Castanea sativa* germinam tardiamente, o que limita o risco de geadas primaveris (L'heureux, 2023). Além disso, o porta-enxerto pode ter um efeito de maior ou menor sensibilidade sobre a variedade. O Marsol (CA 07) não induz uma sensibilidade à geada, ao passo que o Marlhac (CA 118) e o Marigoule induzem uma sensibilidade da variedade (Fauriel, 2021).

É também de referir o trabalho de Schaberg et al (2022). Estes autores estudaram a diferença na sensibilidade à geada de várias cultivares de castanheiro americano (*Castanea dentata*) e mostraram que existe uma diferença genética. Os castanheiros de regiões mais quentes são mais produtivos, mas mais sensíveis às geadas de primavera do que os castanheiros de regiões mais frias. Isto poderia significar que a proteção contra o frio pode ser prejudicial para um maior potencial de crescimento. No entanto, os autores salientam que, apesar da influência negativa das geadas no crescimento, a produtividade global das árvores foi excepcional, mesmo no limite norte da área de distribuição da espécie, desde que a disponibilidade de água no solo fosse adequada.

Finalmente, é de notar que alguns autores (Jones et al., 1980) mostraram uma correlação positiva entre os danos causados pela geada e os danos causados pela doença da tinta (*Endothia parasitica*).

Em Espanha, foram realizados trabalhos (Diaz et al., 2022) para medir a resistência das populações de castanheiro selvagem (*Castanea sativa*) às geadas de primavera e de inverno. As diferenças entre populações em termos de danos causados pelas geadas foram muito significativas, com um resultado semelhante ao dos americanos: as médias das populações estavam estreitamente correlacionadas com as condições de geada a que os pais foram submetidos, revelando uma forma de adaptação genética a este fenómeno.

B.4. Portugal

B.4.1. Nordeste de Portugal. Climatologia e projeção de geadas e temperaturas

B.4.1.1. Introdução

A ocorrência de geadas no Nordeste de Portugal durante a primavera, quando a maioria das culturas se encontra numa fase de desenvolvimento muito sensível às baixas temperaturas, provoca frequentemente prejuízos significativos na agricultura. No outono, as geadas precoces, quando ocorrem antes da colheita, também causam prejuízos. Os rendimentos dos agricultores são severamente afetados e a falta de estabilização da produção tem também consequências para as empresas e cooperativas do sector. Na região de Trás-os-Montes, situada no nordeste de Portugal, as geadas são uma das principais causas de redução de rendimento de culturas importantes como a macieira, a cerejeira, a amendoeira e a vinha. Para além de reduzir a produção, a geada provoca deformações e outros defeitos nos frutos, reduzindo o seu valor comercial.

B.4.1.2. Geada

O clima do Nordeste de Portugal caracteriza-se pela migração do anticiclone dos Açores para Norte no verão e para Sul no inverno. Esta região é frequentemente atravessada, sobretudo durante o inverno, por depressões que provocam flutuações significativas na temperatura do ar e na precipitação e cujo efeito é por vezes reforçado pela trajetória de massas de ar de origens muito diferentes. Sob a influência destas condições, origina-se uma grande variedade de circulações de mesoescala que, por sua vez, contribuem para um padrão diverso de variabilidade da temperatura do ar.

A ocorrência de geada numa região é fortemente determinada pela situação sinóptica existente. Assim, a análise das situações sinópticas em que ocorre a geada numa dada região é de fundamental importância para o estudo da climatologia da geada. A Figura 27 mostra a frequência relativa de ocorrência das diferentes massas de ar na região de Trás-os-Montes durante o período de primavera.

A situação sinóptica que determina a invasão da massa de ar frio polar continental (Pck) no nordeste de Portugal é caracterizada por um anticiclone localizado no centro ou norte da Europa, ou pelo anticiclone dos Açores quando se estende em crista para norte e pela ação conjunta de de um vale depressionário que se estabelece na bacia do Mediterrâneo. A advecção desta massa de ar é geralmente acompanhada de ventos moderados a fortes e muito secos. É a sua ação desidratante combinada com temperaturas baixas que dá origem às geadas de advecção na primavera. A Figura 27 mostra que a massa de ar frio polar continental (Pck), embora rara, ocorre entre fevereiro e maio.

A massa de ar frio polar marítimo (Pmk) é produzida quando é transportada pela ação conjunta do anticiclone dos Açores, que se estende em crista para norte, e da depressão localizada na zona das Ilhas Britânicas. Esta massa de ar invade a região com alguma frequência em abril e maio e é responsável pela ocorrência de geadas tardias (Gonçalves, 1985a). A massa de ar polar marítima fria (Pmk) ocorre todos os meses e é a segunda mais frequente a seguir à massa de ar polar marítima quente (Pmw).

As geadas de advecção na região de Trás-os-Montes ocorrem predominantemente sob a influência de massas de ar frio polar continental e frio polar marítimo, podendo ocasionalmente ocorrer sob a influência de uma massa de ar quente polar continental (Gonçalves, 1985).

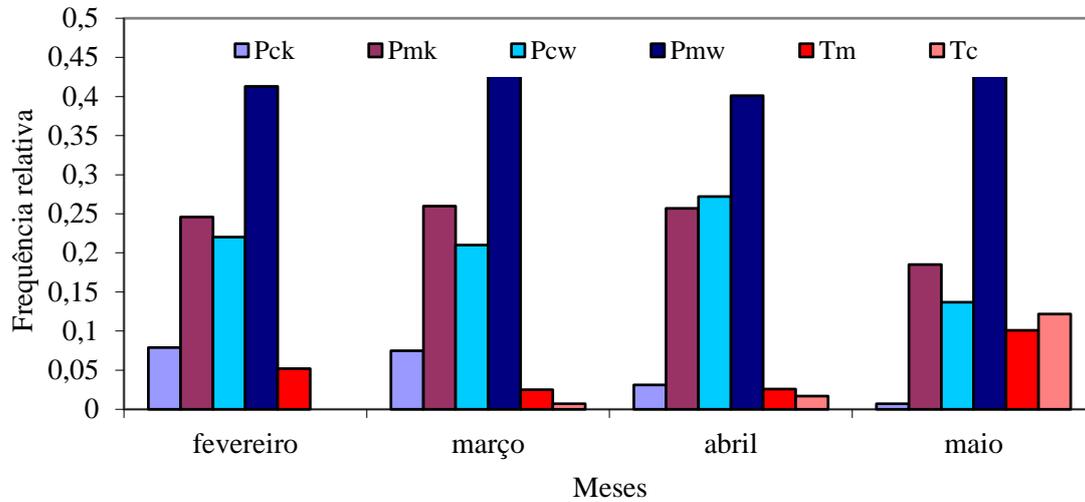


Figura 27.- Frequência de ocorrência das massas de ar Polar Frio Continental (Pck), Polar Frio Marítimo (Pmk), Polar Quente Continental (Pcw), Polar Quente Marítimo (Pmw), Tropical Marítimo (Tm) e Tropical Continental (Tc) em Bragança.

A massa de ar polar continental quente é geralmente o resultado da transformação do ar polar continental frio, quando o anticiclone sobre a Europa Central atinge o Norte de África, trazendo consigo ar polar profundamente modificado, mas ainda com as características do ar polar. Esta massa de ar é responsável por temperaturas máximas relativamente elevadas nos meses de inverno, embora as temperaturas mínimas possam descer abaixo dos 0°C em fevereiro e março e aproximar-se dos 0°C em abril. Esta massa de ar pode também ser responsável pela ocorrência de geadas tardias em situações topográficas favoráveis.

B.4.1.3. Temperaturas

A Figura 28 mostra a evolução da temperatura média anual em Bragança nos últimos 72 anos (1950-2022). Observa-se uma tendência de aumento da temperatura desde a década de 1970. Se considerarmos a média móvel de 5 anos, verificamos que este aumento é de cerca de 2°C.

Gonçalves et al. (2019) analisaram as séries das temperaturas média, máxima e mínima em Bragança e verificaram uma tendência de aumento, particularmente no trimestre da primavera, com valores de 0,6°C/década e 0,8°C/década, respetivamente para a temperatura média e máxima. Na análise mensal, destacam-se os meses de março, abril, maio e junho, todos eles com tendências de aumento da temperatura média e máxima superiores a meio grau Celsius por década. Entre eles, maio e junho são os meses com a tendência de subida mais significativa, igual ou superior a 0,7°C/década. Esta tendência atinge valores máximos de 1,0°C e 0,9°C/década para a temperatura máxima em maio e junho, respetivamente. A tendência de subida da temperatura média mensal parece dever-se ao aumento das temperaturas máximas, uma vez que as tendências da temperatura mínima para os mesmos meses são sempre inferiores a 0,4°C/década.

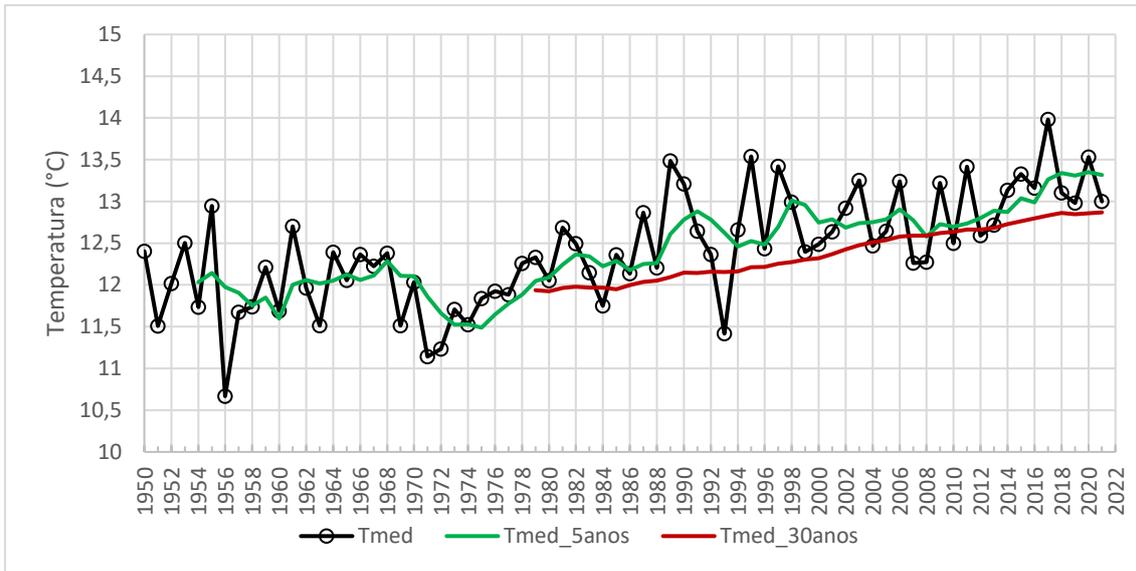


Figura 28.- Evolução da temperatura média anual na Estação Meteorológica de Bragança (Portugal) no período 1950-2022. As linhas vermelha e verde representam as médias móveis de 30 anos e 5 anos, respetivamente.

A evolução da temperatura média no período fevereiro-março (1950-2022) mostra uma tendência ascendente (Figura 29). Gonçalves et al. (2019) concluíram que esta tendência no período 1973-2012 se deve principalmente ao aumento da temperatura máxima nesses meses (0,5 e 0,7°C/década em fevereiro e março, respetivamente) e menos ao aumento da temperatura mínima (-0,3°C e 0,2°C/década, respetivamente).

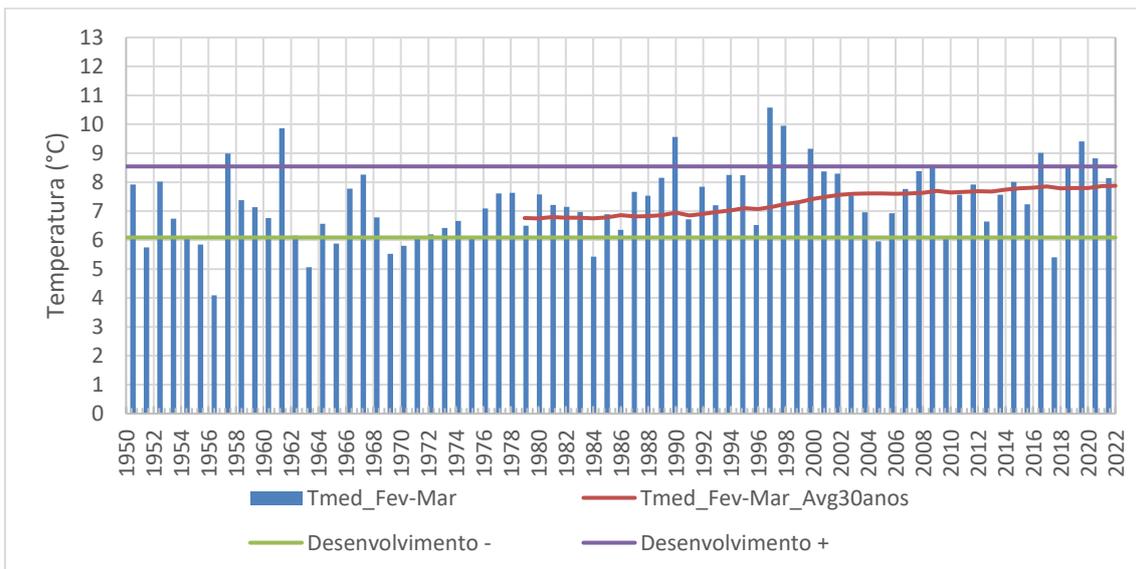


Figura 29.- Evolução da temperatura média nos meses de fevereiro - março na Estação Meteorológica de Bragança (Portugal) no período 1950-2022. A linha vermelha representa a média móvel de 30 anos.

A evolução da temperatura mínima absoluta em abril apresenta uma tendência de aumento, especialmente nas duas últimas décadas (Figura 30). Analisando a média móvel de 30 anos, verifica-se um aumento de cerca de 1°C quando se compara a média de 1950-1979 com a média de 1993-2022.

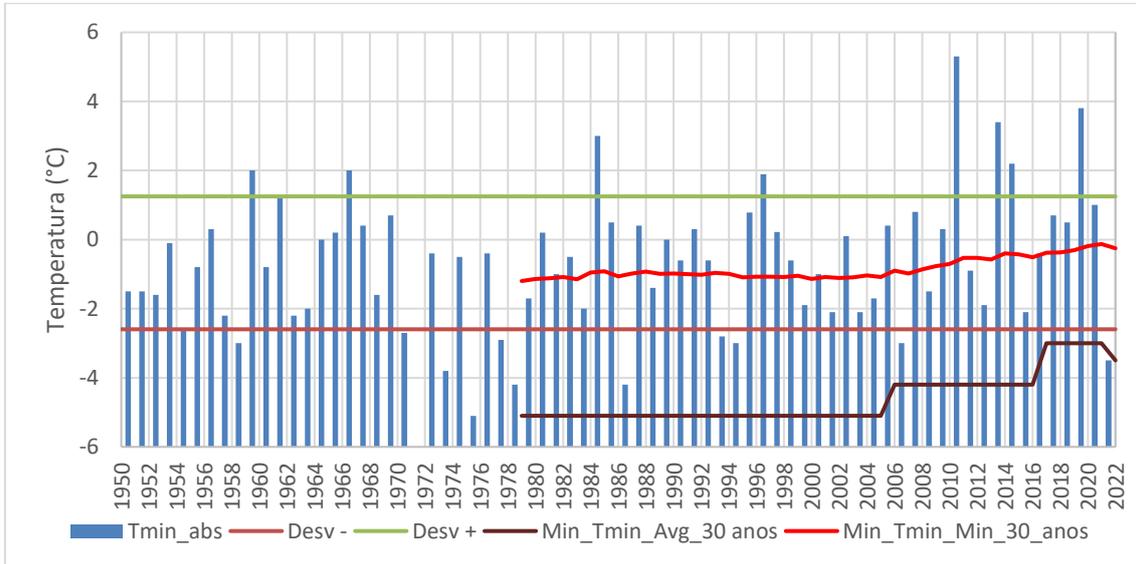


Figura 30.- Evolução da temperatura mínima absoluta em abril na Estação Meteorológica de Bragança (Portugal) no período 1950-2022. As colunas representam a temperatura mínima absoluta, a linha vermelha representa a média móvel (30 anos) e a linha preta representa o mínimo das temperaturas mínimas absolutas dos 30 anos anteriores.

A ocorrência de geadas no Nordeste de Portugal, apesar da grande variabilidade interanual, tem vindo a diminuir nas últimas décadas (Figura 31). Esta tendência decrescente tem sido particularmente acentuada na última década (2012-2022).

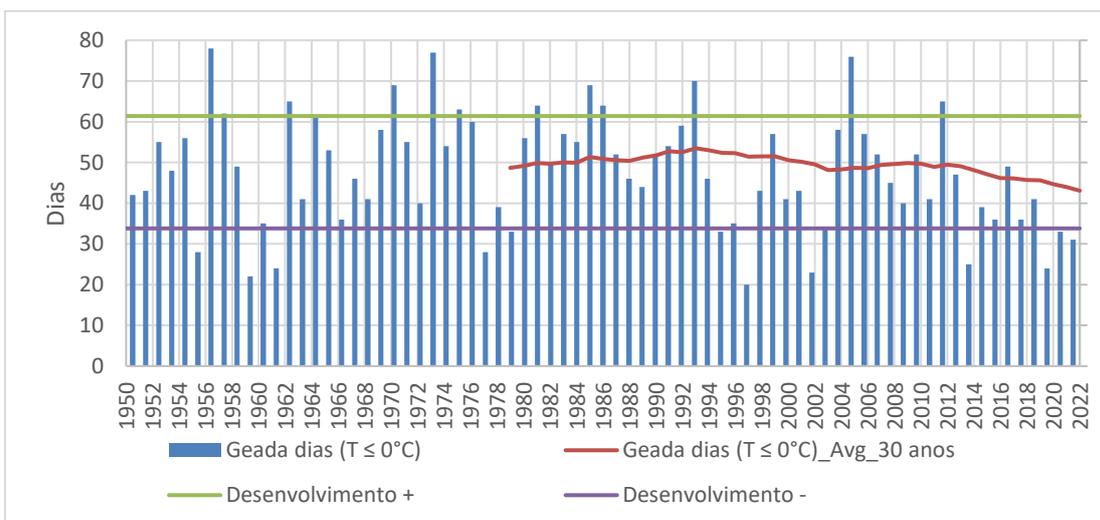


Figura 31.- Evolução do número de dias de geada ($T \leq 0^{\circ}\text{C}$) no período 1950-2022. A linha vermelha representa a média móvel de 30 anos.

O mês de abril também registou uma tendência decrescente na ocorrência de geadas (Figura 32). A análise da série de temperaturas mínimas mostra que, para além de uma diminuição da frequência das geadas em abril, a sua severidade é também menor.

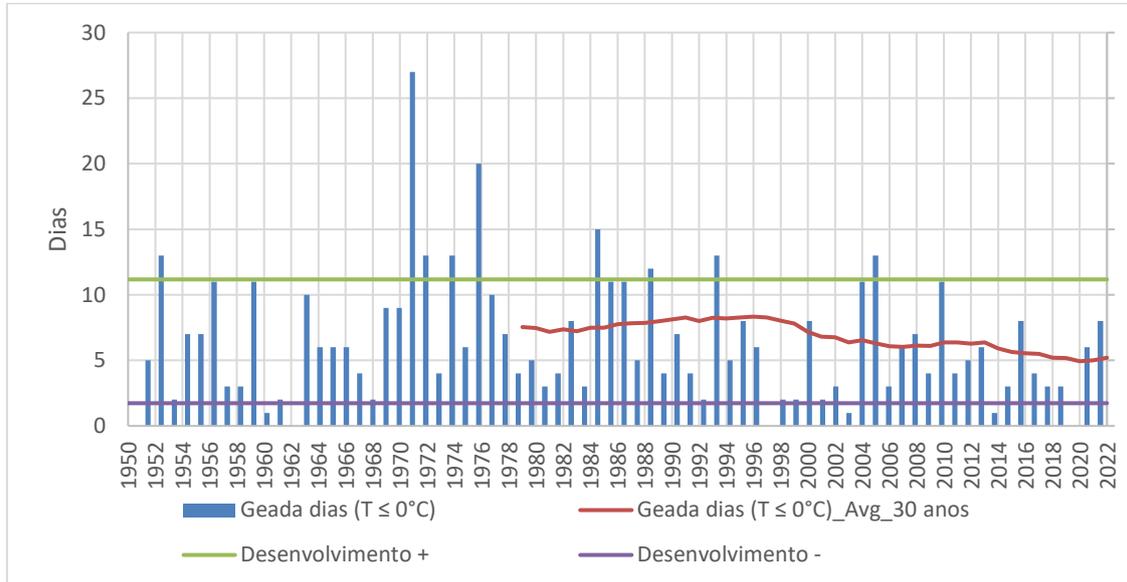


Figura 32.- Evolução do número de dias de geada ($T \leq 0^{\circ}\text{C}$) em abril durante o período 1950-2022. A linha vermelha representa a média móvel de 30 anos.

Analisando a série de temperaturas de Bragança para o período 1950-2022, observa-se, sobretudo nas últimas décadas, uma tendência de aumento da temperatura média anual. Relativamente às temperaturas mínimas e à frequência de geadas, verifica-se uma tendência para o aumento da temperatura mínima e uma diminuição da frequência de geadas nos meses de primavera.

As projeções climáticas (cenário RCP8.5) para o Nordeste de Portugal estimam um aumento da temperatura média anual de $2,2^{\circ}\text{C}$ a $2,9^{\circ}\text{C}$ (2041-2070) e de $4,0^{\circ}\text{C}$ a $4,8^{\circ}\text{C}$ (2071-2100). Para a primavera, prevê-se que as temperaturas médias aumentem de $1,8^{\circ}\text{C}$ para $2,2^{\circ}\text{C}$ (2041-2070) e de $3,4^{\circ}\text{C}$ para $3,9^{\circ}\text{C}$ (2071-2100). Para a temperatura mínima da primavera, as projeções apontam para um aumento de $1,8^{\circ}\text{C}$ (2041-2070) e de $3,2^{\circ}\text{C}$ - $3,3^{\circ}\text{C}$ (2071-2100). As projeções para o número médio anual de dias de geada apontam para uma redução de 26 a 54 dias.

B.4.1. Centro de Portugal – Sub-Região Viseu Dão Lafões: Caracterização e tendências do clima atual

B.4.1.1. Introdução

A Comunidade Intermunicipal Viseu Dão Lafões promoveu a elaboração do Plano Intermunicipal de Adaptação às Alterações Climáticas de Viseu Dão Lafões (PIAAC Viseu Dão Lafões), com o envolvimento e apoio das 14 autarquias desta sub-região e de outras entidades públicas e privadas que operam neste território, sendo este Plano, a fonte da informação que se apresenta neste documento, referente à caracterização e tendências do clima atual para o território Viseu Dão Lafões, tendo por base a caracterização climática do período compreendido entre 1971 e 2017.

O PIAAC Viseu Dão Lafões tem como principal objetivo conhecer melhor o fenómeno das alterações climáticas ao nível local e sub-regional e, ao mesmo tempo, identificar as ações necessárias para a adaptação das populações, das entidades e dos serviços públicos e privados. Visa ainda a promoção da integração da adaptação no planeamento intermunicipal e municipal e a criação de uma cultura de cooperação na adaptação, transversal aos vários setores e atores, reforçando a resiliência territorial.

O clima de Viseu Dão Lafões corresponde, na classificação de Köppen-Geiger, a 'Csb – Clima temperado com Verão seco e suave'. As suas características orográficas protegem a sub-região dos fluxos húmidos provenientes do Atlântico, pelo que apresenta traços climáticos que refletem alguma continentalidade.

Uma vez que as tipologias de relevo, em articulação com as formas de ocupação e cobertura do solo, são aspetos determinantes para a caracterização e compreensão das condições climáticas que afetam Viseu Dão Lafões, foram definidas 'Unidades de Resposta Climática Homogénea' (URCH), vulgarmente denominadas como climatópos, que possibilitam, em termos metodológicos, uma leitura espacial do clima atual e futuro do território.

As temperaturas médias dos meses mais frio (janeiro) e quente (julho) oscilam entre os 7,1°C e os 21,7°C. A amplitude térmica anual situa-se na ordem dos 15°C. No que diz respeito à termopluviometria, são notórios grandes contrastes entre os relevos ocidentais (serras do Caramulo, Gralheira) em que a precipitação média anual é superior a 2.000 mm, ao passo que, a sudeste de Viseu, os totais oscilam entre 900 mm e 1.200 mm, sendo inferiores a 900 mm na porção oriental da sub-região.

Porém, as tendências observadas registam algumas mudanças. A temperatura média do ar apresenta uma tendência de aumento que oscila entre os +0,27°C/década a +0,36°C/década. Este aumento resulta principalmente da subida da temperatura média da Primavera (entre 0,41°C/década e 0,79°C/década) e do Verão (+0,53°/década a +0,68°C/década). No Inverno e no Outono, a evolução da temperatura é menos significativa. É ainda notória uma tendência de aumento dos dias muito quentes (dias com temperatura máxima igual ou superior a 35°C) e dias de Verão (dias com temperatura máxima igual ou superior a 25°C).

Em relação à precipitação, a tendência é de diminuição no Verão e aumento no Outono, ainda que a expressão estatística destas tendências não se verifique em todas as URCH da sub-região. O número de dias com precipitação (dias com precipitação total igual ou superior a 1mm) tende a aumentar em mais quatro ou cinco no Outono. Já no que diz respeito aos dias de precipitação igual ou superior a 10 mm, foram detetadas tendências significativas no Verão (diminuição) e no Outono (aumento), ainda que tal não se estenda à totalidade do território.

B.4.1.2. Cenários Climáticos

A cenarização climática resulta da recolha e tratamento de informação climática futura (projeções) através de diferentes modelos e para cenários climáticos globais diversificados, constituindo-se como um importante apoio para identificar as possíveis alterações no clima futuro. Salienta-se que um cenário climático é sempre uma simulação numérica do clima no futuro, com base em modelos de circulação geral da atmosfera e na representação do sistema climático e dos seus subsistemas.

An-Gel Sudoe

Para a realização deste exercício de projeção, utilizou-se informação disponível proveniente de duas fontes fundamentais, nomeadamente, do INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA (Portal do Clima) e do EURO-CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment - European Domain).

As projeções climáticas obtidas para meados do século (2041-70) para a globalidade do território de Viseu Dão Lafões, são apresentadas na figura seguinte.

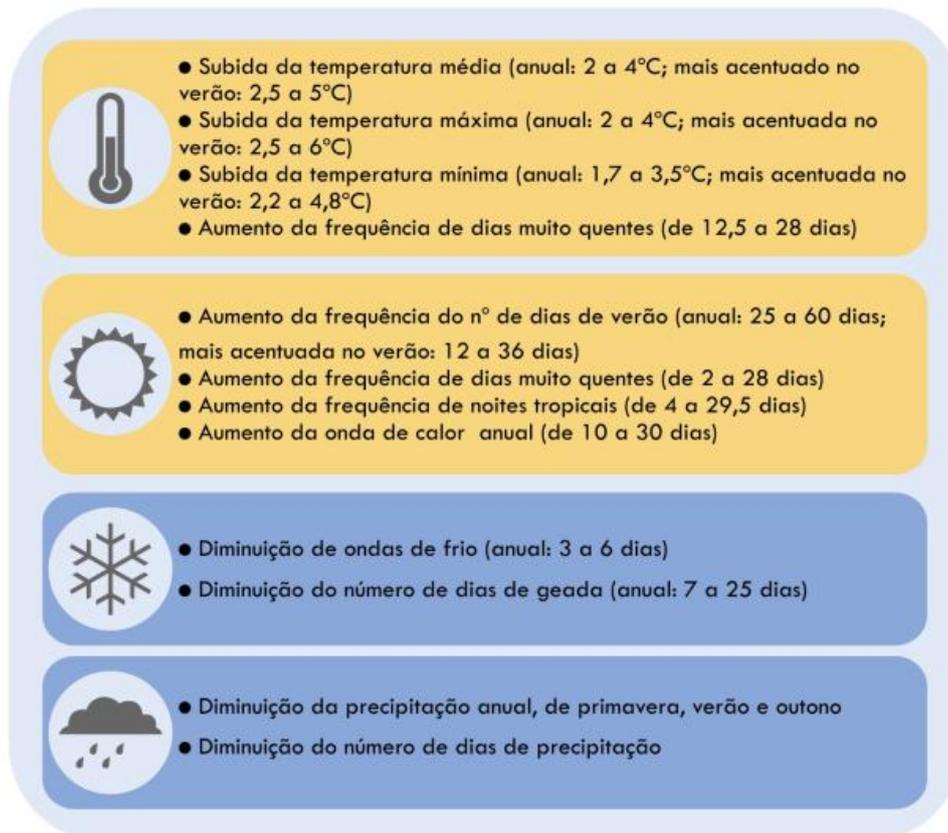


Figure - Cenários climáticos para Viseu Dão Lafões (2041-2070)

B.5. Conclusões

O efeito das alterações climáticas no risco de geada está ainda a ser estudado em diferentes regiões do mundo. Em geral, observou-se em todas as regiões um aumento da temperatura média, uma diminuição dos dias de geada anuais e uma menor incidência de geada nos meses de primavera. No entanto, também se observou claramente um abrolhamento e uma fenologia mais precoces de todas as espécies de árvores, tornando-as muito mais sensíveis a geadas tardias.

Por conseguinte, é provável que o efeito do aquecimento global resulte numa diminuição do número de geadas primaveris, mas quando estas ocorrem, podem ser muito mais severas devido ao maior número de culturas na fase sensível que estarão presentes nessa altura.

Referências

- AEMET (2017). Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5. NIPO: 014-17-010-8 <https://doi.org/10.31978/014-17-010-8>. Madrid.
- AEMET (2021). Relatório sobre o estado do clima em Espanha 2021. <https://doi.org/10.31978/666-22-006-X>. Madrid.
- Bednar-Friedl, B., R. Biesbroek, D. N. Schmidt, P. Alexander, K. Y. Børshiem, J. Carnicer, E. Georgopoulou, M. Haasnoot, G. Le Cozannet, P. Lionello, O. Lipka, C. Möllmann, V. Muccione, T. Mustonen, D. Piepenburg e L. Whitmarsh, (2022): Europe. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability (Alterações Climáticas 2022: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade). Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK e New York, NY, USA, pp. 1817-1927, doi:10.1017/9781009325844.015.
- Copernicus Data Store (2024). <https://cds.climate.copernicus.eu#!/home> Acedido em 16 de julho de 2024
- Programa Copernicus, The (2021). Geada tardia da primavera. Resumo do estado do clima na Europa em 2021
- García-Martín, A.; Paniagua, L.L.; Moral, F.J.; Rebollo, F.J.; Rozas, M.A. (2021). Análise espaço-temporal do regime de geadas na Península Ibérica no contexto das alterações climáticas (1975-2018). Sustainability,13,8491. <https://doi.org/10.3390/su13158491>
- Díaz, R., Johnsen, Ø.; Fernández-López, J. (2009). Variação na resistência ao congelamento na primavera e no outono entre e dentro das populações selvagens espanholas de Castanea sativa. Anais da ciência florestal, 66(7), 1-12.
- Fauriel, J. (2001). O châtaignier em agricultura biológica. Techn'ltab arboriculture. 4p.
- Fu, Y.S.H.; Campioli, M.; Vitasse, Y.; De Boeck, H.J.; Van Den Berge, J.; AbdElgawad, H.; Asard, H.; Piao, S.; Deckmyn, G.; Janssens, I.A. (2014). A variação na data de descarga das folhas influencia a senescência outonal e a data de descarga do próximo ano em duas espécies de árvores temperadas. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 111, 7355-7360. <https://doi.org/10.1073/pnas.1321727111>
- García-Martín, A., Paniagua, L.L., Aguirado, C. e Guerra, E. (2023). Tendências das temperaturas mínimas invernais e data da última geada primaveril nas principais zonas frutícolas de Espanha. Ata Hortic. 1372, 215-222. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1372.28>
- Huang, J.; Hitchcock, P., Maycock; A.C. et al. (2021). Os surtos de ar frio do hemisfério norte têm maior probabilidade de serem graves durante condições de vórtice polar fraco. Commun Earth Environ 2, 147. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00215-6>

An-Gel Sudoe

- Jones, C., Griffin, G. J., & Elkins, J. R. (1980). Association of climate stress with blight on Chinese chestnut in the eastern United States. *Plant Disease*, 64(11), 1001-1004.
- Lheureux, F. 2023. O castelo. Monografia. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, França. 334p.
- Mouravy, M. 2021. Le gel sur châtaignier - Sensibilités, physiologie et variétés. Jornada do Batata, Mazeyrolles, França.
- Leolini, L.; Moriondo, M.; Fila, G.; Costafreda-Aumedes, S.; Ferrise, R.; Bindi, M. (2018). Impactos da geada tardia da primavera na distribuição futura da videira na Europa, *Field Crops Research*, Volume 222, 2018, Páginas 197-208, ISSN 0378-4290, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.018>
- Olschewski, P.; Diarra, M.; Dieng, B.; Moutahir, H.; Böker, B.; Haas, E.; Kunstmann, H.; Laux, P. (2024). Amplified potential for vegetation stress under climate-change-induced intensifying compound extreme events in the Greater Mediterranean Region. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 24, 1099-1134. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-1099-2024>
- Osaer, A., P. Vaysse, J.F. Berthoumieu, A. Audubert e M. Trillot (1998). Gel de printemps, protection des vergers. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, França. 151p.
- Sanz, M.J. e Galán, E. (eds.), (2020). Impactos e riscos derivados das alterações climáticas em Espanha. Gabinete Espanhol de Alterações Climáticas. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
- Schaberg, P. G., Murakami, P. F., Collins K. M., Hansen C. F., Hawley G. J. Phenology, cold injury and growth of American chestnut in a Range-Wide provenance test, *Forest Ecology and Management*, Volume 513, 2022, 120178, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120178>
- Visualizador de cenários de alterações climáticas. Projeto AdaptateCCa (2024). <https://escenarios.adaptecca.es/info> . Acedido em 16 de julho de 2024
- Zohner, C.M.; Mo, L.; Renner, S.S.; Crowther, T.W. (2020). O risco de geada no final da primavera entre 1959 e 2017 diminuiu na América do Norte, mas aumentou na Europa e na Ásia. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 117, 12192-12200.

C. Episódios de geada relevantes nos últimos anos

Esta secção descreve os episódios de geada mais relevantes que ocorreram nos últimos anos nas diferentes regiões do projeto. No caso das regiões espanholas, os estudos de probabilidade de geada nas diferentes áreas são adicionados em anexos específicos.

C.1. Espanha.

C.1.1. Região de Múrcia

Na Região de Múrcia registaram-se vários episódios significativos de geadas nos últimos anos:

Data: 23-24 de janeiro de 2023

- o Tipo de geada: Frio polar
- o Temperaturas mínimas atingidas: -4°C em Cieza, na Vega Alta e nos arredores de Calasparra, onde se concentra a maior produção regional de fruta de caroço extra-precoce. Em zonas do Altiplano e do Noroeste, os registos foram ainda mais baixos, com até -6°C e -7°C, embora este tipo de árvores de fruto extra-precoce seja quase inexistente nestas zonas.
- o Prejuízos estimados para as diferentes culturas: 40 % da floração afetada. As variedades de frutos de caroço mais afetadas são as variedades extra-precoces de pêssigo e nectarina, bem como algumas variedades de damasco e pêssigo plano.
- o Sistemas de defesa utilizados: queima de parafina, geração de micro chuva artificial e ventilação forçada.

Data: 10-12 de janeiro de 2019

- o Tipo de geada: Frio polar do Norte da Europa
- o Temperaturas mínimas atingidas: entre -7,9°C e -6,2 °C nas zonas do Altiplano, Caravaca e Jumilla. Múrcia e Cartagena entre -0,5°C e -1°C.
- o Prejuízos estimados para as diferentes culturas: As variedades de árvores de fruto de caroço mais afetadas são as variedades extra-precoces de pêssigo e nectarina, bem como algumas variedades de damasco e pêssigo plano. Danos nas culturas de alcachofra, alface, couve e brócolos.
- o Os sistemas de defesa utilizados: queima de parafina, microgeração artificial de chuva e ventilação forçada, mantas térmicas também salvaram algumas culturas em Alhama de Murcia, embora não tenham podido evitar os danos em várias culturas de couves e brócolos.

Eventos de geada entre 2004-2015

- o Tipo de geada: Frio polar
- o Nesta década, outros eventos de "frio polar" produziram geadas que afetaram os citrinos da região, entre outras culturas. As geadas mais importantes ocorreram nos invernos de 2004-05, 2010-11, 2011-2012 e 2014-15. Nestes eventos, as temperaturas nas zonas de cultivo de citrinos desceram abaixo dos -3°C e causaram grandes perdas, especialmente nos limoeiros, que é uma das espécies mais sensíveis. Durante a campanha de 2010-11, registaram-se cinco geadas, com temperaturas inferiores a -2°C. Na campanha 2011-12, registaram-se geadas nos dias 8 e 9 de fevereiro de 2012, atingindo -4°C no dia 8 em algumas zonas citrícolas e provocando graves danos nas árvores e nos frutos,

especialmente nos limoeiros jovens, com mínimas absolutas que atingiram -6°C no dia 9, e em algumas zonas permaneceram mais de 10 horas abaixo dos 0°C . Na época 2014-15, registou-se uma geada de 29 de dezembro a 1 de janeiro, baixando as mínimas entre -2°C e -5°C nas zonas citrícolas de Múrcia.

C.1.2. País Basco

No País Basco, este projeto centra-se na província de Alava. A província de Álava pode ser considerada um compêndio do País Basco em termos de clima, com a exceção de que o ambiente costeiro não está presente. O País Basco situa-se na zona temperada dominada pelos ventos de oeste, na franja sul dos ventos de oeste. Faz parte da costa ocidental do continente europeu e o seu clima é influenciado por correntes marítimas quentes e ventos de oeste. A combinação de todos estes aspetos faz com que o seu clima predominante seja impulsionado pelos centros de ação atlântico, mediterrânico e europeu, cujo ritmo impõe os tipos de tempo característicos.

Na província de Alava existe uma transição latitudinal no seu meio físico, de um meio cantábrico para um meio mediterrânico. No entanto, esta transição não abrange todo o território, limitando-se às regiões centrais. Esta transformação não é, de forma alguma, gradual, mas sim realizada através de pequenos saltos bruscos, mudanças de direção, avanços e recuos. O norte da província de Alava (vales de Ayala e Aramayona) apresenta um clima oceânico, com temperaturas moderadas durante todo o ano (temperatura média anual de 13°C e oscilação térmica anual de 11°C). No entanto, a maior parte do território de Alava oferece condições climáticas de transição entre o clima oceânico do norte e o clima mediterrânico continental do sul. As temperaturas são assim mais extremas do que na zona oceânica, com Invernos mais frios e Verões mais quentes, e com uma temperatura média anual entre 11 e 12°C . A zona da depressão do Ebro ocupada pela Rioja Alavesa, no extremo sul da província, caracteriza-se por um clima com verões secos e quentes de tipo mediterrânico. O clima desta zona é considerado mediterrânico-continental, devido às baixas temperaturas registadas nos meses de inverno. A influência oceânica é muito menor do que na zona de transição, pelo que as oscilações térmicas interanuais são maiores.

A ocorrência de geadas em Alava é habitual entre novembro e abril, embora tanto o período sem geadas como a ocorrência das primeiras geadas de outono e as últimas geadas de primavera variem ao longo da província. Tendo em conta as características climáticas e as particularidades agronómicas das culturas mais comuns nesta zona, é especialmente relevante a data em que ocorrem as primeiras geadas de outono e as últimas geadas de primavera. Por vezes, podem também ocorrer danos devido a temperaturas extremamente baixas, mas normalmente estes picos de temperatura mínima ocorrem em alturas em que as culturas, lenhosas ou herbáceas, se encontram em dormência invernal, pelo que os efeitos destes fenómenos não costumam ser significativos. No entanto, a primeira geada de outono, dependendo da data em que ocorre, pode ter um efeito muito significativo em culturas herbáceas extensivas, como a colza, que tem de atingir a dormência de inverno num estado de desenvolvimento de roseta para não ser afetada por temperaturas mínimas extremas. Por outro lado, as geadas de primavera podem afetar significativamente as culturas lenhosas (como a vinha) ou as culturas arvenses (como a colza), pelo que a determinação da data da última geada de primavera é muito importante.

Por esta razão, o anexo deste relatório apresenta gráficos que permitem estimar as probabilidades deste tipo de geada chave e do período sem geada. A estimativa da probabilidade foi efetuada utilizando funções de probabilidade acumulada a partir da distribuição normal da data da primeira geada de outono e da última geada de primavera (teste prévio de Kolmogorov-Smirnov), para certificar a normalidade da distribuição das datas de geada). Estes gráficos foram elaborados a partir de séries históricas (1971-2015) de 9 locais diferentes da área de estudo.

O anexo também apresenta gráficos que mostram a duração (em minutos) e a temperatura mínima das geadas que ocorreram nesses locais no período (2004-2017).

²Em termos de geadas históricas de primavera nos vinhedos de Rioja Alavesa, destaca-se a que ocorreu na madrugada de **16 de abril de 1999**, que congelou praticamente todos os vinhedos da Denominação de Origem. ³Mais recentemente, ocorreu outra geada na noite de **28 de abril de 2017**, que afetou principalmente Rioja Alavesa e Rioja Alta. ⁴Este ano de 2024 também se registou uma geada na madrugada de 17 e 18 de abril, que afetou cerca de 1186 ha de vinha em Álava, o que corresponde a aproximadamente 10% da área de vinha de Rioja Alavesa. Embora não se trate de uma geada primaveril, é de referir as baixas temperaturas registadas **em fevereiro de 1956**, quando se verificaram três vagas de frio consecutivas. Durante esse mês, muitos pinhais da espécie *Pinus Insignis* congelaram, depois de um janeiro muito ameno em que os pinheiros já estavam a brotar nos vales centrais e orientais de Gipuzkoa. Outras espécies frutícolas, como as figueiras e as nogueiras, também congelaram, assim como os nabos (comunicação pessoal).

C.1.3. Lleida

As geadas primaveris são frequentes na região de Lérida e, por extensão, noutras zonas do Médio Vale do Ebro (Aragão e Catalunha). Nestas zonas, as culturas mais afetadas por estas geadas são as árvores de fruto e, em muito menor grau, a vinha.

A fruticultura é uma das principais atividades agrícolas do Vale do Ebro, pelo seu peso económico, pela superfície ocupada pelas culturas, pelos empregos gerados e pela sua orientação para a exportação.

A Catalunha é a zona de produção de frutos doces mais importante de Espanha e, ao mesmo tempo, o nono maior produtor mundial de pêsegos e nectarinas, o décimo oitavo maior produtor de peras e o trigésimo sétimo maior produtor de maçãs. De acordo com os dados mais recentes (2020), na Catalunha existem cerca de 44 000 hectares dedicados à fruta doce, onde são produzidas anualmente cerca de 750 000 toneladas de pêsego e nectarina, principalmente maçãs e peras.

Praticamente todas as espécies destes grupos de culturas são, em maior ou menor grau, sensíveis aos efeitos das geadas primaveris que ocorrem durante os meses de março e abril, coincidindo com o período de floração e frutificação.

Nos últimos anos, com a presença de invernos mais quentes do que o habitualmente observado, a plena floração adiantou-se na maioria das culturas, nalguns casos 5 a 10 dias mais cedo do que as datas médias históricas. Este facto levou a que as espécies se encontrem em estádios fenológicos mais sensíveis aos efeitos das baixas temperaturas (inferiores a 0°C).

Em **2024 (23 e 24 de abril)** verificou-se uma geada de média magnitude que afetou principalmente as zonas mais baixas ao longo dos rios, naturalmente mais propícias à incidência destes fenómenos, atingindo -4°C nos pontos mais desfavoráveis. O impacto variou consoante a localização das parcelas e oscilou entre os 15% e os 70% das culturas frutícolas. ⁵Invulgarmente,

² [Os danos causados pelas geadas podem levar à classificação da Rioja Alavesa e da Ribera Navarra como zonas catastróficas | Noticias del País Vasco | EL PAÍS \(elpais.com\)](#)

³ <https://www.noticiasdealava.eus/alava/2017/05/12/helada-rioja-alavesa-fuera-fondo-1401561.html>

⁴ [Danos em Alava: As últimas geadas afectam 1.186 hectares de vinhas em Rioja Alavesa \(noticiasdealava.eus\)](#)

⁵ Extensius.cat. Baixada das temperaturas e das vidraças. que podem afetar os cereais. 29 de abril de 2024 <https://extensius.cat/2024/04/29/baixada-de-les-temperatures-i-glacades-com-poden-afetar-al-cereal-dhivern/>

na semana anterior (14 de abril) registaram-se temperaturas máximas até 30°C em várias estações. Devido à data tardia das geadas e à fenologia precoce das culturas, registaram-se danos significativos em algumas áreas de vinha e cereais, que normalmente não são afetadas.

O último episódio de geadas primaveris muito intensas ocorreu entre **2 e 4 de abril de 2022**, causando danos muito significativos e generalizados na zona frutícola do Vale do Ebro, numa grande variedade de espécies, incluindo algumas, como a figueira, onde este tipo de danos não costuma ocorrer.

⁶De acordo com os dados da Agroseguro, na zona de Aragão e da Catalunha, 70% da superfície segurada de árvores de fruto (32 000 ha) foi afetada, com uma previsão de indemnização de 245 milhões de euros.

A geada começou no dia 2 de abril com uma advecção de ar frio de origem polar com a presença de vento. No entanto, os danos mais significativos ocorreram nas noites de 3 e 4 de abril, quando o vento abrandou. A partir desse momento, com condições de acumulação de ar frio e céu limpo, ocorreram geadas de radiação intensas com valores mínimos da ordem dos -6°C que provocaram danos muito severos nas culturas frutícolas que se encontravam na fase de frutificação e de frutos pequenos.

Em **2021**, também se registaram geadas em algumas zonas da zona frutícola de Lérida, em consequência de um afluxo de ar polar no início de **abril (dias 5 e 6)**. Neste caso, os efeitos concentraram-se apenas nas zonas mais desfavoráveis (vales) e nas culturas mais sensíveis, como os damasqueiros e as amendoeiras, causando danos nestas zonas entre 20% e 100%.

Mais uma vez, este ano observou-se o padrão típico de geada no Vale do Ebro: um anticiclone a oeste das Ilhas Britânicas e uma zona de baixa pressão entre o Golfo de Génova e os Alpes impulsionam o vento norte que provoca a chegada de ar muito frio de origem ártica ao Vale do Ebro (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y Figura 34).

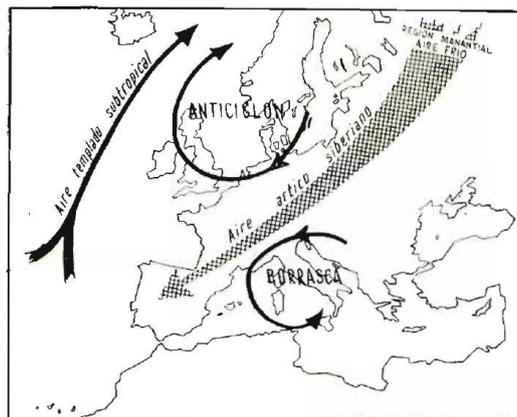


Figura 33.- Diagrama da circulação atmosférica em condições de geada no Vale do Ebro.
Fonte: Broadsheets (1962).

⁶ Joana, F.J. (2022) Valoració i evolució de les gelades. Jornada Tècnica Fira Agrària Sant Miquel; Lleida.
https://ruralcat.gencat.cat/c/document_library/get_file?uuid=df71b476-7e22-48d2-88c1-ca0b27c3125f&groupId=20181

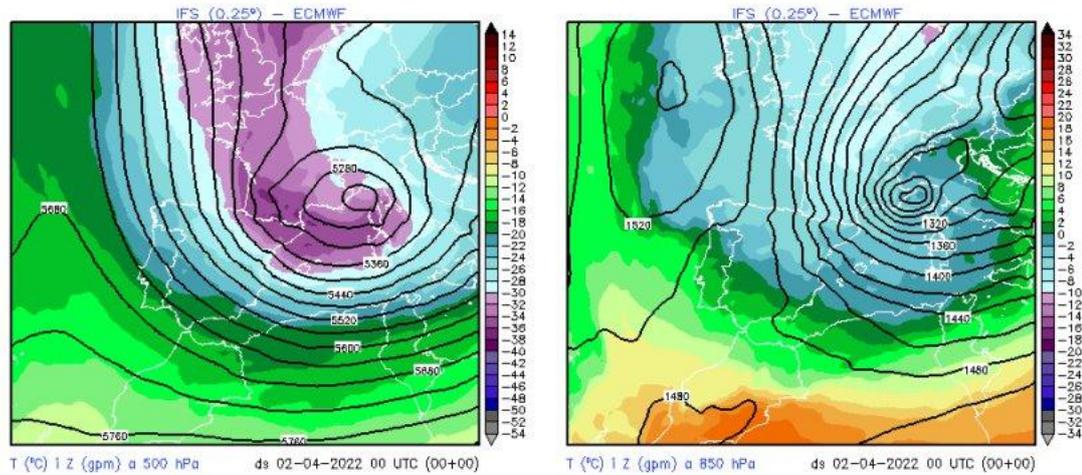


Figura 34.- Situação meteorológica antes das geadas de abril de 2022. Esquerda: temperaturas a uma altitude de 500 hPa (5500 m) e 850 hPa (1500 m). Fonte: Meteocat.

Do ponto de vista das geadas consideradas históricas pela magnitude e extensão dos danos causados, destaca-se a que ocorreu nos **dias 21 e 22 de abril de 1991**.⁷ Os prejuízos no sector frutícola do vale do Ebro são idênticos aos causados pelo último episódio de 2022.

Se recuarmos no tempo, em 1977 houve uma geada primaveril que ocorreu em dois episódios, de 29 a 31 de março (temperatura mínima de Lleida $-1,5^{\circ}\text{C}$) e de 9 a 11 de abril desse ano (temperatura mínima de Lleida $0,8^{\circ}\text{C}$) que causou perdas consideráveis na produção de frutos.

Por último, embora não se trate de geadas primaveris, em fevereiro de 1956 as temperaturas foram inferiores a 0°C durante 25 dias consecutivos, com temperaturas mínimas inferiores a -10°C durante três dias consecutivos. Estas geadas foram devastadoras para a cultura da oliveira.

⁷ Federação das Cooperativas da Catalunha. Les gelades d'abril aturen parcialment les cooperatives (5-12-22). <https://www.cooperativesagraries.cat/ca/noticies/2779-les-gelades-dabril-aturen-parcialment-les-coo.html>. Consultado em 27-5-24

C.2. França.

C.2.1. Sudoeste de França. Zona de cultivo do castanheiro

Nos últimos oito anos, os castanheiros do sudoeste de França sofreram três grandes geadas primaveris.

Em **2017**, várias explorações foram afetadas por fortes geadas **nos dias 19 e 21 de abril e entre 27 e 29 de abril**.⁸O impacto destas geadas foi agravado pelo facto de os castanheiros terem sido plantados mais cedo nesse ano (duas semanas antes do normal para a época). Para os produtores afectados, as geadas foram responsáveis por 30 a 80% das perdas de culturas⁸⁹. No entanto, a intensidade das geadas foi muito variável e os prejuízos não foram generalizados a toda a região. Na altura, não foi comunicada a utilização de sistemas de defesa.

A primavera de **2021** foi marcada por fortes geadas durante um período seco, com temperaturas tão baixas como -5°C e -7°C **entre 6 e 13 de abril** durante várias noites. Estas geadas afetaram os botões florais, com impacto no rendimento das explorações afetadas.¹⁰Pelo segundo ano consecutivo, a produção regional sofreu uma diminuição de rendimento de 15-30% em comparação com um ano normal (2019).

Em **2024**, uma geada primaveril afetou algumas localidades de Corrèze, Haute-Vienne, Dordogne, Lot e Cantal. As temperaturas mínimas registadas variaram entre -2,5°C e -1,1°C, chegando mesmo a -6°C em certas localidades, **entre 19 e 24 de abril**.¹¹Os danos visíveis parecem afetar principalmente a folhagem e alguns botões de fruto. O boletim técnico do Sudoeste sobre o castanheiro que precedeu esta geada recordava os tipos de geada e as medidas profiláticas recomendadas para melhor proteger os locais mais expostos e as árvores jovens. A avaliação no final da campanha de 2024 revelará se esta geada teve um impacto significativo na colheita.

C.2.2. Moyenne-Garonne

Na secção B.3.1 descreve-se a evolução climática da região de Moyenne Garonne desde 1951 até à atualidade.

Os anos mais frios e com maiores danos por geada foram 1956, 1967, 1970, 1991 e 2021 e 2022. O primeiro da série, 1956, é particularmente notável, uma vez que, no contexto de uma vaga de frio polar que afetou toda a Europa, foram atingidas temperaturas inferiores a -20°C durante vários dias consecutivos, o que provocou a perda de muitas das espécies mediterrânicas da zona.

Mais recentemente, as geadas de 2021 e 2022, que ocorreram no início de abril, também causaram danos significativos à produção frutícola da região. Em 2024, a elevada humidade do solo e a presença de nuvens e nevoeiro reduziram consideravelmente o

⁸ Câmara da Agricultura de Nova Aquitânia. 2018. Boletim de Saúde do Vegetal - Grande Sul-Oeste - Châtaignier N°9. Bilan 2017. 4p.

⁹ União interprofissional do comércio do sudoeste. 2018. Bulletin d'information de l'Union interprofessionnelle. 13p.

¹⁰ Câmara de Agricultura de Nova Aquitânia. 2022. Boletim de Saúde do Vegetal - Grande Sul-Oeste - Châtaignier N°15. Boletim 2021. 7p

¹¹ Câmara de Agricultura de Nova Aquitânia. 2024. Boletim de Saúde do Vegetal - Grande Sul-Oeste - Châtaignier N°1. 8p.

risco, e os danos ficaram limitados ao sopé do Maciço Central, em direção ao Lot e à Dordogne.

C.1. Portugal

No Nordeste de Portugal, as geadas primaveris são bastante frequentes e causam prejuízos significativos. Na região de Carrazeda de Ansiães (Bragança), onde a fruticultura é a atividade agrícola mais importante, em particular a produção de maçã, as geadas tardias de primavera causam prejuízos significativos. Os episódios mais recentes de geadas primaveris (abril) com prejuízos significativos na fruticultura foram os seguintes:

- Em **2024, a 9 de abril**, registou-se uma geada de $-1,6^{\circ}\text{C}$ que causou danos significativos em variedades como a 'Granny Smith', que se encontravam na sua fase fenológica mais sensível (floração/maturação tardia).
- Em **2023, a 13 de abril**, registou-se uma geada de $-3,4^{\circ}\text{C}$ que causou cerca de 40% de danos.
- **21 de abril de 2022**. Foi a geada de primavera que provocou os danos mais significativos. Foi atingida uma temperatura mínima de -4°C . No início de abril de 2022 (2 e 6 de abril) as temperaturas mínimas foram de $-6,6^{\circ}\text{C}$ e $-4,4^{\circ}\text{C}$, respetivamente.

Apesar da diminuição das ocorrências de geada, especialmente nas duas últimas décadas, os episódios de geada mais recentes acima referidos aumentaram a preocupação e o interesse dos produtores em aplicar métodos de proteção contra a geada.

C.2. Anexos

C.2.1. Região de Múrcia. Zonagem do risco de geada

A probabilidade e o risco de as temperaturas provocarem danos causados pelas geadas variam em função da sensibilidade da espécie e do grupo varietal. Este conhecimento ajuda os produtores a decidir se, o quê e quando plantar num determinado local.

A abordagem é semelhante à utilizada pelos hidrólogos para determinar o período de retorno das inundações ou pelos geólogos para estimar a probabilidade e o risco de terremotos. Do mesmo modo, a informação sobre a probabilidade e o risco de temperaturas mínimas é utilizada para decidir sobre a possibilidade de perder uma cultura devido a danos provocados pela geada, num ano ou em vários anos. Estas possibilidades calculadas são utilizadas para decidir se a cultura deve ser plantada, se deve ser segurada, se deve ser plantada uma cultura diferente ou se a proteção contra a geada é rentável.

Nas árvores fruteiras, as temperaturas críticas de danos mudam com a fase de desenvolvimento da cultura, e estas datas variam de ano para ano, de forma que a determinação da probabilidade e do risco para os pomares de fruteiras é mais complicada do que para as culturas anuais. Por exemplo, uma temperatura crítica de danos (T_c) pode ser de -7°C ou menos na fase de rebentação dos botões, mas pode aumentar para -2°C ou mais durante a fase de frutos pequenos, cerca de um mês mais tarde.

A análise de risco é utilizada para estimar a probabilidade de um evento de dano ocorrer ou não a longo prazo. Por exemplo, um agricultor quer saber o risco de uma determinada cultura se perder devido a geada durante a vida esperada da plantação, seguindo a metodologia estabelecida na publicação da FAO de 2010: Frost protection: Fundamentals, practice and economics. <https://www.fao.org/4/y7231s/y7231s00.htm>

Como base para uma zonagem de base, o polígono cadastral pode ser utilizado como uma unidade, classificada de acordo com a probabilidade média dos três grupos finais definidos para cada cultura e acordados com a seguradora.

- Grupo I: Extra-precoce e Precoce.
- Grupo II: Época média e época tardia.
- Grupo III: Os mais atrasados

Para o zonamento final, os polígonos foram caracterizados em função de uma série de indicadores e dos danos fornecidos pelo Agroseguro.

Tabela 1: Principais indicadores de risco de geada selecionados neste estudo e critérios de classificação dos polígonos cadastrais.

NÍVEL DE RISCO	Danos médios (%)	Probabilidade polígono médio (%)	N. ° Dias ano (T min < 0°C)	Altimetria (m)	Continentalidade (km)
I-Baixo	< 5	< 15	< 15	0- 300	< 50
II-Médio	5-10	15-30	15-25	300 - 500	50-75
III-Alto	> 10	> 30	> 25	> 500	>75

Com base nas condições acima mencionadas, foram elaborados vários mapas com o zonamento da Região de Múrcia para os 3 níveis de risco estabelecidos (Figura 35 y Figura 36).

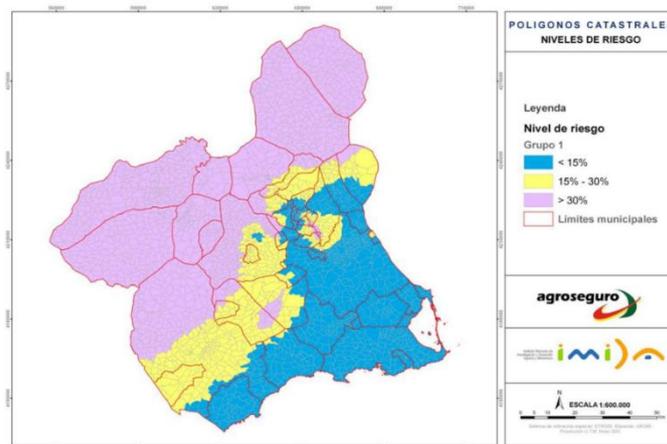


Figura 35.- Zonagem de risco climático por polígono cadastral: GRUPO I de pessegueiros

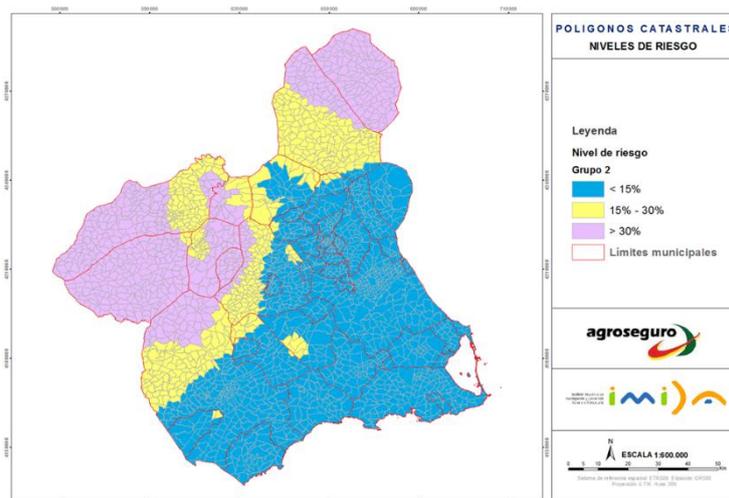


Figura 36.- Zonagem de risco climático por polígono cadastral: GRUPO II de pessegueiros

C.2.2. Região de Múrcia. Estudos sobre as geadas

Nos últimos anos, foram publicados vários estudos sobre o risco de geada na região de Múrcia, que são descritos a seguir.

Publicação: Espín-Sánchez, D., Conesa-García, C. (2021). Mudanças espaço-temporais nas ondas de calor e ondas de frio em Espanha (1950-2018): influência do padrão do Atlântico Leste. *Geographica Pannonica*, 25(3).

Resumo:

A Península Ibérica tem uma orografia complexa, que determina um importante gradiente altitudinal e alternância de vales e montanhas, e advecção periódica de ar frio/quente. No presente estudo, foi analisada a evolução das características das ondas de calor (HW) e das ondas de frio (CW) (número de eventos, frequência, duração, magnitude e amplitude). Um total de 28 estações meteorológicas de período homogêneo (1950-2018), agrupadas em seis regiões (cluster). Após submeter as séries meteorológicas a um processo de homogeneização e controlo de qualidade dos dados, foram estimados vários índices ET-SCI de forma a obter tendências de evolução em cada região climática. Em todos os casos, registou-se um aumento, muitas vezes significativo, da recorrência de eventos HW (0,3/10 anos), bem como uma diminuição dos eventos CW (-0,2/10 anos). Além disso, a evolução dos índices e anomalias acima referidos foi correlacionada com a evolução do índice global do Atlântico Este (EAI).

Palavras-chave: Península Ibérica; grupo; advecção; índices; teleconexão; Atlântico Este

Espín Sánchez, D., Olcina Cantos, J., Conesa García, C. (2022). As termografias de satélite como ferramenta essencial para a identificação de bolsas de ar frio: um exemplo do sudeste de Espanha. *European Journal of Remote Sensing*, 55(1), 586-603.

Resumo:

Os processos envolvidos na formação de inversões térmicas noturnas (ITN) são de grande relevância ao longo do ano, influenciando nomeadamente a distribuição superficial das temperaturas mínimas durante as noites de estabilidade atmosférica. A baixa densidade de estações meteorológicas de superfície na área de estudo motivou o uso da termografia para o mapeamento e identificação de CAPs de bolsas de ar frio. A distribuição térmica durante noites estáveis leva à formação de CAPs em áreas de vales e depressões, e em áreas com ar mais quente (WAM) em áreas orograficamente complexas. As termografias utilizando os produtos dos satélites AQUA e SUOMI-NPP (MODIS e VIIRS LST) representam a única ferramenta capaz de radiografar completamente o território em estudo, ultrapassando assim as limitações na interpolação das temperaturas mínimas à superfície. O principal objetivo da investigação foi, portanto, avaliar a termografia como uma ferramenta importante na identificação de CAPs. Os produtos utilizados foram submetidos a uma validação estatística com as temperaturas de superfície registadas em observatórios meteorológicos (R^2 0,87/0,88 e Bias -1,2/-1,3) com o novo objetivo de realizar mapas de distribuição térmica em processos de estabilidade noturna.

Palavras-chave: frio, inversão, termografia, ferramenta de validação

Publicação: Sánchez, D. E. (2015). Risco de geadas por inversão térmica na huerta de Murcia: Incidência na atividade agrícola. Investigaciones Geográficas (Esp), (64), 73-86.

Resumo:

No sudeste da Península Ibérica, são frequentes as situações anticiclónicas, alimentadas no inverno por advecção de ar polar/continental ártico. Nestas condições, as bacias e os vales fluviais da Península Ibérica são muito propensos ao desenvolvimento de inversões térmicas. Um exemplo claro é o da Vega Media del Segura nos meses de inverno, com geadas relativamente frequentes em sectores localizados. Como complemento ao estudo dos fatores físicos, é feito um estudo aprofundado das parcelas agrícolas da huerta de Murcia e dos possíveis efeitos que as baixas temperaturas podem ter nas principais culturas da zona de estudo, com especial incidência nos principais citrinos. Por último, propõe-se uma série de medidas ativas e passivas contra as geadas em função das características da zona de estudo e um sistema empírico de previsão das temperaturas mínimas, para que os agricultores disponham de ferramentas para atenuar os efeitos das geadas na Vega Media del Segura.

Palavras-chave: Inversão térmica, estrato quente, Vega Media del Segura, limiar crítico, risco, nebulizadores

Espín Sánchez, D. (2022). Cartografia de alta resolução do risco de geadas: perigo, vulnerabilidade e exposição agrícola (SE Espanha). Documentos de análise geográfica, 68(2), 0279-312.

Resumo

O risco de geadas no sudeste de Espanha tem significado, historicamente, perdas económicas significativas para o sector hortofrutícola. Na Demarcação Hidrográfica do Segura (DHS), o sector agrícola representa 8.161 km², pouco mais de 43% da área total de estudo. Os dias de geadas, que aparecem principalmente devido a processos de inversão térmica noturna (ITN), influenciam as culturas periodicamente todos os anos. Os fatores que explicam a evolução e o cálculo do risco de geadas (perigo, vulnerabilidade e exposição) são analisados de um ponto de vista espaço-temporal, com especial ênfase na análise do período de geadas (PF) (1950-2020). Os resultados mostram uma clara diminuição do risco de geadas nas últimas sete décadas (1950-2020), enquanto a vulnerabilidade e a exposição aumentam na área de estudo. Março e abril são os meses de maior risco, quando as amendoeiras e os cereais de sequeiro e de regadio são potencialmente afetados, com mais de 4.000 km² em risco significativo de geadas. Foi gerado um mapa mensal de risco de geadas de muito alta resolução com o objetivo de ser útil para o planeamento agrícola futuro na área de estudo.

Palavras-chave: Risco; Culturas; Perigo; Vulnerabilidade.

Sánchez, D. E. (2022). Estrutura vertical e características das inversões térmicas noturnas no sudeste de Espanha. *Cuadernos Geográficos*, 61(1), 79-106.

Resumo:

O sudeste da Península Ibérica é caracterizado por um número significativo de dias de céu limpo por ano. Sob condições estáveis, os processos de inversão térmica noturna (NTI) desenvolvem-se durante as horas noturnas, com uma notável alteração vertical e espacial na distribuição térmica à superfície. O principal objetivo da investigação é quantificar o grau de importância dos processos de estabilidade noturna no sudeste da península, e a sua influência nas temperaturas mínimas à superfície. Através da análise diária de sondagens atmosféricas noturnas na cidade de Múrcia (1986-2015), identifica-se a estratificação vertical, a frequência, a tipologia ou a intensidade dos fenómenos ITN. Os resultados indicam uma notável importância e predominância ao longo do ano (83,7% do total), especialmente no inverno. Além disso, é efetuado um estudo temporal recente dos processos ITN e das principais variáveis que os desencadeiam. Finalmente, a análise é complementada com uma caracterização da capacidade de inversão dos processos noturnos de estabilidade da superfície através de 135 estações meteorológicas.

Palavras-chave: inversão térmica; estabilidade; furo de sondagem; estratificação; Múrcia

Galdón Ruiz, A. (2024). Caracterização do regime de geadas na Região de Múrcia, Espanha.

Resumo

Os agricultores da região de Múrcia são frequentemente afetados pelo fenómeno das geadas, que tem efeitos nefastos na produtividade e no rendimento económico. A sabedoria agrária permite-lhes conhecer as melhores épocas de sementeira, mas não estão isentos de choques que perturbam o planeamento das suas colheitas. As companhias de seguros agrícolas também não dispõem de ferramentas para prever, com tempo suficiente, os inconvenientes atmosféricos que geram milhões de dólares de prejuízos no campo murciano. A caracterização do regime de geadas na Região de Múrcia pode ajudar o sector agrícola a tomar decisões que minimizem os riscos. Além disso, os prémios de seguro contra as geadas pagos pelos agricultores podem ser mais justos, uma vez que existem zonas com menor probabilidade de perda do que outras.

Palavras-chave: Geadas; Múrcia

Erena, M., Brotons, J. M., Conesa, A., Manera, F. J., Castañer, R., Garcia, P., Porras, I. (2017). Desenvolvimento de um geoportal para o inventário e avaliação dos danos causados pela geada em citrinos na região de Murcia. In XVII Congresso da Associação Espanhola de Sensoriamento Remoto.

Resumo:

A investigação apresentada tem como objetivo o desenvolvimento de uma infraestrutura de dados espaciais para a manutenção de um inventário atualizado da área citrícola à escala regional utilizando serviços de cartografia web, a estimativa do risco de geada com base no registo histórico de uma rede de estações agroclimáticas, a avaliação de danos utilizando SIG/sensoriamento remoto e a sua comparação com os sinistros registados pelas companhias de

seguros agrícolas nos últimos 15 anos. A plataforma permite a caracterização e o zonamento da produção nas zonas citrícolas e a publicação de geoprocessos aplicados à avaliação do risco de geada à escala do polígono cadastral.

Palavras-chave: inventário, citrinos, geada, risco, danos.

Pérez Morales, A. (2016). Risco de geadas nas culturas. Análise e avaliação.

Resumo:

A geada é um dos fenómenos atmosféricos que causa maiores prejuízos económicos à atividade agrícola espanhola. O mundo rural murciano é sensível a estes fenómenos devido a uma série de transformações nas suas formas de produção nas últimas décadas, que levaram a um aumento da vulnerabilidade a este perigo. Perante esta situação, são necessários estudos de localização como o presente, onde se identificam detalhadamente os principais sectores de risco para a posterior proposta de medidas de atuação.

Palavras chave: geada, risco, danos.

C.2.3. País Basco. Estudo sobre as geadas na região

Na Figura 37 apresenta-se a localização geográfica das estações meteorológicas selecionadas para a realização dos estudos climáticos sobre as geadas no País Basco.

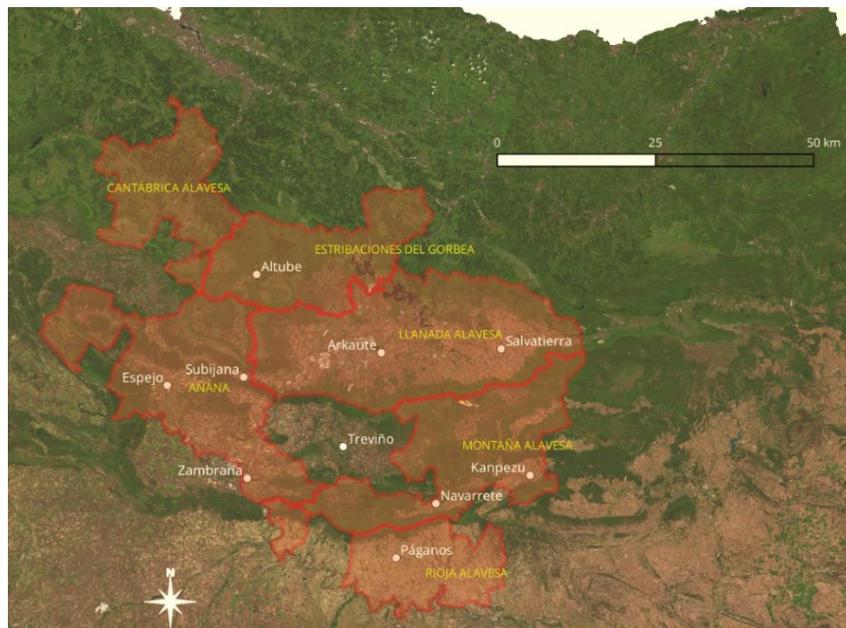


Figura 37.- Localização das estações selecionadas no País Basco.

Da Figura 38 à Figura 42 são apresentados os gráficos de probabilidade de geada em diferentes zonas do País Basco.

An-Gel Sudoe

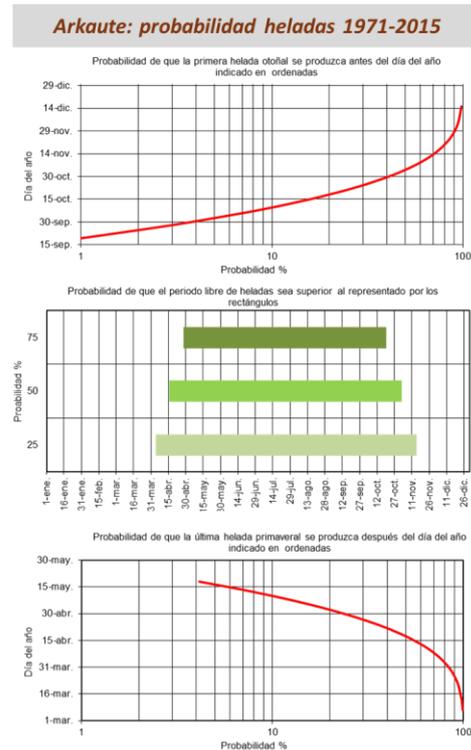
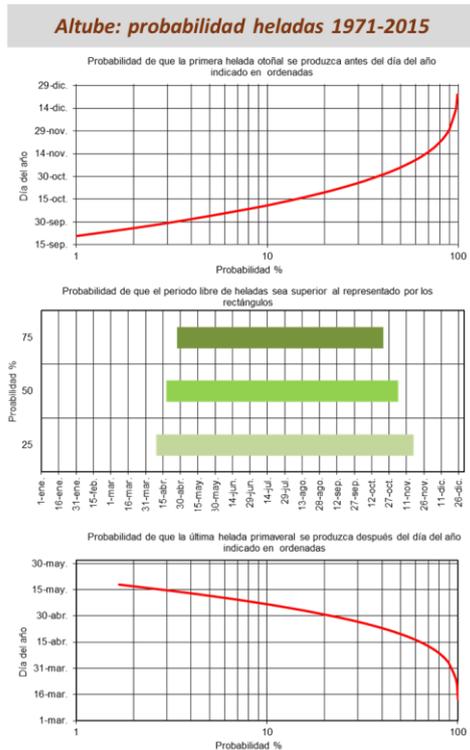


Figura 38.-Probabilidades de geadas 1971-2015: Altube e Arkaute.

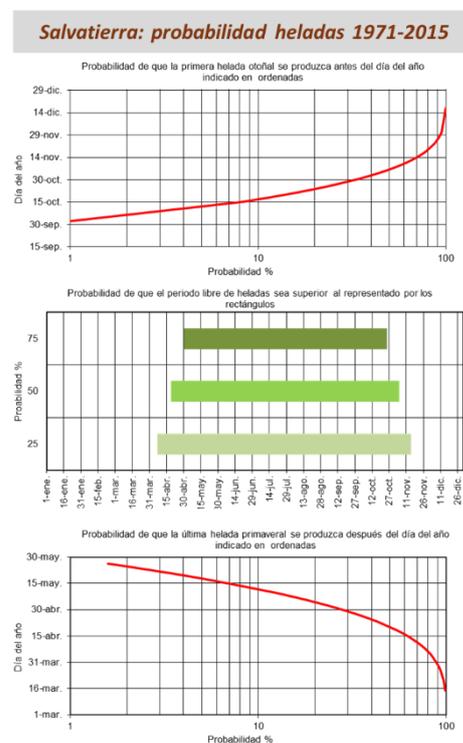
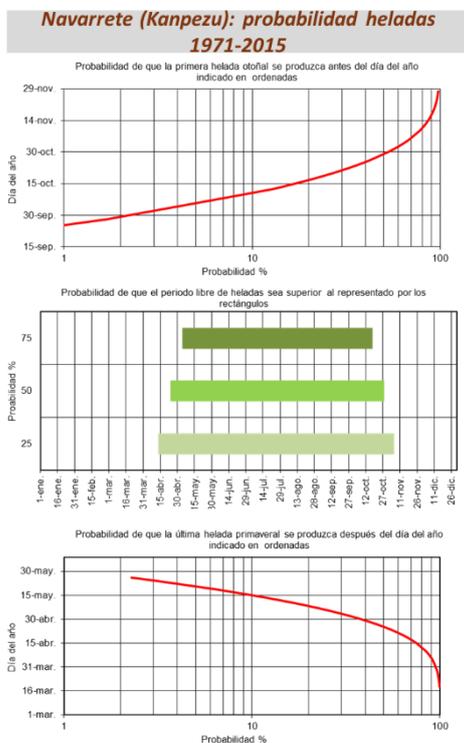


Figura 39.- Probabilidades de geadas 1971-2015: Navarrete e Salvatierra.

An-Gel Sudoe

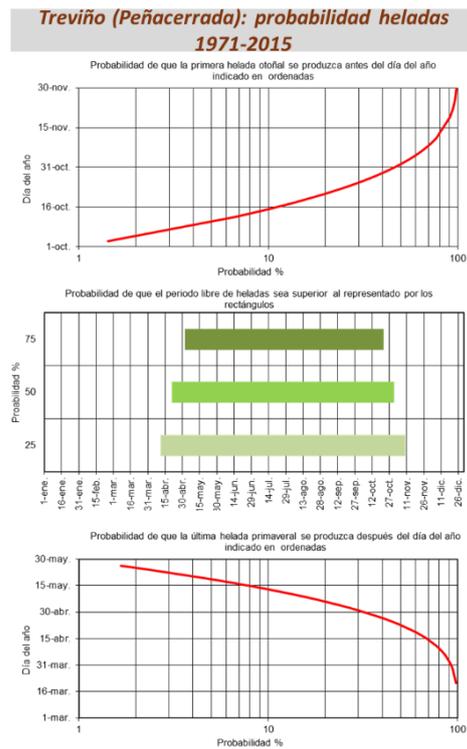
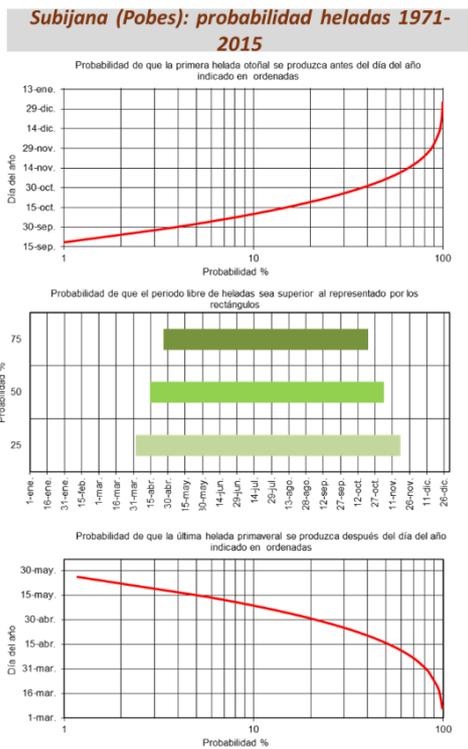


Figura 40.- Probabilidades de geadas 1971-2015: Subijana e Treviño.

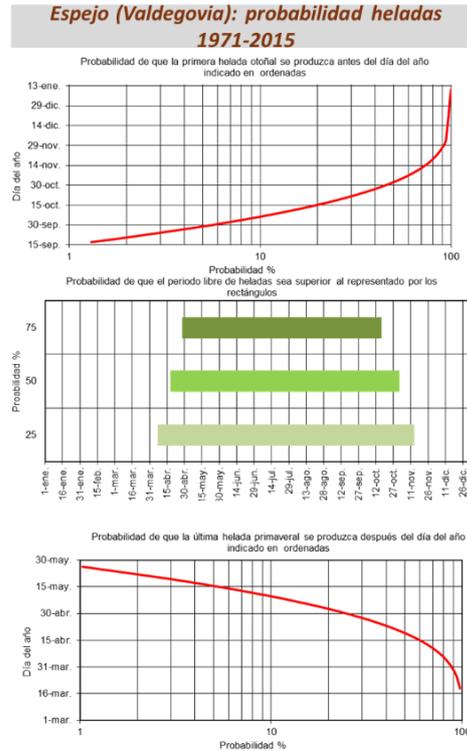
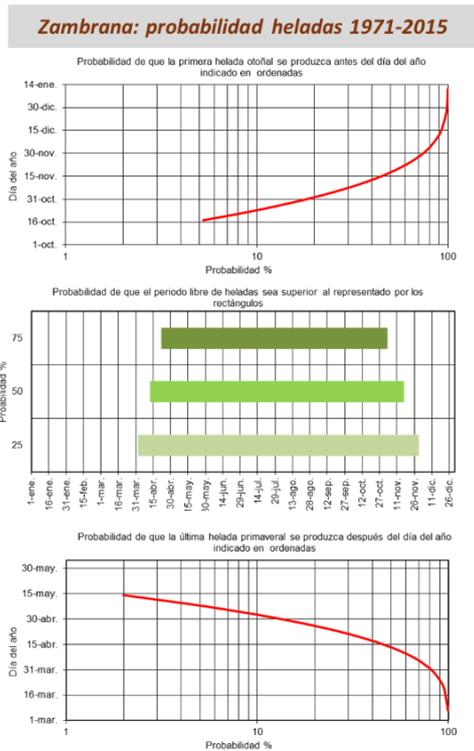


Figura 41.- Probabilidades de geadas 1971-2015: Zambrana e Espejo.

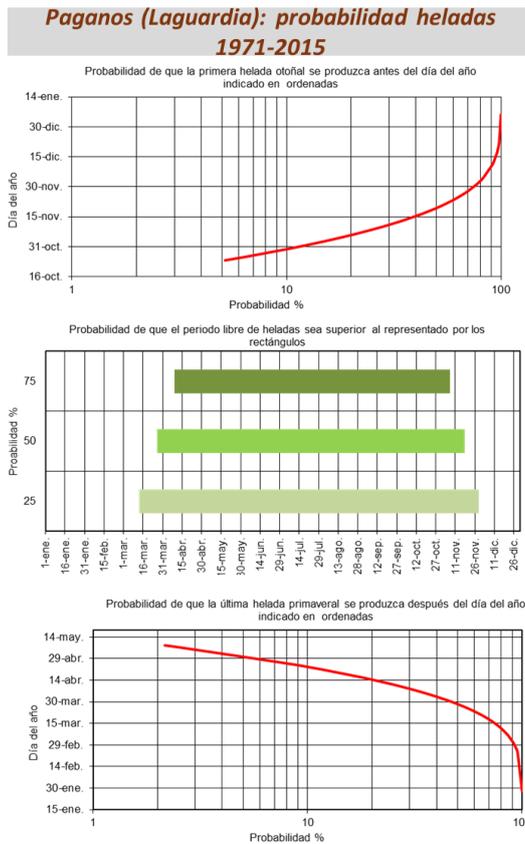


Figura 42.-Probabilidad de geadas 1971-2015: Paganos.

Eventos de geadas no País Vasco entre marzo e maio no período de 2004 a 2017

Na Figura 43, Figura 44 y Figura 45 presenta-se o número de geadas ocorridas nos meses de março, abril e maio em várias zonas do País Vasco no período entre 2004 e 2017.

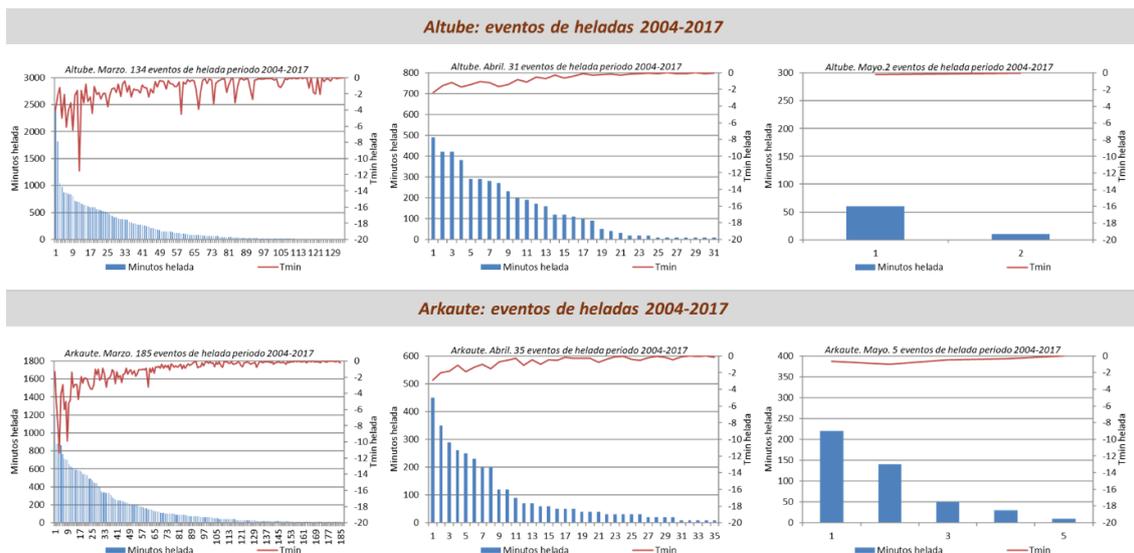


Figura 43.-Eventos de geadas 2004-2017: Altube e Arkaute.

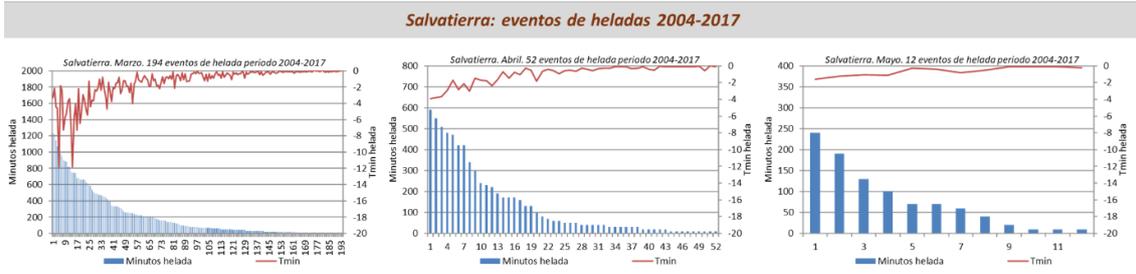
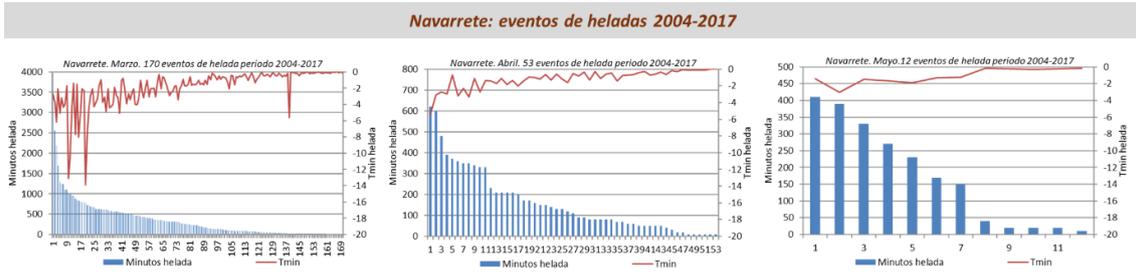


Figura 44.- Eventos de geadas 2004-2017: Navarrete e Salvatierra.



Figura 45.- Eventos de geadas 2004-2017: Zambrana.

C.2.4. Lleida. Estudo sobre as geadas na região

Foram publicados poucos estudos sobre a incidência de geadas na Catalunha e a probabilidade da sua ocorrência nas diferentes regiões de produção.¹²No vale do Ebro, existe um estudo sobre a incidência de geadas entre 1981 e 2010 ao longo da bacia do Médio Ebro, incluindo Rioja, Navarra, Aragão e Catalunha.

¹³Existe também um estudo sobre as características das geadas no Médio Vale do Ebro, principalmente na zona de Aragão, embora, devido às condições geográficas, as conclusões possam ser alargadas à zona frutícola de Lérida. As principais conclusões do estudo indicam que as geadas mais frequentes são as de radiação, sendo as mais prejudiciais as que têm uma origem combinada de uma advecção de ar frio com uma posterior estabilização dessa massa de ar.

¹² Laviña, R. (2013). As geadas na zona do Vale do Ebro e a sua influência nas culturas. Dissertação de mestrado. Univ. Zaragoza.

¹³ Hernández, M. L. (2017). Tipologia, gênese e desenvolvimento da geada no Médio Vale do Ebro. Geographica, (31), 95-114. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.1994311771

Um estudo sobre a evolução da probabilidade de geadas primaveris ao longo do tempo na zona frutícola de Lérida mostrou que a probabilidade de atingir $-5,5^{\circ}\text{C}$ nas estações de Gimennells e Mollerussa (como foi o caso em 2022) seria inferior a 1% (Figura 46).

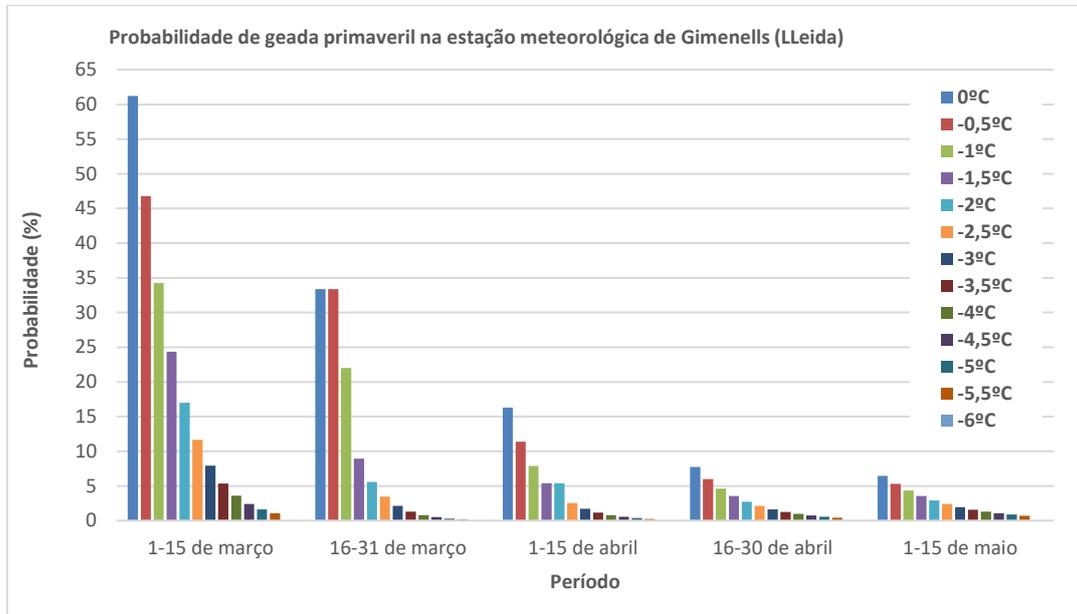


Figura 46.-Probabilidade de geada na estação meteorológica de Gimennells, situada na zona frutícola de Lleida.

D. Princípios da geada

A geada ocorre quando o balanço energético entre a radiação solar recebida e armazenada durante o dia, por um lado, e a radiação térmica do solo e das plantas para o espaço durante a noite, por outro lado, é suficientemente negativo para fazer com que as temperaturas noturnas desçam durante várias dezenas de minutos abaixo dos limiares de sensibilidade das plantas, que são geralmente de cerca de -2°C .

O fenómeno físico da geada é mais provável de ocorrer após o início do crescimento da vegetação e durante os períodos em que o ar frio polar desce sobre as zonas continentais do que sobre o oceano, onde a massa de ar perde a sua transparência à radiação infravermelha à medida que se torna mais húmida.

O aquecimento global está a fazer com que a vegetação comece a crescer mais cedo, aumentando a probabilidade de uma deslocação de uma massa de ar polar continental, que tem sido mais frequente em abril desde 2017.

Embora se trate, na realidade, de uma mistura de diferentes situações de geada, vale a pena recordar os diferentes tipos de geada, introduzindo a geada de radiação, a geada de advecção e a geada de evaporação, tendo em conta que, no campo, a primeira é habitualmente designada por geada branca, a segunda por geada negra e a terceira não é nomeada. Esta terceira geada apanha os agricultores de surpresa, pois ocorre geralmente ao amanhecer, quando as temperaturas mínimas estavam a subir e a descer mesmo antes do nascer do sol.

D.1. Geadas por radiação

Esta é a principal causa da maioria dos danos graves observados na primavera, no outono e, mais raramente, no inverno, quando as temperaturas descem abaixo dos -15°C e ocorrem danos no tronco.

Tal como o nome sugere, a queda da temperatura resulta da perda de calor através do processo de radiação. Lembre-se que todos os corpos emitem constantemente pacotes de energia em todas as direções do espaço. O comprimento de onda da emissão é uma função da sua temperatura. O Sol, a quase 5600°C , emite nos comprimentos de onda do visível (0,3 a 0,7 micrómetros) e do infravermelho próximo (0,7 a 3 micrómetros). A Terra (15°C em média) emite no infravermelho a cerca de 10 micrómetros. Assumir-se-á que todos os corpos podem emitir o máximo teórico, que é proporcional à temperatura absoluta da superfície (em graus Kelvin) desse corpo à quarta potência.

Ao mesmo tempo, a superfície de qualquer objeto recebe e absorve a energia radiativa emitida pelos corpos circundantes no seu "campo de visão". Num dia claro, o solo é aquecido pelos raios solares, desde que não haja nuvens que o impeçam. ²²Durante o dia, a potência dos raios solares diretos pode variar, atingindo entre 500 e 800 Watts/m² por volta do meio-dia, enquanto a Terra perde entre 150 (ao fim da noite) e 300 Watts/m² (ao meio-dia), 24 horas por dia. A partir de 21 de março, o dia é mais longo do que a noite.

O vapor de água é um gás transparente à radiação visível e infravermelha. No entanto, assim que as gotículas atingem um tamanho de 10 microns, a água líquida absorve a radiação infravermelha, que na maior parte das vezes retém e reemite. Os cristais de gelo também são absorventes.

Vejamos as condições específicas que são propícias ou necessárias para que um tal acontecimento tenha lugar:

An-Gel Sudoe

- uma massa de ar frio e seco domina a região em toda a espessura da atmosfera. O céu permanece limpo durante toda a noite; a ausência de nuvens e, portanto, a falta de uma “armadilha” de radiação térmica na faixa do infravermelho faz com que o calor seja perdido do solo e de todas as plantas para o espaço.

- Estas perdas são estimadas em cerca de 180 W/m^2 no início da noite e em quase 100 W/m^2 no final da noite, quando a temperatura é mais baixa. ²Ao mesmo tempo, a atmosfera envia um fluxo de radiação de cerca de 30 a 50 W/m^2 para a superfície terrestre, dependendo da temperatura média da massa de ar que sobrevoa uma região.
- Na primavera, por exemplo, quando o ar a cerca de 5000 m está a -15°C , o risco de geada é quase nulo se a temperatura tiver sido superior a 18°C no dia anterior. Por outro lado, quando o ar mais frio (gotas frias sem nuvens) estagna ou circula sobre uma região e a temperatura a cerca de 5000 m é próxima de -25°C , o risco de geada é elevado, mesmo que a tarde tenha sido muito soalheira. Note-se que, enquanto durante o dia a convecção permite a circulação do vento ao nível do solo, durante a noite aumenta a viscosidade do ar que arrefece ao nível do solo, o que atenua e depois pára o vento, exceto sobre o relevo.
- A duração da noite é suficientemente longa para que a descida de temperatura, causada pela perda de calor por radiação, se mantenha abaixo do limiar de sensibilidade das plantas.
- O ar nas camadas inferiores da atmosfera é suficientemente seco para que o nevoeiro não se forme antes de as temperaturas descerem abaixo de zero. De facto, quando o nevoeiro se forma, as gotículas de água maiores intercetam a maior parte da radiação térmica infravermelha do solo e refletem quase toda a radiação, limitando a queda da temperatura noturna a alguns graus.
- Sob céu limpo e com uma massa de ar frio e seco, as temperaturas podem descer mais de vinte graus, com uma descida máxima por hora ao início da noite, quando o vento abranda.
- Não há vento para agitar e misturar o ar, que arrefece em contacto com as plantas e o solo mais frio, com o ar alguns metros ou dezenas de metros acima, que ainda conserva a memória da temperatura positiva do dia anterior. A esta memória do ar mais quente, que ainda não arrefeceu porque circula muito acima do solo, chama-se "inversão".
- De facto, nesta situação noturna, a temperatura começa por aumentar vários graus com a altitude, antes de começar a descer novamente numa média de -2°C por 1000m . Recorde-se que a densidade do ar aumenta à medida que a sua temperatura diminui. Assim, por convecção natural, o ar frio estagna e desliza ao longo do solo, o que explica, entre outras coisas, o carácter particularmente frio das zonas baixas.

E, em menor grau:

- O calor armazenado no solo é insuficiente para compensar a perda de calor por radiação. A condução de calor é estimada num máximo de 80 W/m^2 no caso de um solo nu, bem compactado e húmido. Assim que o solo seca, torna-se menos condutor porque o ar que contém é altamente isolante.
- A relva, a palha ou o solo acabado de lavrar podem reduzir esta transferência de calor do solo para menos de 20 W/m^2
- Uma sebe ou uma floresta impedem que o ar frio se escape para baixo. Um prado

ou uma parcela de cereais, ou um pinhal mesmo por cima da parcela, é uma verdadeira "fábrica" de ar frio, que deslizará para a parcela sensível durante a noite.

- Uma sebe de árvores altas cria um escudo antirradiação que reduz o arrefecimento acima de, aproximadamente, 1,5 vezes a altura das árvores. No caso dos pinheiros mansos, o ar frio produzido pelas agulhas parece ser maior do que a proteção contra a radiação e é melhor mantê-los afastados do limite das parcelas. Além disso, estes pinheiros consomem mais rapidamente a água do solo na primavera, o que os torna menos condutores de calor e, por conseguinte, mais suscetíveis às geadas.

D.2. Geadas de advecção

Em muitos locais, este tipo de geada é conhecido como "geada negra", muitas vezes por razões muito diferentes que só podem ser compreendidas pela experiência local, que nem sempre é bem explicada.

O termo advecção designa a "deslocação horizontal de uma massa de ar" (Petit Robert). No nosso caso, deve acrescentar-se que se trata de ar frio com uma temperatura média nas camadas inferiores inferior ao limiar de resistência das plantas sensíveis.

Nas nossas regiões, as geadas de advecção correspondem a uma invasão de ar de norte a nordeste, com temperatura negativa, qualquer que seja a cobertura do céu ou a humidade do ar.

Neste caso, o ar frio aquece progressivamente do norte para o sul da Europa, levando consigo uma parte do calor armazenado no solo. No entanto, se o solo estiver coberto de neve, o fluxo de condução é negligenciável e a onda de frio espalha-se uniformemente pela França em direção à Península Ibérica. Apenas as zonas limítrofes de grandes massas de água não congeladas, e desde que se encontrem a jusante deste fluxo, têm alguma possibilidade de ficar ligeiramente mais quentes ou de registar a formação de nevoeiro gelado ou de nuvens baixas com neve, que fornecem alguma energia quando o vapor de água se condensa ou congela. É geralmente o caso das ilhas e das costas francesas bem expostas, como a Bretanha ou a Córsega.

Este tipo de geada pode ocorrer em qualquer altura do dia, pois trata-se de uma queda de frio em que a temperatura é inferior aos limiares de sensibilidade das plantas. É mais frequente no inverno e no Leste de França.

Ao trazer ar seco, cria frequentemente condições propícias à geada de radiação, o que aumenta os danos (fevereiro de 1956, janeiro de 1985). Por vezes, quando a parte superior da parcela congela enquanto a parte inferior permanece mais quente, os agricultores imaginam que foi o vento frio que provocou os danos a maior altitude. As medições recentes não confirmam esta interpretação, mas sugerem antes o impacto de uma secagem mais rápida do solo nas partes superiores das parcelas, que são ventosas durante o dia, enquanto as zonas inferiores permanecem saturadas de água.

D.3. Geadas de evaporação

Este tipo de geada caracteriza-se pela surpresa de ver as temperaturas mínimas oscilarem rapidamente, por vezes mais de 2°C por hora, sem movimentos de ar fortes nem alterações do céu geralmente limpo. Este fenómeno dramático ocorre geralmente ao amanhecer, mas pode ocorrer em qualquer outra altura quando as temperaturas se aproximam dos limiares de sensibilidade e quando um ar particularmente seco chega a uma zona onde as plantas estão húmidas.

An-Gel Sudoe

Esta particularidade da humidade muito baixa do ar é determinante para explicar e prever este tipo de geada. De facto, como o nome indica, o frio necessário para a geada é produzido pela evaporação da água que já se condensou ou congelou sobre ou perto das células vegetais sensíveis.

Recordemos que o ar contém água sob a forma de vapor e que esta massa de água varia consoante a temperatura e a origem do ar. Em condições anticiclónicas, com uma pressão atmosférica superior a 1015 hPa, o ar frio e seco "cai" sobre nós, humidificando-se, por exemplo, em contacto com superfícies húmidas e com as massas de nuvens que se dissipam.

Tomemos o caso de uma boa tarde anticiclónica com um fluxo de nordeste nas camadas inferiores, com uma humidade não superior a 35% e uma temperatura máxima de 16°C. Após o pôr-do-sol, os fenómenos de convecção natural responsáveis pelas poucas nuvens da tarde, por vezes acompanhadas de aguaceiros, desaparecem do céu limpo; o fluxo radiativo (ver acima) faz descer rapidamente a temperatura até ao nível do solo.

A ausência de vento e da mistura turbulenta provocam a estratificação do ar frio, o que faz com que as camadas mais frias fiquem saturadas de vapor de água, principalmente ao nível do solo e na parte superior das folhas ou dos rebentos. O vapor que já não pode ser contido neste ar frio é forçado a condensar-se nas superfícies mais frias: folhas de relva, folhas, ramos, rebentos, etc.

Ao condensar-se, este orvalho liberta calor (600 calorias/gr) que faz subir ligeiramente a temperatura média imediatamente acima, muitas vezes por algumas décimas de grau, por vezes mais.

Atualmente, a humidade do ar é medida por sensores eletrónicos precisos, que permitem determinar, num dado momento e local, a temperatura seca e a chamada temperatura húmida e, portanto, a diferença seco/húmido, que varia ao longo de 24 horas, com uma diferença máxima ao meio-dia e mínima ao amanhecer. Quando esta diferença é nula e não há vento, o orvalho condensa-se ou forma-se nevoeiro. Em anos anteriores, medimos a temperatura húmida com dois termómetros, um dos quais tinha o seu reservatório rodeado por uma meia embebida em água à temperatura ambiente.

Em caso de risco de geada, por exemplo, quando uma massa de ar frio se desloca de norte a nordeste, a diferença pode ser superior a dois ou três graus durante a noite e superior a um grau ao amanhecer. Esta diferença reflecte a secura relativa do ar circundante e, em última análise, o risco de geada por evaporação.

As geadas evaporativas ocorrem quando as plantas sensíveis estão cobertas de orvalho ou de água após um aguaceiro ou uma rega interrompida, e quando a temperatura ambiente se aproxima dos 0 a -2°C. Se, nestas condições, o ar for ligeiramente agitado e se o ar mais seco entrar em contacto com as plantas húmidas, uma parte da água será transformada em vapor para humidificar o ar carente de água.

Esta transformação de líquido em vapor utiliza calor, a maior parte do qual é extraído da água líquida e do suporte sobre o qual assenta. Instantaneamente, cada grama de água que se evapora consome 600 calorias, o que provoca uma descida da temperatura da superfície do suporte igual ou ligeiramente superior à que se lê nos termómetros secos e húmidos. Numa questão de segundos, as células vegetais que suportam a água evaporada podem cair para uma temperatura abaixo do limiar de danos causados pela geada. Mesmo que a condensação ocorra novamente alguns minutos mais tarde, fazendo com que as temperaturas voltem a subir, muitas vezes é demasiado tarde, pois foi confirmado que uma planta húmida não pode sobreviver mais do que alguns minutos abaixo do limiar de sensibilidade. Este fenómeno pode ocorrer naturalmente

durante as descidas de ar frio e seco imediatamente precedidas por uma deslocação ativa de norte - oeste, que favorece a formação de aguaceiros ao fim da tarde. Durante a primeira parte da noite, ventos demasiado calmos ou cortinas de árvores impedem a secagem das plantas e, quando há uma ligeira agitação do ar, por vezes provocada pela entrada de ar mais frio numa zona baixa ou num vale, ocorre o fenómeno da geada evaporativa. Este fenómeno tende também a ocorrer ao amanhecer, o que é difícil de explicar, a não ser invocando a perturbação provocada pelo fluxo de radiação solar, que poderia favorecer as transferências convectivas de ar que põem o ar mais seco em contacto com a camada limite das plantas sensíveis e húmidas. Outra explicação seria o facto de ser a altura em que o período de arrefecimento noturno é mais longo. Por último, este é o principal perigo de iniciar demasiado tarde a luta ativa, quer por pulverização aérea quer por ventilação (ver os capítulos seguintes sobre a luta ativa).

D.4. Mas a realidade é sempre mais complexa...

Embora estes três tipos de geada possam ser identificados e explicados objetivamente, na realidade podem ocorrer simultaneamente ou sucessivamente na mesma noite, o que torna difícil a sua análise e interpretação no momento.

No entanto, é muito útil identificar claramente estes três princípios e investigar as características das geadas severas que ocorreram no seu sector no passado, se não as registar agora, a fim de melhor antecipar a natureza do risco de geada e, assim, adaptar a produção utilizando os sistemas de controlo mais adequados.

Por definição, o adjetivo preto ou branco significa simplesmente a existência ou não de geada ao nível do solo. Por conseguinte, este resultado é independente do tipo de geada descrito na presente brochura. Reflete apenas a presença de humidade suficiente no ar para ter permitido a formação de orvalho que, quando as temperaturas se tornaram negativas, se transformou em geada. A geada branca, por outro lado, é observada principalmente durante uma geada de radiação numa massa de ar bastante húmida onde a diferença seco/húmido será de cerca de 0,5 a 0,1°C ao amanhecer.

Uma vez que a geada geralmente não se forma no caso das geadas de advecção e a geada quase sempre não se forma no caso das geadas de evaporação, estes dois tipos de geadas são designados por geadas negras.

E. Sistemas de proteção contra o gelo

E.1. Proteção passiva contra a geada. Aspectos gerais

Os métodos passivos de defesa contra a geada são os sistemas, atividades e práticas que também poderiam ser chamados "preventivos" e que são aplicados antes da ocorrência da geada, a fim de tentar minimizar os seus efeitos, caso esta ocorra.

Esta secção inclui as ações anteriores à plantação das culturas, como o estudo da adequação do local e a seleção das espécies e variedades escolhidas, ou a modificação da paisagem e do microclima para atuar sobre a dinâmica das correntes de ar frio.

E.1.1. Seleção do local, espécies e variedades

A prevenção das geadas começa no momento em que se realiza o projeto de plantação de uma determinada espécie e variedade. A presença e a intensidade das geadas primaveris é um dos fatores mais determinantes da viabilidade económica da produção frutícola.

Devido a todas as implicações económicas e de gestão de uma plantação de culturas arbóreas, que deve ter uma vida útil de muitos anos, é sempre necessário efetuar um estudo prévio dos riscos de geada na zona onde a cultura vai ser implantada.

¹⁴Existem atualmente empresas que realizam estudos microclimáticos de risco de geada que permitem determinar ao nível da exploração, mesmo para as pequenas e médias explorações, as zonas com maior ou menor risco de geada e as correntes de drenagem de ar frio.

Estes estudos baseiam-se em dados de estações meteorológicas (quanto maior e mais próxima for a rede, mais exata será a estimativa), na topografia do terreno (Modelos Digitais de Elevação) e em modelos de dinâmica de fluidos. Para validar o resultado e a definição das zonas de risco, é necessário registar a evolução das temperaturas no solo durante um período de tempo e estudar a diferença entre zonas. Este estudo do diferencial de temperatura em relação à topografia com sensores de registo de temperatura pode ser uma primeira aproximação ao comportamento microclimático da parcela.

De um modo geral, as zonas mais baixas das zonas inclinadas terão uma temperatura mais baixa e um maior risco de geada do que as zonas a meio da inclinação. No caso das espécies caducifólias de frutos doces, uma orientação para sul faria com que as culturas florescessem mais cedo na primavera, aumentando o risco de danos em caso de geada. As parcelas situadas acima de obstáculos (muros, corta-ventos, vegetação, edifícios, etc.) que impedem a drenagem natural do ar frio serão normalmente mais frias. O conhecimento dos padrões de temperatura é também muito útil para a localização de obstáculos que interfiram com a drenagem do ar frio, para a colocação de barreiras que possam desviar as correntes de ar frio ou para a localização ótima de sistemas de controlo da geada com base no movimento do ar (Figura 47).Figura 47

¹⁴ A Caixa do Clima. <https://theclimatebox.com/es/>

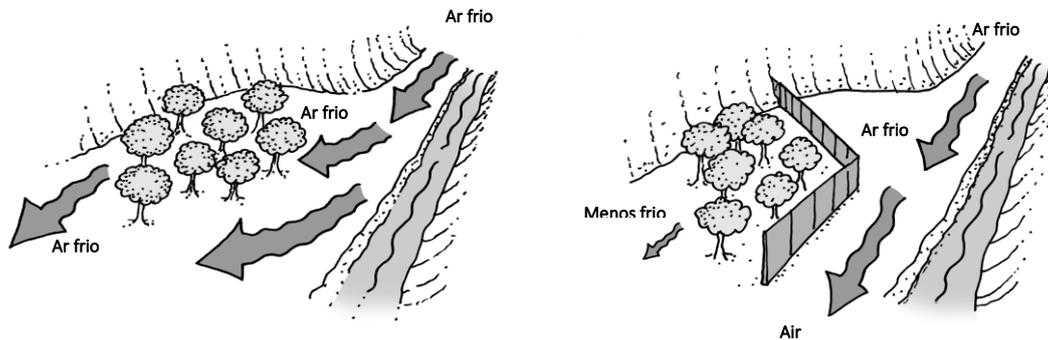


Figura 47.-Correção das correntes de ar frio com vedações para proteger as plantações. Fonte: (Snyder e de Melo-Abreu, 2010).

Por outro lado, antes da plantação e para caracterizar o local, a probabilidade e o risco de danos por geada devem ser estabelecidos com base em dados históricos de temperatura. Estão também disponíveis vários programas de cálculo para calcular estes aspetos para uma determinada área (Snyder et al., 2005). Alguns destes programas incluem estudos económicos e de retorno do investimento para diferentes sistemas de proteção, tendo em conta os riscos de perda de produção por geada.¹⁵As folhas de cálculo correspondentes podem ser encontradas em vários sítios Web.

Na seleção do local, o tipo de solo também tem um efeito sobre a geada. Especialmente quando secos, os solos com texturas arenosas transferem melhor o calor do que os solos argilosos e muito melhor do que os solos orgânicos, e seriam mais favoráveis para evitar o efeito da geada.

E.1.2. Práticas de cultivo

Após a plantação, há uma série de atividades e práticas que têm um efeito sobre os danos causados pelas geadas e que podem reduzir a necessidade de medidas de controlo ativo. Nas nossas condições, alguns dos principais métodos de proteção passiva seriam os seguintes:

▪ Fertilização

Do ponto de vista da geada primaveril, uma nutrição adequada das árvores na estação anterior, mantendo-as em vegetação ativa o mais tempo possível, atrasaria a abertura dos botões e a floração e reduziria o risco de geada, atrasando o ciclo da cultura.

Alguns estudos demonstraram que um excesso de azoto pode prejudicar a proteção das culturas contra as baixas temperaturas (Scagel et al., 2010). Este facto é atribuído a um maior crescimento vegetativo e, conseqüentemente, a uma maior suscetibilidade dos tecidos ao stresse da geada.

▪ Sistemas de formação e de poda

Os sistemas de formação com árvores altas podem ser considerados como um sistema de proteção baseado na possibilidade de uma parte da cultura, localizada nas partes mais altas, poder ser salva em caso de geadas de radiação em que a temperatura mais baixa se encontra na

¹⁵ www.agroorbi.pt/livroagrometeorologia/Programas.html

zona mais próxima do solo. Esta é uma prática comum em zonas onde este tipo de geada é frequente.

Uma poda tardia atrasaria o abrolhamento e a floração, enquanto uma poda muito precoce anteciparia a floração e, por conseguinte, aumentaria o risco de danos causados pelas geadas. Neste sentido, foi realizada uma experiência para avaliar diferentes datas de poda numa vinha de Samaniego em Rioja Alavesa no âmbito do projeto POCTEFA VITISAD (<https://www.vitisad.eu/?lang=es>) em colaboração com as Bodegas OSTATU em 2021. A poda foi realizada nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril e observou-se um atraso na abertura dos gomos de 7 dias na poda de março e de 12 dias na poda de abril em relação à poda anterior. Na frutificação, o atraso manteve-se porque as podas de março e abril foram efetuadas 5 e 9 dias mais tarde, respetivamente. ¹⁶Mesmo no pintor, o ciclo de crescimento continua a ser mais tardio, embora as diferenças sejam menos acentuadas. Nos anos seguintes, as medições de qualidade continuaram a ser obtidas em uvas no final da fase de maturação, porque o objetivo do projeto era a adaptação às alterações climáticas e a avaliação de práticas que permitissem um alongamento do ciclo da vinha para evitar a maturação em períodos precoces muito quentes. Assim, é de salientar que em 2021 e 2023 foi conseguida uma ligeira descida significativa do pH na poda de abril. O projeto An-Gel Sudoe permitirá continuar com o ensaio e realizar novas medições fenológicas que nos ajudarão a conhecer mais detalhadamente o atraso das fases iniciais, que é uma medida de defesa contra as geadas primaveris. É interessante verificar se os atrasos observados em 2021 se mantêm ou se, consoante a estação, o número de dias de diferença nos estádios iniciais da cultura observados na poda tardia pode ser reduzido ou aumentado.

No caso da utilização de sistemas de proteção baseados em aspersores ou microaspersores, a formação de sistemas com estruturas de suporte e ramos não muito longos reduziria a quebra destes ramos em situações de elevada produção de gelo.

▪ Gestão do solo

Do ponto de vista da proteção contra as geadas, o objetivo das diferentes práticas seria que o solo armazenasse o máximo de energia que lhe pode chegar sob a forma de radiação durante o dia e que tivesse a máxima capacidade de a transmitir durante a noite, a fim de amortecer a descida de temperatura.

A ausência de lavoura e a compactação do solo melhoram esta capacidade de armazenamento e transmissão de calor, porque há menos ar (que transmite mal o calor) no perfil do solo. Do mesmo modo, uma situação com um teor de água do solo na capacidade de campo, em que não há água à superfície, é a mais favorável para a transferência de calor.

O solo nu, sem cobertura de relva, aumenta a absorção da radiação e a sua transferência. Quanto maior for a altura da cobertura de relva, maior será a diferença de temperatura em relação ao solo nu (até 2°C com 5 cm de relva) (Snyder e de Melo-Abreu, 2005).

¹⁶ Guia de práticas vitícolas e de adaptação às alterações climáticas na zona POCTEFA (Programa INTERREG V-A Espanha-França-Andorra) <https://www.vitisad.eu/wp-content/uploads/2022/05/guide-vitisad-es-v3-1.pdf>

E.1.3. França. Defesa passiva no castanheiro

A proteção começa pela escolha do local de plantação em função do risco de geada (Union Interprofessionnelle de la châtaigne du Sud-Ouest, 2022). A sensibilidade da vinha à geada é semelhante à do castanheiro e pode, portanto, ser utilizada como referência. Os fatores de risco são, pois, as situações propícias à geada, como os vales, as encostas baixas, nomeadamente onde o frio não pode escoar, e as encostas viradas a sudoeste com solos arenosos propícios ao abrolhamento precoce. É portanto importante utilizar os dados meteorológicos da zona antes de escolher um local (L'heureux, 2023).

O livro do Ctifl "Protection des vergers contre les gelées printanières" (Vaysse e Jourdain, 1992) pode servir de modelo de referência para a disposição em função da situação geoclimática, da escolha das espécies e variedades (ver secção 2.1.1) ou da planificação da envolvente do pomar de castanheiros.

Através dos boletins técnicos da Châtaigne Sud-Ouest, os produtores têm acesso a informações sobre os riscos e os meios de proteção dos castanheiros contra as geadas. As estratégias propostas aos produtores são as seguintes (Union Interprofessionnelle de la châtaigne du Sud-Ouest, 2024):

1. Mantenha um coberto vegetal muito baixo nas entrelinhas de todo o pomar, vários dias antes do risco de geada, tendo o cuidado de não ter um coberto vegetal alto, que poderia ter um efeito isolante e limitar assim a radiação térmica do solo para cima;
2. Remover a vegetação nas linhas;
3. Mantenha uma camada espessa de cobertura vegetal na base das árvores jovens;
4. Aplique uma cal no tronco, sobretudo nas árvores jovens, entre dois e quatro anos, e nas parcelas mais sujeitas a geadas. Pode utilizar os seguintes produtos BNA pro (hidróxido de cálcio, diluído a 50%, pulverizado no tronco, ou ligeiramente diluído como agente de calagem), Calciblanc (hidróxido de cálcio + aditivo mineral, pó diluído a 8%, aplicado com pincel ou pulverizador), Baïkal (caulino, diluído a 5-8%) e Caliamu (carbonato de cálcio, diluído a 6%), cuja resistência à lixiviação é menos conhecida. Recomenda-se que mantenha o branqueamento se tiver chovido muito;
5. A proteção das plantas jovens com Tubex pode, em certa medida, limitar o risco de queimaduras solares/geada nos troncos.

Estes elementos são os descritos na literatura, mas terão de ser validados durante o projeto.

E.1.4. Portugal

As geadas em Portugal, sobretudo nas regiões do interior norte e centro, provocam frequentemente danos em importantes árvores de fruto de folha caduca, como as macieiras, cerejeiras e amendoeiras. Os rendimentos dos agricultores são severamente afetados e a não estabilização da produção tem também consequências para as empresas e cooperativas do sector. Para além de reduzir a produção, a geada provoca deformações e outros defeitos nos frutos, o que reduz o seu valor comercial. Apesar do elevado risco de geadas e da importância económica e social da agricultura nestas regiões, a maioria dos produtores não protege ativamente as suas culturas contra as geadas.

Nos últimos anos, algumas práticas culturais, nomeadamente em termos de gestão do solo, como a utilização de coberturas de solo (espontâneas ou semeadas), têm funcionado como uma boa prática passiva de combate às geadas. A não mobilização do solo, sobretudo na primavera, contribui para o aumento do fluxo de calor no solo e o consequente aumento da temperatura à superfície nas noites de geada. Ainda em relação aos métodos passivos, alguns produtores têm efetuado podas tardias para atrasar os primeiros estádios fenológicos, nomeadamente na vinha.

No que respeita aos métodos passivos, há ainda uma grande falta de conhecimento entre os produtores sobre o tipo de métodos que podem ser utilizados e as suas vantagens. É necessária mais divulgação e demonstrações para sensibilizar os produtores a adotar métodos passivos de controlo das geadas, que podem ser complementados por métodos ativos em condições de geada mais severa.

Referências

- Lheureux, F. 2023. O castelo. Monografia. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, França. 334p.
- Scagel, C. F., Regan, R. P., Hummel, R., Bi, G. (2010). Cold Tolerance of Container-grown Green Ash Trees Is Influenced by Nitrogen Fertilizer Type and Rate (Tolerância ao frio de freixos verdes cultivados em contentores é influenciada pelo tipo e taxa de fertilizante de azoto). HortTechnology hortte, 20(2), 292-303. doi.org/10.21273/HORTTECH.20.2.292
- Snyder, R. L.; De Melo-Abreu, J. P. 2005. Proteção contra a geada: fundamentos, prática e economia. Vol. I. Nações Unidas, Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, Roma, 223 pp.
- Snyder, R. L., De Melo-Abreu, J. P., Matulich, S. 2005. Frost protection: rationale, practice and economics. Vol. II. Nações Unidas, Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, Roma, 64 pp. <http://www.fao.org/docrep/008/y7231e/y7231e00.htm>
- União Interprofissional do Comércio do Sudoeste (2018). Boletim de informação da União interprofissional. 13p.
- União Interprofissional do Setor da Construção do Sudoeste (2022). Criar um registo de castelos, elementos técnico-económicos. 6p.
- União Interprofissional do Comércio do Sudoeste (2024). Boletim técnico do transporte do sudoeste N°2. 9p.
- Vaysse, P. e J.M. Jourdain (1992). Protection des vergers contre les gelées printanières. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, França. 113p.

E.2. Defesa ativa contra as geadas

Os meios de proteção ativa são aqueles que são utilizados quando a geada está a ocorrer (ou prestes a ocorrer), a fim de contrariar os seus efeitos.

Em muitos casos, a capacidade de prever a ocorrência de geada é essencial para poder implementá-las e criá-las com antecedência suficiente para serem eficazes.

O controlo ativo da geada baseia-se na aplicação de vários princípios físicos:

- Fornecimento de calor suplementar à parcela de produção.
- Exploração do calor latente libertado no processo de congelação da água.
- Homogeneização do ar estratificado a diferentes temperaturas.

E.2.1. Sistemas baseados na aplicação de água

Estes sistemas baseiam-se na libertação de calor latente que ocorre quando a água passa de um estado líquido para um estado sólido (gelo). Para obter calor suficiente para combater a geada, a água deve ser fornecida em quantidade e frequência suficientes para manter uma quantidade de gelo derretido nas plantas e no solo, de modo a que a temperatura permaneça acima da temperatura crítica que causaria danos às culturas.

Estes são os sistemas que oferecem a máxima proteção nas diferentes condições de geada, desde que sejam cumpridas as condições corretas na sua conceção, manutenção e funcionamento. É muito importante dispor de uma quantidade de água suficiente para cobrir toda a duração da geada, já que quando o sistema é posto em funcionamento, uma paragem do sistema durante o período de geada causaria maiores danos do que se a rega não tivesse sido posta em funcionamento.

Para que todos estes sistemas à base de água funcionem **corretamente, é essencial dispor de termómetros de bolbo húmido ou psicrómetros** que indiquem a temperatura do bolbo húmido e não apenas a temperatura do ar, a fim de ter em conta o efeito de qualquer evaporação da água quando o sistema é posto em funcionamento.

Os sistemas de aplicação de água são descritos a seguir.

E.2.1.1. Aspersão sobre as plantas

As características mais comuns deste sistema são (Figura 48):

- Proteção até -7°C, se tiver um caudal e uma uniformidade de aplicação ideais.
- Intensidade de precipitação: cerca de 4 mm/ha hora (40 000 l/ha e hora)
- Estruturas de pulverização standard: 15 x 15 a 18 x 15 m.
- Pressão de funcionamento: 3,5 - 4,5 bar



Figura 48.-Instalação de rega por aspersão em pessegueiros (esquerda). Modelos de aspersores específicos para aspersores anticongelantes em plástico (centro) e metal (direita).

As principais vantagens são a sua **capacidade de proteção** contra diferentes tipos de geada, a **facilidade de automatização** e o **impacto** relativamente **reduzido no ambiente** e **no meio envolvente** (para além do consumo de água necessário ao seu funcionamento). Além disso, o sistema pode ser utilizado para outros fins, como a rega refrescante ou a "lavagem" das árvores como sistema de defesa contra certas pragas.

As suas principais limitações, para além da **disponibilidade de água**, são a possível acumulação de água no solo com a possibilidade de asfixia radicular se tiver de ser utilizada várias noites consecutivas, a quebra de ramos devido ao peso do gelo e a necessidade de um controlo e manutenção muito cuidadosa do sistema. Da mesma forma, a sua utilização na altura da floração das espécies frutíferas (especialmente nas fruteiras de caroço e, sobretudo, nas espécies de difícil vingamento, como o damasco, a ameixa e a cereja) pode provocar a lavagem do pólen e uma diminuição considerável do vingamento dos frutos.

E.2.1.2. Microaspersão em plantas

Funciona na mesma base que a aspersão convencional, mas reduzindo o volume de água aplicado, mantendo, tanto quanto possível, o nível de eficiência. Isto é conseguido alterando o tipo de emissores (menor caudal e alcance e tamanho de gota mais fino) e aplicando a água continuamente ou em impulsos muito curtos. Nos últimos anos, foram desenvolvidos microaspersores que permitem localizar a aplicação da água nas linhas das árvores ou mesmo em árvores individuais, melhorando assim a eficiência da proteção.

As características mais comuns do sistema são:

- Intensidade da precipitação: 1,5- 3 mm/ha hora (15-30.000 L/ha e hora)
- Requer uma filtração mais intensiva do que a aspersão convencional
- Devido ao pequeno diâmetro dos tubos, o sistema deve ser sempre ligado acima de 0°C para evitar que a água congele no seu interior. O sistema deve ser esvaziado após cada rega.

E.2.1.3. Microaspersão intermitente sobre as plantas

O objetivo é reduzir o consumo de água, tentando manter a eficácia da proteção através da utilização de sistemas com aplicação da água de forma intermitente (pulsos) (Figura 49).



Figura 49.- Instalação de um sistema de microaspersão intermitente (esquerda) e três modelos de microaspersores para aplicação intermitente (direita).

Utilizam uma precipitação de cerca de 1-1,5 mm/ha e uma hora de água e para a sua gestão devem ser seguidas as mesmas instruções que no sistema de aspersão convencional.

Estes sistemas de baixo fluxo não foram testados em todas as regiões da Europa e podem não fornecer energia suficiente em caso de geadas severas abaixo de -4°C . Os testes estão a ser realizados no IRTA e os resultados serão publicados no final do projeto Sudoe An-Gel.

E.2.1.4. Aspersão/microaspersão sob as árvores

Consiste na instalação de um sistema de aspersão ou microaspersão sob as copas das árvores. Neste caso, o objetivo é manter a temperatura do solo a cerca de 0°C para aumentar indiretamente a temperatura ambiente. O potencial de defesa contra a geada seria menor em comparação com o sistema localizado acima das árvores, mas teria outras vantagens como evitar a quebra de ramos, a lavagem do pólen em algumas espécies ou a possibilidade de o utilizar em combinação com coberturas ou redes.

Para o funcionamento correto destes sistemas em relação ao arranque e à paragem, é **essencial dispor de termómetros de bolbo húmido ou psicrómetros** que indiquem a temperatura do bolbo húmido e não apenas a temperatura do ar, para que o efeito da possível evaporação da água no arranque do sistema seja tido em conta.

E.2.2. Sistemas baseados no movimento do ar

Estes sistemas baseiam-se na movimentação das camadas de ar que apresentam uma estratificação de temperaturas quando existem condições de inversão térmica, de modo a que nas camadas superiores a temperatura do ar seja superior à das camadas inferiores em contacto com as plantas. O objetivo do movimento do ar é quebrar a estratificação das camadas de ar e fazer descer o ar mais quente acima das plantas para um nível que permita a subida da temperatura do ar que rodeia as plantas e evite as geadas.

As situações mais favoráveis para o seu sucesso são as zonas planas e as plantações relativamente grandes. **Só funcionam em condições de geada de radiação com uma inversão térmica elevada** e uma camada de inversão entre 5 e 25 m acima das plantas. Um exemplo da distribuição da temperatura em função da altura, típica deste tipo de geada, é apresentado na Figura 50.

An-Gel Sudoe

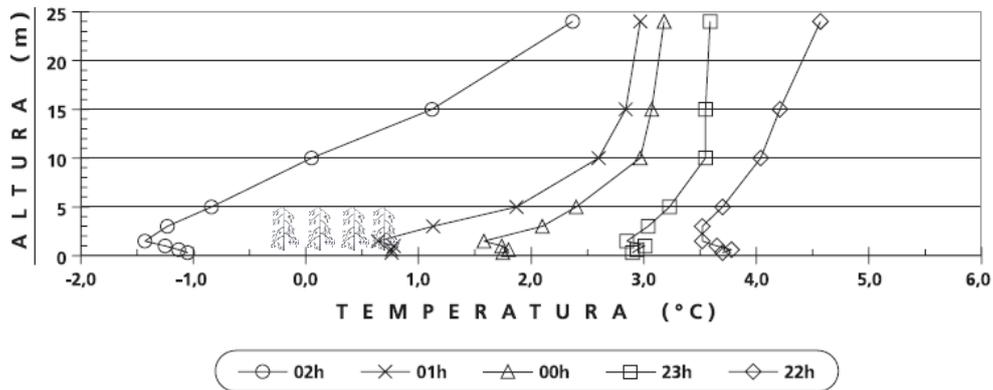


Figura 50.- Desenvolvimento de condições de inversão térmica a diferentes horas da noite num pomar de macieiras em Portugal. Baseado em Snyder e de Melo-Abreu, 2005, 2010.

O benefício real depende da força da inversão térmica, que é a diferença de temperatura em altura (por exemplo, a 15 m) e a temperatura na altura da planta (1,5 m). Segundo diferentes autores, o aumento da temperatura situar-se-ia entre 30% e 50% desta diferença de temperatura (Hu et al., 2018). Note-se também que o efeito na temperatura diminui significativamente com a distância da torre (Reese e Gerber, 1969).

Atualmente, existem vários modelos de torres de ventilação fixas com diferentes alturas de lâmina e dimensões, bem como unidades móveis com diferentes potências e dimensões.

Quanto ao sistema de propulsão, existe a possibilidade de utilizar motores diesel estáticos independentes de várias potências em função do tamanho das pás. Existem também modelos com motores elétricos ou alimentados pela tomada de força do trator.

Ventiladores. Torres fixas

Os ventiladores fixos consistem numa torre de aço com um ventilador rotativo no topo, com 2 a 5 pás de 3 a 6 m de diâmetro, ligeiramente inclinadas para baixo (6-7 graus) para melhorar a sua eficiência. São acionados por um motor, geralmente um motor diesel de alta potência, situado na base da torre e deve ser instalada uma base de betão para os fixar ao solo.

A altura ao solo é normalmente de cerca de 10 - 11 m, e a hélice deve fazer uma volta de 360° em 3-5 minutos (Figura 51).



Figura 51.- Pomar de pessegueiros protegido com torre de ventilação fixa Orchard Rite.

Comercialmente, afirma-se que podem ter uma cobertura entre 3 e 7 ha, dependendo da conceção e da potência, pelo que, em grandes áreas, devem ser instaladas várias de modo a que a sua ação se sobreponha para obter uma maior eficácia.

Os ventiladores devem ser ligados, o mais tardar, quando a temperatura do ar atingir 0 °C, mas se as plantas estiverem húmidas, isso deve ser feito mais cedo para não gerar uma geada evaporativa na tentativa de as secar antes da formação de geada nos frutos. Os ventiladores devem estar a funcionar quando a temperatura crítica de dano é atingida.

Com velocidades de vento superiores a 2,5 m/s (8 km/h), o sistema não proporciona qualquer melhoria e pode mesmo causar danos na hélice. Por conseguinte, não deve ser utilizado nestas condições.

O ruído e as vibrações provocadas constituem um problema importante que pode afetar fortemente a sua utilização em zonas próximas de centros habitados. Nos modelos com mais de 2 pás, o efeito do ruído é menor.

Ventiladores portáteis

Baseiam-se no mesmo princípio que as torres fixas, mas têm uma potência inferior e cobrem uma área mais pequena. Podem ser deslocadas entre parcelas ou armazenadas quando não estão a ser utilizadas, o que lhes confere maior versatilidade e menor impacto na paisagem. Não é necessário instalar lajes de betão no solo para garantir a sua estabilidade.

Existem vários fabricantes e modelos com diferentes potências, alturas e revestimentos (Figura 52). São alimentados por motores de combustão ou elétricos.



Figura 52.- Vários modelos de ventiladores móveis.

Têm também as mesmas limitações que os sistemas estáticos.

Sistemas SIS (Selective Inverted Sump)

É um método desenvolvido no Uruguai que consiste num ventilador posicionado horizontalmente que retira o ar mais frio das partes inferiores e o projeta verticalmente para fora da zona de influência das plantas (Figura 53).

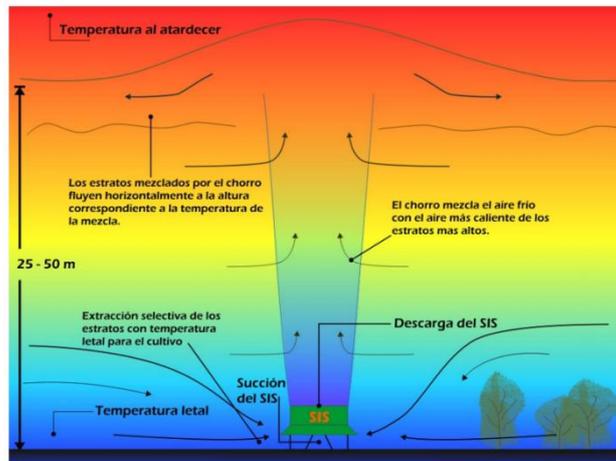


Figura 53.- Funcionamento teórico do sistema SIS. Fonte: Frost Protection.com.

Funcionaria apenas em caso de geadas de radiação e principalmente em parcelas situadas na parte inferior de topografias sob a forma de pequenos vales ou bacias onde o ar frio descenderia naturalmente de novo e o sistema compensaria esta circulação.

O objetivo é proteger contra as geadas com um investimento e um consumo de energia mais baixos. Comercialmente, existem dois tipos de modelos (15 e 50 cv), embora ao longo do tempo tenham sido feitas versões muito diferentes em termos de diâmetros e potências (Figura 54).



Figura 54.- Modelos de sistemas SIS. Esquerda: Uruguai (Fonte: <http://www.produccionnacional.com.uy/frost-protection/>) Direita: Espanha (Fonte: SATGarden Frost Control).

Os resultados publicados até à data indicam uma baixa eficácia do sistema (Hu et al., 2015) e este foi abandonado na região de Moyenne-Garonne por não ter apresentado resultados suficientemente satisfatórios.

E.2.3. Sistemas baseados na entrada de calor

O objetivo destes sistemas é fornecer calor suficiente para compensar as perdas de energia das culturas em situações de geada e garantir que as temperaturas não desçam abaixo dos limiares de danos das culturas a proteger.

É a forma mais intuitiva e primária de combater as geadas e, tradicionalmente, utiliza-se a queima de diversos materiais para produzir calor (resíduos vegetais, palha, combustíveis fósseis, óleos, pneus, etc.), muitas vezes sob a forma de fogo aberto. Atualmente, a forma de o fazer é através de aquecedores metálicos de maior ou menor dimensão e capacidade de combustível ou com velas de parafina.

O sistema é mais eficaz nas seguintes situações:

- Em geadas de radiação com forte inversão térmica
- Quanto maior for o número de pontos de calor e quanto mais espalhados estiverem no campo, maior será a sua eficiência. Se a inversão térmica for fraca e as fontes de calor pontuais forem demasiado grandes e demasiado quentes, o ar aquecido sobe demasiado alto e a energia perde-se no espaço acima da cultura, reduzindo grandemente a eficiência.
- Os sistemas mais eficientes têm pouca chama acima da chaminé e não produzem fumo. O fumo não ajuda e polui o ambiente.
- Quando os lados da parcela são reforçados por outras linhas de aquecimento ou sebes frias.

Trata-se de sistemas que requerem um elevado consumo de energia para o seu funcionamento, geralmente de origem fóssil.

Embora estejam a ser feitos esforços para melhorar esta área, a produção de fumo pode incomodar as populações próximas e ter algum impacto ambiental.

E.2.3.1. Aquecedores

É o sistema mais antigo e mais tradicional de aquecimento. É feito através da utilização de vários combustíveis orgânicos (pellets, briquetes de madeira, etc.) ou de combustíveis fósseis como o gás ou o gasóleo. Alguns dos modelos de aquecedores são apresentados na Figura 55.



Figura 55.- Modelos de aquecedores para diferentes combustíveis: modelo de pellets Viti-Chauffe (A), modelo de briquetes de madeira Wiesel (B) e modelo de gasóleo (C).

Estes sistemas são muito dispendiosos em termos de investimento inicial e devido às elevadas necessidades de mão-de-obra para a distribuição no terreno, a ignição e a manutenção na altura das geadas, para além do custo do combustível utilizado.

A sua área de aplicação mais adequada seria em pequenas explorações agrícolas com uma baixa frequência de geadas e uma produção de elevado valor comercial, onde não poderia ser utilizado qualquer outro método de controlo.

E.2.3.2. Recipientes de parafina (velas)

As velas ou frascos de parafina são constituídos por um volume de parafina e um pavio para manter o fogo aceso. Têm uma capacidade de 5,5 a 6,5 L, o que lhes confere uma duração de 10 a 12 horas (Figura 56). O nível de proteção alcançado dependerá do número de recipientes utilizados, que variará entre 150 e 450 por ha.¹⁷¹⁸ Segundo os dados da empresa, o aumento de temperatura situar-se-ia entre 2 e 6°C, embora numa experiência de campo em condições reais efetuada pela própria empresa, o ganho de temperatura (com uma densidade de 333 velas/ha) tenha sido no máximo de 2,6°C com uma média de 2,2°C.



Figura 56.- Utilização de recipientes de parafina na proteção de árvores fruteiras e dois modelos comerciais: Firefrost (centro) e Stop-gel (direita).

Têm as mesmas limitações de aplicação que os aquecedores tradicionais e vantagens e desvantagens semelhantes: O sistema requer uma quantidade significativa de mão-de-obra para distribuir, acender e apagar os recipientes. O seu custo é elevado se tiverem de ser utilizadas durante longos períodos. Além disso, a gestão do stock é complicada devido à incerteza das necessidades específicas de recipientes que uma exploração agrícola terá, o que torna necessário investir uma quantidade significativa de capital antecipadamente para garantir a sua disponibilidade durante os períodos críticos.

Em vez de aumentar a temperatura do ar que envolve as plantas, o aquecimento com aquecedores ou velas aquece principalmente as partes das plantas sensíveis à geada por radiação. O ar aquecido pelo sistema sobe quase verticalmente, e grande parte da energia produzida perde-se acima da copa das árvores, sem qualquer benefício para as plantas. Por outro lado, a chapa metálica aquecida por combustão irradia a uma distância de cerca de dez metros, nomeadamente no caso dos aquecedores de chaminé, que têm uma superfície radiante maior do que as velas.

¹⁷FIREFROST - Informações não vinculativas da "empresa": <https://firefrost.es/productos/>

¹⁸ Relatório final do projeto ECOVELAS. <https://www.gopasociafruit.com/wp-content/uploads/2020/09/MEMORIA-FINAL-ECOVELAS.pdf>

E.2.3.3. Aquecedores móveis

Trata-se de sistemas de aquecimento montados em chassis, para serem rebocados por tratores através da plantação durante a ocorrência de geada. Geram ar quente que é soprado perpendicularmente à direção de deslocação do trator, utilizando gás propano ou materiais orgânicos (palha, madeira, etc.) como combustível (Figura 57).



Figura 57.-Diferentes modelos de aquecedores móveis. À esquerda: Aquecedor a propano. Centro: Sistema Frostbuster a propano. Direita: Modelo Segués Terreco para resíduos vegetais.

Estão disponíveis no mercado vários modelos com diferentes capacidades energéticas. As máquinas devem deslocar-se através das linhas de árvores com uma separação entre passagens, consoante os modelos (entre 25 e 100 m), seguindo um percurso de modo a regressarem ao mesmo local (ou a um local próximo) num intervalo de tempo máximo de 8 a 10 minutos.

A passagem das máquinas em funcionamento provoca um aumento temporário da temperatura nos pontos próximos do aquecedor, embora o aumento da temperatura média da plantação não seja significativo. Estes aumentos temporários de temperatura produzidos pelo ar quente secariam a superfície das plantas e evitariam o congelamento superficial dos órgãos de frutificação e, conseqüentemente, danos no seu interior. De qualquer modo, a energia fornecida é muito inferior à que se perde durante uma noite de geada de radiação (Snyder e de Melo-Abreu, 2005). A sua eficácia seria muito limitada na presença de vento e seria mais adequada para geadas de fraca intensidade (Lakatos e Brotodjojo, 2022).

Estes sistemas foram eficazes durante as geadas ligeiras até 3°C, mas não funcionaram na Moyenne-Garonne durante as geadas de 2021, quando a temperatura estava entre -4 e -6°C (Fonte ACMG).

E.2.3.4. Combinação de entrada de calor e movimento de ar

Para ultrapassar as desvantagens intrínsecas dos sistemas que fornecem calor (elevados custos de mão de obra e de combustível) e dos que movem o ar (limitados a situações de forte inversão térmica do ar e ausência de vento), os produtores e fabricantes de torres eólicas testaram nos últimos anos combinações de ambos os sistemas.

A combinação de ventiladores (fixos ou móveis) com fontes de calor é uma boa alternativa quando as condições não são favoráveis à utilização de ventiladores.

Nos últimos anos, foram desenvolvidos sistemas de aquecimento com uma elevada produção de calor (produzido por combustíveis fósseis ou biomassa) para utilização em combinação com ventiladores que podem espalhar o calor gerado (Figura 58).



Figura 58.- Sistema de aquecimento anti-gelada (pellets) para funcionar em combinação com o ventilador.

Do mesmo modo, na zona de Lleida, estão a ser realizados testes que combinam a utilização de pequenos aquecedores (a gás ou a biomassa) com ventiladores móveis.

Um elemento essencial para o sucesso destas combinações é a localização dos aquecedores de modo a que a distribuição do calor seja ideal em função da topografia do terreno e do movimento do ar, pelo que deve ser efetuado um estudo prévio da dinâmica das massas de ar.

De qualquer modo, tentar empurrar o ar quente horizontalmente ou mesmo de forma inclinada não é natural porque, por convecção, o ar quente tenta sempre subir. As medições efetuadas nos Pirinéus Orientais nos anos 90 concluíram que a superfície de proteção do ventilador tinha sido reduzida, uma vez que já não empurrava o ar até cerca de 100 m, mas apenas até 60 ou 70 m.

E.2.3.5. Mantas e coberturas térmicas que reduzem a perda de calor do solo.

A manta térmica agrícola é um agrotêxtil especialmente desenvolvido para a agricultura. É constituída por fibras contínuas de polipropileno ligadas entre si através de um processo de soldadura a quente. É instalada no interior de estufas, bem como ao ar livre ou sob redes de proteção contra o granizo. Existem mantas de 17 g e 30 g por metro quadrado. A sua principal função é a proteção contra o frio, a geada e o gelo até -4°C . Protege as plantas do frio, geadas e geadas até -4°C , pois cria um microclima entre o solo e a manta que favorece o crescimento das culturas, evitando que se deteriorem antes da colheita.

Consideramos que o orvalho ou a geada se formam na superfície das fibras. A água cria um efeito de estufa ao absorver a radiação infravermelha emitida pelo solo e pelas plantas. Por sua vez, esta película de água ou de geada irradia para a planta a uma temperatura muito superior à da atmosfera, o que atrasa o arrefecimento da superfície do solo e das plantas.

²O custo pode situar-se entre 116 euros e 131 euros /1000 m, consoante a sua espessura. São principalmente utilizados na horticultura.

E.2.4. Estimativas económicas

Para além das condições técnicas de cada um dos sistemas, as condições económicas da sua utilização são também decisivas para definir quais os sistemas mais adequados nos múltiplos contextos que podem surgir.

Esta secção apresentará os resultados da estimativa de custos dos principais regimes de proteção ativa disponíveis para os produtores com preços em Espanha em 2023-2024.

A estimativa do custo da proteção obtida para cada um dos sistemas é bastante complicada por várias razões:

- Existe uma grande incerteza quanto à frequência, intensidade e tipos de geadas que podem ocorrer. Num contexto de alterações climáticas, é muito provável que os padrões climáticos observados nas últimas décadas sejam diferentes dos que poderão ocorrer em anos futuros.
- A frequência e a intensidade das geadas (ligadas ao valor económico da cultura) determinarão em grande parte a viabilidade da cultura numa determinada área ou parcela. Neste sentido, é essencial estudar as condições climatéricas antes da instalação da cultura.
- O tipo de geada (principalmente de advecção e de radiação) condiciona a eficácia dos sistemas e, nalguns casos, como os baseados no movimento do ar para misturar camadas com estratificação térmica, são totalmente ineficazes na ausência de inversão térmica. Em qualquer caso, a defesa contra as geadas de advecção produzidas pela entrada de ar frio com a presença de vento é muito mais complicada do que a defesa contra as geadas de radiação.
- O nível de proteção de alguns sistemas é variável, dependendo da intensidade de aplicação dos vários elementos (volume de água por hectare no caso da aspersão e da microaspersão) ou da concentração de aquecedores ou velas de parafina por área de superfície nos sistemas baseados na entrada de calor). Por conseguinte, é igualmente necessário ter em conta o grau de proteção desejado ou possível.
- Atualmente encontramos-nos num contexto global de grande volatilidade dos preços, especialmente os ligados às fontes de energia e a alguns materiais ou componentes, o que se reflete numa grande variabilidade dos custos finais dos sistemas de fabrico e dos combustíveis utilizados no seu funcionamento.

Por conseguinte, as avaliações efetuadas devem necessariamente ser consideradas como **uma estimativa aproximada (com base em condições específicas) e devem ser consideradas apenas para fins de orientação.**

O custo global da luta contra as geadas será repartido entre custos fixos (investimentos, manutenção e armazenamento), que serão suportados independentemente da ocorrência ou não de geadas, e custos variáveis (preparação, manipulação e funcionamento do sistema), que serão proporcionais ao número de geadas por ano e à sua duração. Estes conceitos são descritos a seguir:

- **Custo de investimento.** Corresponde às máquinas ou instalações a adquirir ou a instalar nas parcelas de forma permanente. Trata-se, por exemplo, de instalações de rega por aspersão ou microaspersão, de ventiladores (fixos ou móveis) ou de aquecedores.

- **Custo de manutenção e armazenamento das instalações e maquinaria.** Para garantir o sucesso do controlo das geadas, é necessário ter a máxima segurança de que os sistemas funcionarão corretamente no momento em que forem necessários e que não haverá avarias que possam causar perdas ainda maiores do que as que ocorreriam sem o sistema de proteção. Os sistemas de rega devem ser verificados previamente, garantindo que não há fugas e que as bombas, aspersores ou microaspersores estão em perfeito estado de funcionamento. O mesmo se aplica a ventiladores fixos ou móveis ou a sistemas que impliquem a utilização de máquinas e motores. Por outro lado, os sistemas que podem ser deslocados (aquecedores, ventiladores móveis) devem ser mantidos em boas condições, em armazéns protegidos das intempéries, para garantir a sua durabilidade ao longo do tempo.
- **Custo de preparação para o arranque do sistema.** Estes custos seriam considerados sempre que se prevê uma geada, independentemente de esta ocorrer ou não e da sua duração ou intensidade. Incluem atividades como a distribuição e o abastecimento de aquecedores ou velas de parafina (e a sua remoção depois de passado o período de geada), a deslocação de sistemas de ventilação móveis, etc.
- **Custos de operação e funcionamento do sistema durante a geada.** Estes custos serão suportados principalmente a partir do momento em que os sistemas de proteção são postos em funcionamento. Corresponderão, por um lado, ao custo da mão-de-obra necessária para controlar, pôr em funcionamento, supervisionar, manter e parar o sistema (no caso de o sistema não ser posto em funcionamento, o custo da supervisão também deve ser considerado). Incluirá também o custo do combustível, da água ou das fontes de energia (combustíveis fósseis, biomassa, eletricidade) necessários para manter o sistema durante a geada. Os cálculos são efetuados considerando uma geada de 10 horas.

As particularidades dos principais sistemas de controlo da geada do ponto de vista do cálculo dos custos são descritas a seguir.

E.2.4.1. Velas e aquecedores

Como explicado na secção E.2.1 existem diferentes opções para os sistemas que fornecem calor diretamente à parcela de cultivo. Para o estudo económico, são consideradas 4 opções:

- Velas de parafina
- Aquecedores a gás
- Aquecedores de briquetes de madeira modelo Wiesel, originários da Áustria
- Aquecedores a pellets correspondentes ao modelo Viti-Chauffe, de conceção e patente francesa.

A comparação entre estes sistemas é complicada porque cada um tem características diferentes em termos de facilidade de armazenamento, distribuição e operação durante a geada. Por outro lado, as diferenças de poder calorífico e de conceção de cada sistema fazem com que o número de unidades por hectare para obter condições semelhantes seja muito diferente. Neste sentido, os dados sobre os aumentos de temperatura alcançados pelos sistemas são escassos e, na maioria dos casos, fornecidos pelas empresas de comercialização e por algumas experiências realizadas noutros países europeus. Não existem testes comparativos independentes efetuados nas nossas condições.

O estudo considera um número de unidades de cada sistema por hectare, dando uma entrada de calor (com base no poder calorífico do combustível e no consumo horário de cada sistema) e um aumento de temperatura teórico semelhante entre eles (Quadro 2).

Quadro 2 Características estimadas para os diferentes sistemas de fornecimento de calor estudados.

<i>Sistema</i>	<i>Modelo</i>	<i>Combustível</i>	<i>Capacidade do sistema (kg)</i>	<i>Tempo de combustão (horas)</i>	<i>Poder calorífico (Kcal/kg)</i>	<i>Taxa de combustão (kg/hora)</i>	<i>Energia libertada (kcal/hora)</i>	<i>Densidade de utilização (Ud/ha)</i>	<i>Energia libertada (Kcal/ha)</i>
Velas	Geada de fogo	Parafina	5,8	12	11.000	0,48	5.313	400	2.125.200
Fogão	Comum	Gasóleo	34	10	10.250	3,40	34.850	60	2.091.000
Fogão	Wiesel	Briquetes	20	6	4.700	3,33	15.667	135	2.115.000
Fogão	Viti-Chauffe	Pellets	30	8	4.700	3,75	17.625	120	2.115.000

Para além do custo económico, há outros aspetos que são mais favoráveis ou desfavoráveis na utilização de cada um dos sistemas. Os que utilizam combustíveis à base de biomassa (pellets ou briquetes) são muito mais sustentáveis e inserem-se no conceito de economia circular. Ao mesmo tempo, geram muito menos fumo do que os sistemas baseados em combustíveis fósseis (gasóleo ou parafina). Como aspeto negativo, o manuseamento dos combustíveis sólidos e a ignição dos aquecedores são mais complicados do que no caso das velas de parafina.

E.2.4.2. Aspersão e microaspersão

Nos sistemas de controlo baseados na aplicação de água (aspersão e microaspersão), o investimento a realizar é muito variável em função das características prévias da parcela (superfície regada a partir do mesmo cabeçal de rega, topografia, pressão de bombagem ou natural para a pressurização da água, qualidade da água, etc.). Cada exploração agrícola exigiria um estudo pormenorizado dos condicionalismos e dos custos da instalação. Para a estimativa destes custos, considerou-se que, em muitos casos, as mesmas instalações serão utilizadas para a rega das culturas e, por conseguinte, para a proteção contra as geadas, foi atribuída uma parte do investimento no sistema de rega.

Nos sistemas de rega por aspersão, dado o maior volume de água aplicado, é necessário instalar um sistema de tubagens principais e secundárias para transporte da água até à parcela com maior capacidade do que as utilizadas na rega gota-a-gota. Quando se utilizam sistemas de microaspersão, o caudal utilizado é mais semelhante ao da rega gota-a-gota e, em muitos casos, podem ser utilizadas as mesmas tubagens, pelo que os investimentos podem ser reduzidos.

O custo da gestão é também variável em função da topografia do terreno e das necessidades de elevação da água que lhe estão associadas, bem como da disponibilidade de pressão natural que não requer a utilização de uma fonte de energia externa. Do mesmo modo, o custo da água pode também ser muito variável em função da sua origem.

E.2.4.3. Aquecedores móveis

O modelo Frostbuster 501 da empresa Agrofrost é utilizado como referência para a estimativa. Neste caso, o combustível utilizado é o gás propano. Com esta máquina, recomenda-se que efetue um circuito através da parcela a proteger a uma velocidade máxima de 7,5 km/h, passando

pelas linhas de cultura com uma distância máxima de 100 m entre elas. De acordo com as instruções dos responsáveis pelo desenvolvimento da máquina, deve assegurar-se que o aquecedor passe pela mesma posição a cada 9 minutos, no máximo. Nestas condições, é possível cobrir uma área de cerca de 7 ha com uma máquina.

Como já foi referido, o aumento global da temperatura na parcela seria pequeno e o efeito benéfico resultaria do aquecimento e da secagem periódica dos órgãos de frutificação.

E.2.4.4. Ventiladores. Torres fixas ou móveis

No sistema baseado no movimento das camadas de ar em situações de inversão térmica, podem ser utilizados ventiladores fixos ou móveis.

Para fazer a estimativa económica dos sistemas fixos, foi tomado como exemplo um modelo de torre grande (10-11 m de altura). Para este tipo de ventilador, diz-se comercialmente que pode cobrir até 7 ha. Este valor é provavelmente demasiado otimista e só se verificaria em situações ótimas, que estão muitas vezes longe das reais. Para efetuar os cálculos, considerou-se que cada dispositivo cobre uma área de 4 ha.

A referência para os ventiladores móveis são os ventiladores Tow and Blow 250h com um motor de 24 CV, de origem neozelandesa (Figura 52). São indicados principalmente em áreas planas com grandes plantações e em condições de inversão térmica e ausência de vento. Em áreas não planas, é importante estudar a colocação dos ventiladores seguindo o movimento das massas de ar. Não existem estudos publicados sobre a área de cobertura dos ventiladores. Comercialmente, o fabricante postula até 5,5 ha que, como no caso anterior, é provavelmente sobredimensionado para as condições reais. Para efetuar os cálculos, considera-se uma área de cobertura de 2,5 ha.

Seria interessante fornecer um valor de custo operacional baseado no aumento de temperatura esperado, mas tal estudo não existe. Apenas a experiência mostra que os sistemas que utilizam aquecimento ou circulação de ar não foram capazes de proteger contra a geada de radiação a temperaturas inferiores a $-3,5^{\circ}\text{C}$ ou -4°C durante pelo menos 15 minutos, enquanto que os sistemas que utilizam pulverização aérea (com $40\text{m}^3/\text{h. ha}$) forneceram proteção até -6°C .

Com base em todas estas considerações, foram estimados os custos dos principais sistemas de defesa ativa e os resultados são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 Resumo das principais características, custos de investimento e de funcionamento de vários sistemas ativos de proteção contra o gelo.

Sistema	Aspersão	Microaspersão	Velas de parafina	Aquecedores de briquetes	Aquecedores a pellets	Aquecedores a gasóleo	Ventiladores: Torres fixas	Ventiladores portáteis	Aquecedor móvel
<i>Principais características</i>	³ Caudal: 35-45 m /ha hora Pressão: 35-45 m.c.a.	³ Caudal: 15-25 m /ha por hora Pressão: 15-25 m.c.a.	Fornecimento de calor com velas de parafina 6,3 L	Fornecimento de calor briquetes Aquecedores Wiesel 20 kg	Pellets de fornecimento de calor Viti-Chauffe,30 kg)	Fornecimento de calor a óleo Aquecedores 40 L	Torre fixa anti-gelada de movimento de ar com 10-11 m de altura	Ventiladores portáteis Tow&Blow 250 h	Frostbuster 501 Velocidade máxima 7,5 km/h Frequência de passagem: 9 min. Área aprox. 7 ha
<i>Aumento estimado da temperatura (°C)</i>	Até 6°C	3-5°C	2,5-3°C	2,5-3°C	2,5-3°C	2,5-3°C	0,5-2°C	0,5-2°C	0,5°C
<i>Eficiência na geada de radiação com inversão térmica</i>	***	**	**	**	**	**	**	**	**
<i>Eficiência na geada de advecção sem inversão térmica</i>	**	**	*	*	*	*	0	0	*
<i>Investimento inicial total (€/ha)</i>	6000-8300	3400-8200		7.600	25.300	8.300	61.000	42.000	27.800
<i>Vida útil (anos)</i>	15	15		10	20	20	15	15	15
<i>Área coberta (ha)</i>	1	1	1	1	1	1	4	2,5	7
<i>Unidades por ha</i>			400	135	120	60			
<i>Custo de investimento anual (€/ha)</i>	400 - 550	225 - 550		760	1265	415	1017	1120	265
<i>Custo anual de manutenção/armazenamento (€/ha)</i>	300-420	175-400	80	0	120	60	550	380	250
<i>Custo da preparação do sistema (por 10 h de geada) (€/ha)</i>	0	0	140	150	260	65	0	33	30
<i>Custo do controlo e da gestão (por 10 h de operação) (€/ha)</i>	175	175	230	390	390	200	50	75	27
<i>Custo do combustível, eletricidade ou água (por 10 h de funcionamento) (€/ha)</i>	20-85	10-45	4500	1170	1575	3600	98	30	110



An-Gel Sudoe

<i>Custo total da proteção (investimento + manutenção + preparação + funcionamento 10 h) (€/h)</i>	880 - 1200	580-1165	4950	2470	3610	4340	1714	1638	682
--	------------	----------	------	------	------	------	------	------	-----

E.2.5. Considerações sobre os sistemas de proteção contra a geada

Uma boa proteção contra as geadas começa desde o momento em que se planeia o projeto de instalação de uma cultura. O estudo da probabilidade de geada e do risco de danos na zona, juntamente com um estudo microclimático da parcela, é essencial para garantir a localização correta das plantações e para evitar perturbações económicas, uma vez que o investimento na plantação (por vezes muito elevado) já foi feito.

As condições em que ocorre a geada são altamente variáveis entre episódios e também ao longo da noite em que ocorre a geada. O desenvolvimento de sistemas de previsão e de apoio à decisão a uma escala mais local tornar-se-á cada vez mais importante.

No que diz respeito aos sistemas de proteção ativa, não existe um sistema universalmente adaptável e todos eles têm aspetos positivos e negativos e limitações que os tornam mais ou menos aplicáveis em diferentes contextos de produção.

Todos os sistemas podem ser úteis em determinadas circunstâncias, embora, se houver água e pressão suficientes para a aplicar, o sistema de defesa por aspersão seja o que oferece maior cobertura nas diferentes condições de geada. Os sistemas **de rega por aspersão ou microaspersão, contínuos ou intermitentes, são os mais vantajosos porque permitem um aumento considerável da temperatura em todos os tipos de geada e o seu custo é o mais baixo em relação à proteção que podem oferecer** (entre 600 e 1.200 €/ha para 10 horas de geada). A sua limitação mais importante é a elevada quantidade de água (e a segurança da sua disponibilidade) necessária para garantir que o sistema possa funcionar sem interrupções durante as horas necessárias. A este respeito, o sistema de microaspersão seria o mais promissor, devido ao seu menor investimento e às menores necessidades de água e energia para bombear, mas as condições de conceção hidráulica teriam de ser estudadas em maior profundidade para o otimizar o mais possível.

Os sistemas de ventilação fixos ou portáteis **só funcionam em situações de inversão térmica**, sem vento, e a sua eficácia depende em grande medida da diferença de temperatura entre as camadas de ar e da distância ao ventilador. O seu custo de funcionamento é superior ao dos sistemas hídricos (cerca de 1700-1800 euros/ha/ano para 10 horas de geada) e o nível de proteção que oferecem é limitado e muitas vezes incerto.

Nos sistemas baseados **em aquecedores, a eficiência depende principalmente do número de pontos de emissão instalados e da potência de aquecimento de cada um deles**. Para conseguir aumentos de temperatura apreciáveis (2,5-3°C), é necessário um grande número de unidades (60 a 400 por ha, consoante o modelo) e o seu custo de exploração é bastante elevado (entre 2500 e 5000 €/ha). São sistemas complicados em termos de funcionamento, ignição e manutenção, e os combustíveis derivados do petróleo não são muito sustentáveis e geram uma grande quantidade de fumo. Seriam adequados para pequenas parcelas com culturas de elevado valor e geadas pouco frequentes, quando não são possíveis outros métodos.

Com o desenvolvimento e a expansão das redes **antigranizo e dos toldos de chuva**, o seu desempenho como sistemas de proteção contra a geada, individualmente ou em combinação com outros sistemas, como os aquecedores estáticos ou móveis ou os sistemas de aspersão sob as árvores, também terá de ser estudado.

Assim, e apesar da experiência acumulada ao longo de muitos anos com os vários sistemas, é necessário continuar a estudar e a experimentar a sua utilização, de forma a minimizar as consequências das geadas primaveris na produção agrícola, sobretudo quando nos encontramos

num contexto de alterações climáticas que, provavelmente, conduzirão a um aumento deste fenómeno.

Referências

- Hu Y G, Wu W Y, De Melo-Abreu J P, Shapland T M, Zhang H, Snyder R L.(2015). Experiências comparativas e avaliação da eficácia dos ventiladores verticais (VBF) para proteção contra a geada. *Int J Agric & Biol Eng*, 2015; 8(5): 36-42.
- Hu Y G, Asante E A, Lu Y Z, Mahmood A, Buttar A N, Yuan S Q. (2018). Revisão da tecnologia de perturbação do ar para proteção contra geadas de plantas. *Int J Agric & Biol Eng*, 2018; 11(3): 21-28.
- Lakatos, L; Brotodjojo, R.R. (2022). IOP Conf. Ser.: Earth Environment. *Ciência* 1018
- Reese R. L; Gerber, J. F., (1969). Uma descrição empírica da proteção contra o frio fornecida por uma máquina de vento. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94(6);697-700.
- Snyder, R. L.; De Melo-Abreu, J. P. (2005). Proteção contra a geada: fundamentos, prática e economia. Vol. I. Nações Unidas, Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, Roma, 223 pp.

E.3. Proteção química contra a geada

E.3.1. Introdução

Os danos provocados pela geada são causados pela formação de gelo no interior dos tecidos vegetais. Os danos podem ser diretos, quando se formam cristais de gelo no interior das células, ou indiretos, quando o gelo se forma no espaço intercelular, causando desidratação e deterioração das membranas celulares adjacentes (Snyder e De Melo-Abreu, 2010).

Quando ocorrem condições de congelação, começam a formar-se cristais de gelo nos espaços extracelulares. O ponto de partida da formação de gelo ocorre nos agentes nucleadores de gelo (INA), que são partículas presentes dentro e fora dos tecidos, a partir das quais se desencadeia a formação de cristais. Estas partículas podem ser cristais de neve, poeiras, partículas inorgânicas e, especialmente, bactérias nucleadoras. Na ausência destes agentes, a água nos tecidos, incluindo nos botões e nas flores, pode permanecer líquida a temperaturas inferiores a 0°C, num estado de sobreenfriamento (de facto, o ponto de congelação da água pura é de aproximadamente -40°C).

A partir do início da formação de gelo, as moléculas de água são adicionadas à estrutura cristalina e os solutos são libertados, aumentando a concentração da solução restante (Gupta e Deswall, 2010). Isto cria uma diminuição do potencial osmótico e uma saída de água do interior da célula para o exterior para compensar o gradiente osmótico com o citoplasma, causando a rutura da membrana celular e a desidratação da célula com subsequente perda de volume que pode resultar no seu colapso ou rutura (Pearce, 2001). Dependendo das condições, o gelo também se pode formar no interior da célula, e o crescimento dos cristais causa stresse físico, levando a danos irreversíveis nas membranas celulares e à morte da célula.

As plantas e os seus tecidos desenvolveram duas estratégias para fazer face ao stresse de congelação: tolerância e evitação. A primeira estratégia permite que as plantas e/ou os seus tecidos tolerem a presença de gelo nos espaços extracelulares sem sofrerem o consequente stresse de desidratação. A segunda estratégia é a capacidade das plantas de evitar a formação de cristais de gelo intersticiais. Embora estas duas estratégias sejam claramente diferentes, elas podem ser encontradas simultaneamente na mesma planta (Levitt 1980). Os tecidos que evitam a congelação fazem-no isolando-se de baixas temperaturas ou limitando a formação de cristais de gelo nos seus tecidos, mantendo a água líquida num estado de sobreenfriamento abaixo de 0°C. Estes tecidos podem baixar a temperatura de nucleação do gelo através da síntese de osmólitos nos seus fluidos, embora devido à grande quantidade de soluto necessária para baixar significativamente o ponto de congelação, a redução real do ponto de congelação que pode ser alcançada é de apenas 1-2°C (Levitt 1980).

Um aspeto básico da tolerância das plantas temperadas ao frio é o processo de aclimação que permite às plantas aumentar a sua tolerância quando expostas a temperaturas frias, mas não geladas. Este processo produz diferentes respostas, incluindo alterações na membrana plasmática e acumulação de solutos no interior das células (Uemara et al, 2006).

Além disso, sabe-se que o conteúdo do citoplasma e dos organelos celulares influencia o comportamento das membranas plasmáticas durante a aclimação e a geada. Em geral, um aumento da concentração de solutos resulta em menos danos causados pela desidratação nas células (Lewitt 1980). Os solutos de baixo peso molecular, para além do efeito na diminuição do potencial osmótico da célula, podem apresentar efeitos crioprotectores específicos (como no caso das proteínas e açúcares) que protegem as membranas e atuam como antioxidantes

(prolina) ou como agentes que ajudam no processo de recuperação pós-congelamento (glicina-betaína) (Uemura et al, 2006).

A geada (bem como outros incidentes ambientais) provoca stresse que se manifesta por uma alteração do sistema de equilíbrio oxidação-redução dos tecidos. As plantas têm um sistema antioxidante como parte do seu metabolismo, no qual, em condições não stressantes, existe um equilíbrio entre a geração de espécies reactivas de oxigénio (ROS), (anião superóxido, peróxido de hidrogénio e radical hidroxilo, entre outros) e a sua eliminação. As ROS actuam como mensageiros secundários na transdução de sinais a baixas concentrações, enquanto que a concentrações mais elevadas causam danos oxidativos que acabam por conduzir à morte celular. O stresse provocado pela geada leva a uma maior acumulação de ROS nos tecidos afetados, que as plantas tentam contrariar com vários antioxidantes cuja produção é também induzida pelo frio. Alguns destes antioxidantes são o ácido ascórbico (vitamina C), o alfa-tocoferol (vitamina E), a glutatona, a superóxido dismutase, a cisteína sintetase e outros carotenóides e compostos fenólicos. A sua presença depende da espécie e a sua maior ou menor concentração tem sido relacionada com a resistência ao frio (Ambroise et al, 2020).

E.3.2. Utilização de produtos químicos para proteção contra a geada

O estudo de vários produtos químicos que podem ser facilmente armazenados e aplicados e que proporcionam proteção contra a geada remonta a meados da década de 1950 (Perry 1998). Atribuía-se a estes produtos a capacidade de alterar o ponto de congelação dos tecidos, reduzir a presença de bactérias criogénicas nas culturas ou afetar a fenologia, atrasando o aparecimento da fase de resistência das culturas, desconhecendo-se por vezes o seu modo de ação.

Atualmente, a proteção química contra as geadas inclui a utilização de adubos convencionais (por exemplo, azoto, potássio, boro), produtos hormonais (reguladores de crescimento), aminoácidos e proteínas, hidratos de carbono, produtos antitranspirantes e bioestimulantes. Comercialmente, são-lhes atribuídas capacidades de regulação osmótica, crioprotectora e/ou antioxidante, nem sempre apoiadas por estudos científicos. Neste capítulo, iremos rever o estado da arte do efeito dos diferentes produtos e a sua aplicação prática no controlo das geadas.

E.3.2.1. Elementos minerais

Uma nutrição mineral correta, incluindo as doses e o momento de aplicação adequados, é essencial para o desenvolvimento das plantas e para a tolerância aos efeitos das geadas. Os desequilíbrios nutricionais podem afetar negativamente a cultura e a sua proteção contra as geadas.

A capacidade de alguns nutrientes minerais para proteger as culturas contra o stresse por frio e reduzir os danos causados pelas geadas foi avaliada por diferentes autores. No entanto, a partir dos resultados da literatura científica, observamos que a eficácia dos nutrientes minerais é variável e depende do tipo de nutriente e da cultura.

O potássio é um dos iões mais abundantes nos tecidos vegetais. Dissolve-se no interior da célula e nos espaços intracelulares, mantendo o ajustamento osmótico e ajudando a baixar o ponto de congelação através do aumento da quantidade de soluto. Na videira, foi demonstrado que o aporte de potássio sob a forma de sulfato de potássio aumentou significativamente a tolerância ao frio, aumentando a quantidade de hidratos de carbono, prolina e proteínas presentes nos rebentos (Sarikhani et al., 2014). Esses resultados foram confirmados por Karimi (2017) observando que a aplicação de sulfato de potássio a 3% reduziu os efeitos do stresse por geada em videiras, aumentando o conteúdo de poliaminas livres, açúcares solúveis, fenóis e ácido abscísico nas plantas tratadas. A aplicação de sulfato de potássio também proporcionou um

aumento considerável da resistência ao frio no tomateiro (Donderalp, 2022). Na oliveira, observou-se que as aplicações de potássio a 2% aumentavam a presença de compostos osmolíticos e a atividade das enzimas antioxidantes, o que estava correlacionado com um aumento da resistência ao frio das plantas tratadas (Saadi et al 2021).

O **cálcio** também desempenha um papel importante na tolerância das plantas às baixas temperaturas, embora o seu mecanismo de ação ainda não esteja totalmente esclarecido (Roman-Figueroa et al., 2020). O cálcio é um elemento chave na composição das membranas celulares, melhorando a sua fluidez e estabilidade. De acordo com alguns estudos, o aumento das aplicações foliares de cálcio pode induzir o fecho dos estomas e evitar a desidratação das folhas (Waraich et al., 2012; Wilkinson et al., 2001), para além de reforçar as membranas celulares, uma vez que o cálcio se liga com lípidos e proteínas às membranas, impedindo a fuga de solutos. Em ensaios realizados com uvas de mesa no Irão, observou-se que as aplicações de sulfato de cálcio e sulfato de zinco antes do abrolhamento aumentaram a sua tolerância ao frio (Karimi, 2019).

O **boro** demonstrou ser eficaz na melhoria da tolerância das plantas às geadas, estabilizando a parede celular e a função da parede celular, para além do seu papel na regulação da permeabilidade da membrana celular (Brown et al., 2002). Foi demonstrado que as aplicações de boro têm um efeito na data de floração das amendoeiras. Um estudo realizado pelo IRTA (Rufat e Arbones, 2006) em amendoeiras em condições de sequeiro mostrou que as aplicações foliares de boro no outono, para além de aumentarem o vingamento dos frutos, podiam induzir um atraso na data de floração de 4-6 dias, o que resultava num menor risco de danos causados por geadas tardias.

E.3.2.2. Reguladores de crescimento

Os reguladores de crescimento são compostos associados a vários processos de crescimento das plantas. O retardamento da floração é o principal mecanismo deste tipo de produto na proteção contra as geadas.

Os retardadores de crescimento dos rebentos, como o paclobutrazol e o ácido abscísico (ABA), demonstraram ser eficazes na prevenção dos danos causados aos rebentos por baixas temperaturas. Estes compostos atuam abrandando o crescimento das plantas e promovendo a dormência dos rebentos.

O **paclobutrazol** pode comportar-se como um antitranspirante, diminuindo o comprimento dos estomas e aumentando a densidade dos mesmos. O paclobutrazol é também um inibidor da biossíntese do ácido giberélico, que, ao estimular o seu crescimento, pode aumentar a suscetibilidade das plantas ao frio.

Na Nova Zelândia, verificou-se que a aplicação de **ABA** aos limoeiros aumentava a sua resistência às geadas (Dwyer e al., 1995). Em vários ensaios efetuados com videiras nos Estados Unidos, o ABA não teve um efeito significativo no atraso do abrolhamento (Wang e Dami, 2020), mas conduziu a um aumento da tolerância às geadas desta cultura (Wang et al., 2000 b).

A aplicação de **óleos minerais** no inverno, antes da floração, era uma prática tradicional no controlo de insetos e fungos em árvores de fruto e vinhas. Estes produtos não podiam ser utilizados (ou em doses muito baixas) na fase vegetativa das plantas devido à sua fitotoxicidade nas partes verdes. Com doses elevadas destes produtos pode observar-se um atraso na germinação das árvores. Atualmente, os óleos minerais são praticamente eliminados dos registos fitossanitários, sendo substituídos por **óleos vegetais** de diversas origens, como a soja, as crucíferas (colza), girassol, o milho ou as sementes de algodão. No caso da vinha, foram efetuados numerosos ensaios com óleos com o objetivo de retardar a germinação e evitar os períodos de

maior risco de geada. Em ensaios realizados nos Estados Unidos durante vários anos, a aplicação de óleo mineral ou vegetal (soja) atrasou a germinação de 2 a 20 dias, consoante a variedade, o momento da aplicação e a cobertura do produto (Dami e Beam, 2004). Todos os óleos podem ser fitotóxicos acima de uma certa concentração (5% para os óleos minerais e 10% para o óleo de soja). Quanto mais próximo da germinação o tratamento foi efetuado, menor foi o efeito obtido e não se observou qualquer atraso na data de maturação, a menos que o atraso na germinação fosse superior a duas semanas. Os ensaios neste domínio continuaram na região e é considerado um dos métodos interessantes para atrasar o abrolhamento da videira, embora por vezes se observem resultados inconsistentes (Loseke et al., 2015, Wang e Dami, 2020, Persico e al., 2021).

O **ethephon** é um regulador de crescimento que liberta etileno quando metabolizado. Muitos estudos demonstraram que a sua aplicação no outono pode atrasar eficazmente o início da floração na primavera seguinte em diferentes espécies, especialmente nos frutos de caroço. O atraso pode variar entre 3 e 18 dias, consoante a cultura, as concentrações e a altura da aplicação. Em geral, as aplicações no início do outono em concentrações elevadas são mais eficazes. Por exemplo, a aplicação de ethephon em ameixeiras com 10% de queda de folhas a 250 e 500 ppm atrasou a floração em 13 e 16 dias, respetivamente, e 5 e 7 dias quando aplicado numa fase mais avançada de 50% de queda de folhas (Crisosto et al., 1990). Num ensaio realizado pelo IRTA em amendoeiras da variedade 'Vairo', obtiveram-se atrasos na floração de 4 a 7 dias com uma resposta positiva a um aumento da dose de 50 para 200 ppm. No entanto, um atraso mais prolongado provocou também uma perda de rendimento. Em todos os casos, a eficácia do ethephon parece estar limitada à fase de pré-dormência, não se observando praticamente nenhum efeito quando aplicado durante a dormência. É também importante notar os possíveis efeitos nocivos da sua aplicação, como a gomose, a queda de botões e flores, a necrose da ponta dos rebentos, a falta de abertura dos botões florais e a redução do rendimento.

E.3.2.3. Aminoácidos e proteínas

Alguns aminoácidos livres estão associados à exposição ao frio e à resistência à geada. Atuam como solutos compatíveis e estabilizam as membranas e as proteínas de forma semelhante aos açúcares. Um dos aminoácidos que se acumula frequentemente é a **prolina** (Öktem et al. 2008,). Para além das suas propriedades de soluto compatível, a prolina estabiliza os polirribossomas e atua como eliminador de ROS e tampão de pH e redox (Hayat et al. 2012).

A **glicina betaína** é considerada uma ferramenta agronómica interessante para aumentar a tolerância a stresses ambientais, como as baixas temperaturas. Neste sentido, podemos citar o trabalho de Ellena et al. (2024), que demonstrou que, em geadas do final da primavera e início do verão (-2,34°C durante 3,5 horas) em castanheiros jovens, as árvores tratadas com glicina betaína apresentaram uma melhor recuperação em comparação com o controlo não tratado.

Alguns organismos que vivem no frio (plantas árticas, insetos e peixes) segregam **proteínas anticongelantes (AFPs)** que proporcionam tolerância à congelação (Wisniewski e Fuller, 1999); (Griffith e Yaish, 2004), (Gupta e Deswall, 2010). Estas proteínas atuam inibindo o crescimento de cristais de gelo no espaço extracelular das células (Griffith e Yaish, 2004) e inibem a recristalização do gelo que ocorre durante ciclos repetidos de congelação-descongelação quando as plantas são expostas a baixas temperaturas durante um período de tempo prolongado (Wisniewski e Fuller 1999, Griffith e Yaish, 2004).

E.3.2.4. Hidratos de carbono

Os **oligossacáridos** (sacarose, maltose, trealose, etc.) e os polióis (sorbitol, manitol, eritriol, etc.)" estão associados à aclimação ao frio e à resistência às geadas e têm vários efeitos protetores.

Alguns também protegem as células dos danos oxidativos, eliminando ativamente as ROS (Keunen et al., 2013). Entre eles, a rafinose, o galactinol, o sorbitol, o manitol e o mio-inositol parecem ser os sequestradores de radicais livres mais eficazes (Morsy et al., 2007, Folgado et al., 2015).

Como moléculas solúveis de baixo peso molecular que se acumulam em concentrações elevadas sem efeitos citotóxicos, em solução contrariam o stresse osmótico causado pelo gelo. Reduzem coligativamente o ponto de congelação e parecem ser determinantes no processo de vitrificação da água (Wolfe e Bryant, 1999, Strimbeck et al., 2015). A este respeito, a acumulação de hidratos de carbono simples desempenha um papel predominante na tolerância a temperaturas extremamente baixas (inferiores a -40 °C) em plantas lenhosas, favorecendo a vitrificação da água em vez da cristalização (Mensink et al., 2017). Estabilizam as membranas e as proteínas durante a desidratação intensa. A trealose e a maltose são particularmente eficazes nesta função, mesmo em baixas concentrações (Wolfe e Bryant, 1999).

Os **nanocristais de celulose (CNC)** são conhecidos como nanobiomateriais com baixa condutividade térmica e propriedades biodegradáveis. Uma vez que a sua porosidade e estabilidade são superiores às de outros biomateriais naturais, têm sido amplamente utilizados como materiais noutros domínios que tiram partido das suas propriedades de isolamento térmico. Verificou-se que os CNCs são eficazes contra os danos causados pela geada em cerejeiras, videiras (Alhamid et al., 2018) e pessegueiros (Lee et al., 2021). Nesta última cultura, um tratamento com uma concentração de 2% de CNC aumentou a resistência à geada de forma variável, dependendo da temperatura mínima atingida e do estágio fenológico da cultura.

E.3.2.5. Antitranspirantes e bioestimulantes

Entre os produtos de proteção contra a geada, existem formulações antitranspirantes de aplicação foliar que, segundo os fabricantes, têm um efeito protetor contra a geada, e produtos bioestimulantes especificamente desenvolvidos como tratamentos preventivos da geada. Existem diferentes formulações destes produtos a nível internacional. No entanto, a informação científica que sustenta a sua eficácia é limitada (Roman-Figueroa et al., 2020).

Os **antitranspirantes** atuam formando uma membrana semipermeável à base de polímeros orgânicos que impede a perda de água, retardando o congelamento e evitando a desidratação das plantas. O polímero **beta-pineno (di-1-p-menteno)**, obtido a partir da resina de pinheiro, é um dos ingredientes mais utilizados neste tipo de formulação. Quando aplicado, forma uma película lipofílica flexível na superfície externa dos tecidos, que resiste à penetração da humidade no tecido devido à reduzida molhabilidade. A proteção contra a congelação baseia-se provavelmente nesta barreira física que impediria a formação de gelo extrínseco (Roman-Figueroa et al., 2020). Em Espanha, existem vários produtos comerciais formulados com resinas que são comercializados com a função de proteger ou mitigar a transpiração das plantas sob qualquer tipo de stresse abiótico (geada, calor, água, radiação, etc.). No entanto, a sua eficácia e modo de ação como protetores contra a geada não estão totalmente comprovados.

Os **bioestimulantes** são uma categoria comercial de produtos que podem incluir vários componentes com diferentes modos de ação (em alguns casos desconhecidos). Alguns destes componentes são:

- O **polietilenoglicol** demonstrou ser eficaz na redução do ponto de congelação, impedindo a formação de gelo extracelular e aumentando a resistência ao frio dos órgãos tratados.
- Sais minerais à base de boro e/ou potássio (cujo mecanismo de ação já foi abordado anteriormente).

An-Gel Sudoe

- Antioxidantes de origem natural que atuam neutralizando os radicais livres que se formam nas membranas celulares. O **α -tocoferol** é o antioxidante natural que se revelou mais eficaz contra os danos causados pelo frio. Os efeitos do α -tocoferol e do glicerol foram avaliados separadamente e em combinação, com resultados favoráveis na maçã e no tomate (Wolfel e Noga, 1998). Além disso, a aplicação exógena de α -tocoferol pode ajudar a manter a estabilidade e a integridade das membranas celulares sob stress abiótico (Sadiq et al., 2019).
- **Os fosfolípidos**, presentes na membrana celular, aumentam de concentração quando as plantas são expostas a baixas temperaturas. Foi observado que a aplicação exógena de fosfolípidos insaturados pode reproduzir os efeitos dos fosfolípidos endógenos durante a aclimação ao frio e ajudar a manter a integridade da membrana (Krahn, 2020).
- Hidratos de carbono e outros compostos orgânicos que atuam como crioprotectores e mantêm o equilíbrio osmótico (já referido).

Um dos primeiros produtos comerciais que combinava vários componentes (boro, α -tocoferol e polietilenoglicol) foi o **Basfoliar® Frost Protect ou Compo® Frost Protect** by Compo. No IRTA, foram realizados diferentes estudos sobre a sua eficácia em pessegueiros e amendoeiras, concluindo que o produto poderia reduzir a mortalidade das flores em 50% a 10% em geadas tão baixas quanto -5°C , reduzindo as temperaturas em $1,5^{\circ}\text{C}$ a 2°C correspondentes a 10, 50 e 90% de mortalidade (Torres et al., 2017).

Outro produto disponível comercialmente em Espanha para aumentar a resistência às geadas é o **Kryoss** (fabricado pela Sustainable Agro Solutions). Segundo o seu fabricante, o Kryoss é um bioestimulante com compostos osmoprotectores, crioprotectores e antioxidantes que conferem tolerância e evitam os danos causados pelas geadas. Nalguns estudos realizados pelo IRTA em pêras 'Conference', a aplicação de Kryoss conduziu a um aumento de 20% de flores viáveis (sem danos por geada) após uma geada de $-3,5^{\circ}\text{C}$ em condições controladas. No pessegueiro, a aplicação de Kryoss 48 horas antes de um período de 3 dias com temperaturas mínimas tão baixas como $-3,7^{\circ}\text{C}$ aumentou o número de flores não afetadas pela geada em 14%.

Em Portugal, nas fruteiras, a utilização de bioestimulantes como o **ácido ortosilícico** tem sido uma prática seguida por alguns produtores como forma de aumentar a resistência das plantas às baixas temperaturas durante o período crítico das geadas. No entanto, a eficácia desta prática não foi demonstrada.

E.3.1. Conclusões

Existe uma vasta gama de produtos de atenuação dos danos causados pela geada disponíveis no mercado internacional. O modo de ação destes produtos varia consoante o tipo de produto e a sua formulação. Tradicionalmente, o **ethephon** tem sido utilizado para atrasar a data de floração e escapar ao período de risco de geada; no entanto, a utilização deste fitoregulador não está autorizada em alguns países e a sua aplicação pode representar um risco em termos de redução dos rendimentos. Do mesmo modo, foram também utilizados óleos minerais e vegetais para o mesmo fim, mas as atuais limitações regulamentares restringem a sua utilização.

Na mesma linha, existe atualmente uma grande variedade de produtos antitranspirantes e bioestimulantes contra a geada, embora o seu efeito, em muitos casos, não seja apoiado por estudos conclusivos e haja pouca informação científica sobre o seu modo de ação. Seria interessante continuar a experimentar, em condições controladas, estes produtos, que poderiam proporcionar alguma proteção (mesmo que parcial) no âmbito de uma estratégia combinada de controlo das geadas.

Referências

- Alhamid, J.O.; Mo, C.; Zhang, X.; Wang, P.; Whiting, M.D.; Zhang, Q. (2018). Os nanocristais de celulose reduzem os danos causados pelo frio aos botões reprodutivos nas culturas frutíferas. *Biosyst. Eng.*, 172, 124-133.
- Ambroise V, Legay S, Guerriero G, Hausman JF, Cuypers A, Sergeant K. (2020). As raízes da resistência e tolerância à geada das plantas. *Plant Cell Physiol.* 1 de janeiro;61(1):3-20. doi: 10.1093/pcp/pcz196
- Bartosz, G. (1997). Stress oxidativo nas plantas. *Acta physiologiae plantarum*, 19(1), 47-64. <https://doi.org/10.1007/s11738-997-0022-9>
- Bredow, M., Tomalty, H. E., Smith, L., Walker, V. K. (2017). Atividades de gelo e antinucleação de uma proteína de ligação ao gelo da grama anual, *Brachypodium distachyon*. *Planta, Célula e Meio Ambiente*, 41, 983-992. <https://doi.org/10.1111/pce.12889>
- Brown, P. H., Bellaloui, N., Wimmer, M. A., Bassil, E. S., Ruiz, J., Hu, H., ... Pfeiffer H., Dannel, F., Römheld, V. (2002). O boro na biologia das plantas. *Plant biology*, 4(02), 205-223. <https://doi.org/10.1055/s-2002-25740>
- Crisosto, C. H., Miller, A. N., Lombard, P. B., Robbins, S. (1990). Efeito das aplicações de ethephon no outono no atraso da floração, floração e frutificação do pêssego e da ameixa. *HortScience*, 25(4), 426-428. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.25.4.426>
- Dami, I. E, Beam, B. A. (2004). *Am. J. Enol. Vitic.* 55:269-275; DOI: 10.5344/ajev.2004.55.3.26
- Donderalp, V. Dursun, A. (2022). Melhoria da tolerância à geada no tomate pela aplicação foliar de sulfato de potássio, *Scientia Horticulturae*, Volume 295, 10868, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110868>
- Dwyer, P. J., Bannister, P., Jameson, P. E. (1995). Efeitos de três reguladores de crescimento vegetal no crescimento, morfologia, relações hídricas e resistência à geada em limoeiro (*Pittosporum eugenioides* A.Cunn). *New Zealand Journal of Botany*, 33(3), 415-424. <https://doi.org/10.1080/0028825X.1995.10412968>
- Ellena, F.; Gonzalez, A.; Romero, I.; Matamala, L.; Gavilán-CuiCui, G.; Ruiz, A.; Meriño-Gergichevich, C. (2024). O tratamento preventivo com glicina betaína atenua os danos causados pelo frio na primavera e no verão em castanheiros jovens sob variabilidade climática no sul do Chile. 10.20944/preprints202405.0484.v1.
- Griffith M., Yaish M.W.F. (2004) Antifreeze proteins in overwintering plants: a tale of two activities. *Trends Plant Sci.* 9: 399-405.
- Gupta, R. and Deswal, R. (2014) Antifreeze proteins enable plants to survive in freezing conditions. *J. Biosci.* 39 931-944] DOI 10.1007/ s12038-014-9468-2
- Hayat S., Hayat Q., Alyemeni M.N., Wani A.S., Pichtel J., Ahmad A. (2012) Role of proline under changing environments: a review. *Plant Signal Behav.* 7: 1456-1466.
- Karimi, R. (2017). A tolerância ao congelamento induzida pelo potássio está associada a alterações endógenas do ácido abscísico, poliaminas e açúcares solúveis na videira. *Scientia Horticulturae*, Volume 215. Páginas 184-194, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.018>
- Karimi, R. (2019). Aumento da tolerância à geada da primavera na videira Sultana pela aplicação no início da estação de sulfato de cálcio e sulfato de zinco. *Journal of Plant Nutrition*, 42(19), 2666-2681. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1659343>
- Krahn, M. P. (2020). Fosfolipídios da membrana plasmática - reguladores ou consequência da polaridade celular? *Fronteiras em Biologia Celular e do Desenvolvimento*, 8, 277. <https://doi.org/10.3389/fcell.2020.00277>
- Lee S, Jeong JH, Kim SH, Shin H.(2021). Aumento da tolerância ao congelamento e observação termográfica de pessegueiros inteiros aplicados com nanocristais de celulose sob condições realistas de geada de primavera usando um sistema solo-fruto-diafragma. *Plantas*; 10(11):2301. <https://doi.org/10.3390/plants10112301>

An-Gel Sudoe

- Levitt, J. (1980) Responses of plants to environmental stress, 2nd Edition, Volume 1: Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses. 497 pp. Academic Press, Nova Iorque
- Loseke, B. A; Read, P. E. ; Blankenship, E. E. (2015). Prevenção de lesões por congelamento de primavera em videiras usando múltiplas aplicações de Amigo Oil e ácido naftalenoacético. *Scientia Horticulturae*, Volume 193, 294-300. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.025>
- Öktem H.A., Eyidodan F., Demirba D., Bayraç A.T., Öz M.T., Özgür E., et al. (2008) Antioxidant responses of lentil to cold and drought stress. *J. Plant Biochem. Biotechnol.* 17: 15-21.
- Ouellet, F., Charron, J.-B. (2013). Aclimação ao frio e tolerância ao congelamento em plantas. Em eLS, John Wiley & Sons, Ltd. (Ed.). eLS, 7, 93. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0020093.pub2>
- Pearce, R. (2001). Congelamento e danos em plantas. *Ann. Bot.* 87 (4), 417-424. doi: 10.1006/anbo.2000.1352
- Persico, M. J.; Smith, D. E. Centinari M. (2021). Atrasar o abrolhamento para reduzir os danos causados pelo congelamento: desempenho sazonal da videira e composição do vinho em duas cultivares de *Vitis vinifera*. *Am J Enol Vitic.* 2021 72:346-357 ; DOI: 10.5344/ajev.2021.20076
- Perry, K. B. (1998). Noções básicas de proteção contra geadas e congelamento para culturas hortícolas. *HortTechnology horttech*, 8(1), 10-15. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.8.1.10>
- Rasmussen D.H., MacKenzie A.P. (1972) Effect of solute on ice-solution interfacial free energy; calculation from measured homogeneous nucleation temperatures In *Water Structure at the Water-Polymer Interface*. Editado por Jellinek H.H.G. pp. 126-145, Plenum Press, Nova Iorque/Londres.
- Rieger, M. (1989). Proteção contra o congelamento de culturas hortícolas. *Horticultural Reviews*, 11, 45-109. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.8.1.10>
- Román-Figueroa, C., Bravo, L., Paneque, M., Navia, R., Cea, M. (2021). Produtos químicos para proteção de culturas contra o estresse de congelamento: uma revisão. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 207(3), 391-403. <https://doi.org/10.1111/jac.12489>
- Rufat, J. e Arbones, A. (2006). Aplicações foliares de boro em amendoeiras em zonas de sequeiro. *Acta Horti.* 721: 219-225. DOI: 10.17660/ActaHortic.2006.721.29
- Saha J., Brauer E.K., Sengupta A., Popescu S.C., Gupta K., Gupta B. (2015) Polyamines as redox homeostasis regulators during salt stress in plants. *Front. Environ. Sci.* 3: 21
- Sadiq, M., Akram, N. A., Ashraf, M., Al-Qurainy, F., Ahmad, P. (2019). Regulação induzida por alfa-tocoferol do crescimento e metabolismo em plantas sob condições de não estresse e estresse. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(4), 1325-1340. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09936-7>
- S. Saadati, B. Baninasab, M. Mobli, M. Gholami (2021). Aplicação foliar de potássio para melhorar a tolerância ao congelamento das folhas de oliveira, aumentando alguns compostos de osmólito e atividade antioxidante. *Sci Hortic*, 276 (2021), Artigo 109765.
- Snyder R.L., De Melo-Abreu J.P. (2010). Proteção contra as geadas: fundamentos, prática e economia. Volume 1. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO). Roma.
- Sarikhani, H., Haghi, H., Ershadi, A., Esna-Ashari, M., Pouya, M. (2014). A aplicação foliar de sulfato de potássio aumenta a resistência ao frio da videira (*Vitis vinifera* L.). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 89(2), 141-146. <https://doi.org/10.1080/14620316.2014.11513060>
- Strimbeck R.G., Schaberg P.G., Fosdall C.G., Schröder W.P., Kjellsen T.D. (2015) Tolerância a temperaturas extremamente baixas em plantas lenhosas. *Front. Plant Sci.* 6: 1-15.
- Torres, E. (2020). Aplicações de cálcio para mitigação do bitter pit em maçã: Análise da eficácia da aplicação por fertirrigação, aplicações foliares e imersões pós-colheita. *Vida Rural*, (487), 45-52.

An-Gel Sudoe

- Torres, E., Alonso, D., Miarnau, X. (2017). Basfoliar® Frost Protect, uma nova ferramenta para reduzir os danos causados pela geada em árvores frutíferas. *Revista De Fruticultura*, 53, 44-53. <https://quatrecbn.es/>
- Uemura, M.; Tominaga, Y.; Nakagawara, C.; Shigematsu, S.; Minami, A.; Kawamura, Y. (2006) Responses of the plasma membrane to low temperatures. *Physiol. Plant.*, 126, 81-89.
- Veysel, D., Atilla D. (2022). Melhoria da tolerância à geada no tomate pela aplicação foliar de sulfato de potássio, *Scientia Horticulturae*, Volume 295, 110868, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110868>
- Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., Guo, S. (2013). O papel crítico do Potássio na resposta ao stress das plantas. *International Journal of Molecular Science*, 14, 7370-7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>
- Wang, H., Dami, I. E. (2020). Avaliação de produtos retardadores da rebentação para evitar danos causados por geadas de primavera em videiras. *Jornal Americano de Enologia e Viticultura*, 71(3), 181-190. DOI:10.5344/ajev.2020.1907
- Wang, H.; Blakeslee, J.; Jones, M.; Chapin, L.; Dami, I. (2020). O ácido abscísico exógeno aumenta as respostas fisiológicas, metabólicas e transcricionais de aclimação ao frio em videiras cultivadas em estufa. *Ciência das Plantas*. 293. 10.1016/j.plantsci.2020.110437.
- Waraich, E.A, Ahmad, R, Halim, A, Aziz, T. (2012). Alívio do stress térmico através da gestão de nutrientes em plantas cultivadas: uma revisão. *Journal of soil science and plant nutrition*, 12(2), 221-244. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012000200003>
- Wilkinson S, Clephan AL, Davies WJ. O fecho rápido dos estomas induzido por baixas temperaturas ocorre em folhas de *Commelina communis* tolerantes ao frio mas não em folhas de tabaco sensíveis ao frio, através de um mecanismo que envolve cálcio apoplástico mas não ácido abscísico. *Plant Physiol*. 2001;126(4):1566-1578. doi:10.1104/pp.126.4.1566
- Wisniewski M., Fuller M. (1999) Ice nucleation and deep supercooling in plants: new insights using infrared thermography In *Cold-Adapted Organisms: Ecology, Physiology, Enzymology and Molecular Biology*. Editado por Margesin R., Schinner F. pp. 105-118, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Wisniewski M., Fuller M. I. C. K., Palta J., Carter J., Arora R. (2004). Nucleação de gelo, propagação e super-resfriamento profundo em plantas lenhosas. *J. Crop Improvement* 10 (1-2), 5-16. doi: 10.1300/J411v10n01_02.
- Wölfel, D., Noga, G. (1998). O efeito do α -tocoferol e do glicerol na prevenção de lesões por congelamento das flores. *Acta Horticulturae* 466, 95-102.
- <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.466.16>
- Zachariassen K.E., Kristiansen E. (2000) Ice nucleation and antinucleation in nature. *Cryobiology* 41: 257-279.

F. Aspectos sociais do controlo das geadas

As geadas, as medidas adaptadas para as combater e os seus efeitos sobre a produção e a qualidade das culturas afetadas, têm um impacto social significativo, tanto para os produtores afetados como para a sociedade que com eles convive, mas sem ter uma relação direta com a produção agrícola.

As opiniões dos produtores sobre a gestão dos riscos de geada e a utilização de defesas são importantes na produção agrícola e para garantir a produção de certas culturas ao longo do tempo e o seu desenvolvimento e sustentabilidade a longo prazo.

Por outro lado, tendo em conta que a população ativa dedicada à produção agrícola é cada vez menos numerosa (na Catalunha mal ultrapassa 1% do total da população ativa) e representa uma percentagem cada vez menor da economia, **a resposta social das pessoas não ligadas à agricultura** nos aspetos relacionados com a ocorrência de geadas e os mecanismos de defesa contra as mesmas pode condicionar cada vez mais a sua aplicação.

A presença de fumos ou partículas gerados pela combustão de materiais para obtenção de calor, o ruído gerado pelas torres de ventilação ou a concorrência da utilização da água para proteção das culturas com outras utilizações podem condicionar a possibilidade de utilização de sistemas de proteção e, em alguns casos, comprometer a viabilidade de algumas culturas ou variedades em determinadas zonas.

Neste sentido, nas diferentes áreas onde o projeto está a ser desenvolvido, foi feita uma avaliação das condicionantes e reações sociais que surgem em relação à geada e ao seu controlo.

F.1. Espanha

As geadas e as medidas adaptadas para as combater têm uma aplicação no sector agrícola e na produção agrícola em certas zonas. No entanto, este domínio agrícola está inserido em contextos muito mais urbanos onde a relação com a produção agrícola e os seus mecanismos é totalmente desconhecida.

Esta situação condiciona os aspetos sociais da luta contra a geada e conduz a algumas situações específicas:

- O problema das geadas não é conhecido do grande público fora do sector agrícola, para além dos relatos dos meios de comunicação social.
- Há também uma falta de consciência da necessidade de utilizar meios de defesa para mitigar os efeitos dramáticos que podem ter nas culturas.
- Na utilização de dispositivos de proteção contra a geada, os conflitos surgem apenas quando causam incómodos ao público, como a presença de fumos ou o ruído provocado pelos ventiladores.
- Em Espanha, a irrigação é uma técnica tradicional em muitas áreas com climas áridos e, em geral, a sua utilização é considerada necessária para obter bons rendimentos. Nos últimos anos e como consequência dos episódios de seca e escassez de água, as zonas urbanas começaram a questionar a elevada percentagem de utilização de água pela agricultura (até 80%) em comparação com outras atividades. No entanto, até agora, não houve qualquer protesto social contra a utilização da água na luta contra as geadas, porque nas alturas em que é utilizada (primavera) existem normalmente reservas suficientes para que não entre em concorrência com outras utilizações. Além disso, a sua utilização não gera qualquer impacto perturbador nas zonas vizinhas.

F.1.1. País Basco

No País Basco, as culturas sensíveis aos efeitos da geada (uvas para vinho) concentram-se em zonas muito específicas, nomeadamente em Rioja Alavesa, onde são produzidas uvas para vinho para a conhecida denominação de origem Rioja.

Apesar do valor significativo da produção, **a grande maioria dos viticultores não utiliza atualmente sistemas ativos de controlo das geadas nas vinhas.**

Esta zona tem um carácter eminentemente rural e a produção de vinho é a base da economia local. Neste contexto, a proteção contra as geadas é conhecida, aceita e gera muito poucas reações sociais entre as pessoas não diretamente relacionadas com a produção agrícola.

F.1.2. Região de Múrcia

A produção de frutos e produtos hortícolas precoces na Região de Múrcia é uma das principais atividades agrícolas e fez da Região um ponto de referência para a exportação destes produtos. **O elevado valor destes produtos faz com que a proteção contra as geadas seja uma atividade importante para a manutenção da produção ao longo dos anos.**

Um dos sistemas tradicionalmente utilizados para controlar as geadas na Vega de Murcia tem sido a queima de vários produtos para aumentar as temperaturas das plantações em risco. A queima de substâncias para combater as geadas na Vega de Murcia tem um impacto significativo na qualidade do ar nas localidades próximas de grandes zonas frutícolas, como Cieza, Abarán e Molina de Segura.¹⁹ Esta situação afeta tanto a saúde pública como o ambiente das populações mais próximas das zonas de produção e gera, por vezes, controvérsias de carácter social. A aplicação de melhores práticas agrícolas e a adoção de tecnologias limpas são essenciais para atenuar os efeitos negativos nas populações circundantes.

A queima de substâncias anticongelantes pode ter consequências para a saúde humana da população circundante devido a:

- Problemas respiratórios: As partículas e os gases tóxicos podem agravar doenças como a asma, a bronquite crónica e outras doenças respiratórias.
- Doenças cardiovasculares: A exposição prolongada a estes poluentes tem sido associada a um risco acrescido de ataques cardíacos e outras doenças cardíacas.
- Irritação dos olhos e da garganta: Gases como o SO₂ e o NO₂ podem causar irritação das membranas mucosas.

Na Região de Múrcia, o controlo das emissões poluentes e a proteção da qualidade do ar são regulados por diversos regulamentos e legislação a nível europeu, nacional e regional. Os principais regulamentos aplicáveis são os seguintes:

- **Diretiva 2008/50/CE relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa:**
- **Diretiva 2016/2284/UE** relativa à redução das emissões nacionais de certos poluentes atmosféricos (NEC):
- **Lei 34/2007**, de 15 de novembro, sobre a qualidade do ar e a proteção da atmosfera:

¹⁹ Jornal La Verdad, 17 de junho de 2016: <https://www.laverdad.es/nuestra-tierra/medio-ambiente/201404/01/nubes-de-humo-contras-las-heladas-y-la-salud.html>

- **Real Decreto 102/2011**, de 28 de janeiro, sobre a melhoria da qualidade do ar:
- **Real Decreto 815/2013**, de 18 de outubro, que aprova o Regulamento de emissões industriais e desenvolvimento da Lei 16/2002, de 1 de julho, de prevenção e controlo integrados da poluição:

Ao nível dos regulamentos regionais da Região de Múrcia, existem várias disposições relacionadas com a presença de fumos poluentes.

- **Lei 4/2009**, de 14 de maio, sobre a proteção integrada do ambiente:
- **Plano de Melhoria da Qualidade do Ar da Região de Múrcia:**
- **Decreto 24/2010**, de 23 de abril, que aprova o Plano Regional de Prevenção e Controlo da Poluição Atmosférica:

Estes regulamentos implicam a aplicação de medidas específicas e de sanções em caso de incumprimento:

- **Autorizações ambientais:** As atividades agrícolas que envolvam a queima de resíduos devem ter as autorizações relevantes que regulam as suas emissões e medidas de controlo.
- **Planos de ação locais:** Os municípios da Região de Múrcia podem desenvolver planos de ação locais para combater a poluição atmosférica, em conformidade com a regulamentação regional e nacional.
- **Sanções:** O não cumprimento dos regulamentos pode levar a sanções administrativas, incluindo coimas e a obrigação de tomar medidas corretivas.

F.1.3. Lleida

Lleida é a capital da região mais agrícola da Catalunha. A economia desta zona depende em grande medida da produção agroalimentar, incluindo a produção agrícola e pecuária e a indústria de transformação ligada a estas atividades.

Lleida é conhecida mundialmente pela sua fruta doce, que ocupa cerca de 34 000 hectares, aproximadamente 82% da superfície frutícola total da Catalunha, e é uma referência na fruticultura de toda a Espanha.

A proteção contra a geada destas culturas sempre foi uma preocupação para os produtores e para todos os intervenientes na cadeia de produção que necessitam de uma produção elevada e contínua de produtos (fornecedores de fatores de produção, empresas de embalagem, etc.) para manterem a sua atividade.

Esta preocupação foi reforçada na sequência de dois grandes eventos de geada em 2021, 2022 e 2024 (secção C.1.3.1). C.1.3 na página 47). Esta situação levou a um aumento do investimento em sistemas de defesa ativa, especialmente em **instalações de aspersão e microaspersão** (em zonas onde existe água disponível). As torres de ventilação são utilizadas em menor escala e, finalmente, as velas ou os aquecedores são utilizados em parcelas muito específicas. Não há dúvida de que a consciência da necessidade de se proteger o mais possível contra as geadas aumentou nos últimos anos.

De um ponto de vista social, pode dizer-se que Lérida está mais ligada à atividade agrícola do que outras regiões que se dedicam principalmente à indústria ou ao turismo. Os habitantes da zona mantêm, diretamente ou através de familiares, uma certa relação com a cultura e as questões rurais.

Por conseguinte, a questão das **geadas e os métodos de controlo utilizados não costumam causar conflitos sociais** para além do incómodo gerado quando são utilizados sistemas produtores de fumo nas imediações das grandes cidades e, sobretudo, da capital da província.

²⁰Como Lérida é uma zona tradicionalmente irrigada, a utilização da água para o controlo das geadas é plenamente aceite e é mesmo defendida como o sistema de controlo ideal, em alternativa aos sistemas que produzem fumo.

²⁰ Diari Segre (4-4-2022.- Ecologistes demanen prohibir les cremes contra les gelades als camps de Lleida per la "contaminació" que produeixen. https://www.segre.com/ca/comarques/220404/ecologistes-demanen-prohibir-les-cremes-contra-les-gelades-als-camps-lleida-per-contaminacio-que-produeixen_163354.html Consultado em 6 de junho de 2024.

F.2. França.

F.2.1. Moyenne-Garonne

Quatro espécies são principalmente afetadas pela geada: vinhas, maçãs, ameixas e kiwis. Embora as bagas, os frutos de caroço, as nozes, as amêndoas, as avelãs e as castanhas (ver abaixo) sejam cultivadas em áreas mais pequenas, ou tradicionalmente em encostas menos propensas a geadas, foram frequentemente afetadas em 2021, 2022 e mesmo localmente em 2024.

O Tarn-et-Garonne e o Lot-et-Garonne são departamentos tradicionalmente produtores de frutos de caroço e de pomóideas, com um declínio dos pessegueiros e damasqueiros devido a problemas de asfixia no vale do Garonne. Em contrapartida, apesar dos problemas de bacteriose, os kiwis continuam a desenvolver-se, o que é favorecido por um clima mais quente.

A ameixa Ente, destinada à produção de ameixas em Agen, sofreu muito com as geadas de 2021 e 2022, nomeadamente nas planícies férteis do Lot.

As vinhas, que abandonaram a remoção de infestantes em benefício das pastagens permanentes, tornaram-se ainda mais vulneráveis devido ao aparecimento mais precoce da vegetação, o que também se aplica às ameixeiras, macieiras e pereiras.

Os produtores de kiwis e alguns viticultores e produtores de maçã continuam a controlar as geadas através da rega aérea em áreas propensas a geadas, onde a água é abundante. Onde os recursos hídricos são limitados, foi desenvolvida a proteção por ventilação com torres fixas, embora seja impossível proteger abaixo dos -3,5 a -4°C e a área ativa raramente exceda os 3 ha.

Em 2021 foi demonstrado no sector de Saint-Emilion que o fumo produzido pela queima de palha ou de feno molhado não aumenta a temperatura porque as partículas emitidas são mais pequenas do que o comprimento de onda de perda de calor por infravermelhos (ACMG).

As fortes geadas de 2021 e 2022 contribuíram, em certa medida, para a seleção de sistemas de controlo eficazes. Os vendedores de produtos supostamente concebidos para evitar as geadas são menos ouvidos, e sistemas como os aquecedores de ventoinhas horizontais rebocados só são utilizados durante geadas ligeiras. Os sistemas de aquecimento propostos para os ventiladores para aumentar a sua eficiência em caso de geadas fortes não produziram resultados conclusivos, exceto do ponto de vista do consumo excessivo de combustíveis fósseis.

O problema do ruído das torres eólicas de duas pás, cujas pontas das hélices ultrapassam a barreira do som, está a ser resolvido, ou pelo menos atenuado, pela instalação de hélices de quatro ou cinco pás. No entanto, o preço de compra dessas torres aumentou para cerca de 60.000 euros por 3 hectares! A utilização de drones equipados com câmaras de imagem térmica está a revolucionar a compreensão dos movimentos do ar provocados pelos ventiladores. Eis uma imagem tirada numa noite gelada por um drone num plano inclinado perto de uma vinha protegida por uma torre de três pás perto de Saint-Emilion (Figura 59).

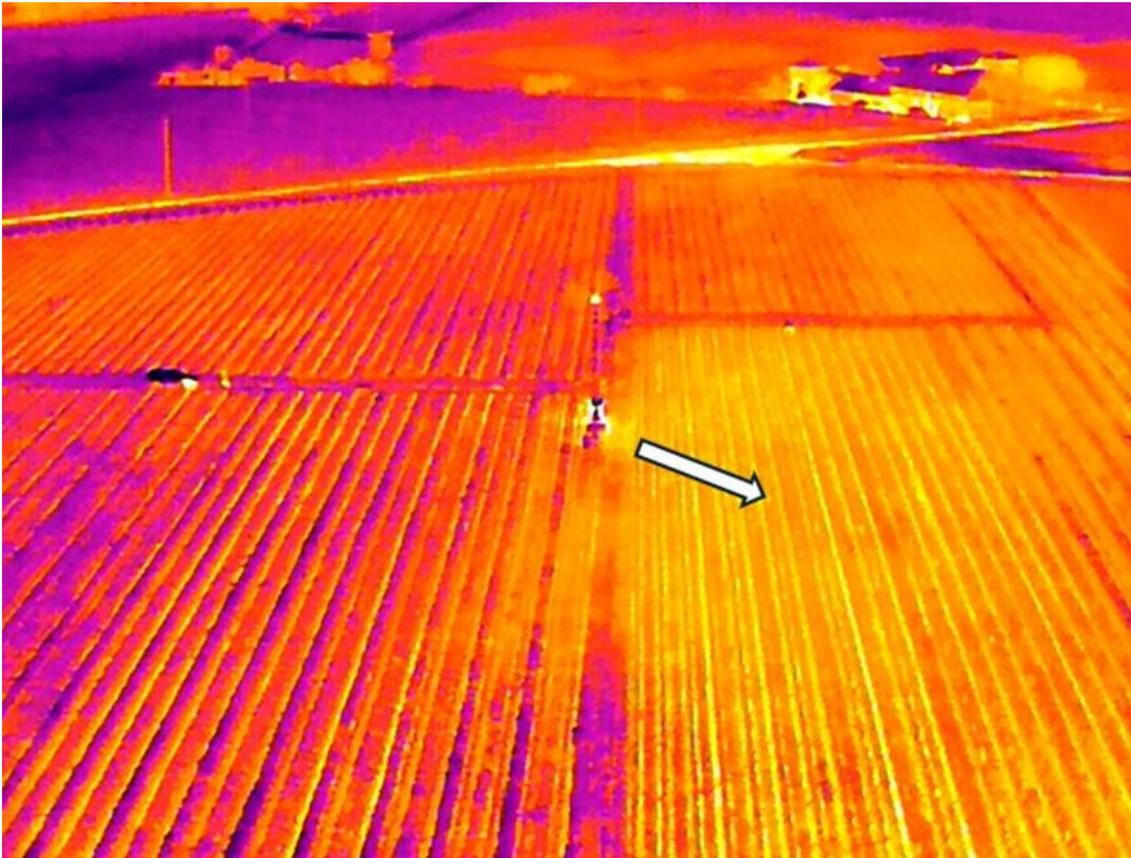


Figura 59.- Imagem térmica obtida por um drone (pixel 5 cm), à sua altitude máxima autorizada, de uma vinha protegida por uma torre eólica de três pás durante uma noite de geada de radiação na vinha de Saint-Emilion. A rotação é no sentido dos ponteiros do relógio.

Nos casos em que o aquecimento ainda era efetuado com aquecedores a óleo, as críticas dos habitantes das cidades vizinhas levaram os viticultores a mudar para outros métodos menos poluentes.

Não existe um movimento social contra a luta contra as geadas, tal como não existe um movimento social contra a rega no verão, porque a população local continua preocupada com o êxito da produção vitícola e frutícola local. O governo é favorável à utilização de maiores volumes de água na primavera para combater eficazmente as geadas, quando o solo o permite, em vez de prestar assistência financeira aos agricultores em dificuldades após uma geada. O problema continua a ser o caudal instantâneo disponível na exploração, uma vez que as redes de abastecimento de água foram concebidas para a rega de verão, que requer apenas o equivalente a 40 m³/ha por dia, ao passo que o combate às geadas requer esse volume/ha por hora durante cerca de dez horas, o que implica bombas e condutas maiores para transportar um caudal quase dez vezes superior.

As discussões sobre a implementação de soluções sustentáveis para combater as vagas de calor no verão centram-se em formas de fornecer maiores volumes de água às parcelas a proteger, com armazenamento de reserva e melhor utilização das águas subterrâneas aluviais. Além disso, a rega por gotejamento, que não molha o solo, está a ser posta em causa e substituída por sistemas de aspersão aérea de baixa pressão. Isto permitirá aumentar a condutividade térmica do solo imediatamente antes de uma vaga de frio na primavera, reduzindo o risco em 1 a 2°C, e climatizar as parcelas no verão (projectos-piloto em curso). Eis uma imagem térmica tirada a

6/08/2024 na região de Hérault, mostrando um pomar de maçãs irrigado por aspersão a uma temperatura de 25°C, a área irrigada por gotejamento a 30°C e o campo nu à esquerda a 40°C (Figura 60).

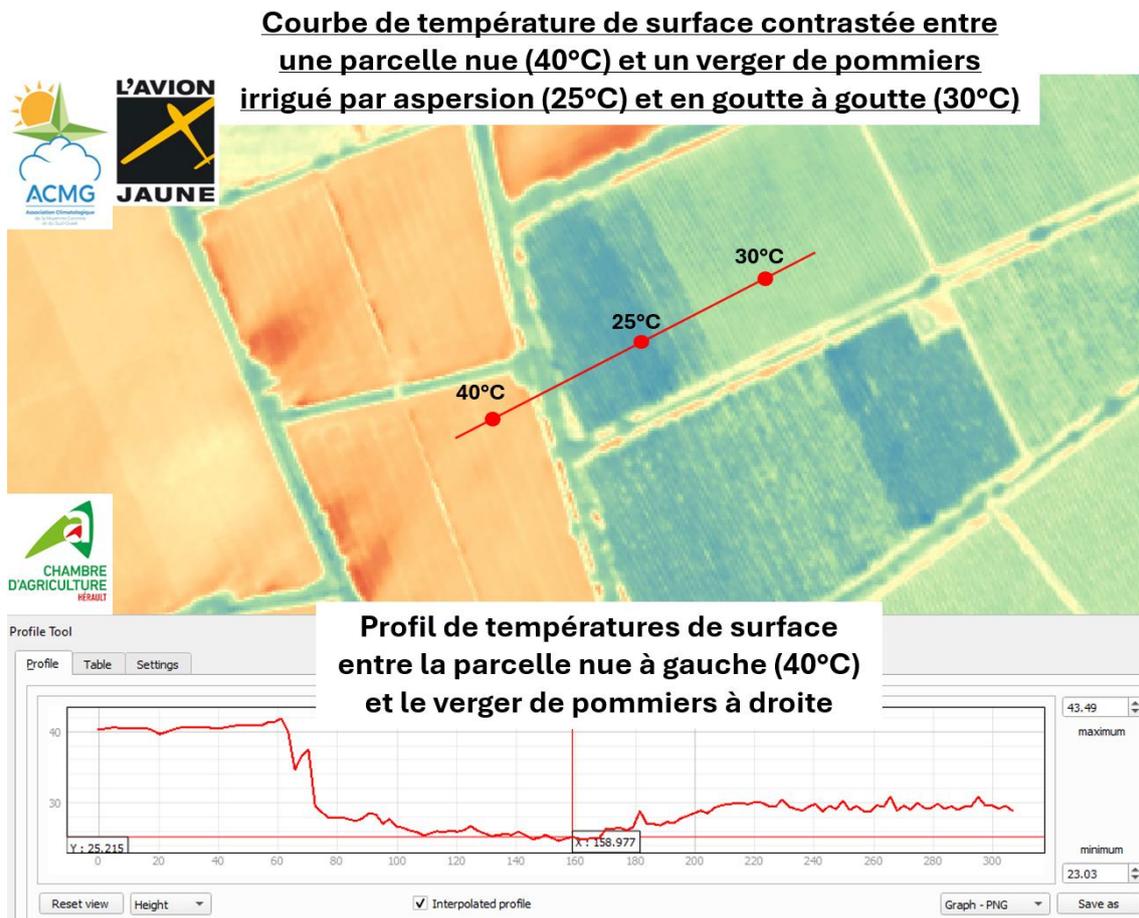


Figura 60.- Imagem térmica obtida com um ultraleve (pixel de 2 m) em 06/08/2024 no departamento do Hérault por volta das 14h30 para caracterizar as ilhas de calor e de frio e constatar o efeito positivo da rega dos pomares para atenuar o impacto das ondas de calor.

Estão em curso discussões sobre as tarifas de eletricidade, que serão reduzidas a partir de 1 de abril, com vista a obter custos de exploração aceitáveis a partir de março, mas tal exigirá a concorrência com outras utilizações de eletricidade em França, principalmente a nuclear.

Por último, o seguro de colheitas ainda não encontrou grande apoio entre os produtores de maçã e de kiwi que já instalaram redes antigranizo, nem entre os produtores em dificuldade que consideram os prémios deste seguro demasiado elevados.

F.2.2. Zona de produção de castanha

Pode ser difícil quantificar o efeito social das geadas de primavera nos castanheiros.²¹No entanto, empiricamente, os produtores de castanha atribuem as perdas de colheita em 70% dos casos ao mau tempo durante a floração, em 25% dos casos a temperaturas desfavoráveis às flores femininas e em 5% dos casos às geadas de primavera.

No sudoeste da França os produtores limitam-se atualmente a observar o impacto das geadas quando estas ocorrem. A sua principal preocupação é a de conciliar o seu orçamento anual (como pagar as despesas) com uma quebra de produção devida à geada. Têm também dúvidas sobre o efeito da geada na cessação da seiva, no atraso da vegetação e no enfraquecimento das árvores, que não podem ser observados diretamente após a geada e que podem contribuir para uma perda de rendimento.

Os produtores de castanha são frequentemente agricultores de múltiplas culturas. A proteção da cultura do castanheiro é por vezes relegada para segundo plano em relação à gestão das outras culturas agrícolas, e é na altura da colheita que se avaliam as consequências do ano (climáticas e sanitárias), com uma certa passividade face a um ano "bom" ou "mau".

Uma questão é como identificar as alavancas para 1) aumentar a sensibilização para os riscos das geadas de primavera e 2) envolver os agricultores na proteção contra as geadas.

²¹ -Mouravy, M. 2021. Le gel sur châtaignier - Sensibilités, physiologie et variétés. La journée de la châtaigne, Mazeyrolles, França (com. pess.).

F.3. Portugal

Em Portugal, apesar da ocorrência de geadas primaveris ser muito frequente em algumas regiões, nomeadamente no interior do país e particularmente no nordeste, onde a produção frutícola tem uma importância económica e social significativa, a utilização de métodos ativos de proteção contra as geadas é pouco significativa e limitada a um número reduzido de produtores. **Neste sentido, a ocorrência de geadas é encarada pela maioria dos produtores como um fenómeno natural e uma fatalidade em que pouco ou nada se pode fazer para evitar danos.**

Consequentemente, os métodos de proteção contra a geada não têm aspetos sociais ou económicos relevantes. Os principais aspetos que podem ser referidos estão relacionados com as perdas e as suas consequências para a sustentabilidade económica dos produtores e das cooperativas e empresas do sector. O seguro de colheitas minimiza estes impactos, mas não é suficiente para garantir a sustentabilidade da atividade agrícola a médio e longo prazo. A redução da produção afeta a atividade das cooperativas e empresas do sector, gerando problemas sociais relacionados com o desemprego.

G. O papel do seguro agrícola na gestão do risco de geada

Em todos os países e regiões abrangidos por este estudo, o seguro agrícola sob a forma de cobertura dos danos causados pela geada está muito desenvolvido.

As principais características da cobertura do seguro agrícola em cada zona são descritas a seguir.

G.1. Espanha

O sistema espanhol de Seguro Agrário Combinado é uma referência a nível mundial. Evoluiu e adaptou-se à realidade do sector, oferecendo uma vasta gama de produtos e coberturas. O seguro agrário em Espanha demonstrou ser um instrumento essencial para a gestão dos riscos climáticos e para a manutenção da atividade agrícola e pecuária.

²²O seguro agrário em Espanha é regulado pela Lei do Seguro Agrário Combinado e seu Regulamento, que estabelece as normas e orientações para o seu funcionamento no país.

Algumas das principais questões relacionadas com a legislação sobre seguros agrícolas em Espanha são

- 1. Lei do Seguro Agrário Combinado: A Lei 87/1978, promulgada em 28 de dezembro de 1978, estabelece as bases do seguro agrário combinado. Foi aprovada por acordo entre os partidos políticos, as organizações agrícolas e as companhias de seguros. **Esta lei é fundamental para o atual sistema de seguro agrícola consolidado.**
- 2) Regulamento de aplicação da Lei do Seguro Agrário Combinado: o Real Decreto 2329/1979, de 14 de setembro, aprova o regulamento de aplicação da Lei do Seguro Agrário Combinado. Este regulamento fornece **pormenores específicos sobre a aplicação do seguro agrícola.**
- 3. Plano de seguro agrário combinado: O Governo espanhol estabelece planos anuais de seguro agrário. Estes planos definem as coberturas, as subvenções e as medidas específicas de proteção dos agricultores e dos criadores de gado contra os riscos climáticos, as doenças e outros acontecimentos adversos. **Os planos são atualizados regularmente e aprovados por acordo em Conselho de Ministros.**
- 4. A Entidad Estatal de Seguros Agrarios (ENESA) é responsável pela coordenação e supervisão do sistema de seguros agrícolas em Espanha. **A ENESA trabalha em colaboração com as Comunidades Autónomas e outras entidades para garantir a eficácia e a correta aplicação das políticas de seguros agrícolas.**
- 5. O resseguro no sistema de seguro agrícola espanhol: O sistema de seguros agrícolas inclui o resseguro que **partilha os riscos entre as companhias de seguros e o Estado.** Este facto garante a estabilidade e a sustentabilidade do sistema.
- 6. Registo dos tomadores **de seguros**: Existe um **registo centralizado dos tomadores de seguros agrícolas**, que permite um acompanhamento e uma gestão eficazes das apólices subscritas.

²² MAPA: Legislação sobre seguros agrícolas:

https://www.mapa.gob.es/es/enesa/legislacion/legislacion/legislacion_estatal_materia_seguros.aspx

- O seguro agrícola em Espanha destina-se a cobrir uma **vasta gama de riscos que afetam a agricultura e a pecuária**. Alguns dos principais riscos cobertos são:
 - o Adversidades climáticas: geadas, chuvas torrenciais, ventos fortes, secas, granizo (danos nas culturas e nas estruturas).
 - o Incêndios e explosões nas explorações agrícolas
 - o Danos causados pela vida selvagem: danos causados por animais selvagens, como o javali ou o veado, que podem afetar as culturas.
 - o Acidentes de trabalho: ocorridos na própria exploração agrícola, tais como lesões sofridas pelos trabalhadores.

Evolução da cobertura dos seguros e perspectivas futuras

A adesão ao seguro agrícola em Espanha **aumentou significativamente** nos últimos anos. Por exemplo, o crescimento da área segurada em 2020 registou um aumento de 23%, atingindo 7,8 milhões de hectares e o capital asegurado ascendeu a 15,2 mil milhões de euros.²³ Em 2023, os sinistros registados pelos seguros agrícolas ascenderam a 1.241 milhões de euros, ultrapassando o recorde de 2022 em 56% . O prazo médio de pagamento dos sinistros foi de 26 dias para os sinistros agrícolas e de 28 dias para os sinistros pecuários. Em 2023, foram subscritas 366 701 apólices de seguro agrícola em Espanha, com uma área segura de 5,97 milhões de hectares e um capital seguro de 16 748 milhões de euros (Figura 61).

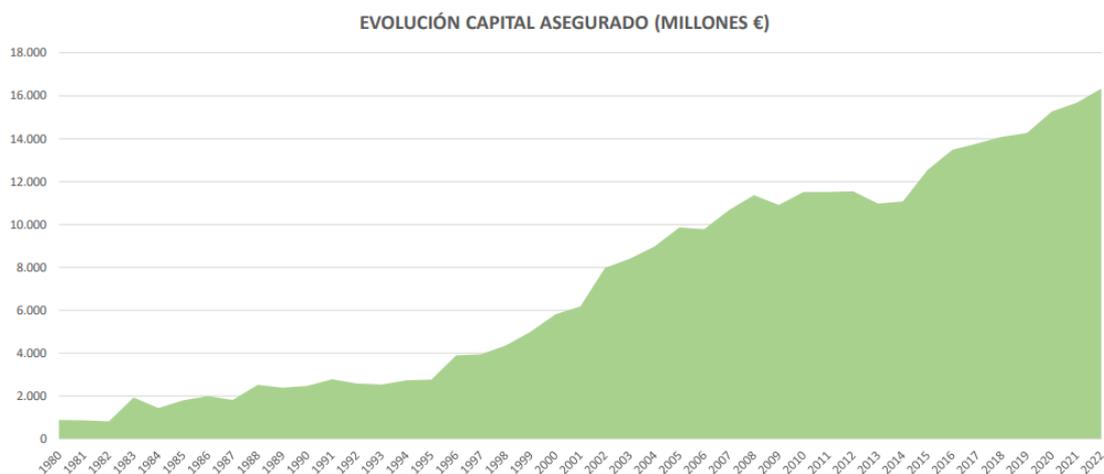


Figura 61.-Evolução do capital seguro em Espanha. Fonte: Miguel Pérez Cimas (ENESA).

O **45º Plano de Seguro Agrário** da ENESA para 2024 destaca a importância do seguro agrário no contexto de fenómenos climáticos adversos, o que levou a um aumento significativo das indemnizações recebidas pelos segurados, ultrapassando os 1.180 milhões de euros devido à frequência e intensidade dos fenómenos naturais adversos. É também necessário implementar medidas seletivas para **garantir a sustentabilidade** do sistema de seguros sem afetar a maioria

²³ O sistema de seguro agrário espanhol <https://www.agroseguro.es>.

dos segurados, procurando uma utilização mais eficiente dos recursos públicos. Algumas dessas medidas são:

- Apoio a grupos prioritários: O novo plano dá prioridade ao apoio aos jovens agricultores, aos profissionais e às explorações prioritárias, oferecendo subsídios adicionais para promover a adaptação às alterações climáticas e a resiliência do sector.
- Apoios e Subsídios: É referido o aumento progressivo da dotação orçamental para subsidiar a contratação de políticas, atingindo 284,5 milhões de euros em 2024.
- Seleção dos riscos: Foram aplicados critérios mais seletivos para garantir que os recursos são utilizados de forma eficiente. Isto implica uma avaliação cuidadosa dos riscos e a adaptação da cobertura às necessidades específicas de cada sector agrícola.

Estas medidas procuram equilibrar a proteção dos agricultores e criadores de gado com a viabilidade financeira do sistema de seguros agrícolas em Espanha.

G.2. França

O seguro agrícola em França desempenha um papel crucial na gestão do risco de geada na região de Nouvelle-Aquitaine, uma das principais zonas agrícolas de França. Segue-se um resumo dos aspectos relevantes do papel do sistema de seguros agrícolas na região:

- **Legislação e organização do sistema de seguros agrícolas:** Em França, o seguro agrícola é regido principalmente pelo Code Rural et de la Pêche Maritime. A regulamentação específica pode variar ligeiramente de região para região, mas é geralmente supervisionada por organismos como a FranceAgriMer e por companhias de seguros agrícolas privadas.
- **Evolução da cobertura do seguro:** Ao longo do tempo, a cobertura do seguro agrícola evoluiu para incluir uma gama mais vasta de riscos, incluindo os danos causados pela geada. As apólices podem agora ser adaptadas para cobrir perdas de colheitas e danos causados por condições climáticas extremas, como a geada.
- **Nível de subscrição e evolução dos agricultores:** O nível de subscrição de seguros agrícolas em Nouvelle-Aquitaine varia em função de vários fatores, como a sensibilização dos agricultores, os incentivos governamentais e a gravidade dos riscos climáticos. Ao longo dos anos, intensificaram-se os esforços para promover a utilização de seguros agrícolas, mas a adesão pode ainda variar em função dos subsectores agrícolas e das preferências individuais dos agricultores.

De notar que o seguro de colheitas é obrigatório para os produtores de maçãs de Limousin desde 2024. O seguro cobre a totalidade da superfície da exploração, independentemente da espécie. Por conseguinte, os produtores de maçãs que possuem igualmente um castanheiro têm a sua produção segurada.

Aqueles que apenas cultivam castanheiros não subscrevem seguros, ou fazem-no de forma limitada, porque são demasiado caros em relação aos benefícios que trazem.

Desde a reforma do seguro de colheitas - Calamité agricole em 2022, os produtores que não contribuam para um regime de seguro não podem receber indemnizações da prefeitura por calamidades agrícolas.

Vantagens dos regimes de seguro agrícola:

- **Estabilidade financeira:** O seguro agrícola proporciona proteção financeira aos agricultores em caso de quebra de colheitas devido a acontecimentos imprevistos, como as geadas, ajudando a manter a sua estabilidade financeira.
- **Gestão de riscos:** Permite aos agricultores gerir melhor os riscos associados às condições climáticas e a outras catástrofes naturais, reduzindo o impacto financeiro das perdas de colheitas.
- **Apoio à produção alimentar:** Ao segurar os agricultores contra riscos, o seguro agrícola ajuda a manter a produção de alimentos, o que é crucial para a segurança alimentar da região.

Desvantagens dos regimes de seguro agrícola:

- **Custos:** Os prémios de seguro podem ser dispendiosos para alguns agricultores, especialmente para os que operam em zonas de alto risco ou que cultivam culturas sensíveis às condições meteorológicas.
- **Limitações da cobertura:** Alguns fenómenos extremos ou riscos específicos podem não estar cobertos pelas apólices de seguro agrícola normais, deixando alguns agricultores expostos a perdas financeiras significativas em caso de catástrofe.
- **Complexidade administrativa:** A subscrição de um seguro agrícola pode ser complexa e exigente em termos de documentação administrativa, o que pode dissuadir alguns agricultores de se empenharem no processo.

Em resumo, o seguro agrícola na região de Nouvelle-Aquitaine, e em qualquer região de França, desempenha um papel essencial na gestão das geadas e de outros riscos associados à agricultura. Embora ofereça vantagens significativas em termos de proteção financeira e de gestão dos riscos, apresenta também inconvenientes, como os custos elevados e a complexidade administrativa. A sua utilização e eficácia dependem de vários fatores, como a regulamentação, a sensibilização dos agricultores e os incentivos governamentais.

G.3. Portugal

Em Portugal, a regulamentação do seguro agrícola baseia-se em vários decretos e despachos ministeriais:

- ²⁴O Decreto-Lei n.º 162/2015, de 14 de agosto, criou o Sistema de Seguros Agrícolas (SSA), que se caracteriza pela concessão de ajudas à contratação de seguros agrícolas.
- ²⁵A Portaria n.º 65/2014, de 12 de março de 2014, publicou o regulamento relativo ao seguro de colheitas e à compensação de perdas, que já foi alterado pelas Portarias n.º 132/2017, de 10 de abril, n.º 109/2018, de 23 de abril, n.º 61/2020, de 5 de março, e n.º 59/2021, de 16 de março, e pela Portaria n.º 28/2023, de 12 de janeiro.
- A Portaria 4585/2018 determina as taxas de referência para o cálculo das ajudas previstas no regulamento relativo ao seguro de colheitas e à compensação de perdas.

Em Portugal, o Ministério da Agricultura, através do Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, I.P. - IFAP, **subsidiá os prémios de seguro até um máximo de 70%**, com o objetivo de reduzir os encargos dos agricultores. Esta ajuda é comparticipada pela União Europeia e favorece particularmente os jovens agricultores e os que têm o Estatuto de Agricultura Familiar.

O objetivo do seguro de colheitas é assegurar a produção, garantindo aos agricultores uma compensação em caso de ocorrência de um acontecimento climático. O seguro de colheitas divide-se em dois tipos:

1. Seguro horizontal
2. Seguros especiais em função do tipo de cultura e da sua localização: a) Seguro especial para romãs no Interior Norte; b) Seguro especial para tomate de indústria; c) Seguro especial para citrinos no Barrocal Algarvio; d) Seguro especial para cerejas; e) Seguro especial para pera Rocha no Oeste.

O risco de geada está incluído em ambos os tipos de seguro, tem uma franquia absoluta de 15% ou 25%, e o período de início, no caso das árvores de fruto, depende do estado fenológico das culturas. ²⁶Estas informações estão disponíveis no sítio Web do IFAP .

Subscrever um seguro

Os seguros de colheitas podem ser subscritos a título individual ou coletivo (através de agrupamentos, organizações ou associações de produtores reconhecidos).

O agricultor é obrigado a segurar todas as parcelas/subparcelas de cada cultura segurada que possua, desde que façam parte da mesma unidade de produção.

O rendimento médio da cultura segurada pode basear-se quer na tabela de referência estabelecida pelo Gabinete de Planeamento, Política e Administração Geral (GPP), quer no valor médio da produtividade obtido nos últimos três anos, se o agricultor tiver o seu próprio registo.

²⁴ Decreto-lei n.º 162/2015 do Ministério da Agricultura e do Mar (2015). Diário da República, 1.ª série - n.º 158 - 14 de agosto de 2015.

²⁵ Despacho n.º 65/2014 do Ministério das Finanças e da Agricultura e do Mar (2014). Regulamento do seguro de colheitas e compensação de perdas. Diário da República, 1ª série - n.º 50 - 12 de março de 2014.

²⁶ -IFAP (2024). Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, I.P. <https://www.ifap.pt/> (Acedido em 1 de julho de 2024).

Em caso de sinistro, a concessão da indemnização está subordinada à condição de cada segurado sofrer perdas acumuladas superiores a 20% da produção média anual da cultura segurada.

O cálculo da indemnização baseia-se na produção efetiva, com um limite para a produção segurada. São aplicadas franquias variáveis de 15 a 25% consoante o tipo de seguro.

Evolução da cobertura dos seguros e perspetivas futuras

O sistema de seguro de colheitas em Portugal prevê um mecanismo de compensação de perdas, em resultado do reconhecimento público de que as seguradoras não têm conseguido repartir o risco no mercado internacional de resseguro a custos adequados a este tipo de apólice e de que a eliminação deste mecanismo, nestas circunstâncias, poderia levar a que os agricultores tivessem mais dificuldade em subscrever o seguro, quer devido à redução da oferta do produto, quer ao aumento dos custos.

Para reduzir os encargos dos agricultores, o Governo e o Ministério da Agricultura apoiam os prémios de seguro, que podem variar entre 57% e um máximo de 70%. Estas subvenções favorecem a agricultura familiar e os jovens agricultores. Os diferentes tipos de seguros (seguros horizontais e especiais para diferentes culturas e regiões) permitiram adaptar o sistema de seguros ao nível de risco associado às diferentes culturas e regiões.

O capital seguro tem aumentado significativamente nos últimos anos. Em 2014 o capital seguro era de 163 milhões de euros e em 2022 (último ano com estatísticas) o valor era de 423 milhões de euros, com um nível de apoio que atingia os 13,5 milhões de euros (IFAP, 2024).

Devido à atual aleatoriedade climática e ao aumento esperado da frequência de fenómenos extremos no contexto das alterações climáticas, a existência de um sistema de seguros agrícolas é essencial para garantir a sustentabilidade do sector agrícola e evitar o abandono da sua atividade, especialmente nas regiões do interior já fortemente afetadas pelo despovoamento.

H. Conclusões e perspectivas para o futuro dos problemas da geada

Depois de analisar os diferentes aspetos envolvidos na incidência de geadas nas culturas e os métodos de defesa disponíveis, podem ser tiradas algumas conclusões e reflexões sobre a situação atual, a evolução e os aspetos mais relevantes que devem ser tidos em conta na gestão futura destes eventos.

Apesar do aumento global das temperaturas, o risco de geadas primaveris parece suscetível de aumentar e os danos que lhes estão associados podem ser significativos. A combinação de temperaturas invernais mais amenas, que modificarão a fenologia das culturas, antecipando o aparecimento das fases mais sensíveis, com episódios esporádicos mas intensos de invasão de ar polar, pode aumentar as perdas económicas nas culturas.

H.1. Espanha

Os métodos de defesa passiva tornar-se-ão cada vez mais importantes porque são a forma mais eficiente e económica de prevenir e controlar as geadas.

Os meios de defesa passiva centrados no **conhecimento microclimático** ao nível da parcela de produção, juntamente com estudos de risco **atualizados**, serão fundamentais na tomada de decisões sobre novas plantações. Neste sentido, o recente trabalho realizado em Múrcia com este objetivo pode ser um exemplo a seguir noutras zonas de produção espanholas.

Do mesmo modo, o estudo do impacto a nível local de outras **técnicas de defesa passiva de baixo custo e de fácil aplicação** (poda diferida, gestão do solo e da cobertura vegetal, gestão da irrigação, quando disponível) deve ser uma prioridade.

Do mesmo modo, o efeito sobre as geadas e a utilização ótima de estruturas de proteção das culturas, tais como coberturas plásticas, mantas térmicas ou redes de proteção contra o granizo, são igualmente de interesse.

Nesta linha, entre as atividades deste projeto An-Gel Sudoe está o estudo da **poda tardia aplicada** às vinhas do País Basco e o efeito no balanço térmico das parcelas com diferentes instalações e sistemas de gestão (sistemas de proteção combinadas com a gestão do coberto vegetal e do teor de água do solo).

A utilização de novas ferramentas de teledeteção (**sensores térmicos** instalados em vários tipos de plataformas aéreas) permitirá uma melhor compreensão das diferenças microclimáticas e do impacto dos sistemas de gestão das parcelas agrícolas no comportamento térmico. Este conhecimento contribuirá para melhorar as escolhas culturais e a ação em caso de geadas futuras. O projeto An-Gel Sudoe desenvolverá igualmente este tipo de medições em grandes superfícies em diversas zonas de produção.

O sistema de proteção baseado na **aplicação de água às plantas por aspersão** ou microaspersão é o que permite um maior grau de cobertura nas diferentes condições climáticas em que a geada pode ocorrer. No entanto, existem limitações à sua utilização, nomeadamente em termos de disponibilidade de água. Num contexto de escassez e de pressão social para reduzir o consumo e aumentar a eficiência, a utilização de novos sistemas de aplicação de água (microaspersão intermitente de baixo volume e microaspersão localizada) será essencial. Para tal, é necessário experimentar estes sistemas para determinar o seu comportamento e as suas limitações e para otimizar a conceção e a gestão das instalações. Neste sentido, no âmbito do projeto An-Gel Sudoe, serão instaladas várias parcelas-piloto com diversos sistemas deste tipo, a fim de aumentar o conhecimento sobre os mesmos.

Tendo em conta as limitações ambientais da utilização de combustíveis fósseis em sistemas de fornecimento de calor, será necessário aumentar os conhecimentos sobre a utilização de **sistemas à base de biomassa** e sobre a combinação de vários sistemas, como ventiladores e aquecedores, a fim de obter a máxima eficiência com o mínimo consumo de combustível.

Tendo em conta o aparecimento contínuo de **produtos químicos** com diferentes sistemas de ação cuja alegação de venda é a proteção contra a geada, seria altamente aconselhável realizar testes de eficácia controlados para validar a sua eficácia real.

De acordo com as previsões e a evolução dos sinistros nos últimos anos, é provável que os danos nas culturas aumentem, com as perdas económicas e as indemnizações que lhes estão associadas. Face a esta situação, os seguros agrícolas deverão desempenhar um papel cada vez mais importante na cobertura destes riscos. Prevê-se igualmente que as seguradoras atuem no sentido de limitar as superfícies e os montantes seguráveis pelos agricultores, aumentando assim o nível de desproteção e o risco de sobrevivência de muitas explorações agrícolas.

Do mesmo modo, será necessária uma maior sensibilização da sociedade para os efeitos da geada, não só para o produtor, mas também para o consumidor, sob a forma de escassez de mercado e de aumento dos preços, o que deverá levar a um maior envolvimento das administrações, tanto no apoio ao estudo da geada como na cobertura dos danos potencialmente catastróficos causados.

H.2. Portugal

As principais conclusões e perspectivas futuras para o problema das geadas em Portugal podem ser resumidas nos pontos seguintes.

A ocorrência de geada numa dada região, embora fortemente determinada pelas condições sinópticas, varia em função das suas condições topográficas, da existência de obstáculos à drenagem do ar frio e das condições à escala da parcela que determinam o balanço energético e o conseqüente arrefecimento noturno das superfícies. Neste sentido, o desenvolvimento de **modelos regionais e locais de previsão do risco de geada** associados a sistemas de alerta é essencial para a ativação atempada de métodos ativos de proteção contra a geada.

A seleção dos métodos de proteção contra as geadas mais adequados para uma cultura depende do contexto agro-meteorológico e das práticas culturais utilizadas. Neste sentido, é fundamental a realização de estudos de investigação e desenvolvimento nas regiões e culturas agrícolas mais afetadas pelas geadas. Os projetos de investigação devem incluir linhas sobre o tipo de geada e a sua **meso e micrometeorologia (previsão das temperaturas mínimas a nível local e regional, estudo das inversões térmicas, etc.)** e a avaliação de diferentes métodos ativos e passivos, incluindo a sua avaliação económica. A transferência de conhecimentos para os decisores, técnicos de associações de agricultores e produtores e agentes do sector agrícola em geral é crucial para a aplicação futura de métodos de proteção contra a geada.

Os seguros de colheitas desempenham um papel importante na garantia da estabilidade financeira dos produtores e das empresas em caso de perdas importantes causadas por geadas e outros fenómenos extremos, como o granizo. No entanto, os elevados preços dos prémios constituem um pesado encargo financeiro, especialmente para os pequenos produtores, razão pela qual muitos não subscrevem seguros. No futuro, devem ser previstas medidas para reduzir o montante dos prémios de seguro que os produtores têm de pagar se utilizarem métodos para combater a geada ou outros fenómenos extremos. Tais medidas, para além de reduzirem os encargos financeiros com o pagamento de seguros, serviriam para incentivar a adoção de métodos de combate à geada e, assim, minimizar as perdas de produtividade em caso de geada.

H.3. França

Em França, duas zonas são abrangidas por este projeto: a zona produtora de castanha da região de Nouvelle-Aquitaine (especialmente no departamento de Dordogne) e a região de Moyenne-Garonne e do Sudeste, onde as principais culturas habitualmente afetadas pelas geadas são as árvores de fruto (principalmente ameixeiras e macieiras) e a vinha.

No caso do castanheiro, as temperaturas médias invernais mais elevadas estão a provocar a germinação precoce das árvores nas plantações do sudoeste, tornando-as mais vulneráveis às geadas da primavera. Por enquanto, os produtores limitam-se a observar o impacto das geadas nas suas explorações. No entanto, os efeitos das geadas nos rendimentos no final da estação estão a aumentar. Por conseguinte, é necessário desenvolver sistemas de alerta e estratégias eficazes para minimizar o impacto destas geadas nos pomares de castanheiros.

A **melhoria dos modelos de previsão meteorológica** e dos sistemas de alerta de geadas espalhados pela região de produção (estações-piloto), coordenados com os avisos através de boletins fitossanitários e de boletins técnicos emitidos pelos profissionais do castanheiro, permitiria aos produtores antecipar e planear melhor a aplicação de estratégias de proteção contra as geadas. As estratégias atualmente aplicáveis à cultura do castanheiro são essencialmente passivas. A **estratégia ativa destinada a aumentar a temperatura radiativa do solo**, mantendo a sua saturação de água durante o período crítico das geadas primaveris, parece ser uma abordagem promissora. No entanto, tem de ser adaptada à fisiologia do castanheiro, que não tolera o excesso de humidade ou solos mal drenados.

As temperaturas críticas para os diferentes estádios fenológicos do castanheiro são bem conhecidas. No entanto, continua a ser difícil **quantificar o efeito das geadas primaveris sobre estes estádios**. A compreensão dos mecanismos de desenvolvimento fisiológico das diferentes variedades e da influência da temperatura no desenvolvimento das flores permitiria a criação de modelos que integrassem dados fisiológicos e climáticos, a fim de otimizar as estratégias de defesa contra as geadas. Seria igualmente necessário avaliar o impacto ambiental da utilização do sistema de rega no inverno para proteção contra as geadas, a fim de otimizar os recursos hídricos para os períodos de ausência de precipitação no verão.

A principal preocupação dos produtores é saber como conciliar o seu orçamento anual com uma quebra de produção devida às geadas. Apesar da reforma do seguro de colheitas para catástrofes agrícolas, que entra em vigor em 2023, a maior parte dos produtores de castanha do sudoeste de França não subscreve um seguro de colheitas, pois continua a ser demasiado caro em relação aos benefícios que oferece. Neste contexto, é ainda mais importante **melhorar os sistemas de previsão e as estratégias de proteção**. É, pois, necessária uma abordagem que integre a inovação tecnológica, a investigação e o contexto económico dos produtores de castanha em relação ao seu sistema de cultivo.

No caso da Moyenne-Garonne e do Sudeste francês, as conclusões acima expostas pelos parceiros espanhóis e portugueses são plenamente aplicáveis à região, e não vamos repeti-las, mas sugerimos-lhe que as leia ou releia. Podemos acrescentar alguns elementos relacionados com as desvantagens que a melhoria dos solos ao aplicar técnicas de agricultura regenerativa implica.

Por exemplo, nas vinhas e pomares com **uma cobertura permanente de erva no solo**, foi infelizmente confirmado que existe um maior risco de geada, uma vez que se verificou que as parcelas com erva têm uma temperatura do solo mais baixa (mais de 3°C de diferença) em comparação com as parcelas onde toda a erva foi removida. Como conciliar a vida do solo e o risco de geada? Estamos a realizar experiências no âmbito do An-Gel Sudoe para compreender

An-Gel Sudoe

melhor a influência da cobertura vegetal e da humidade do solo nos balanços energéticos e nas geadas. A estratégia planeada consiste em preservar melhor e, se possível, aumentar a humidade do solo para atuar como uma espécie de acumulador de calor para compensar uma parte importante do fluxo de radiação durante a noite.

No Sudoeste de França, a disponibilidade de água na primavera é menos problemática do que na bacia mediterrânica. ³³O problema é antes uma questão de caudal instantâneo, uma vez que os sistemas utilizados nos pomares dimensionados para a rega só podem fornecer entre 40 e 80 mm por dia e por hectare, enquanto entre 20 e 40 mm por hora e por hectare de água líquida têm de ser transformados em gelo para proteção contra temperaturas tão baixas como -5°C ou -6°C. A questão de como distribuir eficazmente esta água no solo ou nas plantas a proteger continua em aberto e põe em causa, por exemplo, a rega por gotejamento, que é menos eficaz do que a pulverização para molhar toda a superfície do solo.

Em princípio, quando a água não pode ser utilizada como meio de controlo, quer porque os volumes disponíveis são insuficientes, quer porque o sistema radicular das culturas não a tolera, o segundo meio de controlo, que proporciona proteção até cerca de -4°C, é a ventilação forçada. Os vendedores de ventiladores propõem proteger áreas de mais de 5 ha com cada torre. No entanto, durante as fortes geadas de 2021 e 2022, as áreas protegidas raramente ultrapassaram os 3 ha, ou seja, cerca de 100 m de diâmetro à volta da torre. No âmbito do projeto An-Gel Sudoe, utilizaremos drones térmicos para observar diferentes tipos de sistemas de ventilação, a fim de esclarecer este ponto. Esperamos também obter o início de uma resposta à seguinte questão: *a proteção contra a geada é resultado do aquecimento ou da secagem?* Foi demonstrado que a dessecação aumenta a duração da resistência à geada, que não é superior a 10 minutos quando os tecidos sensíveis estão molhados, por exemplo, pelo orvalho, ao passo que pode exceder uma hora ou mais abaixo do limiar se a planta estiver seca.

Como somos parceiros no projeto Life FrostDefend, a questão da **influência das bactérias congelantes** está a ser acompanhada com o INRAE Clermont-Ferrand. Isto poderia explicar a diferença de sensibilidade, uma vez que algumas bactérias ativas como núcleos formadores de gelo facilitam o início da congelação do orvalho a cerca de -2°C. No caso dos meios secos, como o número de bactérias ativas é muito baixo, a congelação da água superficial e dos tecidos subjacentes seria muito limitada ou, pelo menos, atrasada. Esperamos poder tirar algumas conclusões a este respeito, tendo em conta que a utilização de antibióticos é proibida na Europa e que os tratamentos com cobre são limitados e menos eficazes contra as bactérias.

Por fim, quanto a outras soluções não validadas, mas sempre apresentadas como eficazes pelos anúncios publicitários, muitas vezes baratas e que já funcionaram noutros locais, as geadas de 2021 e 2022 deram uma resposta mordaz: só funcionam se não congelar! É claro que é tentador experimentar produtos estimulantes, agentes secantes, fumos ou névoas que supostamente reduzem as perdas por radiação, mas de que serve se não se basearem em princípios físicos conhecidos e demonstráveis?

Até ao final de 2026, esperamos ter adquirido mais experiência e dados para completar este documento, que reúne os nossos conhecimentos atuais e propõe soluções eficazes, desde que sejam aplicadas com seriedade e sigam princípios de funcionamento bem conhecidos.