

Ana Isabel Miranda
Alfredo Rocha

António Ribeiro
Alexandra Monteiro

DOU RO ZO NE

**DOUROZONE | RISCO DE EXPOSIÇÃO AO OZONO
PARA A VINHA DURIENSE EM CLIMA ATUAL
E FUTURO**



universidade de aveiro
theoria poiesis praxis



ipb
INSTITUTO POLITÉCNICO
DE BRAGANÇA

FICHA TÉCNICA

Título

Dourozone - Risco de Exposição ao Ozono para a Vinha Duriense em Clima Atual e Futuro

Editores

Ana Isabel Miranda, Alfredo Rocha, António Ribeiro, Alexandra Monteiro

Design

Ji&Gu - Design e Consultoria Criativa

Impressão e acabamento

Grafigamelas, Indústria Gráfica, Lda

Editora

UA Editora - Universidade de Aveiro

1ª edição - junho 2018

Tiragem

100 exemplares

ISBN

978-972-789-552-6

Depósito legal



DOUROZONE | RISCO DE EXPOSIÇÃO AO OZONO PARA A VINHA DURIENSE EM CLIMA ATUAL E FUTURO

Ana Isabel Miranda
Alfredo Rocha

António Ribeiro
Alexandra Monteiro

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA REGIÃO DEMARCADA DO DOURO	5
2.1.	Simulações utilizadas	5
2.2.	Correção das simulações	7
2.3.	Alteração climática	9
2.3.1.	Temperatura máxima e mínima	9
2.3.2.	Índices de alteração climática de temperatura	11
2.3.3.	Ondas de calor e de frio	12
2.3.4.	Precipitação	14
2.4.	Índices bioclimáticos	15
3.	AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO DA VINHA AO OZONO	20
3.1.	Metodologia	20
3.2.	Avaliação do sistema de modelação	21
3.3.	Resultados	25
3.4.	Comentários finais	27
4.	EFEITOS POTENCIAIS DO OZONO NA CULTURA DA VINHA	29
4.1.	Efeitos na anatomia e fisiologia da videira	29
4.2.	Efeitos na produtividade e composição do bago	30
4.3.	Monitorização de ozono na RDD	31
4.4.	Concentrações e perfis de variação temporal de ozono na RDD	32
4.5.	Avaliação do risco do ozono na vinha	34
4.5.1.	Nível Crítico – AOT40	34
4.5.2.	Dose de Ozono Fitotóxica, PODY	38
4.6.	Comentários finais	39
5.	ATLAS DIGITAL DOUROZONE	41
6.	SÍNTESE CONCLUSIVA	46

1. INTRODUÇÃO

Ana Isabel Miranda // Ana Ascenso // Carlos Silveira

O ozono (O_3) troposférico é um poluente atmosférico que pode danificar severamente a vegetação. É um poluente atmosférico secundário, i.e. não é emitido diretamente para atmosfera, mas formado através de reações fotoquímicas entre compostos precursores, sendo a sua produção favorecida em períodos de elevada temperatura e insolação (Seinfeld & Pandis, 2006). A vegetação é simultaneamente uma fonte de precursores e um consumidor de ozono. Emite precursores de ozono, como compostos orgânicos voláteis (COV), e remove ozono através da absorção pelos estomas, por deposição seca.

Os efeitos fisiológicos da absorção de ozono pela vegetação manifestam-se através da redução da fotossíntese, aumento do envelhecimento ao nível celular e através de danos nos processos reprodutivos (Ainsworth *et al.*, 2012), potenciando um aumento da suscetibilidade a doenças, uma diminuição do crescimento e da capacidade reprodutiva das plantas e a perda de biodiversidade. Os níveis elevados de ozono podem, pois, conduzir à perda de produtividade e qualidade dos campos agrícolas, e consequentemente, a perdas económicas (Avnery *et al.*, 2011; Black *et al.*, 2000; Feng *et al.*, 2008).

A resposta da planta ao ozono depende de vários fatores ambientais, tais como a temperatura, precipitação, concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera e disponibilidade de azoto (Ainsworth *et al.*, 2012). Em condições meteorológicas muito quentes e secas, que proporcionam níveis elevados de ozono, o fluxo estomático é mínimo (Emberson *et al.*, 2000).

Ao estudar os efeitos do O_3 na vegetação é necessário contemplar não só as concentrações de ozono, que determinam a exposição das culturas, mas também a deposição de ozono na vegetação, que condiciona a entrada do ozono via estomas (Pleijel *et al.*, 2007).

A produção de vinho em Portugal é uma atividade económica de elevada importância. Das regiões portuguesas produtoras de vinho destaca-se a Região Demarcada do Douro (RDD), onde é produzido o famoso Vinho do Porto, que representa mais de 60% do valor total das exportações de vinho em Portugal (Santos *et al.*, 2011). A RDD é a região vitivinícola demarcada e regulamentada mais antiga do mundo. Foi criada em 1756 quando o Marquês de Pombal instituiu a Companhia Geral da Agricultura das Vinhas do Alto Douro.

Em 2001, o Alto Douro Vinhateiro foi classificado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO, na sigla inglesa) como Património Mundial da Humanidade, pela sua “paisagem cultural, evolutiva e viva”. Situada no nordeste de Portugal, na bacia hidrográfica do Douro, a Região Demarcada do Douro abrange 21 concelhos dos distritos de Bragança, Vila Real,

Ao verão quente na região do Douro associam-se níveis elevados de ozono no ar ambiente. Em contexto de alterações climáticas (AC), tais como as projetadas para o sul da Europa, esperam-se condições meteorológicas mais quentes e secas, que poderão contribuir para uma maior produção de ozono.

Atendendo aos potenciais impactos negativos da exposição da vinha ao ozono e ao interesse económico da região, é importante conhecer a distribuição espaço-temporal deste poluente na camada mais baixa da troposfera, em clima atual e em cenários de alteração climática, e perceber os seus efeitos nas vinhas du-rienses.

O projeto DOUROZONE teve como objetivo avaliar o risco de exposição ao ozono das vinhas da Região Demarcada do Douro, em clima presente e futuro, estimando concentrações e deposição de ozono no vale do Douro e avaliando os potenciais efeitos em termos de produtividade. O trabalho, cujos principais resultados se reportam neste livro, esteve organizado em quatro tarefas principais:

- Avaliação dos climas atual e futuro na RDD, com base em simulações climáticas de alta resolução;
- Avaliação da concentração e da deposição de ozono, bem como de potenciais prejuízos em termos de produtividade, em clima atual e futuro na RDD, aplicando um modelo de transporte químico e funções exposição-resposta;
- Avaliação dos impactos do ozono nas vinhas da RDD, com suporte de informação experimental proveniente da campanha de medição na RDD;
- Análise integrada dos resultados, com a produção do atlas da RDD para clima atual e futuro, que consiste na compilação de mapas com variáveis fisiográficas, meteorológicas, valores de concentração e deposição de ozono e potenciais alterações na produtividade das vinhas.

A organização do livro reflete a estrutura do trabalho do DOUROZONE. Para além do capítulo introdutório, existem mais cinco capítulos: o capítulo dois consiste numa avaliação do clima atual e futuro na RDD, bem como de índices bio-climáticos para a vinha, tendo por base simulações climáticas de alta resolução; no capítulo três é feita a avaliação dos níveis de concentração e de deposição de ozono na região, aplicando um modelo de transporte químico, e são apresentados os potenciais efeitos da exposição ao ozono em termos de produtividade e qualidade através da aplicação de funções exposição-resposta; o quarto capítulo apresenta os principais resultados obtidos nas campanhas de monitorização na vinha e avalia o efeito potencial do ozono recorrendo ao cálculo de indicadores

biológicos; o Atlas digital para a RDD, produzido a partir da compilação dos dados obtidos, para clima atual e futuro, é apresentado no capítulo 5. Finalmente, no capítulo 6 faz-se uma síntese conclusiva do projeto DOUROZONE.

Referências

Ainsworth, E., Yendrek, C. R., Sitch, S., Collins, W. J., & Emberson, L. D. (2012). The effects of tropospheric ozone on net primary productivity and implications for climate change. *Annual Review of Plant Biology*, 63 (March), 637–661. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103829>

Avnery, S., Mauzerall, D. L., Liu, J., & Horowitz, L. W. (2011). Global crop yield reductions due to surface ozone exposure: 1. Year 2000 crop production losses and economic damage. *Atmospheric Environment*, 45(13), 2284–2296. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.11.045>

Bateira, C., Martins, L., Santos, M., & Pereira, S. (2011). *Cartografia da Susceptibilidade a Movimentos de Ver-tente na Região Demarcada do Douro*. Universidade Lusófona, Porto.

Black, V. J., Black, C. R., Roberts, J. A., & Stewart, C. A. (2000). Impact of ozone on the reproductive development of plants. *New Phytologist*, 147(3), 421–447. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00721.x>

Emberson, L. D., Ashmore, M. R., Cambridge, H. M., Simpson, D., & Tuovinen, J. P. (2000). Modelling stomatal ozone flux across Europe. *Environmental Pollution*, 109(3), 403–413. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00043-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00043-9)

Feng, Z., Kobayashi, K., & Ainsworth, E. A. (2008). Impact of elevated ozone concentration on growth, physiology, and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.): A meta-analysis. *Global Change Biology*, 14(11), 2696–2708. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01673.x>

Instituto da Vinha e do Vinho. (2016). *Vinhos e Aguardentes de Portugal - Anuário 2016*.

Jones, G. (2013). *Uma Avaliação do Clima para a Região Demarcada do Douro : Uma análise das condições climáticas do passado , presente e futuro para a produção de vinho*.

Magalhães, N. (2012). *Manual de Boas Práticas Vitícolas na Região Demarcada do Douro*. Instituto dos Vinhos do Douro e do Porto, IP e Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, Ed.

Pleijel, H., Danielsson, H., Emberson, L., Ashmore, M. R., & Mills, G. (2007). Ozone risk assessment for agricultural crops in Europe: Further development of stomatal flux and flux-response relationships for European wheat and potato. *Atmospheric Environment*, 41(14), 3022–3040. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.12.002>

Santos, J. A., Malheiro, A. C., Karremann, M. K., & Pinto, J. G. (2011). Statistical modelling of grapevine yield in the Port Wine region under present and future climate conditions. *International Journal of Biometeorology*, 55(2), 119–131. <https://doi.org/10.1007/s00484-010-0318-0>

Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2006). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. *Atmospheric Chemistry and Physics* (Vol. 2nd).

2. ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA REGIÃO DEMARCADA DO DOURO

Alfredo Rocha // Carolina Viceto // Daniel Blanco-Ward

Pretende-se com este capítulo apresentar a avaliação das alterações climáticas futuras importantes para a Região Demarcada do Douro (RDD). Foram realizadas simulações climáticas para um clima histórico recente e dois climas futuros, um a médio prazo (2046-2065) e outro a longo prazo (2081-2100), de acordo com o cenário de emissões de gases com efeito de estufa do RCP8.5 do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC). Atendendo à relevância do clima para o desenvolvimento e produtividade dos campos agrícolas, apresentam-se também índices bioclimáticos calculados para a vinha.

Este estudo baseia-se em dados simulados com 9 km de resolução horizontal. Os resultados estão disponíveis no Atlas desenvolvido no âmbito do projeto DOUROZONE. Aqui, são apresentados apenas alguns dos aspetos de clima considerados mais relevantes para a produção vitícola na RDD.

2.1. SIMULAÇÕES UTILIZADAS

Foram realizadas simulações usando o modelo climático regional de alta resolução *Weather Research and Forecasting* v3.5.1 (WRF) com dois forçamentos distintos, nomeadamente as reanálises ERA-Interim (WRF-ERA) e *Max Planck Institute Earth System Model – low resolution* (MPI-ESM-LR) (WRF-MPI) (Marta-Almeida *et al.*, 2016). As condições iniciais e de fronteira foram definidas pelos dois forçamentos.

Os dados de reanálise foram obtidos através do Centro Europeu de Previsão do Tempo a Médio Prazo (ECMWF) no âmbito do projeto ERA-Interim, com uma resolução horizontal de aproximadamente 79 km (Dee *et al.*, 2011). O modelo global MPI-ESM-LR foi desenvolvido pelo *Max Planck Institute* (MPI), com uma resolução horizontal de 1,9° (Giorgetta *et al.*, 2013). Este modelo pertence ao *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5), que utiliza novos cenários de emissões, nomeadamente *Representative Concentration Pathways* (RCP) (Sillman *et al.*, 2013). Estes cenários estão associados à concentração futura de gases com efeito de estufa na atmosfera.

As simulações utilizaram o RCP8.5 do IPCC, definido por um forçamento radiativo de 8,5 W m⁻² até ao ano 2100, seguido de um aumento contínuo após esse ano (Moss *et al.*, 2008). Este é um cenário base associado à inexistência de medidas de mitigação, correspondendo à maior emissão de gases com efeito de estufa quando comparado com os restantes cenários desenvolvidos pelo IPCC.

As simulações foram realizadas para períodos de 20 anos, como definido pelo 5º Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2013). Foi estabelecido um período de

referência entre 1986 e 2005 e dois períodos futuros: um futuro a médio prazo, compreendido entre 2046 e 2065 e um futuro a longo prazo, compreendido entre 2081 e 2100.

As simulações foram implementadas para três domínios aninhados com resolução horizontal crescente a uma razão de redução de 3, nomeadamente 81, 27 e 9 km. O domínio de menor resolução (81 km) engloba parte do Oceano Atlântico Norte e a maioria da Europa. O domínio interior com uma resolução de 9 km inclui a Península Ibérica, uma porção do Norte de África e a parte adjacente do Oceano Atlântico e do Mar Mediterrâneo (**Figura 2.1**). Este estudo utiliza o domínio com resolução de 9 km (D-3) e foca-se numa área confinada, que compreende a RDD (Figura 2.1).

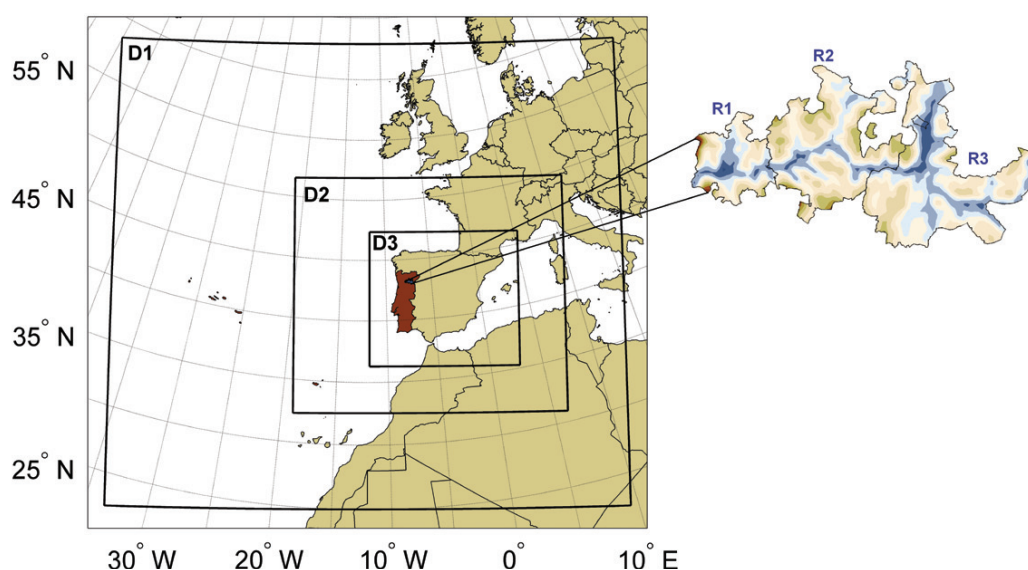


Figura 2.1. Domínios utilizados na implementação do modelo regional WRF, com uma razão de redução de 3, desde 81 km (D-1), a 27 km (D-2) e 9 km (D-3). Este estudo foca-se no domínio D-3 (resolução horizontal de 9 km). Localização da RDD (Região Demarcada do Douro) e respetivas sub-regiões (R1 – Baixo Corgo, R2 – Cima Corgo, R3 – Douro Superior).

Esta configuração de *downscaling* dinâmico permite avaliar os efeitos do clima na RDD, possibilitando a elevada resolução horizontal a melhor representação dos efeitos da topografia complexa típica desta região. Para transpor os resultados deste estudo para cada local específico, devem considerar-se as particularidades geográficas respetivas.

2.2. CORREÇÃO DAS SIMULAÇÕES

Uma vez que as grelhas implementadas no WRF são irregulares (D-3), definiu-se uma malha regular com resolução horizontal $0,2^\circ$ (D-3*), que permite a comparação entre os resultados das simulações e observações (Fig. 2.2 (b)), com o objetivo de validar o modelo WRF-MPI.

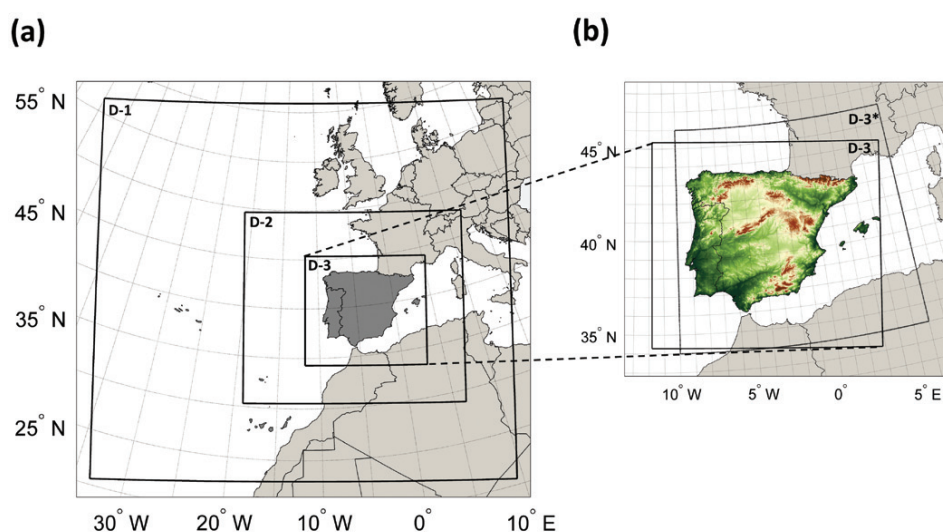


Figura 2.2. (a) Domínio usado na implementação regional do WRF. O modelo foi corrido com um aninhamento em modo *two-way* com uma resolução crescente dos domínios: 81 km (D-1), 27 km (D-2) e 9 km (D-3). (b) Topografia da área de estudo (Península Ibérica); Domínio do WRF D-3 (resolução de 9 km) e domínio D-3* (resolução $0,2^\circ$ - malha regular). Neste estudo, utilizou-se o domínio D-3*.

As observações - EOBS-ECA&D - consistem em dados em grelha de temperatura à superfície e precipitação para um período compreendido entre 1950 e 2016, contendo a Europa. Neste estudo, foram extraídos dados de temperatura diária máxima e mínima para um período histórico semelhante ao das simulações (1986-2005), com uma grelha polar rodada com resolução horizontal de $0,22^\circ$. Esta malha foi transformada numa malha regular de resolução horizontal $0,2^\circ$.

Com o objetivo de corrigir as diferenças entre as simulações e observações, aplicou-se uma correção do viés às simulações históricas e futuras, utilizando um método semelhante ao definido por Amengual *et al.* (2012), que permitiu minimizar estas diferenças. Este método baseia-se numa calibração quantil-quantil.

Inicialmente realizou-se a correção do viés das simulações históricas comparando-as com as observações. Através do cálculo das diferenças quantil-quantil da função distribuição acumulada das observações e da simulação do período his-

tórico, procedeu-se ao ajuste da última. Posteriormente, corrigiu-se o viés das simulações futuras. O ajuste aplicado é semelhante ao utilizado entre as simulações do período histórico e as observações, mas considerando a eventual alteração da distribuição estatística das variáveis consideradas.

Com o objetivo de validar a correção do viés da temperatura máxima e mínima, compararam-se as observações com as simulações de referência com e sem ajuste. Foram calculados os campos médios das observações (obs) e do período histórico com e sem ajuste (cv hist e sem cv hist, respetivamente) (Fig. 2.3 e 2.4). A seleção dos intervalos estudados coincide com os utilizados no estudo dos índices de alteração climática (anuais) e das ondas de calor (verão – Junho, Julho, Agosto JJA) e de frio (inverno – Dezembro, Janeiro, Fevereiro DJF).

Validação do modelo – Temperatura máxima

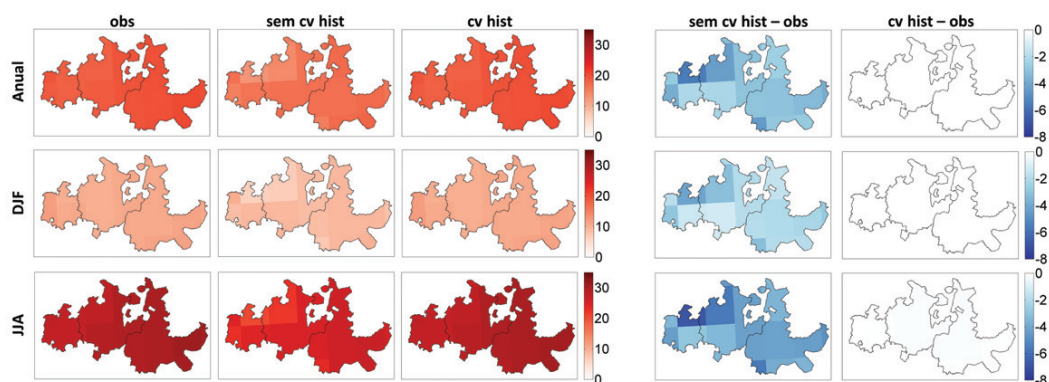


Figura 2.3 Média da temperatura máxima diária (°C) para a RDD (anual – primeira linha, inverno (Dezembro a Fevereiro) – segunda linha e verão (Junho a Agosto) – terceira linha) das observações (obs), sem correção do viés (sem cv hist) e com correção do viés (cv hist), para o período histórico. Diferença entre os campos sem e com correção do viés e as observações (respetivamente, sem cv hist – obs e cv hist – obs). Foram verificadas diferenças estatisticamente significativas (teste t de Student) no nível de significância 5% em todos os pontos da malha para (sem cv hist – obs).

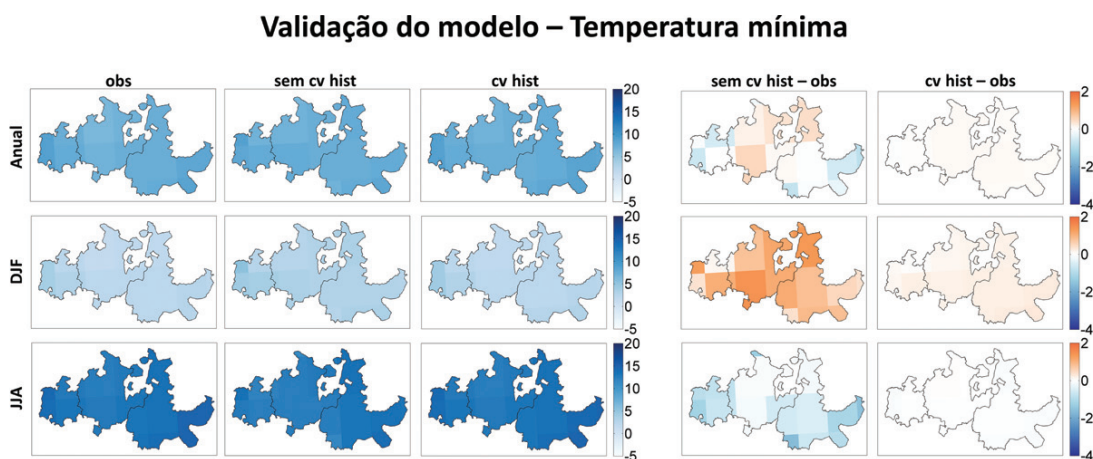


Figura 2.4. Igual à Figura 2.3, mas para a temperatura mínima.

Observando a Figura 2.3, verifica-se que a temperatura máxima é subestimada pelo modelo (sem cv hist), apresentando valores inferiores aos observados (obs). Estas diferenças significativas são caracterizadas por uma variabilidade espacial (entre 0 e 8°C), sendo intensificadas nas regiões de maior altitude e durante o verão. Após a correção do viés (cv hist), estas diferenças são minimizadas em todos os pontos da malha, sendo aproximadamente nulas e não significativas na sua totalidade. Para a temperatura mínima (Fig. 2.4) o modelo apresenta erros que são depois minimizados pela aplicação da correção de viés.

2.3 ALTERAÇÃO CLIMÁTICA

A avaliação da alteração climática baseou-se na comparação dos valores de temperatura máxima e mínima, da precipitação e de indicadores climáticos, calculados recorrendo às simulações de clima histórico recente e de futuro de médio e longo prazo.

2.3.1 TEMPERATURA MÁXIMA E MÍNIMA

Inicialmente, foram calculados os campos médios da temperatura máxima e mínima do período histórico e as diferenças entre o futuro médio e longo e o período histórico (Fig. 2.5 e 2.6).

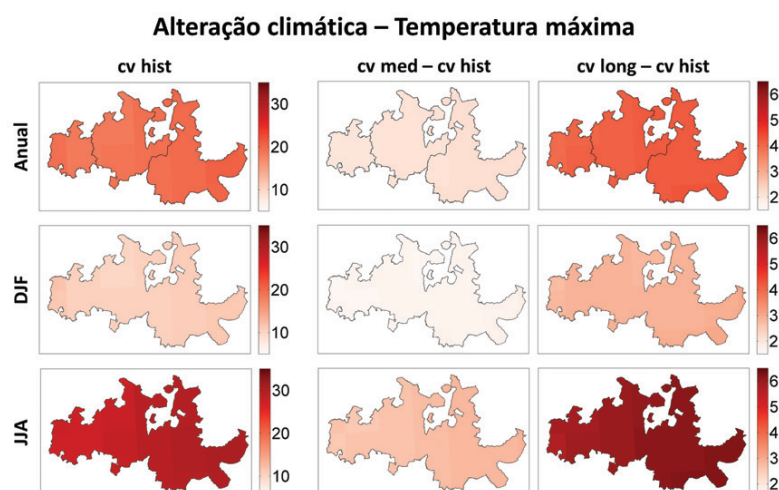


Figura 2.5. Média da temperatura máxima diária (°C) para a RDD (anual – primeira linha, inverno – segunda linha e verão – terceira linha) do período histórico com correção do viés (cv hist) (primeira coluna). Diferença entre os campos médios do período futuro médio (cv med) e longo (cv long) e o período histórico (cv hist), todos com correção do viés. Foram verificadas diferenças estatisticamente significativas (teste t de Student) no nível de significância 5% em todos os pontos da malha.

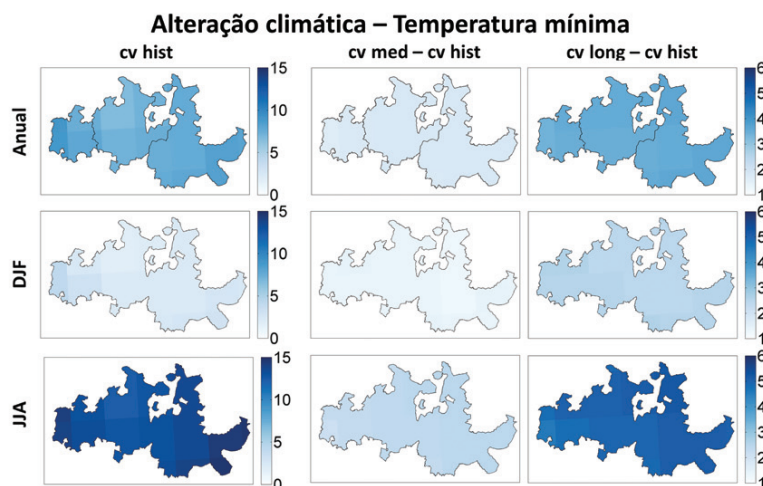


Figura 2.6. Semelhante à Figura 2.5, mas para a temperatura mínima.

Verifica-se que, em ambos os períodos futuros, é esperado um aumento da temperatura, sendo este intensificado durante o verão e no que se refere à temperatura máxima. No futuro médio e longo é expectável um aumento de aproximadamente 2°C e 4°C da temperatura máxima e mínima anual, respetivamente. Todas as diferenças são estatisticamente significativas.

2.3.2 ÍNDICES DE ALTERAÇÃO CLIMÁTICA DE TEMPERATURA

Foi avaliada a alteração climática de índices de alterações climáticas, nomeadamente número de dias de verão (SU25), com gelo (FDO) e de noites tropicais (TR) (Fig. 2.7).

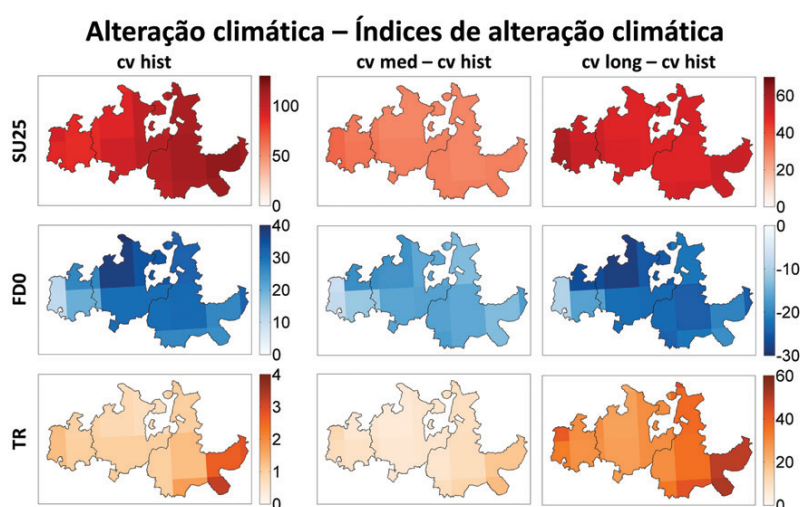


Figura 2.7. Índices de alteração climática – número médio de dias de verão (SU25 – dias por ano) para a RDD (primeira linha), de dias com gelo (FDO – dias por ano) (segunda linha) e de noites tropicais (TR – noites por ano) (terceira linha) – para o período histórico (cv hist) e diferença entre os períodos futuro médio (cv med) e longo (cv long) e o período histórico (cv hist), todos com correção do viés. Foram verificadas diferenças estatisticamente significativas (teste t de *Student*) no nível de significância 5% em todos os pontos da malha.

No índice SU25 verifica-se um aumento significativo do número médio de dias relativamente ao período histórico. No caso do futuro médio, é esperado um aumento de um mês com dias de verão, enquanto no futuro longo é esperado o dobro de dias de verão.

Nos períodos futuros, no índice FDO, observa-se uma diminuição, em relação ao período histórico recente, do número de dias com gelo. No futuro longo é expectável uma diminuição superior a 20 dias.

No índice TR, prevê-se um aumento do número de noites tropicais nos períodos futuros relativamente ao histórico, atingindo um aumento de 40-60 noites no futuro longo, na zona Este.

Estes resultados estão associados ao aumento da temperatura, discutido anteriormente.

2.3.3 ONDAS DE CALOR E DE FRIO

As ondas de calor e de frio são caracterizadas pela intensidade (INT), duração (DUR), fator de recuperação (RF), número de ondas (NONDAS) e número de dias com eventos (NDIAS). Foram calculados os campos médios destas características do período histórico e as diferenças entre o futuro médio e longo e o período histórico (Fig. 2.8 e 2.9).

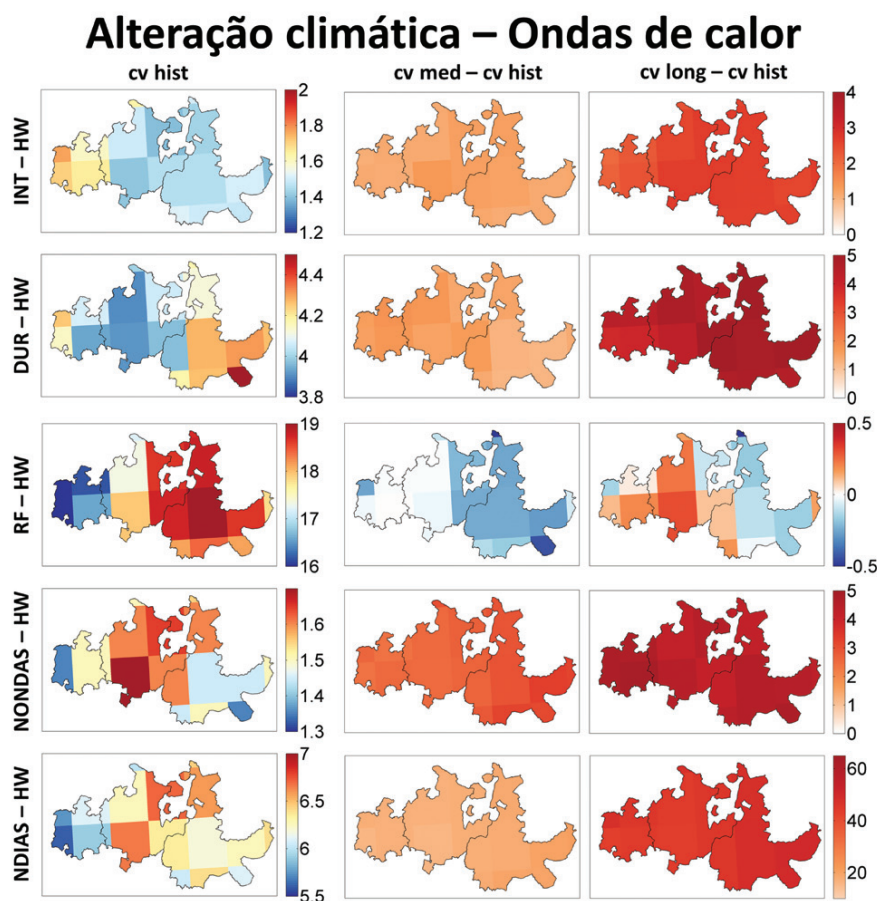


Figura 2.8. Média das propriedades – intensidade (INT - °C), duração (DUR - dias), fator de recuperação (RF - °C), número de eventos (NONDAS) e de dias com eventos (NDIAS - dias) – das ondas de calor (HW) para o período histórico com correção do viés (cv hist) e diferença entre os períodos futuro médio (cv med) e futuro longo (cv long) e o período histórico (cv hist), todos com correção do viés.

No caso das ondas de calor, em ambos os períodos futuros é expectável um aumento significativo da intensidade, duração, número de ondas e de dias com onda. Estes incrementos são mais pronunciados no futuro longo. O aumento da intensidade e duração está associado a uma maior diferença entre a temperatura máxima e o limite diário.

Prevê-se também um aumento médio máximo de 5 ondas e de 50 dias com ondas (grande parte do verão). As alterações no fator de recuperação são mínimas.

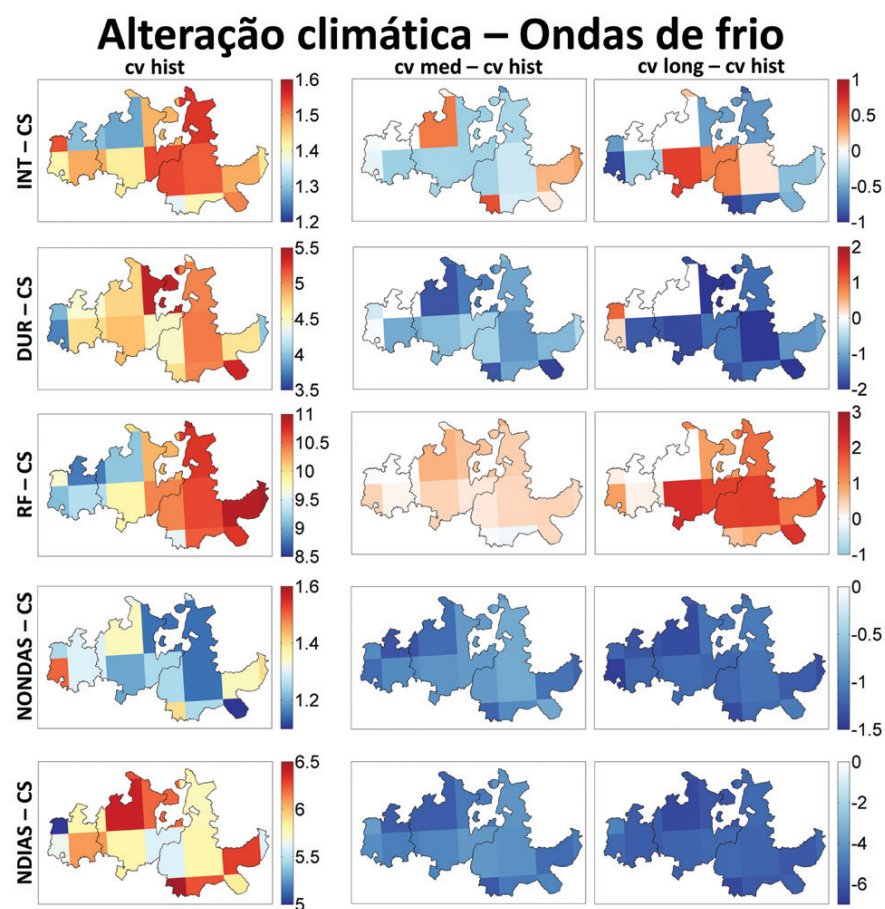


Figura 2.9. Semelhante à Fig. 8, mas para as ondas de frio.

No caso das ondas de frio, estima-se maioritariamente uma diminuição significativa da duração, número de ondas e de dias com ondas. A diminuição da duração está associada a um menor número de dias consecutivos com temperatura mínima inferior à do limite diário.

Concluindo, no geral, as ondas de calor, caracterizadas por um aumento da intensidade, duração, número de ondas e de dias com ondas e pela redução do fator de recuperação, apresentam alterações superiores às verificadas nas ondas de frio, caracterizadas por diminuição/aumento da intensidade, diminuição da duração, número de ondas e de dias com ondas e aumento do fator de recuperação.

2.3.4 PRECIPITAÇÃO

A Figura 2.10 mostra a distribuição espacial da precipitação média anual e sazonal para o clima histórico e a alteração da precipitação para os climas futuros. Observa-se uma redução generalizada da precipitação de, aproximadamente 20%, com exceção do Inverno que regista um ligeiro aumento.

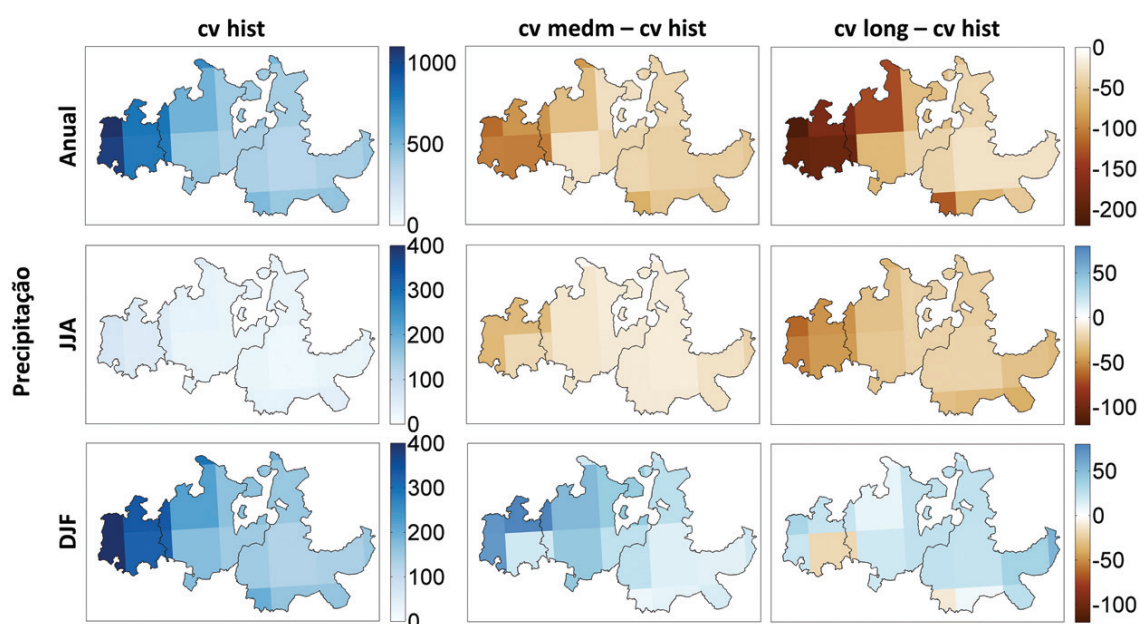


Figura 2.10. Precipitação (anual – primeira linha, inverno – segunda linha e verão – terceira linha) e média da temperatura mínima diária do período histórico com correção do viés (cv hist) (primeira coluna). Diferença entre os campos médios do período futuro médio (cv med) e longo (cv long) e o período histórico (cv hist), todos com correção do viés. Foram verificadas diferenças estatisticamente significativas (teste t de Student) no nível de significância 5% em quase todos os pontos da malha.

A Figura 2.11 apresenta alguns índices de alteração climática associados à precipitação, tais como o número médio anual de dias secos consecutivos (CDD), de dias chuvosos consecutivos (CWD) e de dias com precipitação intensa, relativos ao clima histórico e a alteração climática para ambos os climas futuros. É de realçar uma redução acentuada do número de dias consecutivos com precipitação (CWD) e um aumento do número de dias secos consecutivos (CDD).

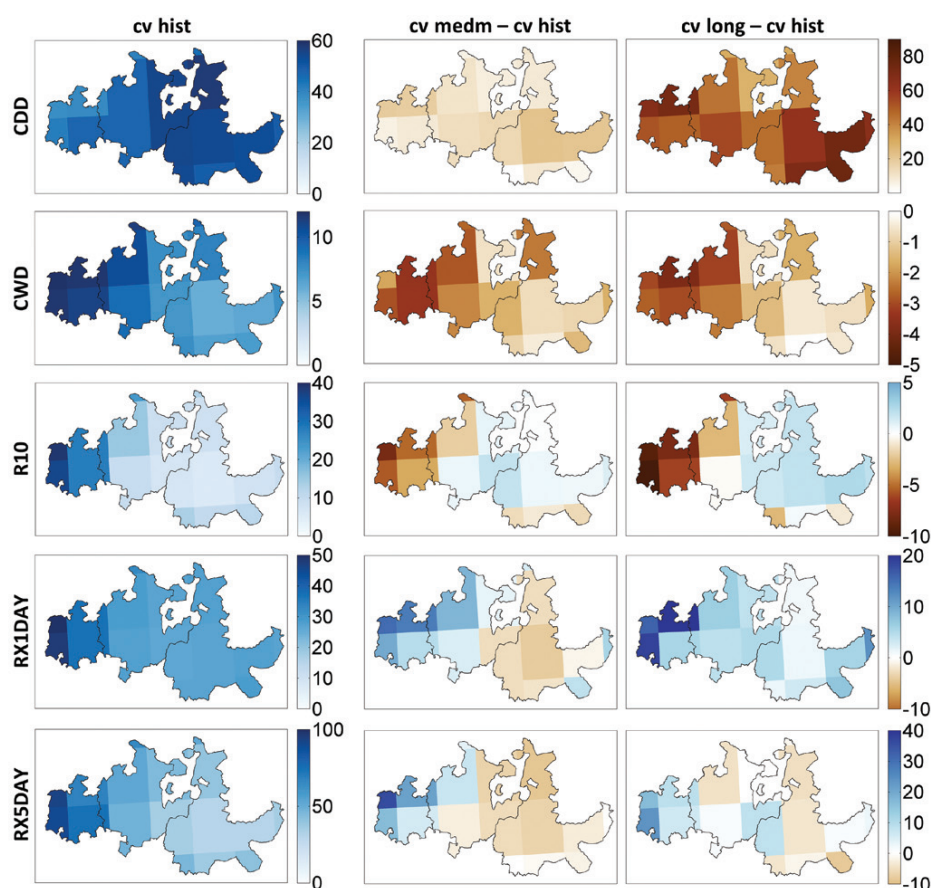


Figura 2.11. Índices de alteração climática - número médio anual de dias secos consecutivos (CDD - dias por ano) (primeira linha), de dias chuvosos consecutivos (CWD - dias por ano) (segunda linha), de dias com precipitação intensa (R10 - $p \geq 10$ mm/dia) (terceira linha), de máximo de precipitação num dia (RX1Day - mm) (quarta linha) e de máximo de precipitação em cinco dias (RX5Day - mm) (quinta linha) - para o período histórico (cv hist) e diferença entre os períodos futuro médio (cv med) e longo (cv long) e o período histórico (cv hist), todos com correção do viés.

2.4 ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS

Nesta secção são apresentados alguns dos parâmetros e índices bioclimáticos relevantes para a videira, calculados com base nos resultados das simulações meteorológicas WRF-MPI para os anos 2000 (passado-recente), 2049 (futuro a médio prazo) e 2097 (futuro a longo prazo), com uma resolução espacial de 1 km.

Os parâmetros e índices foram os seguintes:

- Tveg (°C) - Temperatura média durante o período vegetativo da videira (abril a outubro)

- Pveg (mm) - Precipitação acumulada durante o período vegetativo da videira
- IW (°C) - Índice de Winkler, proposto por Winkler (1962), quantifica a duração térmica do período vegetativo da videira e indica a possibilidade de uma casta completar o seu ciclo de desenvolvimento. Calcula-se para o período de 1 de abril a 31 de Outubro, segundo a equação 1, considerando uma temperatura inicial de atividade fisiológica de 10 °C

$$IW = \int (T - 10) dt \quad (1)$$

- IH - Índice Huglin, proposto por Tonietto e Carbonneau (2004) para uma classificação climática multicritério (CCM) geovitícola à escala global, mas também válido para utilização à escala regional (Blanco *et al.*, 2007), indica a capacidade de maturação (produção de açúcares), incorporando indiretamente a radiação solar e a temperatura durante o processo fotossintético. É calculado através da equação 2, para o período de 1 de abril a 30 de setembro.

$$IH = \int \frac{(T-10)+(T_x-10)}{2} k dt \quad (2)$$

Onde, Tx é a temperatura máxima diária e k é um coeficiente dependente da duração do período diurno, igual a 1,02 entre as latitudes 40° 01' e 42° 00'.

- IF (°C) - Índice de frio noturno, faz parte do sistema de classificação climática multicritério (CCM), e representa a média das temperaturas mínimas de setembro. Está relacionado com o potencial qualitativo das regiões vitivinícolas, especialmente em relação aos metabolitos secundários como polifenóis e aromas.
- IS (mm) - Índice de seca, também incluído no sistema CCM, indica a disponibilidade de água no solo (W). O valor de IS corresponde ao valor de W no final do período entre abril e setembro, calculado a partir do balanço hídrico do solo (equação 3).

$$W = W_0 + P - TV - ESE \quad (3)$$

Onde, Wo é a reserva inicial de água no solo (para abrir considera-se 200 mm), P é a precipitação (mm), TV é a transpiração potencial da videira (mm) e ESE a

evaporação direta a partir do solo (mm).

A Tabela 2.1 mostra os valores calculados desses índices para os cenários considerados, passado-recente e futuro a médio e longo prazo.

Parâmetros	Passado-recente	Futuro a médio prazo	Futuro a longo prazo
Tveg (°C)	18,3	18,9	21,4
Pveg (mm)	313	292	209
IW (°C)	1765	1893	2433
IH	2247	2446	2886
IF (°C)	11,3	15,5	16,8
IS (mm)	-98	-93	-159

Tabela 2.1 Índices bioclimáticos médios para a vinha da RDD em cenário climático passado-recente e de futuro de médio e longo prazo

No geral, observa-se um aumento significativo na temperatura média durante o período vegetativo da videira, juntamente com uma diminuição significativa na precipitação. A Figura 2.12 mostra a temperatura média do período vegetativo da videira para o passado-recente e futuro a longo prazo.

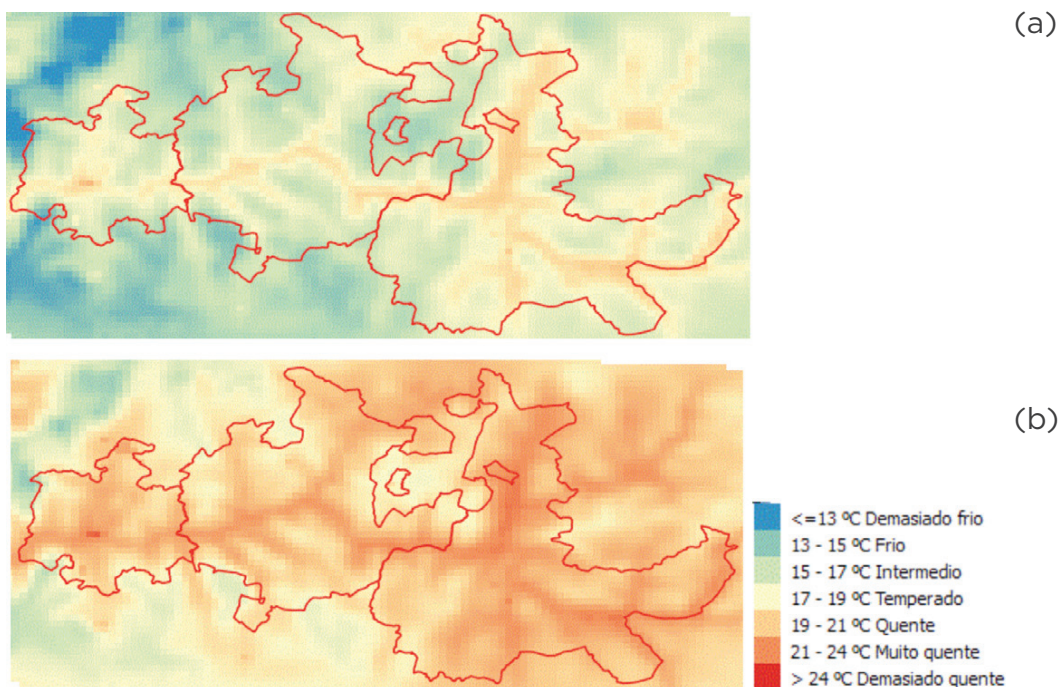


Figura 2.12 - Temperatura média do período vegetativo da videira para o passado-recente (a) e futuro a longo prazo (b).

O IW passado-recente é típico de valores associados à produção de vinhos de elevada qualidade; os valores mais altos previstos estão relacionados com a produção intensiva de vinhos de qualidade intermédia.

Os valores do IH mostram a passagem de uma região de cultivo da videira considerada como temperada-quente para uma categoria quente de maior heliotermicidade. No passado-recente, o IF indica condições muito frescas (associadas a vinhos de qualidade), enquanto que no futuro existe uma tendência para noites temperadas. Finalmente, o IS indica um aumento no stresse hídrico considerado já elevado em clima presente.

Referências

Amengual, A., Homar, V., Romero, R., Alonso, S. Ramis, C. (2012). A Statistical Adjustment of Regional Climate Model Outputs to Local Scales: Application to Platja de Palma, Spain. *Journal of Climate*, 25, 939-957. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-10-05024.1>.

Blanco-Ward, D, Queijeiro, J. M. G., Jones, G. V. (2007). Spatial climate variability and viticulture in the Miño river valley of Spain. *Vitis*, vol. 46, 2, 63-70, 2007.

Dee, D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M.A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A.C.M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A.J., Haimberger L., Healy S.B., Hersbach H., Hólm E.V., Isaksen L., Kållberg P., Köhler M., Matricardi M., McNally A.P., Monge-Sanz B.M., Morcrette J.J., Park B.K., Peubey C., de Rosnay P., Tavolato C., Thépaut J.N., Vitart F. (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137(656): 553-597. <https://doi.org/10.1002/qj.828>.

Giorgetta, M. A., Jungclaus, J., Reick, C. H., Legutke, S., Bader, J., Böttinger, M., Stevens, B. (2013). Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 5(3), 572-597. <https://doi.org/10.1002/jame.20038>.

IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

Marta-Almeida, M., Teixeira, J. C., Carvalho, M. J., Melo-Gonçalves, P., Rocha, A. M. (2016). High resolution WRF climatic simulations for the Iberian Peninsula: Model validation. *Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C*, 94, 94-105. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.03.010>.

Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., ... Zurek, M. (2008). *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*. Technical Summary. Intergovernmental Panel on Climate Change: Geneva, Switzerland.

Sillmann, J., Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X., Bronaugh, D. (2013). Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(6), 2473-2493. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50188>.

Tonietto, J e Carbonneau, A. (2004). A multicriteria classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124, 81-97.

Winkler, A. J. (1962). General Viticulture. University of California. Berkeley, 633 pp.

3. AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO DA VINHA AO OZONO

Ana Ascenso // Daniel Blanco-Ward // Carla Gama // Alexandra Monteiro // Carlos Silveira // Ana Isabel Miranda

Níveis elevados de O_3 podem danificar as plantas a nível celular, reduzindo a sua capacidade reprodutiva e de crescimento. Para evitar estes danos, a União Europeia (UE) definiu padrões de proteção da vegetação, recorrendo ao indicador de exposição acumulada AOT40. Este indicador consiste na soma da diferença entre os valores das concentrações horárias superiores a $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e o valor $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, entre as 08:00 e as 20:00 horas de cada dia, no período entre maio e julho.

A Diretiva Quadro da Qualidade do Ar (Diretiva 2008/507EC) estabelece o nível de AOT40 de $18000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{h}$ como valor-alvo para a proteção da vegetação. Desde o início do século que este valor-alvo tem sido excedido em grande parte das áreas agrícolas europeias. De acordo com o último relatório da Agência Europeia do Ambiente (EEA, 2017), em 2014, o valor-alvo para a proteção da vegetação foi excedido em 18% das estações rurais europeias de monitorização de ozono, principalmente no Sul da UE.

A modelação da qualidade do ar apresenta-se como uma importante abordagem para estudar os impactos da exposição da vegetação ao ozono. Vários autores têm avaliado estes impactos em clima presente (Avnery *et al.*, 2011; Colette *et al.*, 2007; Emberson *et al.*, 2000) e futuro (Feng *et al.*, 2008; Fuhrer, 2009; Klingberg *et al.*, 2011). No entanto, ainda são poucos os estudos focados na videira e a disponibilidade de informação sobre funções exposição-resposta é reduzida (Ascenso, 2017). Neste capítulo é feita a avaliação da exposição da vinha duriense ao ozono troposférico em clima atual e futuro, apresentando os seus efeitos ao nível da produtividade e qualidade expressa em função do nível de açúcares.

3.1 METODOLOGIA

Para estimar a concentração e deposição de ozono na Região Demarcada do Douro, aplicou-se o modelo químico de transporte CHIMERE, usando como forçamento meteorológico os resultados do modelo WRF, apresentados no capítulo anterior. O modelo CHIMERE também requer como informação de entrada, dados detalhados de emissões (antropogénicas e biogénicas), condições fronteira, topografia e uso do solo (LMD *et al.*, 2016). Os resultados obtidos compreendem campos de concentração e de deposição dos vários poluentes gasosos, simulados pelo modelo químico com uma resolução de horizontal de $1 \times 1 \text{ km}^2$. Informação mais detalhada sobre as parametrizações usadas pelo modelo pode ser encontrada em Ascenso (2017).

O sistema de modelação WRF-CHIMERE foi aplicado para o clima presente (2003;2004;2005), futuro a médio prazo (2049;2064) e futuro a longo prazo

(2096;2097). Estes anos foram selecionados com base na avaliação climática realizada, que os identificou como anos particularmente quentes em cada um dos períodos a simular. Os valores horários de concentração de O_3 , estimados pelo modelo para o ano 2004, foram comparados com os valores medidos em estações de monitorização de fundo.

Para poder avaliar isoladamente o efeito das alterações climáticas, estimou-se a concentração e deposição de ozono, considerando que as emissões atmosféricas no futuro se manteriam constantes em relação ao clima presente. O efeito da redução de emissões no futuro, prevista com base no pressuposto de uma maior qualidade ambiental associada ao aumento do bem-estar (Riahi *et al.*, 2011), também foi avaliado considerando os valores de emissão projetados para o futuro de acordo com o cenário RCP8.5. O modelo foi aplicado com as novas emissões, obtendo-se uma estimativa dos valores futuros de concentração e de deposição de O_3 , influenciados pela alteração climática (AC) e pela redução de emissões.

O indicador de exposição AOT40 foi calculado para cada cenário e foi aplicado na avaliação do potencial dano em termos de produtividade e qualidade (percentagem de açúcar na uva). Esta análise foi feita através da aplicação das funções de exposição-resposta apresentadas por Soja *et al.* (2004) no seu estudo experimental de três anos sobre os efeitos da exposição a longo prazo de videiras ao O_3 . A função aplicada neste estudo representa a resposta da videira no terceiro ano consecutivo de exposição, que representa o maior dano na vinha. Os resultados do nível de deposição foram baseados no total de deposição seca de O_3 acumulado de maio a julho, o mesmo período estabelecido para o cálculo do indicador AOT40.

3.2 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DO MODELAÇÃO

O desempenho do modelo foi avaliado para o ano 2004, recorrendo ao cálculo de vários parâmetros estatísticos, recomendados por Borrego *et al.* (2008): viés (BIAS); coeficiente de correlação (r); e erro quadrático médio (EQM). O viés indica o desvio existente entre as concentrações simuladas e observadas, em termos sistemáticos, permitindo tirar conclusões sobre a tendência dos erros cometidos pelo modelo; o valor ideal é zero. O coeficiente de correlação traduz a relação linear entre as concentrações simuladas e medidas, e fornece informação sobre a qualidade da reprodução dos processos físicos e químicos atmosféricos; o valor ideal é um. O EQM indica a magnitude dos erros da simulação e o seu valor ideal é zero.

O procedimento de validação consistiu em comparar os resultados da simulação com os valores medidos por estações de monitorização. As estações de monitorização da qualidade do ar constam da base de dados europeia de estações de qualidade do ar (AirBase) (EEA, 2014). Foram selecionadas estações de influência de fundo, pois refletem melhor as variações dos níveis de ozono. A Figura 3.1 apresenta a localização das estações de monitorização selecionadas num raio de 200 km da RDD.

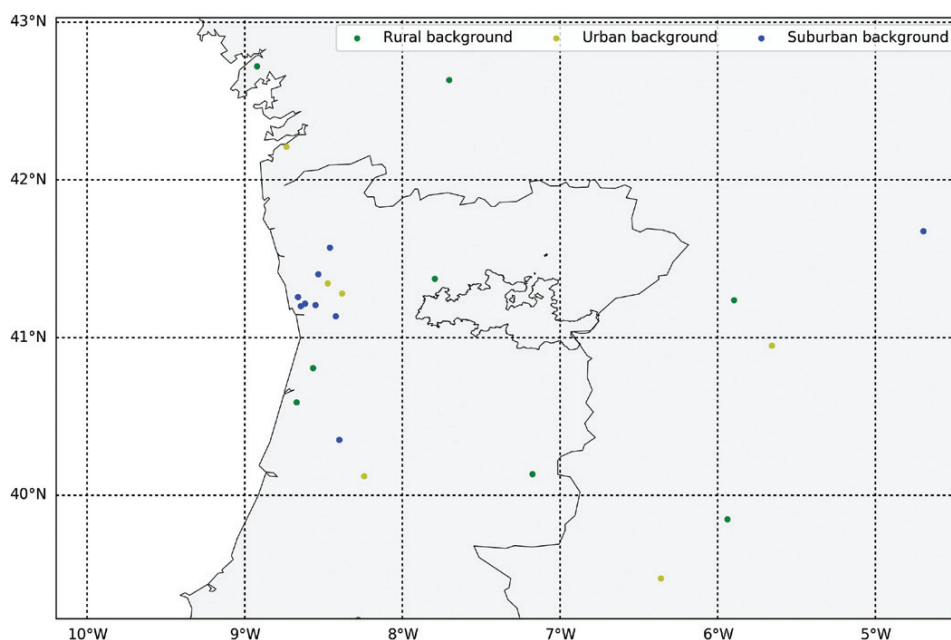


Figura 3.1: Mapa da localização das estações de monitorização da qualidade do ar usadas na validação do modelo de qualidade do ar.

Os resultados dos parâmetros estatísticos calculados para as séries anuais de valores horários de ozono, simulados e medidos, estão compilados na Figura 3.2.

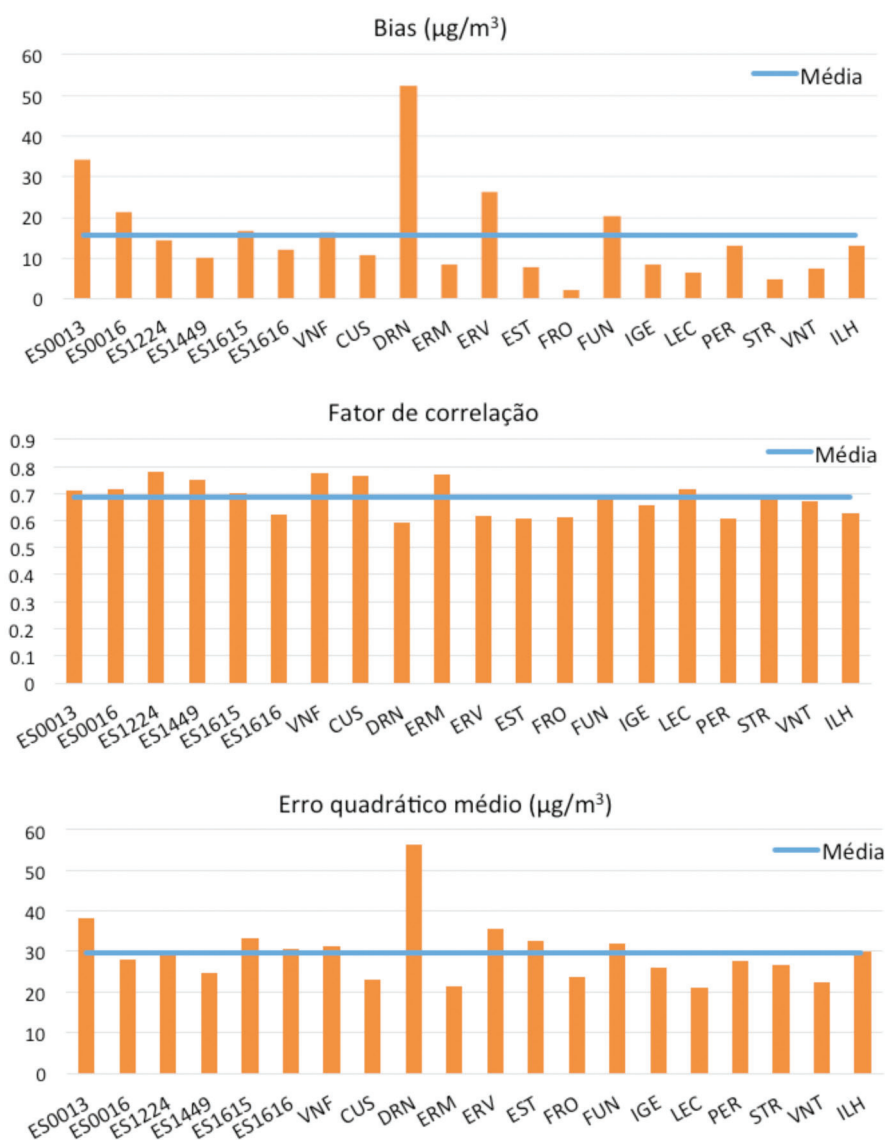


Figura 3.2 - Dados estatísticos (BIAS, r e EQM) relativos à validação de O_3 para o ano de 2004, com base em valores horários medidos e simulados nas estações de monitorização selecionadas.

De forma geral, os parâmetros estatísticos revelam um desempenho adequado do modelo CHIMERE, com um viés médio de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (modelo subestima os valores medidos) e um fator de correlação entre 0,60 e 0,75. Os resultados obtidos para o erro quadrático médio são relativamente elevados, mas semelhantes aos referidos em outros estudos de simulação com o modelo CHIMERE (e.g. Monteiro *et al.*, 2005), variando entre 21 e $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A estação de monitorização Douro Norte (rural de fundo) é a estação mais próxima da RDD e é conhecida pelos níveis elevados de O_3 . Para avaliar a capacidade do modelo em representar os picos de ozono na proximidade da RDD, a Figura 3.3 apresenta a série temporal dos valores máximos diários das médias octo-horárias calculadas para o ano 2004 nesta estação, para os dados medidos e modelados.

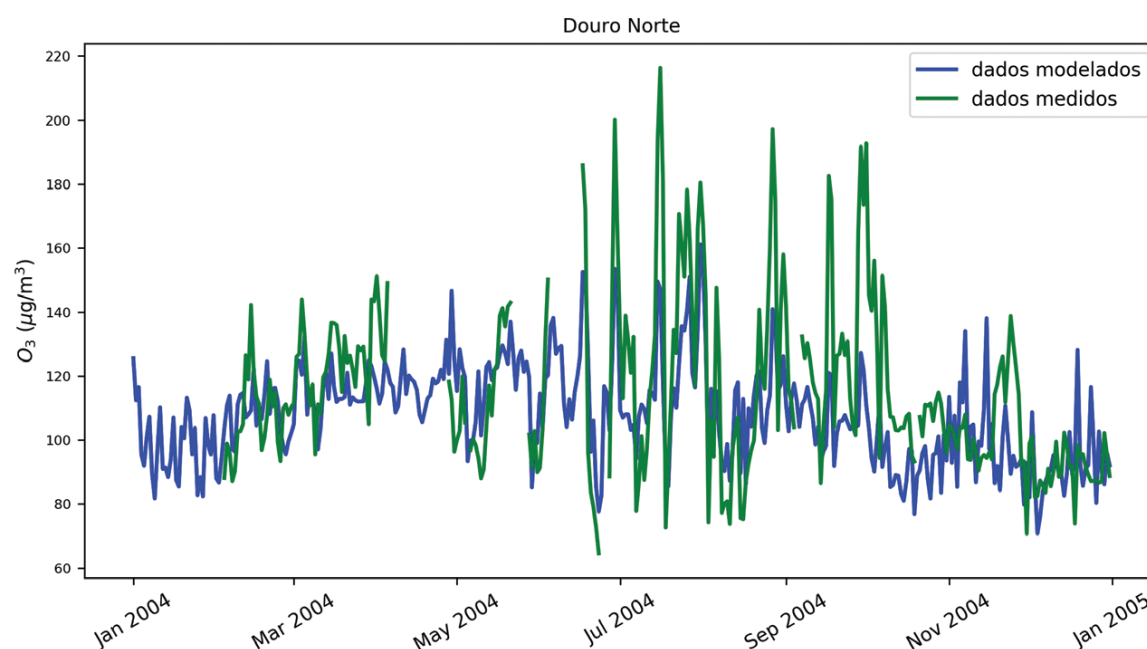


Figura 3.3 - Série temporal da média máxima diária por períodos de 8 horas para o O_3 , durante o ano 2004, para a estação Douro Norte.

Apesar das falhas nos dados medidos, é visível que o modelo consegue acompanhar a tendência das medições ($r=0,64$), embora falhe a estimativa dos picos de O_3 mais elevados. Após cuidadosa comparação dos dados modelados e medidos, e tendo sempre presente a incerteza associada ao processo de modelação, é possível afirmar que os resultados do modelo reúnem as condições necessárias para serem considerados com um grau de confiança adequado.

3.3 RESULTADOS

Nesta secção são analisados os níveis de AOT40 e de deposição seca de ozono, obtidos com o modelo de qualidade do ar CHIMERE. A Figura 3.4 apresenta um resumo dos resultados para o presente (média de 2003, 2004 e 2005) e futuro a médio-prazo (média de 2049 e 2064), na RDD. Os valores de perda de qualidade referem-se à diminuição dos teores de açúcares da uva.

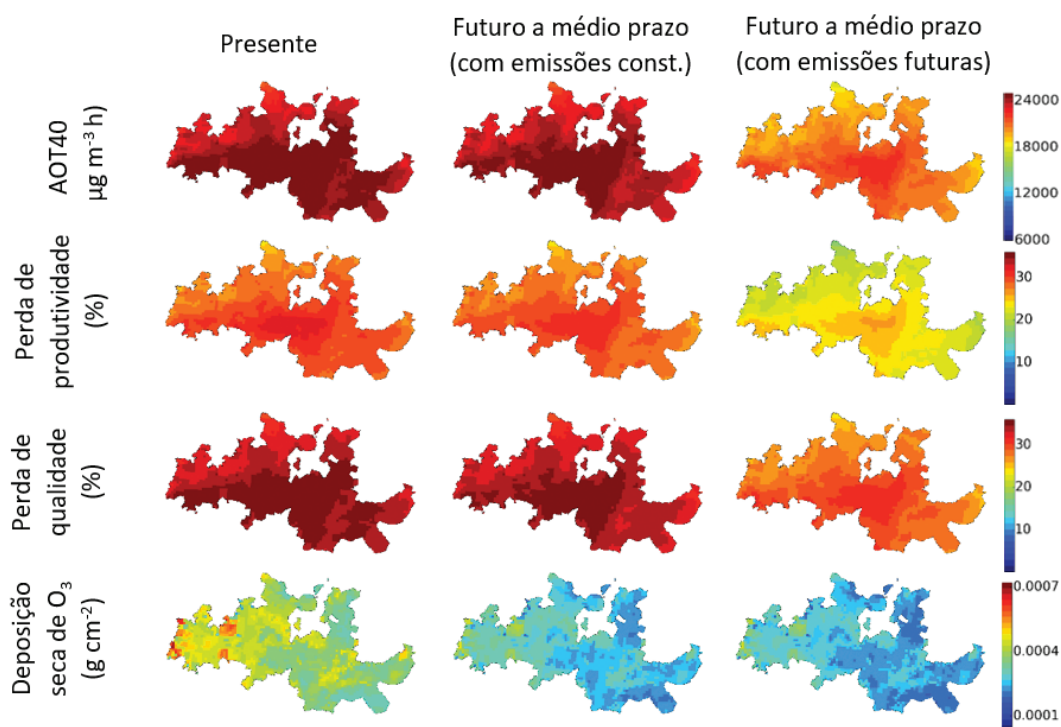


Figura 3.4 – Resultados do modelo para AOT40, produtividade e qualidade (em teor de açúcares) da vinha, e deposição seca de ozono, para o clima presente e futuro a médio prazo, sem e com emissões futuras.

No cenário presente e em termos médios, o valor de AOT40 é $22500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$, a perda de produtividade é de 27%, a perda de qualidade é de 32% e os níveis de deposição seca acumulada são de $0,00040 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$. No cenário de médio prazo (com emissões constantes), não são observadas diferenças significativas em relação ao presente, estimando-se uma diminuição média de 1% nos níveis de AOT40 e uma diminuição de 1% nas perdas de produtividade e de qualidade. No cenário com emissões projetadas para o futuro, os níveis de AOT40 diminuem em média 20%, indicando que a redução dos níveis de AOT40 é principalmente influenciada pela redução de emissões. O valor alvo para a proteção da vege-

tação ($18\,000\ \mu\text{g m}^{-3}\text{ h}$) ainda é excedido em toda a RDD, mas as perdas de produtividade e de qualidade vão diminuir, em relação ao presente, em 6 e 5%, respetivamente.

Relativamente à deposição seca de ozono, ambos os cenários de futuro a médio prazo apresentam resultados semelhantes, diminuindo em relação ao presente 33% e 37% no cenário de AC e no cenário com novas emissões, respetivamente. Estes resultados indicam que, a deposição seca é maioritariamente influenciada por fatores meteorológicos.

A Figura 3.5 apresenta um resumo dos resultados obtidos para o presente e futuro a longo prazo (média de 2096 e 2097), para a RDD.

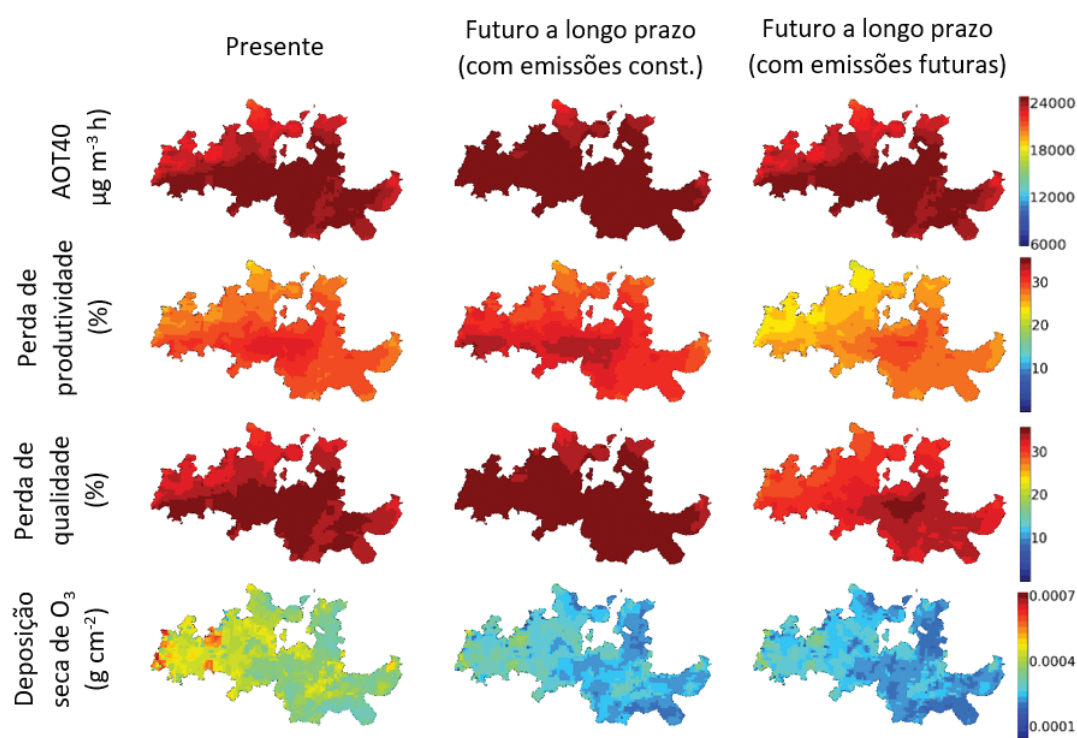


Figura 3.5 - Resultados do modelo para AOT40, produtividade e qualidade em teores de açúcar da vinha, e deposição seca de ozono, para o clima presente e futuro a longo prazo, sem e com emissões futuras.

As maiores diferenças nos níveis de AOT40 e danos para a vinha deverão acontecer num futuro a longo prazo. Ao considerar apenas o impacto das AC na concentração de O_3 , os resultados do modelo mostram um aumento médio de 7% nos níveis de AOT40, que se reflete num aumento de 9% e 7% nas perdas de produtividade e de qualidade. Embora os níveis de AOT40 continuem a exceder o valor alvo para a proteção da vegetação, quando as emissões futuras são con-

sideradas, os níveis de AOT40 diminuem em média 8%, refletindo uma diminuição de 8% e 7% na perda de produtividade e de qualidade.

Os níveis de deposição seca de ozono aumentam ligeiramente em relação aos valores simulados para médio prazo, mas no geral os resultados do modelo indicam uma diminuição de 30% e 34% no cenário de AC e no cenário com novas emissões, respetivamente. Como Klingberg *et al.* (2011) apontam, mesmo com o aumento das concentrações de O_3 , prevê-se no sul da Europa uma diminuição do risco de dano na vegetação por O_3 , principalmente devido às condições mais secas e às temperaturas mais elevadas esperadas no futuro, que afetarão a sua absorção pelas plantas.

3.4 COMENTÁRIOS FINAIS

Os resultados do modelo indicam a possível tendência para a diminuição, no futuro, da exposição das plantas ao ozono e da deposição seca, mas reforçam a importância do cumprimento dos objetivos da legislação vigente no que se refere a emissões atmosféricas, o que potenciará a minimização dos danos na vegetação.

Mesmo sem considerar a redução de emissões, os resultados do modelo apresentam uma diminuição nos níveis de deposição seca de ozono. Os danos na vinha calculados com base no indicador AOT40 podem ter sido sobrestimados e, portanto, é importante definir um limiar para a proteção da vegetação que considere a potencial absorção de ozono pela vegetação usando os níveis de deposição seca, bem como desenvolver funções dose-resposta específicas.

A relação ozono, clima e efeito na vinha não é linear e compreende um sem número de variáveis que os sistemas de modelação de qualidade do ar não têm ainda em consideração, sendo aconselhável associar à modelação numérica trabalho experimental e monitorizar o comportamento da videira.

No próximo capítulo, apresenta-se o trabalho de campo realizado no projeto DOUROZONE, incluindo parametrizações para avaliar o risco de fitotoxicidade do ozono, baseadas no indicador de dose de ozono fitotóxico (POD, na sigla inglesa). Este indicador considera a absorção de ozono pela planta através dos estomas durante o período fenológico da videira e a sua resposta fisiológica a outras condições ambientais, como temperatura, radiação solar e humidade atmosférica.

Referências

- Ascenso, A. F. I. (2017). *Avaliação da exposição da vinha duriense ao ozono troposférico*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- Avnery, S., Mauzerall, D. L., Liu, J., Horowitz, L. W. (2011). Global crop yield reductions due to surface ozone exposure: 1. Year 2000 crop production losses and economic damage. *Atmospheric Environment*, 45(13), 2284–2296. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.11.045>
- Borrego, C., Monteiro, A., Ferreira, J., Miranda, A. I., Costa, A. M., Carvalho, A. C., Lopes, M. (2008). Procedures for estimation of modelling uncertainty in air quality assessment. *Environment International*, 34(5), 613–620. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2007.12.005>
- Colette, A., Granier, C., Hodnebrog, Jakobs, H., Maurizi, A., Nyiri, A., ... Tampieri, F. (2011). Air quality trends in Europe over the past decade: A first multi-model assessment. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(22), 11657–11678. <https://doi.org/10.5194/acp-11-11657-2011>
- European Environment Agency, (2014). AirBase - The European air quality database. Retrieved December 5, 2016, from <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/airbase-the-european-air-quality-database-8>
- Emberson, L. D., Ashmore, M. R., Cambridge, H. M., Simpson, D., Tuovinen, J. P. (2000). Modelling stomatal ozone flux across Europe. *Environmental Pollution*, 109(3), 403–413. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00043-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00043-9)
- European Environment Agency. (2017). Air quality in Europe — 2017 report. EEA *Technical Report*. <https://doi.org/10.2800/22775>
- Feng, Z., Kobayashi, K., Ainsworth, E. A. (2008). Impact of elevated ozone concentration on growth, physiology, and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.): A meta-analysis. *Global Change Biology*, 14(11), 2696–2708. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01673.x>
- Fuhrer, J. (2009). Ozone risk for crops and pastures in present and future climates. *Naturwissenschaften*, 96(2), 173–194. <https://doi.org/10.1007/s00114-008-0468-7>
- Klingberg, J., Engardt, M., Uddling, J., Karlsson, P. E., Pleijel, H. (2011). Ozone risk for vegetation in the future climate of Europe based on stomatal ozone uptake calculations. *Tellus A*, 63(1), 174–187. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2010.00465.x>
- LMD, INERIS, LISA. (2016). Documentation of the chemistry-transport model - CHIMERE [version chimere 2016a].
- Monteiro, A., Strunk, A., Carvalho, A., Tchepel, O., Miranda, A. I., Borrego, C., ... Elbern, H. (2012). Investigating a high ozone episode in a rural mountain site. *Environmental Pollution*, 162, 176–189. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.11.008>
- Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., ... Rafaj, P. (2011). RCP 8.5-A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109(1), 33–57. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0149-y>
- Simpson, D., Ashmore, M. R., Emberson, L., & Tuovinen, J. P. (2007). A comparison of two different approaches for mapping potential ozone damage to vegetation. A model study. *Environmental Pollution*, 146(3), 715–725. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.04.013>
- Soja, G., Reichenauera, T.G., Eida, M., Soja, A.-M., Schaberb, R., Gangl H. 2004. Long-term ozone exposure and ozone uptake of grapevines in open-top chambers. *Atmospheric Environment* 38 (2004) 2313–2321

4. EFEITOS POTENCIAIS DO OZONO NA CULTURA DA VINHA

António Ribeiro // Daniel Blanco-Ward // David Barreales // João Paulo Castro
// João Verdial // Jaime Pires // Manuel Ângelo Rodrigues // Manuel Feliciano // Ana Isabel Miranda

Este capítulo tem como objetivo descrever os efeitos potenciais do ozono na cultura da vinha, recorrendo a informação da bibliografia e a resultados da campanha de monitorização realizada na região Demarcada do Douro (RDD) no âmbito do projeto DOUROZONE.

4.1 EFEITOS NA ANATOMIA E FISIOLOGIA DA VIDEIRA

A sensibilidade da videira (*Vitis vinifera* L.) ao ozono troposférico tem sido evidenciada em vários estudos (Roper & Williams, 1989; Fumagalli et al., 2001; Saitanis, 2003; Pellegrini et al., 2015), em que a redução da condutância estomática e da assimilação líquida de CO₂ e o incremento da senescência foliar precoce, são referidos como os principais sintomas do seu efeito oxidante. Os sintomas visíveis traduzem-se no aparecimento de pequenas manchas pontilhadas entre as nervuras da página superior da folha, de cor castanha e que evoluem para um enegrecimento (Figura. 4.1). Ao microscópio podem observar-se deformações com zonas empoladas e fissuras na epiderme (Figura. 4.2).

A



B



Figura 4.1. Sintomas visíveis característicos do efeito do ozono em folhas de videira. (A-Foto A.C.Ribeiro; B- Foto M.J. Sanz)

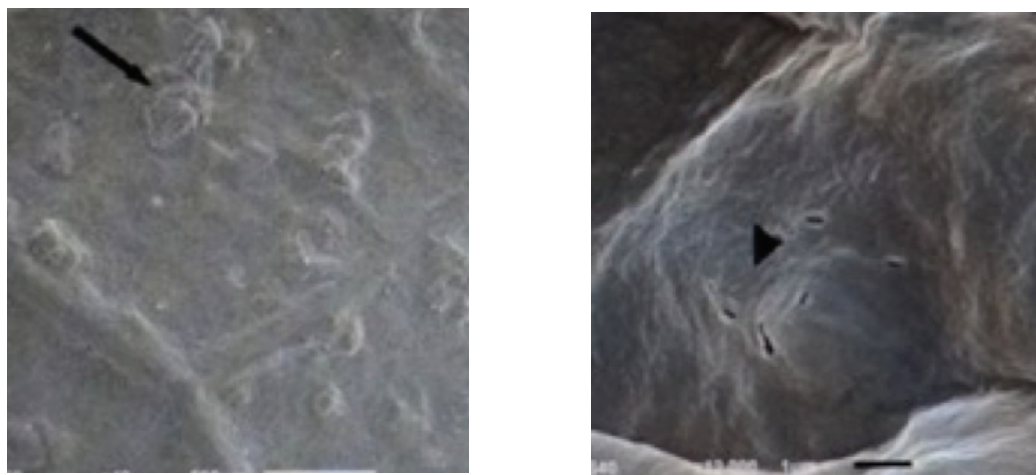


Figura 4.2. Observações ao microscópio de deformações com zonas empoladas e fissuras na epiderme provocadas pelo ozono (Pellegrini *et al.*, 2015).

Estes sintomas resultam de alterações estruturais na cutícula e de modificações anatômicas ao nível do mesófilo, com um aumento irregular da espessura da folha, diminuição da espessura do parênquima em paliçada e morte de células, com o aparecimento de manchas necróticas. A diminuição da densidade estomática é outros dos efeitos da exposição a níveis elevados de ozono (Roper & Williams, 1989).

Ao nível fisiológico, a exposição ao ozono provoca a diminuição da atividade fotossintética, devido à redução da condutância estomática e de limitações não estomáticas (aumento da concentração sub-estomática do CO_2), a diminuição da eficiência fotoquímica máxima F_v/F_m (Valleta *et al.*, 2016), diminuição do potencial hídrico foliar de base e uma diminuição do conteúdo relativo em água das folhas (Pellegrini *et al.*, 2015).

4.2 EFEITOS NA PRODUTIVIDADE E COMPOSIÇÃO DO BAGO

Os estudos sobre o efeito do ozono na produtividade e composição do bago são escassos. Os ensaios realizados nas últimas décadas mostram que os efeitos de uma exposição prolongada a níveis elevados de ozono na atmosfera causam uma diminuição do crescimento vegetativo e da produtividade da vinha (Musselman *et al.*, 1983; Roper & Williams, 1989). Soja *et al.* (2004) verificaram uma diminuição da produtividade e da acumulação do teor de açúcar no mosto, como consequência da redução da taxa fotossintética e do metabolismo dos hidratos de carbono, em videiras (cv. Welschriesling) cultivadas em vasos e submetidas a uma exposição de diferentes níveis de ozono durante três anos, tendo-se observado um efeito gradual de agravamento na quebra de produtividade e de

acumulação de açúcares (frutose + glucose) nos bagos ao longo dos anos. Não foram observadas diferenças significativas relativamente à composição em ácidos orgânicos nos bagos. Em ensaios realizados no noroeste dos Estados Unidos da América (Booker *et al.*, 2009), nas castas Vidal e Chambourcin, o ozono foi responsável por um decréscimo do tamanho dos bagos e um aumento da acidez total. Nestes estudos não foram observadas diferenças estatisticamente significativas em relação ao pH e à acumulação de açúcares no bago. Os resultados dos vários estudos realizados mostram um comportamento diferenciado das castas, resultante, por um lado, da diferente sensibilidade ao ozono das várias castas e, por outro, da diferença de condutância estomática máxima que existe entre variedades, com consequentes diferenças na deposição de ozono.

4.3 MONITORIZAÇÃO DE OZONO NA RDD

As concentrações de ozono foram monitorizadas, em contínuo, na RDD, em particular na Quinta da Leda localizada na subregião do Douro Superior. A monitorização foi iniciada em finais de março de 2017 e decorrerá até setembro de 2018, abrangendo dois ciclos vegetativos da vinha. As concentrações de ozono foram medidas a sensivelmente 4 metros de altura com recurso a um analisador fotométrico de UV (Horiba ApoA 360) (Figura 4.3).



Figura 4.3. Equipamento de monitorização da concentração de ozono no Douro superior, Quinta da Leda - Sogrape.

As concentrações instantâneas de ozono foram integradas em médias horárias, temporariamente armazenadas no equipamento, sendo posteriormente objeto de tratamento matemático específico. Em particular, as concentrações horárias de ozono foram utilizadas para obter o padrão de variação ao longo do ciclo diário de 24 horas, assim como o padrão de variação sazonal. Além disso, foram também usadas para determinar algumas métricas de avaliação do risco resultante da exposição das plantas ao ozono, como o nível crítico AOT40 e a dose fitotóxica (POD e POD6), de modo a ser possível estabelecer relações entre estes parâmetros de dose de exposição e de dose de absorção e a perda de produtividade da vinha e a diminuição da acumulação do teor de açúcar dos bagos.

4.4 CONCENTRAÇÕES E PERFIS DE VARIAÇÃO TEMPORAL DE OZONO NA RDD

Os padrões temporais das concentrações de ozono são apresentados sob a forma de distribuição interquartil, para as diferentes horas do dia (Figura 4.4) e para os diferentes meses do ano (Figura 4.5), tendo por base as concentrações médias horárias de ozono registadas no período compreendido entre março de 2017 e fevereiro de 2018.

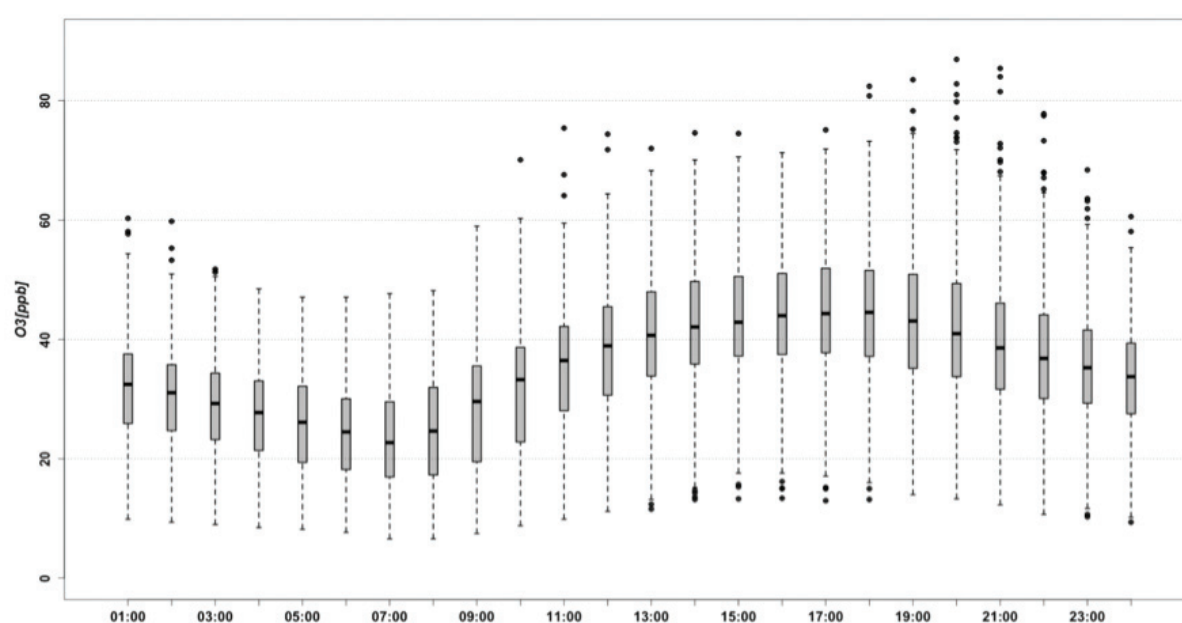


Figura 4.4. Diagramas de extremos e quartis das concentrações médias horárias registadas na região do Douro Superior, entre março de 2017 e fevereiro de 2018, para as diferentes horas do dia.

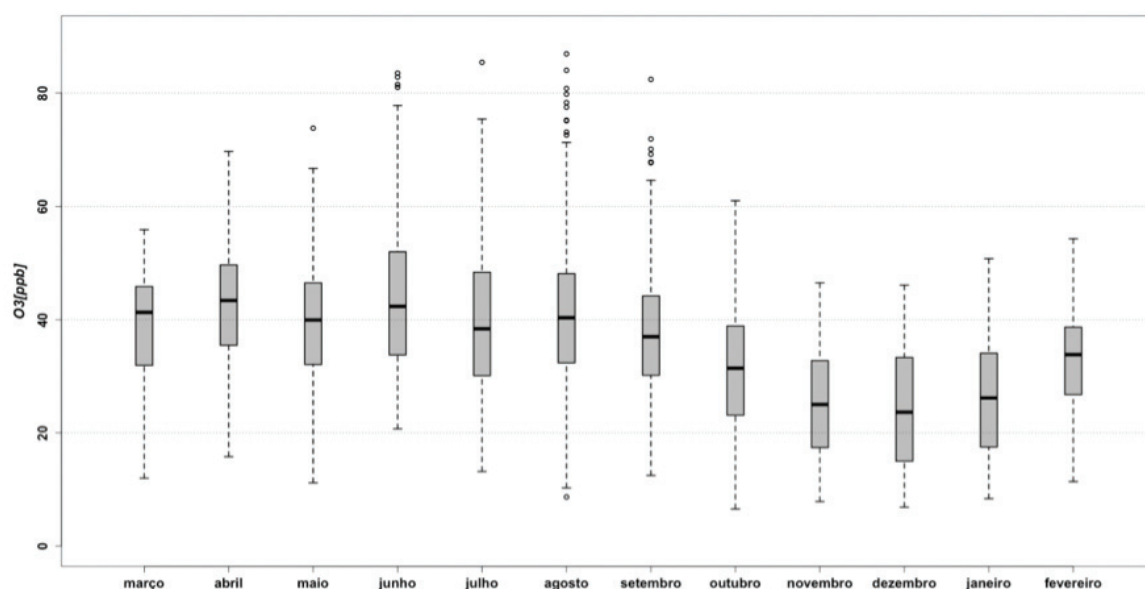


Figura 4.5. Diagramas de extremos e quartis das concentrações médias horárias registadas na região do Douro Superior, entre março de 2017 e fevereiro de 2018, para os diferentes meses do ano.

Como expectável, as concentrações de ozono seguem um padrão de variação ao longo do dia muito característico e comum a muitas outras realidades geográficas nacionais e mundiais. Os níveis de ozono começam a aumentar logo após o nascer-do-sol, até atingirem os valores mais elevados entre as quatro e as seis horas da tarde, para logo a seguir voltarem a decrescer até atingirem os níveis mais baixos em torno do crepúsculo matutino. Em termos de sazonalidade, os níveis médios diários de ozono também definem um padrão de variação característico, com um contraste claro entre os valores mais elevados de primavera/verão e os mais baixos de outono/inverno.

Em termos gerais, as concentrações de ozono variaram entre valores mínimos horários ligeiramente abaixo dos 10 ppb e máximos horários de aproximadamente 90 ppb, sendo que os máximos horários de ozono estão associados a situações episódicas que ocorreram no final do dia (próximo do pôr-do-sol), nos meses de verão.

A Figura 4.6 mostra a distribuição interquartil dos níveis de ozono que prevaleceram nos períodos correspondentes aos vários estados fenológicos da vinha, para as castas Touriga Nacional e Touriga Franca, entre o início do abrolhamento em finais de março e a fase da senescência em finais de setembro.

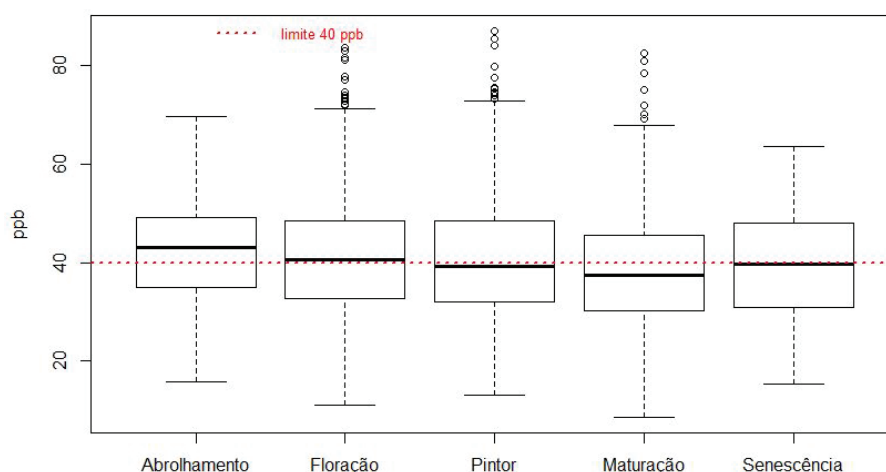


Figura 4.6. Distribuição interquartil dos níveis de ozono por estado fenológico na Quinta da Leda, em 2017. A linha vermelha corresponde ao limite (40 ppb) acima do qual o ozono pode ser fitotóxico.

Observa-se que a distribuição interquartil do ozono foi similar nos diferentes estados fenológicos, exceto durante a maturação em que os valores foram ligeiramente inferiores. Contudo, há uma incidência significativa de eventos extremos de ozono durante os períodos mais sensíveis como a floração e o pintor.

4.5 AVALIAÇÃO DO RISCO DO OZONO NA VINHA

Tal como referido no capítulo anterior, as normas atuais de proteção dos ecossistemas ao ozono baseiam-se frequentemente nas concentrações atmosféricas de ozono, como o nível crítico designado por AOT40. Todavia, existem métricas, assentes no fluxo de ozono absorvido pelas folhas das plantas, que são biologicamente mais relevantes porque incorporam a influência de fatores climáticos, fatores edáficos e da própria vegetação. Uma das mais utilizadas é a dose de ozono fitotóxica acima de um limiar de $Y \text{ nmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (PODY). O Y representa um limiar de desintoxicação abaixo do qual se assume que qualquer molécula de O_3 absorvida pela planta é desintoxicada (Mills *et al.*, 2011).

4.5.1 Nível Crítico – AOT40

Não obstante, o conceito de nível crítico associado ao AOT40 já ter sido apresentado e discutido no capítulo 3, relembra-se aqui que este corresponde à exposição cumulativa suscetível de causar efeitos significativos sobre os recetores, ou seja, culturas, florestas e comunidades de plantas naturais e seminaturais. No caso do ozono, os níveis críticos baseiam-se atualmente no índice de exposição

cumulativa ao ozono (AOT40), que representa a soma das diferenças entre as concentrações horárias de ozono superiores a 40 ppb e o limiar de 40 ppb, usando apenas os valores horários medidos para as horas diurnas compreendidas entre as 08h00 e as 20h00. Valores de AOT40 de 3000 ppb * h e de 9000 ppb * h durante a estação de crescimento de 3 meses (maio a julho) correspondem ao valor alvo e ao de longo prazo para a proteção da vegetação estabelecidos no D.L. 102/2010 de 23 de setembro.

A Figura 4.7 mostra a evolução do AOT40 calculado para um período de 3 (maio a julho) e 5 meses (maio a setembro), com base nos valores horários das concentrações de ozono registados no período diurno compreendido entre as 8h00 e as 20h00. O alargamento a um período de 5 meses permite uma melhor aproximação ao período vegetativo da videira em que é suposto ocorrer absorção de ozono pelas plantas.

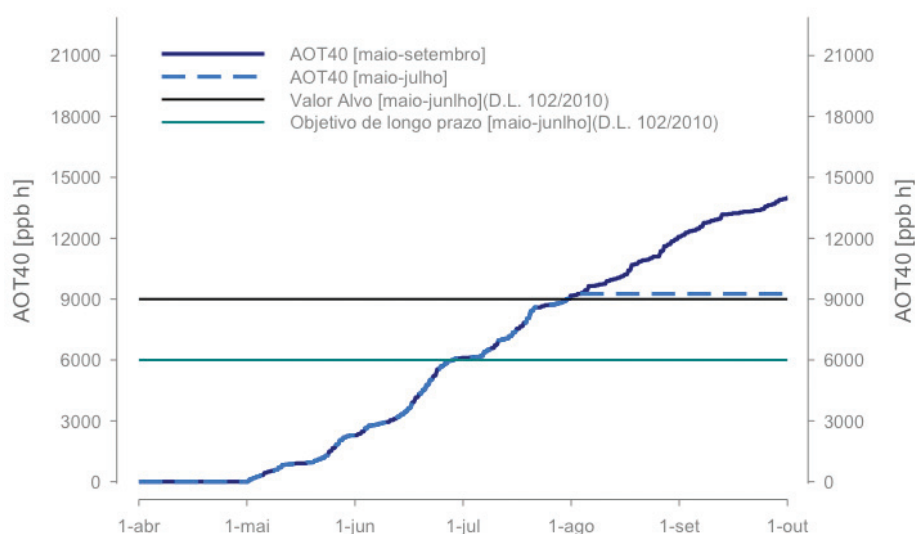


Figura 4.7. Excedências ao valor alvo e objetivo a longo prazo para proteção da vegetação de acordo com o D.L. 102/2010 de 23 de setembro.

Comparando com os parâmetros legais estabelecidos no D.L. 102/2010 de 23 de setembro, constata-se que a exposição de médio e longo prazo aos atuais níveis de ozono pode causar danos significativos na vegetação em geral, incluindo a vinha. De acordo com a UNECE e a OMS (World Health Organization, 2000), os níveis críticos de AOT40 de 3000 ppb h durante a estação de crescimento de 3 meses para espécies agrícolas, e de 10000 ppb h, durante a estação de crescimento de 6 meses, para espécies florestais, conduzem a perdas de produção de 5% e 10%, respetivamente.

À semelhança da estimativa de impactos desenvolvida no capítulo anterior, com base nos resultados de modelação, e para uma discussão de índole mais aplicada dos efeitos potenciais do ozono na vinha, recorreu-se às funções de exposição-resposta obtidas a partir do estudo de Soja *et al.* (2004). Estas funções exposição-resposta relacionam os valores de AOT40 com a perda de produtividade (Figura 4.8) e a diminuição do teor de açúcares da uva (Figura 4.9).

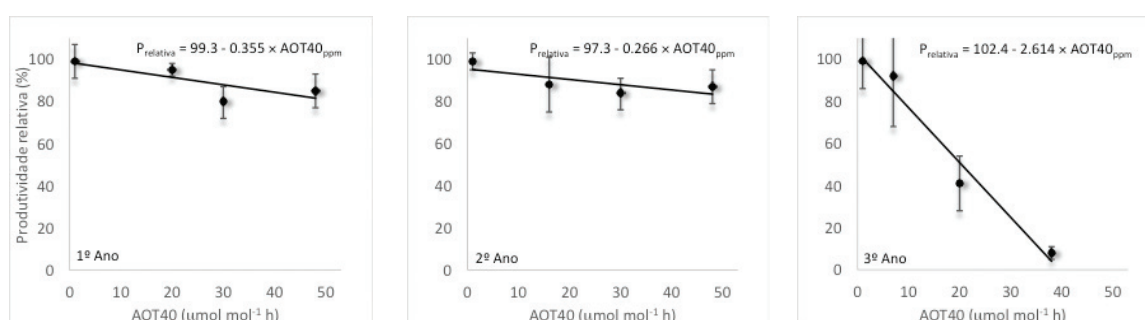


Figura 4.8 Relação entre a produtividade relativa (% da produtividade para AOT: 0 μmol mol⁻¹h) e a exposição a diferentes concentrações de ozono (AOT40), de junho a setembro, durante três anos consecutivos (Soja *et al.*,2004).

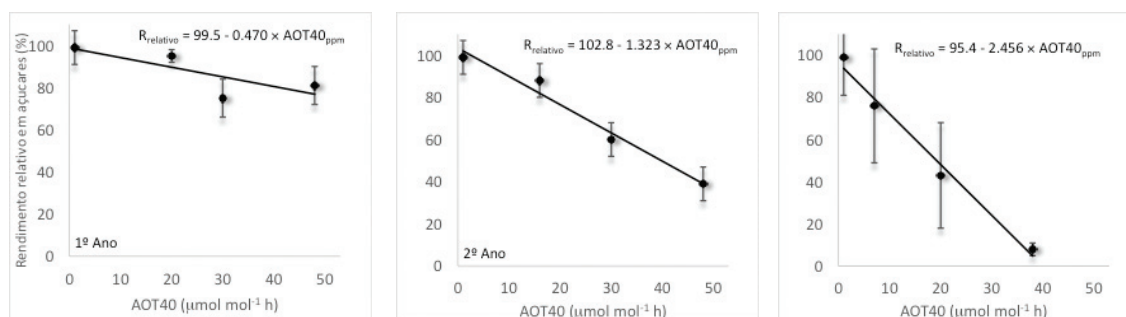


Figura 4.9. Relação entre o rendimento em açúcares (% do rendimento para AOT: 0 μmol mol⁻¹h) e a exposição a diferentes concentrações de ozono (AOT40), de junho a setembro, durante três anos consecutivos (Soja *et al.*,2004).

Tendo por base as funções exposição-resposta anteriores, os valores de AOT40 obtidos neste estudo indicam uma perda de produtividade superior a 30%, se a exposição aos níveis registados de ozono ocorrer de forma recorrente em três anos consecutivos (Figura 4.10). Em relação ao impacto no rendimento em açúcares (glucose + frutose) nos mostos, estes podem sofrer uma redução até cerca de 40%, se expostos também a valores similares de AOT40 em três anos consecutivos (Figura 4.11).

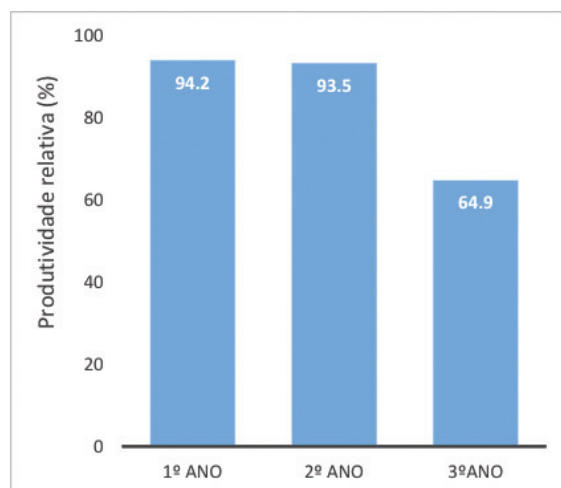


Figura 4.10. Produtividade relativa determinada com base nas funções exposição-resposta (Soja *et al.*, 2004) e nas concentrações de ozônio medidas durante o ano de 2017 na RDD.

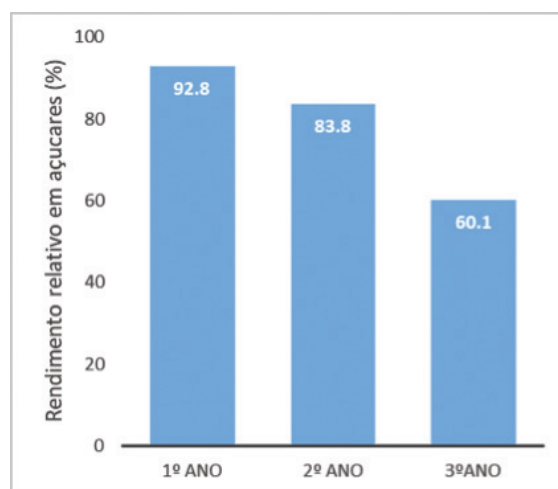


Figura 4.11. Rendimento relativo em açúcares determinado com base nas funções exposição-resposta (Soja *et al.*, 2004) e nas concentrações de ozônio medidas durante o ano de 2017 na RDD.

5.5.2 Dose de Ozono Fitotóxica, POD_Y

O POD_Y tem em consideração fatores que afetam a absorção de ozono pelos estomas. A incorporação e quantificação de parâmetros como a disponibilidade de água no solo, os estados fenológicos e os fatores meteorológicos são aspetos importantes para uma avaliação mais realista das respostas das culturas à exposição ao ozono.

A diferença entre valores de O_3 no ar ambiente e dose de O_3 absorvida pelas plantas está ilustrada na Figura 4.12 onde é visível a relação não linear entre estas duas métricas. As elevadas concentrações de ozono estão usualmente associadas a altas temperaturas e elevados défices de pressão de vapor. O mecanismo de defesa na vinha contra essas condições implica o fecho dos estomas, o que limita a entrada das moléculas de ozono nos tecidos foliares das plantas.

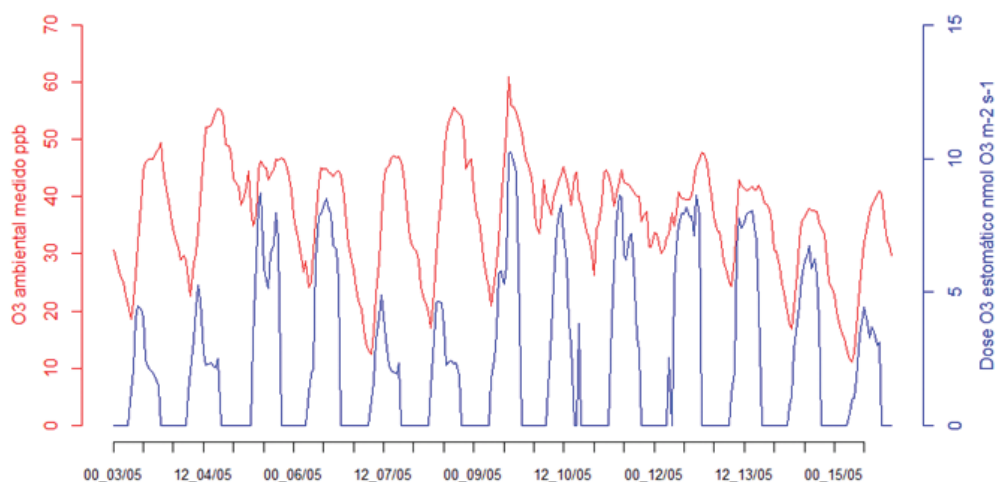


Figura 4.12. Concentrações de ozono da camada superficial da atmosfera e dose de ozono que entra na planta segundo o modelo de deposição seca de ozono do EMEP para a vinha.

Na Figura 4.13 mostra-se a evolução do POD e do POD_6 de maio a setembro de 2017. O POD atingiu um valor de $17,7 \text{ mmol m}^{-2}$, enquanto a magnitude do POD_6 foi de $0,92 \text{ mmol m}^{-2}$.

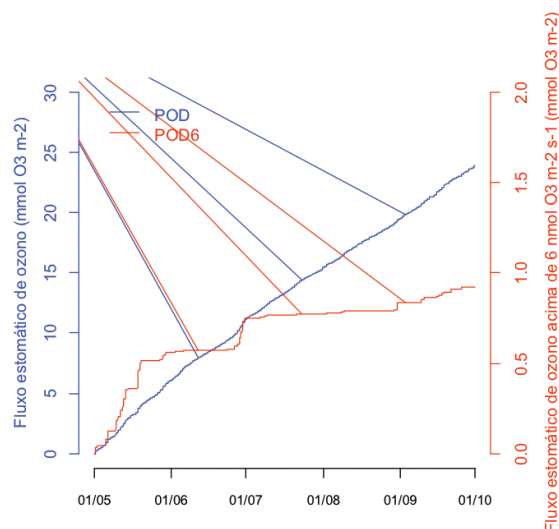


Figura 4.13. Doses de ozono totais (POD) e acima de um limite de 6 nmol O₃ m⁻² s⁻¹ (POD6) introduzidas na vinha na Quinta da Leda para o período de crescimento compreendido entre 1 de maio e 30 de setembro.

O valor do POD6 foi inferior aos níveis críticos (1,1 e 2,2 mmol m⁻²) correspondentes, respetivamente, a uma redução de 10% no teor de açúcar acumulado nos bagos e na produtividade (Soja *et al.*, 2004), considerando dois ciclos vegetativos. Quando se considera apenas um ciclo vegetativo, os limiares sobem para 2,2 e são de 2,2 mmol m⁻² e 3,5 mmol m⁻², respetivamente.

4.6 COMENTÁRIOS FINAIS

As estimativas dos efeitos do ozono troposférico na produtividade da vinha e na composição do bago em açúcares diferem substancialmente, dependendo se é utilizada a exposição ambiental ou a dose introduzida na videira. Apesar de o parâmetro de exposição AOT40 ser o utilizado na legislação Europeia, o POD tem um maior fundamento biológico. No caso da vinha há uma ausência de funções adequadas de exposição-resposta e dose-resposta para se adaptar às diferentes Denominações de Origem e em particular em relação às diferentes castas. Estes parâmetros também devem ser considerados na avaliação dos possíveis efeitos das alterações climáticas na vinha.

Para abordar os efeitos de interação das concentrações mais elevadas de CO₂ e de outros fatores sobre os impactes do O₃, as relações dose-resposta baseadas no fluxo estomático (Pleijel *et al.*, 2007) seriam mais adequadas do que a abordagem baseada em relações de exposição-resposta (Pleijel *et al.*, 2004). Isto é

claramente um passo a avançar para a estimativa baseada no mecanismo das perdas de rendimento das culturas. No entanto, a estimativa da absorção de O₃ requer elementos adicionais de informação, nem sempre disponíveis, nem fáceis de obter experimentalmente.

Referências

Booker, F., Muntifering, R., McGrath, Burkey, M.K., Decoteau, D. Fiscus, E., Manning, W., Krupa, S., Chappelka, A., Grantz, D., (2009) The Ozone Component of Global Change: Potential Effects on Agricultural and Horticultural Plant Yield, (2009) Product Quality and Interactions with Invasive Species. *Journal of Integrative Plant Biology*, 51 (4): 337–351.

Fumagalli, I., Gimeno, B. S., Velissariou, D., De Temmerman L., Mills, G., (2001) Evidence of ozone-induced adverse effects on crops in the Mediterranean region, *Atmospheric Environment*, 35(14), 2583–2587 (2001). [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00468-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00468-4)

Mills, G., Pleijel, H., Braun, S., Büker, P., Bermejo, V., Calvo, E., Danielsson, H., Emberson, L., Gonzalez Fernandez, I., Grünhage, L., Harmens, H., Hayes, F., Karlsson, P.-E., Simpson, D., (2011). New stomatal flux-based critical levels for ozone effects on vegetation. *Atmos. Environ.* 45, 5064 e 5068.

Musselman RC, Forsline PL, Kender WJ (1985) Effects of sulfur dioxide and ambient ozone on Concord grapevine growth and productivity. *J Am Soc Hort Sci* 110: 882-888

Pellegrini E, Campanella A, Paolocci M, Trivellini A, Gennai C, Muganu M, et al. (2015). Functional Leaf Traits and Diurnal Dynamics of Photosynthetic Parameters Predict the Behavior of Grapevine Varieties Towards Ozone. *PLoS ONE* 10 (8): e0135056. doi:10.1371/journal.pone.0135056.

Pleijel, H., Danielsson, H., Emberson, L., Ashmore, M.R., Mills, G., (2007). Ozone risk assessment for agricultural crops in Europe: further development of stomatal flux and flux-response relationships for European wheat and potato. *Atmospheric Environment* 41, 3022–3040.

Pleijel, H., Danielsson, H., Ojanpera", K., De Temmerman, L., Høgy, P., Badiani, M., Karlsson, P.E., (2004) Relationships between ozone exposure and yield loss in European wheat and potato – a comparison of concentration- and flux-based exposure indices. *Atmospheric Environment* 38, 2259–2269.

Roper, T.R. & Williams L.E., 1989 Effects of Ambient and Acute Partial Pressures of Ozone on Leaf Net CO₂ Assimilation of Field-Grown *Vitis vinifera* L.. *Plant Physiology* 91, 1501-1506.

Saitanis, C.J., 2003. Background ozone levels monitoring and phytodetection in the greater rural area of Corinth-Greece. *Chemosphere* 51 913-923

Soja, G., Reichenauer, T.G., Eida, M., Soja, A.-M., Schaber, R., Gangl H. (2004) Long-term ozone exposure and ozone uptake of grapevines in open-top chambers. *Atmospheric Environment* 38, 2313–2321

Valletta, A. Salvatori, E. Santamaria, A.R. Nicoletti, M. Toniolo, C. Caboni, E., Bernardini, A. Pasqua G. & Manes, F. 2017. Ecophysiological and phytochemical response to ozone of wine grape cultivars of *Vitis vinifera* L. *Natural Product Research*, 30 (22), 2514–2522

World Health Organization. (2000) Air quality guidelines for Europe. second edition. WHO regional publications. European Series ; No. 91.

5. ATLAS DIGITAL DOUROZONE

Alexandra Monteiro // Alfredo Rocha // Carolina Viceto // Ana Ascenso // Carla Gama // Daniel Blanco-Ward // Carlos Silveira // António Ribeiro // João Paulo Castro // Ana Isabel Miranda // Luis Jorge Gonçalves

Um dos objetivos do projeto DOUROZONE compreendeu a elaboração de um atlas digital para apresentação e divulgação dos seus principais resultados, recorrendo a uma plataforma *on-line*, de modo a uma melhor e mais eficaz disseminação de informação relativa à avaliação do risco de exposição ao ozono das vinhas da Região Demarcada do Douro, em clima presente e futuro.

Este atlas digital – alojado em <http://dourozone.web.ua.pt/atlas> e com acesso direto através do *site* do projeto: <http://dourozone.web.ua.pt> - disponibiliza uma estrutura em árvore, com 3 opções possíveis de visualização, que permitem avaliar a situação do clima presente e o impacte de alterações climáticas (futuro de médio e de longo prazo) no que diz respeito a:

Indicadores METEOROLÓGICOS

- Precipitação anual total (precipitação ≥ 1 mm)
- Número de dias de precipitação intensa (≥ 10 mm)
- Número de dias secos consecutivos
- Número de dias de verão ($T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$)
- Número de dias de stress ($T_{\max} > 35^{\circ}\text{C}$)
- Número de dias de geada
- Duração de ondas de calor
- Duração de ondas de frio
- Temperatura máxima
- Temperatura mínima

Indicadores BIOCLIMÁTICOS

- Temperatura ciclo vegetativo
- Precipitação ciclo vegetativo
- Índice de Huglin
- Índice de Winkler
- Índice de Frio Noturno e Índice de seca

Indicadores OZONO (qualidade do ar)

- Exposição acumulada AOT40 (>40 ppb)
- Deposição acumulada (anual).

Na Figura 5.1 é apresentada a página de entrada/aceso a este Atlas digital, onde se acede a um pequeno texto explicativo e descritivo desta plataforma digital.

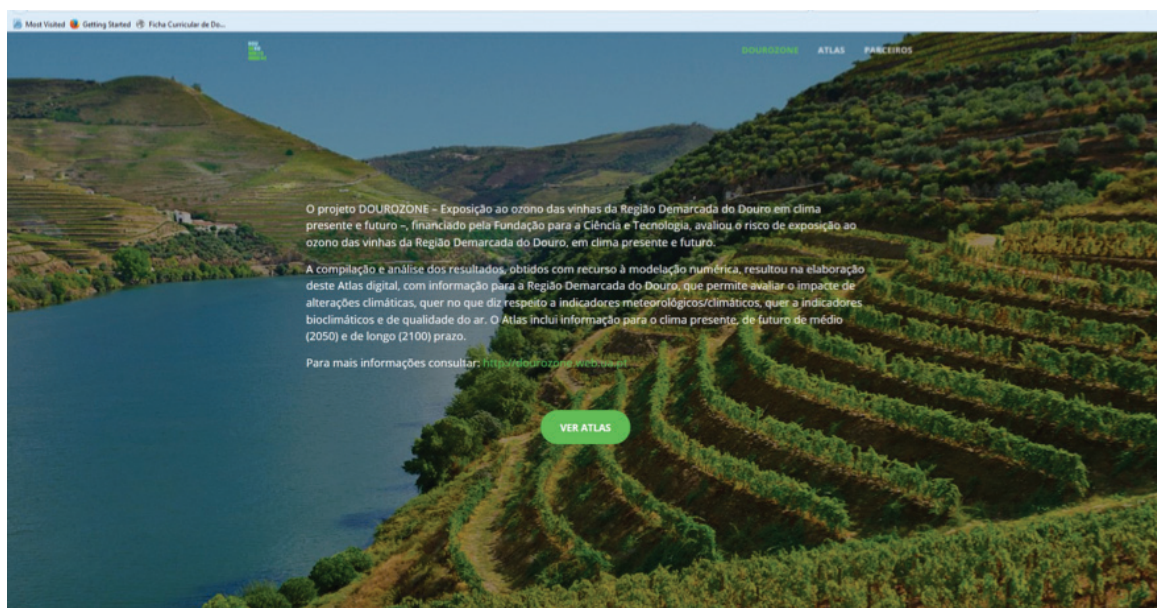


Figura 5.1. Página de entrada ao “Atlas DOUROZONE”.

Na Figura 5.2 é ilustrada a interface deste atlas digital, com o acesso à listagem de parâmetros disponíveis, do lado esquerdo, e representação e visualização espacial da variável selecionada do lado direito (tendo por base uma imagem do Google Maps).

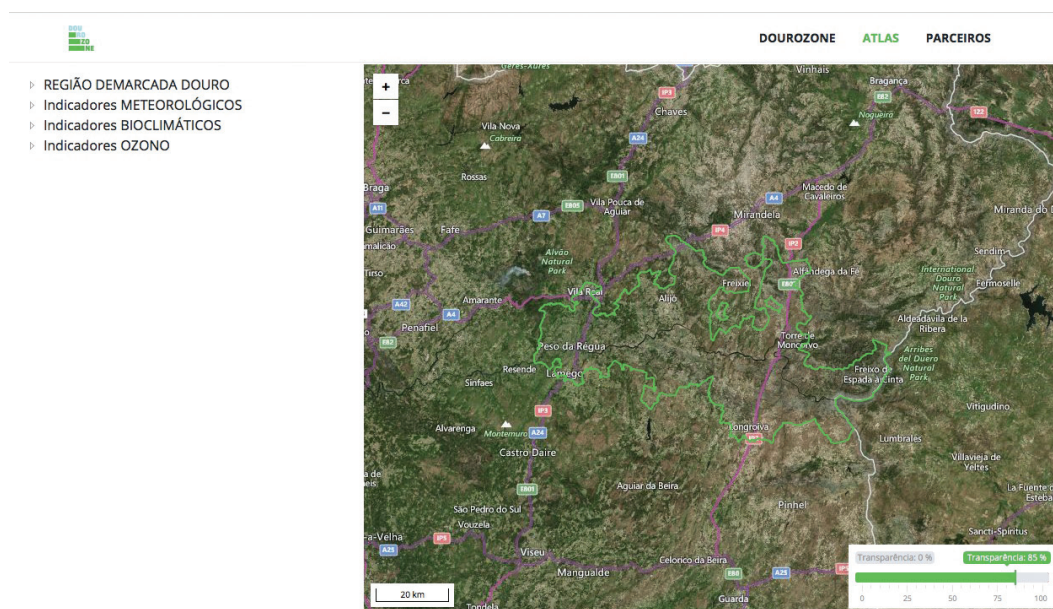


Figura 5.2. Interface do “Atlas DOUROZONE” com apresentação/listagem dos vários indicadores e parâmetros disponíveis.

Nas Figuras 5.3 a 5.5 apresentam-se, a título de exemplo, os resultados para uma das variáveis de cada tipo de indicadores disponibilizados: meteorológico (precipitação anual total), bioclimático (Índice de Winkler) e de ozono (exposição acumulada). No caso deste último indicador, apresentam-se os resultados para cada um dos cenários climáticos simulados (presente, futuro médio e futuro longo).

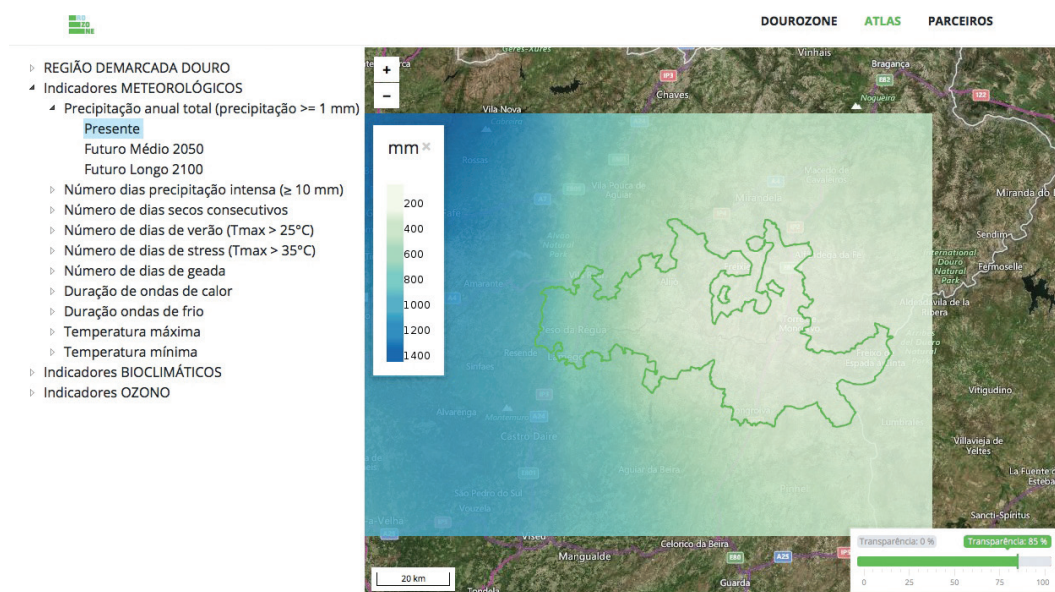


Figura 5.3. Exemplo de utilização do Atlas DOUROZONE (Indicadores meteorológicos): Precipitação anual em dias de chuva (≥ 1 mm) para cenário presente.

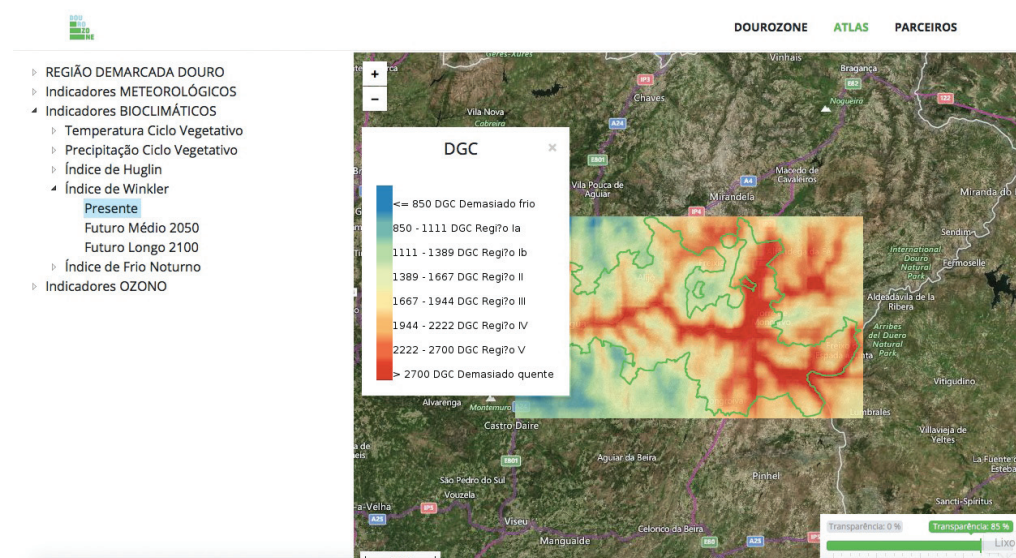


Figura 5.4. Exemplo de utilização do Atlas DOUROZONE (indicadores bioclimáticos): Índice de Winkler para cenário presente.

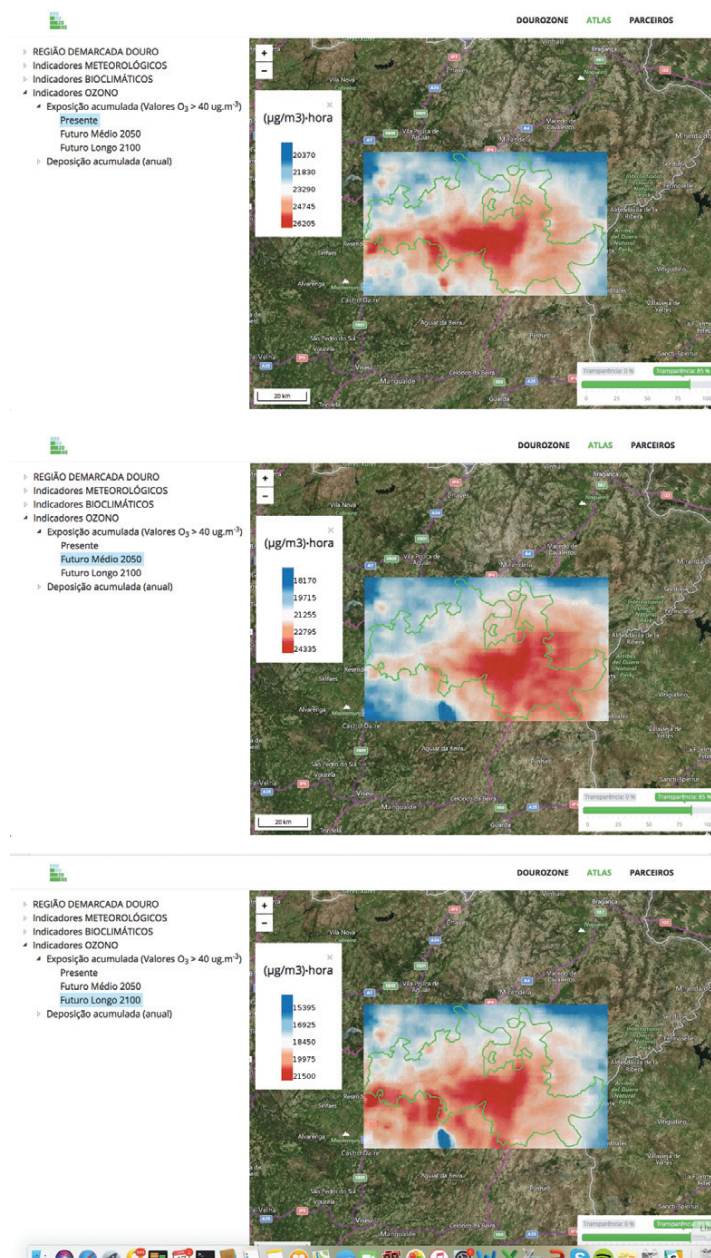


Figura 5.5. Exemplo de utilização do Atlas DOUROZONE (Indicadores ozono): exposição acumulada AOT40 para cenários presente, futuro médio e futuro longo.

A informação sobre as várias opções disponibilizadas está acessível através do cursor e a respetiva legenda através do icon “i”, podendo ser feito ajuste ao nível da transparência (canto inferior direito do ecrã). Conjuntamente a esta visualização, este atlas permite ainda o acesso a mais informação sobre o projeto DOUROZONE, incluindo contactos necessários.

6 SÍNTESE CONCLUSIVA

Ana Isabel Miranda // Alfredo Rocha // António Ribeiro // Carlos Silveira // Daniel Blanco-Ward // Ana Ascenso // Myriam Lopes // Carlos Borrego

Este livro apresenta os principais resultados do projeto DOUROZONE, que teve como objetivo avaliar o efeito do ozono troposférico nas vinhas da Região Demarcada do Douro, em clima presente e clima futuro. Efetuaram-se simulações de clima e de ozono troposférico, com uma elevada resolução espaço-temporal.

As simulações climáticas, para o clima histórico recente (1986-2005), futuro de médio prazo (2046-2065) e de longo prazo (2081-2100), indicam um aumento generalizado da temperatura máxima, média e mínima na RDD. A estas alterações de temperatura está associado o aumento de ondas de calor (em intensidade, duração e frequência) e a diminuição de ondas de frio (em duração e frequência). No que se refere a alterações de precipitação, prevê-se uma diminuição média anual e para o período do verão, mas no que se refere ao período do inverno a tendência é de aumento dos valores em praticamente toda a RDD. Note-se ainda a redução do número de dias consecutivos com precipitação e o aumento do número de dias consecutivos secos.

Os índices bioclimáticos, calculados especificamente para a vinha, confirmam o aumento significativo da temperatura média durante o período vegetativo da videira, juntamente com uma diminuição significativa na precipitação. As variações dos índices bioclimáticos deverão ser analisadas cuidadosamente face à possibilidade de alterações na produtividade e qualidade das vinhas da RDD.

Note-se que os resultados foram obtidos considerando projeções baseadas no cenário RCP8.5 do IPCC, que considera a inexistência de medidas de mitigação de gases com efeito de estufa, correspondendo ao cenário mais gravoso em relação ao aumento futuro do forçamento radiativo.

No que se refere ao risco de exposição da vinha duriense ao ozono, os níveis elevados de AOT40, calculados para a RDD, indicam que o ozono pode estar a provocar danos diretos nas vinhas e potencialmente a diminuir o seu rendimento e qualidade. A campanha de monitorização realizada no decorrer do projeto DOUROZONE permitiu confirmar que a exposição de médio e longo prazo aos atuais níveis de ozono pode causar danos significativos, na vegetação em geral, incluindo a vinha.

Apesar das alterações climáticas, estes efeitos poderão ser minimizados com a redução futura de emissões de gases para a atmosfera. É importante lembrar que, embora o AOT40 seja um indicador importante para avaliar o risco de exposição da vegetação ao ozono, apresenta algumas limitações. Como indicador de exposição, o AOT40 tende a sobrestimar os danos na vegetação, pois a relação exposição-dose não é linear. O período do dia em que as concentrações de ozono são mais elevadas corresponde às horas em que a absorção da planta é menor, não sendo considerada pelo AOT40 a absorção de ozono pela planta, que depende do fluxo estomático.

Além disso, o valor limite definido na legislação foi estabelecido para uma espécie agrícola genérica e o período de cálculo não abrange todo o período vegetativo da videira.

A aplicação das funções exposição-resposta de Soja *et al.* (2004), que permitem estimar o potencial impacto da exposição ao ozono na produtividade e na qualidade, expressa como teor em açúcares da uva, indica, quer com base nos resultados da modelação, quer com base nos valores medidos no decorrer da campanha, uma perda de produtividade superior a 30%, se a exposição aos níveis registados de ozono ocorrer de forma recorrente em três anos consecutivos. Em relação ao impacto no rendimento em açúcares (glucose + frutose) nos mostos, estes podem sofrer uma redução até cerca de 40% se expostos também a valores similares de AOT40 em três anos consecutivos.

No entanto, a aplicação destas funções implica incertezas adicionais, pois a variedade e a idade das videiras influenciam a sua resposta à exposição ao ozono. O estudo acima referido é o único que apresenta este tipo de funções, tendo sido realizado em condições meteorológicas continentais (Áustria). Adicionalmente, as funções foram definidas em ambiente controlado e, portanto, não têm em conta a influência das condições meteorológicas e de humidade do solo, fatores importantes na avaliação do desempenho da vinha.

As estimativas dos efeitos do ozono troposférico na produtividade da vinha e na composição do bago em açúcares diferem substancialmente, dependendo se é utilizada a exposição ambiental ou a dose introduzida na videira. Apesar do parâmetro de exposição AOT40 ser o utilizado na legislação Europeia, o POD tem um maior fundamento biológico. No caso da vinha há uma ausência de funções adequadas de exposição-resposta e dose-resposta para se adaptar às diferentes Denominações de Origem e em particular em relação às diferentes castas. Estes parâmetros também devem ser considerados na avaliação dos possíveis efeitos das alterações climáticas na vinha.

A poluição atmosférica, as alterações climáticas e a resposta da vegetação estão intimamente relacionadas, mas são reduzidos os estudos de modelação que incorporam as possíveis interações entre estes três aspetos. Tanto a vegetação como o ser humano não respondem impassivelmente às mudanças nos campos agrícolas. A videira pode responder com um adiantamento fenológico a condições de maior heliotermicidade, e o Homem adapta-se através de novas práticas de cultivo, como a seleção de variedades de videira mais apropriadas, o uso de irrigação, ou o uso de novos sistemas de condução. Este avanço fenológico ou o uso de irrigação pode, no entanto, aumentar o risco do efeito fitotóxico do ozono na videira.

Em síntese, o projeto DOUROZONE avaliou pela primeira vez o risco de exposição da vinha duriense ao ozono troposférico, em clima presente e em cenários de alteração climática. Constata-se, apesar das incertezas, uma perda de produtividade e de diminuição dos teores de açúcares das uvas, devido aos elevados níveis de ozono troposférico na RDD. Em cenário de alteração climática, esses efeitos poderão não ser tão evidentes, caso haja uma redução relevante de emissões de gases para a atmosfera.

O projeto permitiu ainda confirmar que a exposição não é a métrica mais adequada para avaliar o efeito do ozono na vinha, pois não considera a resposta da própria planta às condições meteorológicas e de stresse ambiental. Sugere-se, como trabalho futuro, um estudo aprofundado da relação dose-resposta, baseado em monitorização da vinha duriense e acompanhado por trabalho de modelação, que permita alargar o âmbito dos resultados obtidos com o trabalho experimental de campo.



universidade de aveiro
theoria poiesis praxis



Cofinanciado por:



FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR