

A Atmosfera como um laboratório de Física: a influência meteorológica nos incêndios rurais

Mário G. Pereira¹²

¹ Centro de Investigação e de Tecnologias Agro-Ambientais e Biológicas (CITAB), Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real (UTAD), Portugal

² Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa
gpereira@utad.pt

Resumo

Este artigo teve como objetivo homenagear o Prof. José Pinto Peixoto, através da participação no número especial da Gazeta de Física dedicado aos 30 anos da publicação do seu livro *Physics of Climate*, escrito em coautoria com Abraham Oort e publicado em 1992 pelo *American Institute of Physics*, e aos 100 anos do seu nascimento, que se comemoram em novembro do corrente ano. Contudo, constitui essencialmente um testemunho e uma homenagem pessoal não apenas ao investigador, mas também ao professor e às suas qualidades pedagógicas e didáticas. A forma encontrada para realizar esta homenagem consiste na descrição dos conhecimentos adquiridos com o livro *Physics of Climate* e nas aulas do Prof. Peixoto, utilizados no estudo da influência das condições atmosféricas e climáticas nos incêndios rurais em Portugal. Em particular, serão salientadas algumas características específicas da meteorologia e da climatologia, nomeadamente a natureza dos seus objetos de estudo, que determinam e condicionam a investigação científica nestas áreas, sobretudo a abordagem metodológica e a importância da observação e da modelação da atmosfera e do sistema climático.

1) Introdução ao método científico

A ciência pode ser definida como o conhecimento da realidade empírica e o que diferencia o conhecimento científico de outro tipo de conhecimento é ser obtido pelo denominado método científico (Kosso, 2011). As atividades frequentemente identificadas como sendo características da ciência e do método científico incluem a observação e experimentação sistemáticas, o raciocínio indutivo e dedutivo a formação e teste de hipóteses e teorias (Andersen and Hepburn, 2015). Em detalhe, a forma e ordem como estas atividades são realizadas podem variar (Voit, 2019; Yeoman et al., 2015), mas o método científico pode ser esquematizado (Figura 1)

pele conjunto dos seguintes procedimentos: (1) efetuar uma observação sistemática, controlada, da realidade (ou identificar um problema), através da leitura, pensamento ou experiência pessoal, que conduza a factos verificáveis e que não pode ser imediatamente explicada com o conhecimento que se dispõe no momento; (2) fazer uma pergunta; (3) compilar o conhecimento existente sobre a observação e formular explicações potenciais; (4) formular uma hipótese testável e falseável, após selecionar a expli-

cação aparentemente mais provável, mas até agora não comprovada, identificada na fase anterior; (5) fazer uma previsão que resulte de a hipótese estar correta; (6) testar a hipótese ou previsão, com análise de dados recolhidos na literatura, novas observações ou dados recolhidos após projetar e executar experimentos formais (ensaios experimentais em laboratório ou

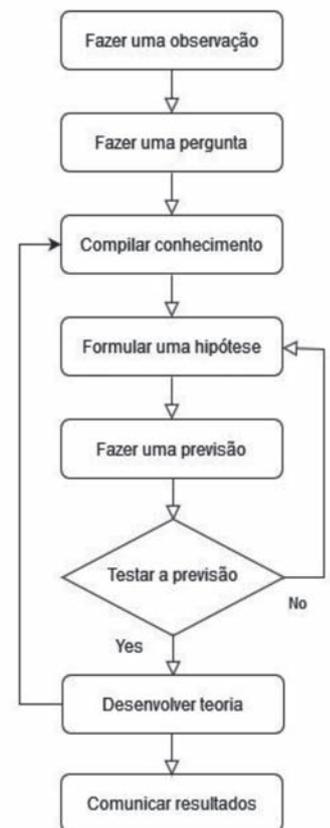


Figura 1 - Um esquema do método científico

computacionais) cuidadosamente controlados; as conclusões da análise dos resultados obtidos podem apoiar ou contradizer a hipótese; se os resultados do teste contradizerem a hipótese, muito provavelmente a hipótese é falsa e, exceto em caso de erro no teste, é necessário procurar novas hipóteses e/ou previsões (isto é regressar a 4); se os resultados corroborarem a hipótese não provam conclusivamente que está correta, mas significam que provavelmente poderá estar correta e, se for caso disso, (7) o conhecimento adquirido poderá ser utilizado para desenvolver teorias mais gerais; (8) o método termina com a comunicação, divulgação e disseminação dos resultados obtidos com a aplicação do método.

Esta descrição ajuda a explicar algumas características do método científico (Voit, 2019; Yeoman *et al.*, 2015). O método é denominado de problemático-hipotético, no sentido em que se baseia na identificação ou formulação de problemas, questões ou interrogações sobre a realidade e avança com hipóteses ou previsões prováveis na procura das soluções/respostas aos referidos problemas/questões. O método científico é indutivo e dedutivo. É indutivo, no sentido em que parte da observação para chegar às Leis, isto é, analisa os dados visando identificar relações, uniformidades e regularidades que apresentem, no que poderia ser classificado com um procedimento típico de uma aula prática laboratorial. É dedutivo, na medida em que evolui da causa para o efeito, definindo novos conceitos e Princípios a partir de conceitos e enunciados estabelecidos anteriormente, e não da observação da realidade, no que poderia ser classificado com um procedimento típico de uma aula teórica. O método científico pode ser operacionalizado com raciocínio indutivo ou dedutivo, em separado ou em associação, tal como a investigação teórica e experimental podem decorrer independentemente ou se podem suportar ou validar mutuamente. Os computadores surgem como uma terceira via para a metodologia científica, pois permitem automatizar medições, cálculos e análises estatísticas, realizar experimentações mais elaboradas (maior velocidade, melhor filtragem, mais variáveis, coordenação e controle sofisticados), mas também porque a modelação e a simulação constituem uma forma de experimentação, principalmente no âmbito das ciências físicas, onde os modelos são baseados em equações dinâmicas (Andersen and Hepburn, 2015). O método científico é também caracterizado pela controlabilidade das experiências, replicabilidade e repetibilidade (Gauch Jr *et al.*, 2003). A realização de experiências controladas permite comprovar ou invalidar adequadamente as hipóteses. A replicação tem como objetivo permitir a outros investigadores repetir os experimentos

para testar as mesmas hipóteses e verificar resultados e conclusões. A iteratividade do método científico caracteriza o processo de investigação na procura incessante até à descoberta do conhecimento.

2) Particularidades da investigação em meteorologia e climatologia

A evolução do conhecimento em meteorologia e climatologia segue os procedimentos deste método, mas a sua aplicação é condicionada por algumas características específicas da investigação científica destas duas subáreas das ciências atmosféricas, que importa salientar. Estas características estão descritas no livro *Physics of Climate* (Peixoto & Oort, 1992) e, para o autor, começaram a ser evidenciadas nas aulas do curso de Licenciatura em Ciências Geofísicas da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, lecionadas pelo Prof. Peixoto e pelos outros excelentes docentes desta instituição na área da meteorologia.

Para Coleman & Law (2015), meteorologia e climatologia são semelhantes nos princípios e fenómenos examinados, mas diferem na abordagem, escala de tempo e aplicação. Para estes autores, a meteorologia é: (i) o estudo da atmosfera e dos seus movimentos em escalas curtas de tempo (minutos a semanas); (ii) comumente conhecida como o estado do Tempo¹ e tende a concentrar-se nas variáveis atmosféricas² (e.g., precipitação e temperatura) relacionadas com a previsão do Tempo; e (iii) focada nos processos no interior da atmosfera e nas interações de energia com a superfície da Terra que afetam esses processos. Por outro lado, a climatologia é: (i) o estudo dos climas ou das condições atmosféricas médias de longo prazo e extremos num determinado local; (ii) concentrada nos processos que criam padrões e variabilidade climática; e (iii) focada nas interações dentro do sistema Terra-Atmosfera.

Do ponto de vista termodinâmico, frequentemente adotado pelo Prof. Peixoto e no livro *Physics of Climate* (Peixoto & Oort, 1992), o Tempo não é mais do que a descrição do estado da Atmosfera que fica definido com os valores das variáveis atmosféricas (e.g., precipitação, vento, temperatura e humidade do ar) num dado instante. Por outro lado, o clima pode ser definido como o estado do Sistema Climático (SC), que é um sistema composto, formado por cinco subsistemas – Atmosfera, Hidrosfera, Criosfera, Litosfera e Biosfera – abertos e não isolados, que interagem entre si, permutando massa, energia e momento.

O SC é também um sistema não isolado (pois recebe energia do exterior, principalmente do Sol e exporta energia sob a forma de radiação infravermelha), essencialmente fechado (se excetuarmos a troca de massa desprezável com o exterior, por exemplo na forma de

¹ Tempo meteorológico, *weather* em inglês, também designado por condições atmosféricas.

² Variáveis no sentido em que os seus valores variam no tempo e no espaço. Também denominadas por elementos climáticos, variáveis meteorológicas ou campos meteorológicos, no sentido em que são funções de ponto.

³ Para descrição mais detalhada, consultar subcapítulo 2.5 do livro *Physics of Climate* (Peixoto and Oort, 1992).

meteoritos, satélites, sondas e naves enviadas para o espaço, etc.), dinâmico e complexo devido às interações não lineares entre os seus componentes. Estas interações não lineares implicam que a mesma perturbação do sistema ou subsistema pode originar diferentes reações e que ocorrem processos de retroação³ no SC. Estas não linearidades estão refletidas nos termos não lineares das equações físicas que regem o comportamento (estado e evolução) da Atmosfera e integram os modelos atmosféricos. A Atmosfera é um fluido pelo que as equações fundamentais traduzem os princípios de conservação da mecânica dos fluidos nomeadamente de conservação da massa (equação da continuidade), energia (Primeira Lei da Termodinâmica combinada com a Segunda Lei) e momento (Leis de Newton ou equações do movimento), as quais não têm solução analítica, podendo apenas estimar-se soluções aproximadas numericamente recorrendo a computadores (Zhang & Moore, 2015).

A climatologia têm também um significativo carácter estatístico, no sentido em que o clima pode ser definido como a descrição da distribuição estatística (estatísticas de localização, dispersão e momentos de ordem superior) das variáveis atmosféricas, para um período suficientemente longo, que pode variar de alguns meses a milhares ou milhões de anos (Allwood *et al.*, 2014), mas é comum adotar o período clássico de 30 anos recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (Guttman, 1989; Pereira, 2015). Neste âmbito, importa salientar que para caracterizar estatisticamente uma situação é necessário considerar um conjunto de eventos ou um ensemble¹ e que a adoção da hipótese ergódica conduz à igualdade entre médias do ensemble e no tempo². Neste âmbito, importa salientar que para caracterizar estatisticamente uma situação é necessário considerar um conjunto de eventos ou um *ensemble*⁴ e que a adoção da hipótese ergódica conduz à igualdade entre médias do ensemble e no tempo⁵.

A operacionalização desta definição estatística da climatologia, a qualquer escala espaço temporal, exigem dados em quantidade e com a qualidade necessárias, incluindo duração, resolução temporal, cobertura e resolução espaciais adequadas. Atualmente está disponível uma grande quantidade de bases de dados, observados estações meteorológicas, dados em rede, reanálises e simulados por modelos atmosféricos globais ou regionais, com elevada resolução espaço temporal e suficientemente longas.

Contudo, importa salientar que a existência de bases de dados de grande dimensão (espaço temporal) reflete o facto de a aplicação do método científico na investigação em meteorologia e climatologia estar condicionada. Em outras áreas científicas, é possível projetar e executar experiências perfeitamente controladas para testar hipóteses e previsões. Contudo, não é possível

colocar a Atmosfera ou o SC nos estados adequados para testar a hipótese ou previsão, isto é, nas condições dos estudos. É neste sentido que a Atmosfera se apresenta como laboratório de investigação em Física, quer através da sua monitorização, quer através da sua modelação e simulação. Por um lado, a observação meteorológica pretende medir o maior número de variáveis/propriedades, em todo o globo, desde a superfície até aos níveis mais elevados da Atmosfera, durante o período mais longo possível que possibilite registar a maior quantidade possível de dados, na esperança de que possa incluir a informação necessária para a investigação. Por outro, os modelos atmosféricos, ainda que sejam apenas uma representação limitada da realidade, podem ser utilizados para simular a atmosfera e fornecer uma descrição aproximada do seu comportamento nas condições definidas para os estudos.

3) A investigação da influência das condições atmosféricas nos incêndios

O estudo dos padrões sinóticos associados aos grandes incêndios de verão em Portugal, publicado em 2005 (Pereira *et al.*, 2005), teve em conta as especificidades da investigação em meteorologia e climatologia e, naturalmente, seguiu o método científico, embora as diferentes fases possam não ter sido descritas explicitamente no manuscrito. A observação e motivação para o estudo foi o problema dos incêndios em Portugal, em particular a sua magnitude, quer em termos da incidência do fogo (número de incêndios e área ardida), quer em termos das suas consequências. A pergunta foi de como se explica a variabilidade inter-anual observada na incidência do fogo em Portugal continental. A compilação do conhecimento foi realizada com os resultados da pesquisa bibliográfica sobre o tema. A hipótese formulada foi: será que a variabilidade inter-anual da incidência do fogo se deve, ainda que parcialmente, a condições atmosféricas anómalas, nomeadamente (i) à existência de longos períodos de seca com ausência de precipitação no final da primavera e início do verão (anomalia climática) e (ii) à ocorrência de veranicos muito intensos em dias de situações sinóticas extremas (anomalia meteorológica)? A previsão consistiu em que as condições atmosféricas, antes da época de incêndios e durante o período de ocorrência dos incêndios, teriam de ser significativamente diferentes das normais⁶. Para testar a previsão, foi adotada uma metodologia, base-

⁴ Conceito da mecânica estatística que consiste em sistemas identicamente construídos, cada um num estado independente dos estados dos outros membros do Ensemble.

⁵ Para descrição mais detalhada, consultar subcapítulo 2.2 do livro *Physics of Climate* (Peixoto and Oort, 1992).

ada na análise de compósitos e testes de significância estatística, que permitiu identificar e caracterizar os padrões sinóticos atmosféricos, bem como avaliar a significância estatística das diferenças obtidas. O Desenvolvimento da teoria sobre a influência das condições atmosféricas/meteorológicas nos incêndios prosseguiu com a incorporação dos resultados e conclusões deste estudo e o processo foi concluído com a preparação, submissão e publicação do manuscrito.

Importa descrever algumas das fases com maior detalhe. De acordo com os relatórios anuais do Sistema Europeu de Informação sobre Incêndios Florestais⁷ (*European Forest Fire Information System*, EFFIS) dessa época, os incêndios na Europa afetavam principalmente os países da bacia Mediterrânica, em particular a Península Ibérica (*Schmuck et al.*, 2006). Apesar de se terem passado quase 20 anos, a situação não se alterou. No período 1980 – 2020, Portugal continua a ser, em termos absolutos, o país onde se registou o maior número de incêndios e o segundo maior valor de área ardida, apesar da sua menor dimensão territorial em comparação com os outros países do sul da Europa (*San-Miguel-Ayanz et al.*, 2021). Para perceber a motivação para este estudo, importa referir que, dois anos antes, o verão de 2003 tinha sido excecionalmente quente na Europa, particularmente durante as duas primeiras semanas de agosto, quando se observou uma sequência devastadora de grandes incêndios, queimando uma área de cerca de 450000 ha, o maior valor alguma vez registado em Portugal, até essa altura (*Trigo et al.*, 2006).

Outro fator motivacional para o estudo, e para te o verão o que ajuda a explicar o padrão de variabilidade intra-anual da incidência do fogo. A distribuição temporal da incidência do fogo revela também uma elevada variabilidade inter-anual, com anos onde se registam valores muito elevados de número de incêndios e/ou área ardida e outros anos em que as duas métricas da incidência do fogo assumem valores relativamente mais baixos. A Hipótese deste estudo pretende atribuir este padrão ao agravamento das condições habitualmente adversas para a vegetação durante o verão, devido à ocorrência de eventos extremos de temperatura e precipitação, nomeadamente ondas de calor e seca, como se viria a verificar (*Parente et al.*, 2018, n.d.).

A metodologia utilizada no estudo para testar a Hipótese incluiu a análise de compósitos das variáveis atmosféricas/meteorológicas e testes de

significância estatística. A análise de compósitos consiste no cálculo de duas médias aritméticas temporais enquanto o teste visava concluir se essas médias eram, ou não, estatisticamente diferentes. Uma das médias é calculada para todo o período de dados, que se deseja ser tão longo quanto possível, preferencialmente 30 anos, e, por essa razão, se denomina média climatológica ou normal climática. A outra média é calculada apenas para um subperíodo, substancialmente menor, é denominada de compósito. A diferença entre o compósito e a média climatológica é a anomalia e tem uma interpretação muito simples. Se a anomalia for positiva (negativa) isso significa que o compósito é superior à média climatológica, ou seja, para o para o subperíodo considerado, os campos meteorológicos assumem, em média, valores mais elevados (baixos) que o normal. Não é suficiente avaliar o sinal da anomalia, mas também tem de se testar se a magnitude da anomalia é estatisticamente significativa, ou seja, se o compósito e a média climatológica são estatisticamente diferentes. Importa salientar que estas metodologias estão perfeitamente de acordo com o fato de a Atmosfera ser um laboratório de investigação, tal como referido na seção anterior, com a necessidade de dispor de grandes quantidades de dados e com o carácter estatístico da climatologia.

Os resultados obtidos incluíram a identificação e caracterização dos padrões atmosféricos associados com a ocorrência de grandes incêndios em Portugal, bem como a avaliação da influência da precipitação. No primeiro caso, os resultados indicam que a ocorrência de grandes incêndios de verão tende a ocorrer associada com condições atmosféricas anómalas, caracterizadas por ventos com significativa componente de leste, associadas a massas de ar terrestres e, por isso, anormalmente quentes e secas durante o verão, à superfície e em altitude, contribuindo para a forte advecção de energia de sul (do norte de África) e de leste (de Espanha) depois de atravessar o planalto ibérico central sobreaquecido, confirmando o ditado popular “De Espanha, nem bom vento, nem bom casamento” (Pais, 1985). No segundo caso, foi verificada a existência de correlação significativa entre a área ardida no verão e a precipitação, nomeadamente o coeficiente de correlação positivo com a precipitação de inverno e princípio da primavera (P_{GFMA} , precipitação acumulada de janeiro a abril) e negativo com a precipitação de final de primavera e verão (P_{GFMA} , precipitação acumulada de maio a agosto). Finalmente, foi desenvolvido um modelo de regressão múltipla com base em apenas dois preditores: a P_{GFMA} e um índice meteorológico baseado numa variável meteorológica (a altura do geopotencial ao nível de 500 hPa) e na distância euclidiana entre o padrão sinótico de cada dia e o padrão sinótico médio calculado para os dias de ocorrência dos grandes incêndios. No fundo, este índice mede quão diferente é o padrão diário em relação ao padrão associado à ocorrência de grandes incêndios. Este modelo demonstrou que as condições meteorológicas/climáticas explicam cerca de 2/3 da variabilidade inter-anual da área ardida de verão em Portugal continental.

⁶ Normais do clima definidas como médias calculadas para um período uniforme e relativamente longo, compreendendo pelo menos três períodos consecutivos de dez anos (Regulamento Técnico da Organização Meteorológica Mundial).

⁷ Designação habitual na Europa dos incêndios de vegetação.

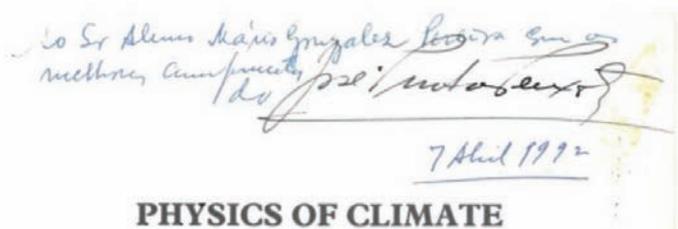


Figura 2 - Dedicatória de J. P. Peixoto no seu livro *Physics of Climate*

4) Conclusões

Foram descritas e salientadas algumas das características fundamentais da investigação em meteorologia e climatologia que obrigam a algumas adaptações do método científico, incluindo o conceito de Atmosfera como laboratório de Física, associado à necessidade de monitorização e simulação da Atmosfera, o carácter composto, dinâmico e complexo do Sistema Climático, e os alicerces da climatologia nas leis da Física e na estatística como fica bem patente no livro *Physics of Climate*. Para ilustrar algumas destas características salientadas neste manuscrito, bem como o visionarismo do Prof. Peixoto, transcrevo o resumo do artigo *Physics of Climate*, de Peixoto e Oort publicado na *Reviews of Modern Physics*, em 1984, mas que bem poderia ser um resumo atual do livro com o mesmo título, publicado quase uma década depois,

"A review of our present understanding of the global climate system, consisting of the atmosphere, hydrosphere, cryosphere, lithosphere, and biosphere, and their complex interactions and feedbacks is given from the point of view of a physicist. This understanding is based both on real observations and on the results from numerical simulations. The main emphasis in this review is on the atmosphere and oceans. First, balance equations describing the large-scale climate and its evolution in time are derived from the basic thermohydrodynamic laws of classical physics. The observed atmosphere-ocean system is then described by showing how the balances of radiation, mass, angular momentum, water, and energy are maintained during present climatic conditions. Next, a hierarchy of mathematical models that successfully simulate various aspects of the climate is discussed, and examples are given of how three-dimensional general circulation models are being used to increase our understanding of the global climate "machine." Finally, the possible impact of human activities on climate is discussed, with main emphasis on likely future heating due to the release of carbon dioxide in the atmosphere."

Este manuscrito pretendeu homenagear o Prof. José P. Peixoto, celebrar os 30 anos da publicação da sua obra, o livro *Physics of Climate* e os 100 anos do nascimento do Prof. Peixoto. Tive a oportunidade de ser seu aluno em várias unidades curriculares e muito do meu conhecimento atual sobre meteorologia e climatologia foi aprendido nas suas aulas. Muitos dos atuais professores universitários não receberam formação formal para se-

rem docentes. Integro este grupo, e para tentar desempenhar adequadamente a minha atividade, segui as metodologias de ensino dos meus professores que considereei como os melhores. O Prof. Peixoto foi certamente um deles, embora não tenha adotado a sua prática pedagógica de dar calduços aos alunos.

Era aluno do Prof. Peixoto quando o seu livro foi publicado. Nesse ano, a turma tinha apenas três estudantes: eu e duas colegas. Algumas das suas aulas foram lecionadas com o apoio do *Physics of Climate* pelo que a sua aquisição foi recomendada. Na altura, comprar um livro no estrangeiro não era tão fácil nem rápido como é hoje. No final do semestre, o Prof. Peixoto disponibilizou o seu próprio exemplar para poder ser adquirido por um de nós. Muito ao seu estilo, agitando o livro na mão, perguntou na aula quem estava interessado em adquirir o livro. Tive a sorte de ter sido o escolhido e posso afirmar que continuo a ser o proprietário de um dos primeiros exemplares do *Physics of Climate* do próprio Prof. Peixoto. O livro já estava assinado por si – a preto –, mas quando mo entregou, escreveu uma dedicatória – agora, a azul (Figura 2)!

Enquanto investigador e docente, continuo a utilizar e a recomendar o livro *Physics of Climate* pela sua atualidade e pertinência para o estudo da teoria do clima, tal como algumas das revisões/apreciações do livro já deixavam antever:

"A superb reference." *Physics Today*.

"Will become a classic text in climate research." *Physics World*.

"Valuable to anyone who studies, models, or uses the climate of the earth." *Bulletin of the American Meteorological Society*.

"Informative and authoritative on a remarkably wide range of topics." *Nature*.

Agradecimentos

Não posso deixar de felicitar a Sociedade Portuguesa de Física, na pessoa da sua presidente, Prof. Maria Conceição Abreu, a Gazeta de Física na pessoa do seu diretor, o colega Bernardo Almeida, e o editor da edição especial, o colega Carlos da Camara, pela iniciativa de homenagear o Professor José Pinto Peixoto e de agradecer o convite para participar no número especial da Gazeta de Física dedicado aos 30 anos da publicação do livro *Physics of Climate* e celebrar os 100 anos do nascimento do Prof. Peixoto. Este trabalho foi apoiado/financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do projeto UIDB/04033/2020.

Referências

- [1] Allwood, J.M., Bosetti, V., Dubash, N.K., D', M., Brazil, A. Baiocchi, G., Barrett, J., Broome, J., Brunner, Steffen, Olvera, M.C., Clark, H., Clarke, L., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., Von Stechow, C., Zwickel, T., Minx, J.C., 2014. Oswaldo Lucon (Brazil), Andreas Löschel (Germany). Pete Smith.
- [2] Andersen, H., Hepburn, B., 2015. Scientific method.
- [3] Coleman, J.S.M., Law, K.T., 2015. Meteorology, in: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09492-6>
- [4] Gauch Jr, H.G., Gauch Jr, H.G., Gauch, H.G., 2003. Scientific method in practice. Cambridge University Press.
- [5] Guttman, N.B., 1989. Statistical Descriptors of Climate, journals.ametsoc.org.
- [6] Kosso, P., 2011. A summary of scientific method. journals.ametsoc.org.
- [7] Pais, J.M., 1985. «De Espanha nem bom vento nem bom casamento»: sobre o enigma sociológico de um provérbio português. *Análise Soc.* 21, 229-243.
- [8] Parente, J. Amraoui, M., Menezes, I., Total, M.P.-S. of the, 2019, undefined, n.d. Drought in Portugal: Current regime, comparison of indices and impacts on extreme wildfires. Elsevier.
- [9] Parente, J., Pereira, M.A.-S. of the total, 2018, U., 2018. Heat waves in Portugal: Current regime, changes in future climate and impacts on extreme wildfires. Elsevier.
- [10] Parente, J., Pereira, M.G., Tonini, M., 2016. Space-time clustering analysis of wildfires: The influence of dataset characteristics, fire prevention policy decisions, weather and climate. *Sci. Total Environ.* 559, 151-165. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.129>
- [11] Peel, M.C., Finlayson, B.L., McMahon, T.A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11, 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- [12] Peixoto, J., Oort, A., 1992. Physics of climate.
- [13] Pereira, M.G., 2015. Mathematics of Energy and Climate Change: From the Solar Radiation to the Impacts of Regional Projections. Springer, Cham, pp. 263-295. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16121-1_12
- [14] Pereira, M.G., Trigo, R.M., DaCamara, C.C., Pereira, J.M.C., Leite, S.M., 2005. Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. *Agric. For. Meteorol.* 129, 11-25. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.12.007>
- [15] San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R., Maiani, P., Liberta, G., Artes-Vivancos, T., Oom, D., Branco, A., De Rigo, D., Ferrari, D., 2021. Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2020, EUR 30862 EN.
- [16] Schmuck, G., San-Miguel-Ayanz, J., Barbosa, P., Camia, A., Kucera, J., Libertá, G., Amatulli, G., Boca, R., Schulte, E., Dierks, H.H., 2006. Forest Fires in Europe.
- [17] Trigo, R.M., Pereira, J.M.C., Pereira, M.G., Mota, B., Calado, T.J., DaCamara, C.C., Santo, F.E., 2006. Atmospheric conditions associated with the exceptional fire season of 2003 in Portugal. *Int. J. Climatol.* 26, 1741-1757. <https://doi.org/10.1002/joc.1333>
- [18] Voit, E.O., 2019. Perspective: Dimensions of the scientific method. *PLoS Comput. Biol.* <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007279>
- [18] Voit, E.O., 2019. Perspective: Dimensions of the scientific method. *PLoS Comput. Biol.* <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007279>
- [19] Yeoman, K., Bowater, L., Nardi, E., 2015. The representation of research in the national curriculum and secondary school pupils' perceptions of research, its function, usefulness and value to their lives. *F1000Research* 4, 1442. <https://doi.org/10.12688/f1000research.7449.1>
- [20] Zhang, Z., Moore, J.C., 2015. Climate and Earth System Models, in: *Mathematical and Physical Fundamentals of Climate Change*. Elsevier, pp. 457-472. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800066-3.00014-0>



Mário Gonzalez Pereira, terminou a Licenciatura em Ciências Geofísicas (1993), o Mestrado em Ciências Geofísicas, na área de Especialização de Meteorologia (1998) e o Doutoramento em Física, Meteorologia (2005), na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL). É Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, investigador do Centro de Investigação e de Tecnologias Agro-Ambientais e Biológicas (CITAB) e colaborador do Instituto Dom Luiz (IDL) da FCUL. É vice-presidente da Associação Portuguesa de Meteorologia e Geofísica. Mário é um geocientista especializado em meteorologia e climatologia, com especial interesse na gestão, ensino e investigação das condições atmosféricas, caracterização, variabilidade e alterações climáticas, eventos extremos, seus impactos nos sistemas humanos e naturais, incêndios florestais, hidrologia e termodinâmica.