

CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO, NA METEOROLOGIA FÍSICA E DINÂMICA: PREPARAÇÃO DE PRÁTICAS LETIVAS EFICAZES

CONSTRUCTION OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE, IN PHYSICAL AND DYNAMIC METEOROLOGY: PREPARATION OF EFFECTIVE TEACHING PRACTICES

CONSTRUCCIÓN DE CONOCIMIENTO CIENTÍFICO, EN METEOROLOGÍA FÍSICA Y DINÁMICA: PREPARACIÓN DE PRÁCTICAS DOCENTES EFECTIVAS

CONSTRUCTION DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES, EN MÉTÉOROLOGIE PHYSIQUE ET DYNAMIQUE : PRÉPARATION DE PRATIQUES PÉDAGOGIQUES EFFICACES

Carla Sofia Vigário¹

Inês Lucas de Sousa²

Bárbara Ricou Carreiro³

1 Jardim-Escola João de Deus de Ponta Delgada, ilha de São Miguel – Arquipélago dos Açores. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0291-209X> . E-mail: carlasofia213@gmail.com.

2 Jardim-Escola João de Deus de Ponta Delgada, ilha de São Miguel – Arquipélago dos Açores. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6081-7553>. E-mail: ines.lsousa@gmail.com.

3 Jardim-Escola João de Deus de Ponta Delgada, ilha de São Miguel – Arquipélago dos Açores. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8512-5143>. E-mail: barbara.rt.carreiro@edu.azores.gov.pt.

Introdução

A Meteorologia Física e a Meteorologia Dinâmica permitem explicar muito do que potencia as alterações climáticas, o aquecimento global, a sustentabilidade e as alterações de ecossistemas (Holton, 2004; Ahrens; Henson, 2019).

A Revolução Industrial, a partir de 1760, favoreceu o desenvolvimento da indústria e uma produção em massa, com um impacto no meio ambiente que desencadeou as alterações climáticas. A queima de combustíveis fósseis para amortizar a procura de energia contribuiu para o aumento de emissões de gases com efeito de estufa, nomeadamente o dióxido de carbono. A qualidade do ar, a água, o solo, a saúde pública, a floresta e a biodiversidade, em muitas regiões, foram afetados e caminha-se para a falência de ecossistemas se não forem tomadas decisões sociais e políticas.

A sustentabilidade dos ecossistemas está em perigo e os ambientes térmicos passaram a ser castigados por fenómenos extremos, numa cadência anormal. Também o ciclo da água passou a estar afetado por suscitar desequilíbrios não previstos pelo ser humano, provocando inundações e deslizamentos de terras.

Atualmente, a corrida para fontes de energia renováveis parece não ser suficiente, dado que, atualmente, cerca de 80% da energia mundialmente consumida é obtida através de combustíveis fósseis. No geral, há países com boa implantação de fontes renováveis de energia.

O IPCC (Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas) divulgou recentemente uma excelente contribuição, no seu relatório AR6 (<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>). O documento não apresenta dúvidas de que estão a ser observadas alterações no clima do planeta em todas as regiões e que a subida do nível médio das águas dos oceanos é irreversível. Fenómenos extremos passaram a ser frequentes, impulsionados pela emissão de gases de efeito de estufa. O relatório mostra cinco novos cenários de emissões de gases de efeito estufa para o período 2015-2100 e as suas consequências, indicando dois cenários mais otimistas, um cenário intermediário e dois cenários mais pessimistas (IPCC, 2020; IPCC, 2021; IPCC, 2023).

A humanidade é, hoje, confrontada com esta realidade e passa a ter, como convivência habitual, a ocorrência de fenómenos extremos. Nestes, podem ser destacadas as ondas de calor, as secas, a falência de ecossistemas, as inundações, os deslizamentos de terras, a ação rebelde das marés vivas, mas também a angústia de pessoas que nada podem fazer contra as forças da natureza quando o fluir das águas leva a que estas registem elevada velocidade e uma tensão de corte assustadora, acabando por destruir pontes, estradas, edifícios e outros.

É, também, assumido cientificamente que os gases com efeito de estufa passaram a dominar um elo de poluição, com consequências nefastas para o efeito de estufa natural. Este permitia a vida dos seres vivos saudável no nosso planeta Terra. O novo efeito de estufa, gerado por uma camada de gases que se forma acima da superfície terrestre, impede

que a energia intersetada, absorvida e refletida pela superfície da Terra seja devolvida livremente para o espaço.

Neste capítulo, serão apresentadas as bases teóricas e práticas para implementar, numa escola, uma dinâmica de motivação de aprendizagem eficaz favorável a que os alunos construam conhecimento científico e passem a demonstrar respeito pela natureza.

A ilha de São Miguel – algumas das suas características físicas

A ilha de São Miguel, situada no grupo oriental do Arquipélago dos Açores (Portugal), de acordo com a Köppen-Geiger, que corresponde à última revisão de Köppen em 1936, regista um clima classificado como Csb e apresenta um clima temperado com verão seco e suave. O verão tem muito menos pluviosidade do que o inverno. A temperatura média anual registada em Ponta Delgada é de cerca de 17°C e a precipitação anual é de aproximadamente 1010mm. Os resultados obtidos pela cartografia, para esta classificação climática, permitem confirmar que o clima é temperado, do tipo C, verificando-se o Subtipo Cs, clima temperado com verão seco (<https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>).

A variabilidade do estado do tempo está, em muito, associada às oscilações em latitude do Anticiclone dos Açores e das perturbações da Frente Polar. A conjugação da insularidade, do relevo, que de uma maneira geral é bastante acidentado e vigoroso, e a corrente do golfo do México são fatores que determinam as características do clima temperado marítimo açoriano.

Na ilha de São Miguel existe um vasto conjunto de emissões naturais associadas às manifestações vulcânicas nas Furnas, algumas delas com potencial impacto na saúde pública e no clima da região. O índice de qualidade do ar é uma ferramenta que permite a sua própria classificação simples e compreensível. São cinco os poluentes englobados no índice de qualidade do ar, a saber: medidos segundo a média horária o dióxido de azoto (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e o ozono (O₃); medidas, segundo a média diária, as partículas inaláveis ou finas, cujo diâmetro médio é inferior a 10µm (PM10) e medido, segundo a média registada durante 8h consecutivas, o monóxido de carbono (CO).

De acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente – Índice da Qualidade do Ar (IQar), são mencionadas condições meteorológicas normalmente associadas ao ar que respiramos e que pode afetar a saúde das populações e, principalmente, dos grupos sensíveis cuja capacidade respiratória se encontre em formação ou debilitada, nomeadamente, crianças, idosos e doentes asmáticos. (<https://qualar.apambiente.pt/en/indices>).

Os gases vulcânicos incluem vapor de água (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), ácido sulfídrico (H₂S), ácido sulfúrico (H₂SO₄), ácido clorídrico (HCl) e ácido fluorídrico (HF), os quais, em certas condições, podem constituir uma importante ameaça para a população, em especial para aquela com problemas respiratórios e de coração (Coch, 1995).

Uma vez que os gases vulcânicos se diluem rapidamente na atmosfera pela ação do vento, fazendo com que os teores observados sejam inferiores ao nível de toxicidade crítica, os principais danos causados por estes localizam-se, em geral, próximo das bocas eruptivas e nos campos fumarólicos (Ortiz; Araña, 1996).

No Vale das Furnas, encontram-se líquenes foliáceos, fruticulosos e crustosos, todos eles na casca das árvores de *Cryptomeria japônica*, que circundam a Lagoa das Furnas, inclusivamente nas árvores que se encontram na proximidade dos geiserses. ARIC (2008) indicou valores para uma concentração máxima de dióxido de enxofre que os líquenes observados no Vale das Furnas podem “consentir”.

Como avaliar um ambiente térmico, a sensação térmica e o vestuário

Conhecer o ambiente térmico que suscita a sensação térmica do ser humano é uma contribuição para que possam ser adotadas estratégias de prevenção. Conhecer como os parâmetros meteorológicos se interligam é fundamental. O IPCC (2023), no seu relatório, mostra que a problemática das alterações climáticas, do aquecimento global e cenários de novos ecossistemas são motivos que deverão levar a que sejam tomadas estratégias de proteção e de defesa da agressividade da natureza que, através da sua energia alterada, favorece a implementação de fenómenos extremos alicerçados nas forças naturais dominantes, que estão a provocar angústia por causarem destruição do bem-estar do ser humano e promoverem catástrofes e riscos para a sobrevivência.

É sabido que o ciclo solar diurno afeta o metabolismo do ser humano e as suas trocas de energia sob a forma de calor por radiação, por convecção, por condução e por evaporação. A água é essencial para a vida e é possível conhecer a quantidade de água que se encontra no ar húmido, no estado de vapor de água. Consideramos que é a temperatura do ponto de orvalho que condiciona a vida dos seres vivos do planeta Terra.

Apresentam-se exemplos para potenciar práticas letivas inovadoras e motivadoras.

Tolerância do ser humano a um ambiente térmico

Com base na teoria da meteorologia física e termodinâmica da atmosfera (Iribarne e Cho, 1980; Iribarne e Godson, 1981; Ahrens, 2007), é possível aceitar que a humidade relativa do ar é calculada pelo quociente entre a pressão parcial de saturação do vapor de água à temperatura do ponto de orvalho [$e_s(T_0)$] e a pressão parcial de saturação do vapor de água à temperatura do ar [$e_s(T)$].

Numa sala, usando um termohigrómetro digital, registou-se a temperatura do ar (30,0 °C), a temperatura do ponto de orvalho (10,9 °C), a temperatura termómetro húmido (18,8 °C) e humidade relativa do ar (30,0%).

A massa volúmica de vapor de água é obtida usando o melhor indicador denominado temperatura do ponto de orvalho, por aplicação da equação de estado $e_s(T_0) = \rho_w R_w T_0$, com $e_s(T_0) = 13,07 \text{ hPa}$ e $R_w = 461 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (Ahrens, 2012; Ahrens; Henson, 2019).

A massa volúmica do vapor de água de $9,98\text{g/m}^3$, significa fisicamente a presença de uma massa de vapor de água de $9,98\text{g}$ por cada m^3 de ar húmido.

Para a análise do tipo de ambiente térmico aplicou-se o índice EsConTer (Talaia; Simões, 2009; Morgado *et al.*, 2015) baseado na sétima escala da ASHRAE (ASHRAE, 2004), e calculado pela eq. (1)

$$\text{EsConTer} = -3,75 + 0,103 \times (T + T_w) \quad (1)$$

em que T representa a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e T_w a temperatura do termómetro húmido ($^{\circ}\text{C}$).

O índice EsConTer na gama de valores -3 a $+3$ permite mostrar a sensação térmica de um ambiente térmico de muito frio a muito quente.

O índice EsConTer previsto e calculado indica um valor de $1,28$. Sugere um ambiente ligeiramente quente a tender para quente. Sugere que se adote algum tipo de estratégia de prevenção.

Para prever a satisfação do ser humano no ambiente térmico aplicou-se o índice PPD (Talaia; Silva, 2015), percentagem de pessoas insatisfeitas (ISO 7730, 2005) em que na sua expressão original o índice de voto médio previsto foi substituído pelo índice EsConTer, resultando

$$\text{PPD} = 100 - 95 \times 2,718^{[-(0,03353 \times \text{EsConTer}^4 + 0,2179 \times \text{EsConTer}^2)]} \quad (2)$$

A análise da eq. (2) mostra que é impossível obter num ambiente térmico uma combinação das variáveis meteorológicas e pessoais que satisfaça plenamente todos os seres humanos de um grande grupo, dado que o valor do índice PPD nunca será inferior a 5% . Para a sala, o valor previsto de insatisfeitos registou cerca de 39% .

Para prever o Isolamento Térmico do Vestuário (ITV), em unidades de clo (Talaia, 2021), e para uma atividade sedentária (escritório, moradia, escola, laboratório) com um metabolismo de 70W.m^{-2} ou $1,2\text{met}$, aplica-se a expressão, $\text{ITV} = -0,7418 \times \text{EsConTer} - 0,3250 + 0,0764 T_w$ (3) O ITV permite obter o valor de $0,16$. Se consultarmos tabelas de peças de vestuário (ISO 7730, 2005), chegamos à conclusão de que este valor indica calções e cueca. *Nestes termos, que dizer do vestuário de bombeiros que enfrentam a frente de um incêndio florestal com meios sapadores?*

O exemplo mostra como se podem conhecer fatores que influenciam a parte física e psicológica do ser humano num Ambiente Térmico, permitindo a tomada de estratégias de prevenção e de proteção de saúde.

O processo de condensação de vapor de água, num ambiente térmico, com uma humidade relativa alta usando um desumidificador

A questão problema que se coloca tem de ver, por exemplo, para um ambiente que não potencie a proliferação de bolores ou ácaros, ou seja, na proteção de doença DPOC (Doença Pulmonar Obstrutiva Crónica), nomeadamente a asma.

Toma-se um exemplo prático e real: há necessidade de diminuir a humidade relativa do ar, num compartimento com um volume de ar húmido de cerca de 30m^3 , usando um desumidificador de modo a garantir um ambiente confortável, com uma temperatura do ar entre $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ e uma humidade relativa do ar de cerca de 50%. A experiência obriga, no início da recolha de dados, a garantir que o reservatório do desumidificador esteja vazio. É, então, registada a humidade relativa do ar (92,0%), a temperatura do ar ($21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), a temperatura do termómetro húmido ($20,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) e a temperatura do ponto de orvalho ($19,9\text{ }^{\circ}\text{C}$) usando o equipamento digital Center 317 (Figura 1).

Com base em tabela de valores para pressões parciais de saturação do vapor de água, obtém-se $e_s(T=21,2) = 25,51\text{hPa}$ e $e_s(T_0=19,9) = 23,47\text{hPa}$. A massa volúmica inicial de vapor de água contida no ar húmido é calculada usando a equação de estado $e_s(T_0) = \rho_w R_w T_0$, ou seja, $\rho_{w_inicial} = 17,37\text{g/m}^3$.

Algum tempo depois, cerca de 130min, o ambiente térmico apresentava as seguintes características registadas no Center 317 (fig.1), humidade relativa do ar (54,5%), temperatura do ar ($22,7\text{ }^{\circ}\text{C}$), a temperatura do termómetro húmido ($17,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) e a temperatura do ponto de orvalho ($13,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) e o painel do desumidificador (Figura 1) registava uma humidade relativa do ar 53% e temperatura do ar $24\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figura 1. Registo de dados no termohigrómetro digital e no desumidificador.

Os valores de cada instrumento de medida estavam muito próximos, o que validou a sua leitura, com um erro relativo para a humidade relativa do ar e a temperatura do ar de 2,8% e 5,7%, respetivamente.

Desligaram-se os aparelhos e mediu-se o volume de água recolhida no reservatório do desumidificador que funcionou na velocidade mais alta.

O valor determinado de $e_s(T_0=13,2) = 15,27\text{hPa}$ permite conhecer a massa volúmica final de vapor de água contida no ar húmido, usando a equação de estado, vindo $\rho_{w_final} = 11,56\text{g/m}^3$.

A diferença entre as massas volúmicas inicial e final permite conhecer a quantidade de água que foi processada pela condensação do vapor de água, ou seja, $5,81\text{g/m}^3$. O espaço regista um volume de ar húmido de cerca de 30m^3 , o que determina uma massa de água a recolher de cerca de 175g. O desumidificador retirou uma massa de água de cerca de 230g. Esta quantidade de água é superior à prevista, o que sugere que o desumidificador estava a funcionar com eficiência energética. No entanto, o facto de a quantidade de água ser superior ao previsto pode justificar-se por se ter aberto a porta durante o processo de utilização.

Procurou-se conhecer a sensação térmica, o vestuário a usar e a satisfação do local, para o local investigado

A sensação térmica real registou o valor +0,5 na escala de cores (entre -3 a +3) desenvolvida por Talaia e Rodrigues (2008). A sensação térmica prevista pelo índice EsConTer (eq. 1) para o mesmo ambiente térmico foi de 0,35, o que mostra que a sensação térmica real está muito próxima da prevista, conferindo ser um ambiente térmico confortável.

A quantidade de vestuário usado em unidades Clo registou um valor de 0,65Clo. O índice ITV (expressão 3) prevê para o ambiente térmico um valor de 0,72Clo, o que permite concluir, que o vestuário usado está em concordância com a sensação térmica.

Foi medida, também, a insatisfação para o local e o índice PPD (expressão 2) indica um valor de insatisfeitos de 7,5%. De salientar que a norma ISO 7730 (2005) mostra que para qualquer tipo de ambiente térmico há sempre um número mínimo de 5% de insatisfeitos. Esta previsão tem em conta os fatores físicos, emocionais e psicológicos do ser humano.

Interpretação física de uma massa de ar, no tempo, através da temperatura do ponto de orvalho

Será simulada a formação de orvalho a partir de uma temperatura mínima de uma superfície inferior à temperatura do ponto de orvalho do ar húmido. As condições atmosféricas, para o orvalho ser observado, passam por uma noite de céu limpo, ausência de nuvens e ausência de vento (ou muito fraco). Nestas circunstâncias, ao amanhecer, podem ser observadas folhas de ervas cobertas com vapor de água condensado que permite hidratar e alimentar a planta (Figura 2).



Figura 2. Gotas de orvalho, no amanhecer.

É a temperatura mínima que uma superfície regista, antes do “nascer” do Sol, que pode favorecer a formação de orvalho se houver condições atmosféricas apropriadas. Se a temperatura do ar estiver próxima da temperatura do ponto de orvalho, e se a temperatura mínima for muito inferior, o vapor de água condensado é tanto maior quanto maior for a diferença entre a temperatura do ponto de orvalho do ar húmido e da temperatura mínima da superfície.

Interpretação da massa de ar (pacote de ar) em termos de massa volúmica de vapor de água

Registaram-se, para a ilha de São Miguel, Ponta Delgada, Arquipélago dos Açores e para os dias 17 e 18 de novembro de 2023, os valores indicados na Tabela 1, nomeadamente temperatura do ar (T), humidade relativa do ar (HR) e temperatura do ponto de orvalho (T_0).

Tabela 1. Parâmetros meteorológicos, no tempo.

dia	hora	T (°)	HR (%)	T_0 (°C)	$e_s(T_0)$ (hPa)	ρ_w (g/m ³)
17/11	22	19	89	17,2	19,76	14,77
18/11	01	18	81	14,7	16,88	12,72
18/11	04	18	86	15,7	17,92	13,46
18/11	07	17	88	15,0	17,19	12,94
18/11	10	19	80	15,5	17,77	13,35
18/11	13	19	78	15,1	17,32	13,03
18/11	16	19	77	14,9	17,10	12,88
18/11	19	18	81	14,7	16,88	12,72
18/11	22	18	82	14,9	17,08	12,86

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Conforme mostra a Tabela 1, a pressão parcial de saturação do vapor de água à temperatura do ponto de orvalho e a massa volúmica do vapor de água foram determinadas, usando tabelas de pressão de saturação de vapor de água e a equação de estado aplicada ao vapor de água.

Por exemplo, entre as 22h00 do dia 17 de novembro e a 01h00 do dia 18 de novembro, há uma diminuição da quantidade de vapor de água na atmosfera. A diferença de 2,05g/m³ de massa de vapor de água condensada pode ter provocado o aumento da quantidade de gotas de água na massa de ar da atmosfera ou, em alternativa, devido ao seu movimento, ter entrado uma nova massa de ar com características físicas diferentes. Se considerarmos que a massa de ar às 22h00 do dia 17 de novembro se mantém contante e confinada a um espaço, temos indícios de um exemplo de aplicação de um desumidificador que retirou uma quantidade de água de 2,05 gramas por cada metro cúbico.

O valor da massa volúmica às 04h00 indica que há um aumento da quantidade de vapor de água. Sugere uma massa de ar que se movimentava com maior quantidade de água no estado de vapor de água de 13,46g/m³ ou, em alternativa, o valor indicado às 01h00 sugere uma humificação do ar húmido em 0,74g/m³. O mesmo raciocínio é seguido para os restantes valores da tabela.

Se for considerada uma temperatura mínima para o dia 18 de novembro de 5 °C, é possível determinar a quantidade de vapor condensado, por exemplo, nas folhas de plantas. Os dados para as 07h00 da manhã do dia 18 de novembro são T = 17 °C e HR = 88%, com T₀ = 15,0 °C e $\rho_{w_inicial} = 12,94\text{g/m}^3$. O valor máximo de vapor de água por metro cúbico para a temperatura mínima de 5 °C da superfície das folhas de plantas é de $\rho_{w_final} = 6,80\text{g/m}^3$. Assim, o vapor de água que foi obrigado a condensar será de 6,14g/m³ sobre as superfícies. Esta quantidade de água apresenta-se, muitas vezes, como gotas de orvalho a escorrer nas folhas (Figura 2).

Interpretação da massa de ar registrada para a mesma hora e para uma sequência de dias

Registaram-se para os dias 18, 19 e 20 de novembro de 2023, os valores indicados na Tabela 2, nomeadamente temperatura do ar (T), humidade relativa do ar (HR) e temperatura do ponto de orvalho (T₀).

Tabela 2. Parâmetros meteorológicos numa sequência de dias.

dia	hora	T (°)	HR (%)	T ₀ (°C)	e _s (T ₀) (hPa)	ρ_w (g/m ³)
18/11	07	17	88	15,0	17,19	12,94
19/11	07	17	70	11,6	13,69	10,42
20/11	07	16	91	14,6	16,67	12,57

Fonte: Elaborado pelas autoras.

A observação da coluna à direita (Tabela 2) indica que se a massa de ar do dia 18 de novembro de 2023 fosse isolada, haveria formação de gotículas de água entre o dia 18 e 19 de novembro, de $2,52\text{g/m}^3$, e que, para o dia 20 de novembro, muitas dessas gotículas de água voltariam a evaporar (cujo valor seria de $2,15\text{g/m}^3$). Se a massa de ar, como acontece na realidade, estivesse em movimento, a temperatura do ponto de orvalho seria diferente, definindo as características dessa massa de ar. De salientar que uma massa de ar não saturada, em movimento, ascende através da linha da adiabática não saturada até a temperatura do ar diminuir até atingir a temperatura do ponto de orvalho. A partir deste nível isobárico, a massa de ar ascende através da linha da adiabática saturada (no interior da nuvem), podendo ocorrer um processo reversível ou irreversível (quando há perda de vapor de água condensado na forma de precipitação). É a linha da adiabática saturada que define as características de uma massa de ar e é considerado o melhor indicador para interpretar a diferença entre massas de ar.

Interpretação física da diferença na formação de nevoeiro

A ilha de São Miguel é condicionada pela formação de nevoeiros devida as condições do tempo atmosférico, como mostra a Figura 3.



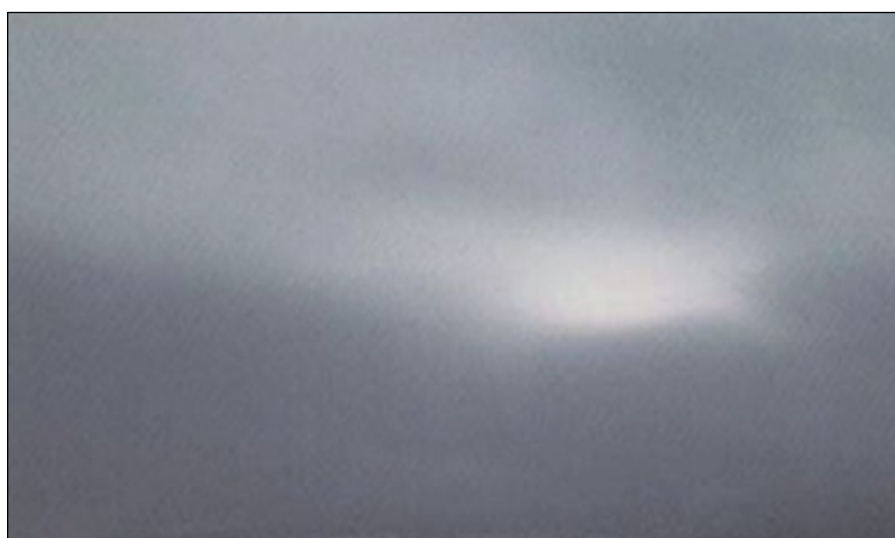
Fonte: <<https://www.flickr.com/photos/24133261@N00/6974914768/>>.

Figura 3. Nevoeiro.

O nevoeiro não é mais do que uma nuvem que se forma ao nível do solo e pode formar-se por diferentes causas. No geral, para se formar nevoeiro, é necessário que uma camada ou massa de ar junto ao solo possa atingir condições para se registar condensação de vapor de água. Assim, o vapor de água, ao condensar nos aerossóis existentes, forma minúsculas gotículas de água que ficam suspensas no ar. As gotículas de água do nevoeiro podem ter dimensões idênticas às das nuvens.

As condições atmosféricas para a formação do nevoeiro passam por um ar calmo, mas não completamente imóvel. A presença de intenso vento pode deslocar o nevoeiro e, se este ascender em altitude, pode dar origem a um tipo de nuvem denominada estrato (Ahrens, 2007; Ahrens; Henson, 2019). Estratos são nuvens baixas que se podem formar a cerca de 400m de altitude e possuem cor acinzentada (Figura 4). Têm normalmente espessura vertical reduzida e, geralmente, cobrem o céu na sua totalidade. Se não existir vento, ou se este for muito fraco, os estratos podem baixar até ao solo, originando nevoeiro. Os estratos são constituídos por gotículas de água e, no geral, não produzem precipitação.

Na meteorologia, o nevoeiro apresenta uma visibilidade horizontal inferior a 1km. Considera-se nevoeiro “espesso” quando a visibilidade horizontal é inferior a 200m. Se a visibilidade horizontal no solo é superior a 1km, denomina-se neblina.



Fonte: <<https://www.imn.ac.cr/33>>.

Figura 4. Estrato.

Diferentes tipos de nevoeiro

Na atmosfera há diferentes tipos de nevoeiro (Iribarne; Cho, 1980; Ahrens; Henson, 2019), que se formam por diferentes processos. Neste trabalho, por ser oportuno, apresentam-se diferentes nevoeiros, nomeadamente de radiação, de advecção, orográfico, de evaporação e de precipitação.

Nevoeiro de radiação

Este nevoeiro forma-se, geralmente, nos vales e nas terras baixas e é gerado a partir do arrefecimento de ar húmido, quando o solo perde energia sob a forma de calor (necessita de céu limpo) e atinge a saturação (Figura 5). Ocorre, frequentemente, em noites de outono e inverno.



Fonte: <<https://observar.ipma.pt/relatos/nevoeiro-de-radiacao-2/>>.

Figura 5. Nevoeiro de radiação.

Se o ar estiver completamente imóvel, forma-se apenas uma estreita camada de nevoeiro junto à superfície

Nevoeiro de advecção

Este nevoeiro é, geralmente, formado quando uma massa de ar quente e húmida encontra uma superfície fria. Assim, o ar húmido, ao entrar em contacto com uma superfície mais fria, como a água do mar, irá facilitar a condensação do vapor de água. O termo advecção significa movimento horizontal (Figura 6). Este tipo de nevoeiro é frequente nas manhãs de verão, na costa portuguesa, quando o ar húmido e quente, próximo da saturação, entra em contacto com a superfície da água mais fria e arrefece. Se a temperatura atingida for inferior à temperatura do ponto de orvalho, ocorre condensação de vapor de água e forma-se nevoeiro de advecção. No inverno, a formação deste tipo de nevoeiro na costa portuguesa, na maioria das vezes, não ocorre, pois, a temperatura da água é frequentemente superior à temperatura do ar.

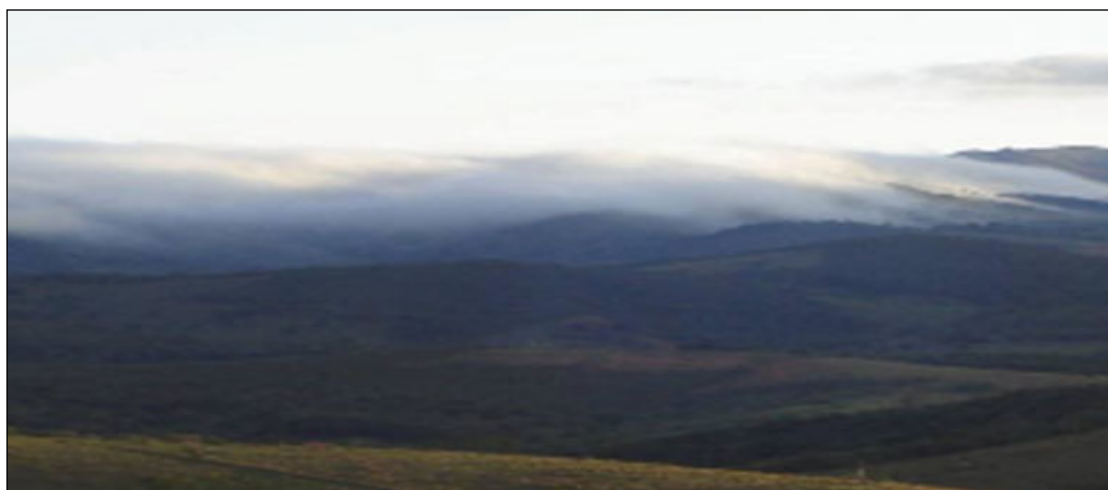


Fonte: Adaptado de <<https://www.slideserve.com/quintessa-mccal/>>.

Figura 6. Nevoeiro de advecção.

Nevoeiro orográfico

Este tipo de nevoeiro resulta do arrefecimento do ar à medida que se move para maiores altitudes. Este é um dos poucos tipos de nevoeiro que se mantém em condições de vento relativamente forte (Figura 7). A razão para isso é que, quanto mais intenso é o vento, mais rápido é o movimento da massa de ar para maiores altitudes e mais rápido será o seu arrefecimento.



Fonte: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Ocorrencia-de-nevoeiro-orografico-na-regiao-de-Cunha-onde-esta-localizado-o_fig3_305416165>.

Figura 7. Nevoeiro orográfico.

Nevoeiro de evaporação

Formado por adição de vapor de água à atmosfera, este nevoeiro acontece, geralmente, em manhãs de outono quando o ar húmido está a uma temperatura inferior à registada num corpo de água de rios e lagos, ou seja, a água está mais quente do que a massa de ar adjacente à interface água/ar. Assim, como a água está mais quente, haverá uma maior quantidade de moléculas de água a evaporar. Se o ar húmido acima da superfície livre da água estiver próximo da saturação, com esta “adição de vapor” poderá ficar saturado, ocorrendo condensação de vapor de água e formação de nevoeiro (Figura 8). Um exemplo muito simples deste tipo de nevoeiro é o que se forma quando tomamos banho com água quente.

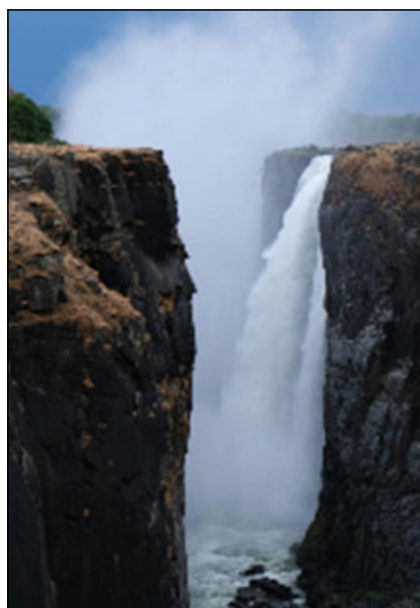


Fonte: <<https://content.meteoblue.com/pt/pesquisa-educacao/recursos-educacionais/meteoscool/o-tempo/nuvens/nevoeiro>>.

Figura 8. Nevoeiro de evaporação.

Nevoeiro de precipitação

Este nevoeiro forma-se quando as gotas de água caem da nuvem e há condições para evaporarem. Quando isso acontece, o ar à volta das gotas de água ganha vapor de água e a humidade relativa do ar aumenta. Se o ar estiver próximo da saturação, esta adição de vapor de água pode ser suficiente para que se atinja a saturação e se forme nevoeiro de precipitação. Um exemplo, para este tipo de nevoeiro, está nas Quedas Vitória (Victoria Falls – fronteira entre o Zimbábue e Zâmbia), uma das maravilhas do mundo, com uma largura de 1708 metros e uma altura de 108 metros (Figura 9).



Fonte: <<https://www.publico.pt/2019/12/07/fotogaleria/maior-queda-agua-mundo-quase-seca-399006#&gid=1&pid=3>>.

Figura 9. Nevoeiro de precipitação.

Considerações finais

Este trabalho mostra que o aquecimento global está a condicionar o tipo de ambiente térmico, afetando o bem-estar e a saúde do ser humano. Mostra, ainda, que se devem tomar e definir estratégias para melhorar um ambiente quente e húmido, de modo a evitar a presença de elevada humidade, de bolores e de ácaros que potenciem doenças do sistema respiratório.

Em ambientes térmicos quentes, o ser humano deve ter o seu termorregulador físico, de transpiração, a funcionar e deve dar atenção a uma constante hidratação.

Foi mostrado, de forma simples, como se pode interpretar uma massa de ar através da temperatura do ponto de orvalho, como sendo o melhor indicador para se conhecer a quantidade de água presente na atmosfera.

Os nevoeiros, no geral, foram apresentados e podem representar uma ameaça à segurança do transporte aéreo, terrestre e marítimo, uma vez que a visibilidade horizontal e vertical se torna comprometida.

Os nevoeiros também podem ser nocivos à saúde pública em locais de intensa poluição. Nestes casos, pode-se formar o smog ou nevoeiro fotoquímico.

Referências

- AHRENS, C.D. **Meteorology today** – an introduction to weather, climate and environment. 8ª Edition. Editor Thomson Brooks/Cole. 537pp. 2007.
- AHRENS, C.D.; HENSON, R. **Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment**, 13 Ed. Brooks/Cole, Cengage Learning, Belmont, USA. 2019.
- ARIC. Air Quality and Lichens. **Atmosphere, Climate and Environment. Information Programme**. Disponível em: <<http://www.ace.mmu.ac.uk>>. 2008.
- ASHRAE 55. Thermal environmental conditions for human occupancy. **American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers**. Atlanta: ASHRAE. 2004.
- COCH, N.E. **Geohards: Natural and Human**. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, 481 pp. 1995.
- HOLTON, J. R. An Introduction to dynamic meteorology. **International Geophysics Series**, vol. 88. Elsevier Academic Press, Fourth Edition. San Diego – California, USA. 2004.
- IPCC. **AR6 Climate Change 2021: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. The Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>>. (online 27set2020). 2020.
- IPCC . **Mudança do Clima 2021 A Base Científica**. Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Editado por Valérie Masson-Delmotte, Panmao Zhai et al. Original impresso em outubro de 2021 pelo IPCC, Suíça. Cópias eletrónicas do Sumário para Formuladores de Políticas original estão

disponíveis no site do IPCC, www.ipcc.ch. ISBN 978-92-9169-158-6. 2021.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001. 2023.

IRIBARNE, J.V.; CHO, H.R. **Atmospheric physics**. R. Reidel Publishing Company, Dordrecht. 1980.

IRIBARNE, J.V.; GODSON, W.L. Atmospheric thermodynamics. **Geophysics and Astrophysics Monographs**, vol 6, R. Reidel Publishing Company, London. 1981.

ISO 7730. **Ergonomics of the thermal environment**—Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. International Organization for Standardization. 2005.

MORGADO, M., TALAIA, M.; TEIXEIRA, L. A new simplified model for evaluating thermal environment and thermal sensation: An approach to avoid occupational disorders, **International Journal of Industrial Ergonomics**. 1-13. 2015.

ORTIZ, R.; ARAÑA V. Daños que pueden producir las erupciones. In: R. Ortiz (Ed.), **Riesgo Volcánico** – Série Casa de Los Volcanes, Lanzarote, Canárias. Vol. 5, 37-66. 1996.

TALAIA, M. Como parâmetros que definem um Ambiente Térmico potenciam riscos: estudo de casos. In: **Geografia, Riscos e Proteção Civil**. Homenagem ao Professor Doutor Luciano Lourenço (RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Vol. 2, pp. 503-516). Coimbra: RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança. 2021.

TALAIA, M.; RODRIGUES, F. Conforto e Stress Térmico: Uma Avaliação em Ambiente Laboral. Proceedings CLME'2008 / II CEM. 5º Congresso Luso – Moçambicano Eng^a e 2º Congresso de Eng^a de Moçambique. Maputo. Editores Silva Gomes, J. F., António, C. C., Clito F. Afonso, C.F & Matos, A. S., Edições INEGI. Artigo 11A020, 15 páginas. **Anais[...]**. 2008.

TALAIA, M.; SILVA, M. Risco da construção do conhecimento de alunos num ambiente térmico quente. **Territorium**, 22, 229-238. 2015.

TALAIA, M.; SIMÕES, H. EsConTer: um índice de avaliação de ambiente térmico. In: V Congresso Cubano de Meteorologia. Somet-Cuba, Sociedade de Meteorologia de Cuba, 1612-1626. **Anais[...]**. 2009.