

## INTRODUÇÃO

O ozono troposférico é o principal agente fotoquímico da atmosfera. Este poluente surge nas camadas mais baixas da atmosfera sobretudo em resultado de uma série de reacções complexas que envolvem óxidos de azoto (NOx) e compostos orgânicos voláteis (COV) na presença de luz solar (Liu et al., 1987). A dinâmica do ozono na troposfera está ilustrada na figura 1.

Contrariamente ao que sucede na estratosfera, onde as moléculas de ozono exercem uma função vital, ao filtrarem uma importante fracção de radiações UV, o ozono troposférico está associado a diversos efeitos nocivos quer a nível da saúde humana, quer a nível do ambiente. É também um gás de efeito estufa com uma contribuição relevante para o aquecimento global (Forster et al., 2007). Os efeitos na saúde humana e na natureza, associados ao ozono troposférico, têm sido reconhecidos pela União Europeia, que, além de promover medidas de controlo das emissões dos precursores de ozono, tem criado legislação no sentido de mitigar os problemas associados ao ozono superficial. A Directiva 2002/3/CE, transposta para legislação nacional pelo Decreto-Lei nº 320/2003, fixou um conjunto de parâmetros que visam a protecção da saúde humana e da vegetação a curto e a longo prazo.

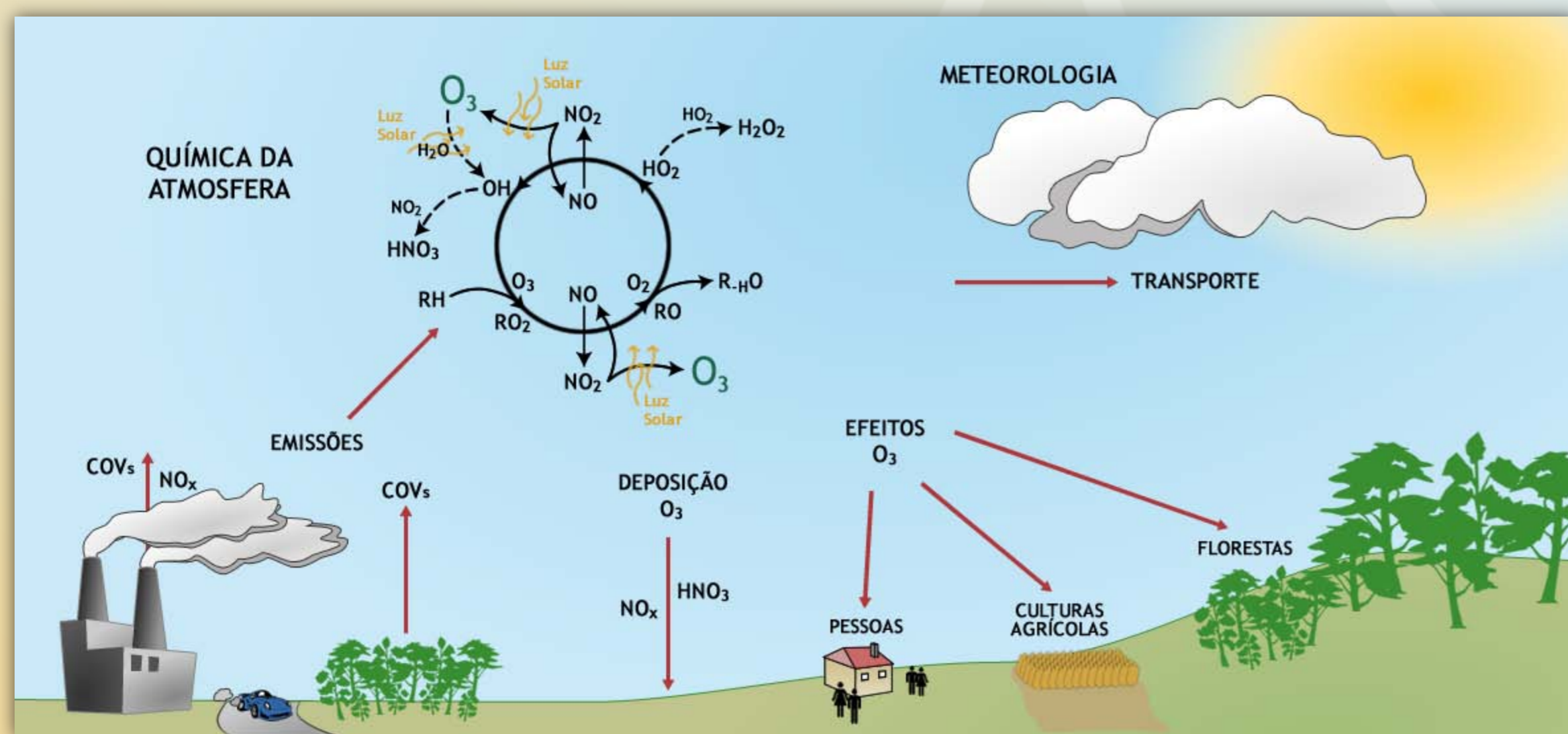


Figura 1. Representação esquemática da dinâmica do ozono troposférico.

Apesar dos esforços que têm vindo a ser desenvolvidos, as violações dos limiares de protecção da saúde humana e da vegetação continuam a ocorrer em vários europeus. Em Portugal, uma grande parte das excedências a estes valores, tem sido registada na região norte interior, em áreas rurais (APA, 2008; EEA, 2010). As excedências ocorrem preferencialmente em dias de temperatura elevada, devido à influência de aspectos de natureza climática no aumento da produção fotoquímica do ozono. A ocorrência destes incumprimentos faz do ozono superficial uma das principais fontes de preocupação no que diz respeito à qualidade do ar.

Com o objectivo de colmatar uma lacuna de informação existente para a região Norte Interior de Portugal, contribuindo concomitantemente para um melhor conhecimento dos níveis de qualidade do ar para esta região, o Instituto Politécnico de Bragança avançou em 2006 para a monitorização deste poluente atmosférico.

## METODOLOGIA

### LOCAL DE ESTUDO

Bragança situa-se numa região rural no Nordeste de Portugal, ocupando actualmente uma área de cerca de 25 km<sup>2</sup>. A população aumentou de 6 000 para cerca de 23 000 habitantes (1910-2001), não incluindo os cerca de 5000 estudantes do ensino superior que residem na cidade. A topografia apresenta formas distintas, com uma altimetria compreendida entre os 600 e os 800 m, sensivelmente. As condições climáticas são semelhantes ao clima continental de outras regiões europeias que estão distantes da influência do Oceano Atlântico, apresentando Invernos longos e frios e Verões curtos e quentes. No Inverno, a ocorrência de temperaturas negativas durante a noite é frequente, enquanto no Verão as temperaturas máximas podem atingir os 40 °C.

No que diz respeito a outros factores com influência directa na qualidade do ar, o transporte rodoviário é talvez a principal fonte de poluição atmosférica. O aquecimento doméstico é outra fonte de poluição que assume particular importância no Inverno, quando grandes quantidades de gás natural, diesel e madeira são queimados durante o dia e noite. As emissões industriais locais têm um peso pouco significativo na poluição do ar, face à dimensão e à natureza das indústrias presentes. A construção é talvez a mais importante fonte industrial de poluentes atmosféricos, apesar de nos últimos anos ter vindo a sofrer um decréscimo substancial.

### INSTRUMENTAÇÃO E INFORMAÇÃO RECOLHIDA

Os níveis atmosféricos de ozono foram obtidos numa estação instalada no Campus do Instituto Politécnico de Bragança. As medições de ozono iniciaram-se em Abril de 2006, usando para o efeito um analisador fotométrico de UV da marca Horiba, modelo APOA 360. Paralelamente, foram também monitorizados, noutra zona da cidade, junto à Câmara Municipal, parâmetros meteorológicos convencionais como a velocidade e a direcção do vento, a temperatura e a humidade relativa do ar, a radiação solar e a precipitação. Os registos meteorológicos foram iniciados cerca de 6 meses mais tarde relativamente ao início da recolha de dados de ozono.

As séries temporais são constituídas por quase 40000 registos horários e apresentam algumas descontinuidades, mas, de um modo geral, a eficiência de recolha de dados durante o período em análise foi elevada, tendo atingido valores superiores a 90%.

## CONCLUSÕES

O registo de concentrações de ozono superficial, permitiu criar a mais importante base de dados para esta região do país e avaliar as variações de curto e de longo prazo das concentrações deste poluente atmosférico. Os padrões diários e sazonais encontrados, estão consentâneos com os perfis típicos de variação temporal, encontrados em regiões rurais e urbanas de baixa altitude e com uma elevada amplitude térmica.

Apesar dos factores envolvidos na dinâmica deste agente fotoquímico, parece inequívoco que os processos meteorológicos assumem um peso significativo e que um aumento da temperatura média global da superfície terrestre conduzirá a um aumento dos níveis deste poluente.

Não obstante, é necessário dispor de séries temporais mais longas juntamente com outras fontes de dados como concentrações de precursores, trajectórias de massas de ar e condições sinópticas para proceder a uma análise mais profunda da influência das alterações climáticas sobre as dinâmicas de curto e longo termo do ozono troposférico. Futuramente, pretende-se desenvolver esforços adicionais com vista a caracterizar a origem e o transporte de ozono nesta região de Portugal.

## RESULTADOS

### CARACTERÍSTICAS DA VARIAÇÃO TEMPORAL DA TEMPERATURA E DO OZONO SUPERFICIAL

A avaliação dos padrões temporais de curto e de longo termo dos níveis atmosféricos de ozono e da temperatura do ar teve por base a determinação de parâmetros estatísticos de conjuntos específicos dos dados horários disponíveis no período em análise. Em particular, avaliou-se a variação ao longo das horas do dia, dos dias da semana, dos dias do ano e dos meses do ano. Os principais resultados desta análise encontram-se ilustrados nas Figuras 2 a 5.

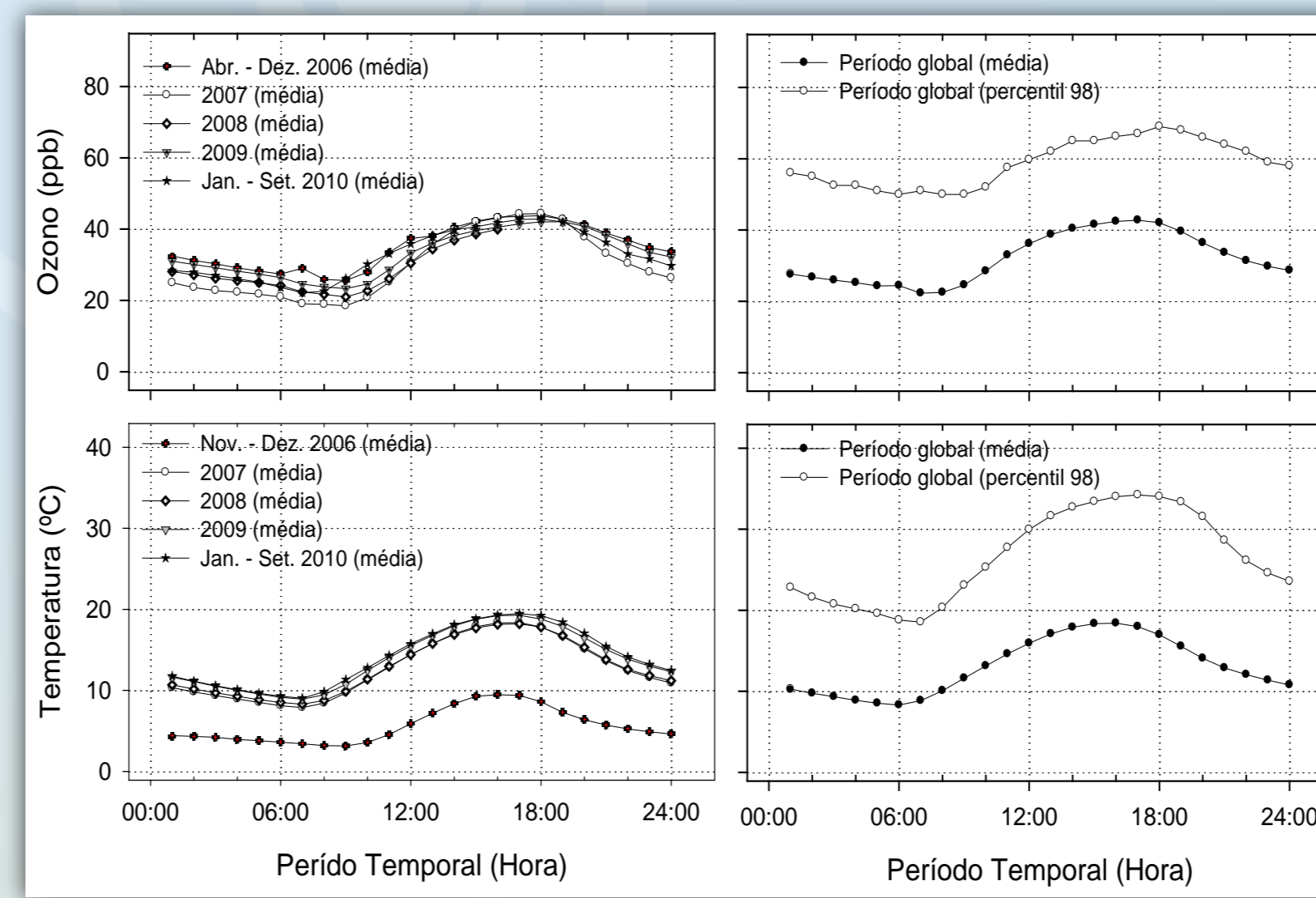


Figura 2. Variação horária média da temperatura e dos níveis atmosféricos de ozono para cada um dos anos do período compreendido entre Abril de 2006 e Setembro de 2010 e para o período global.

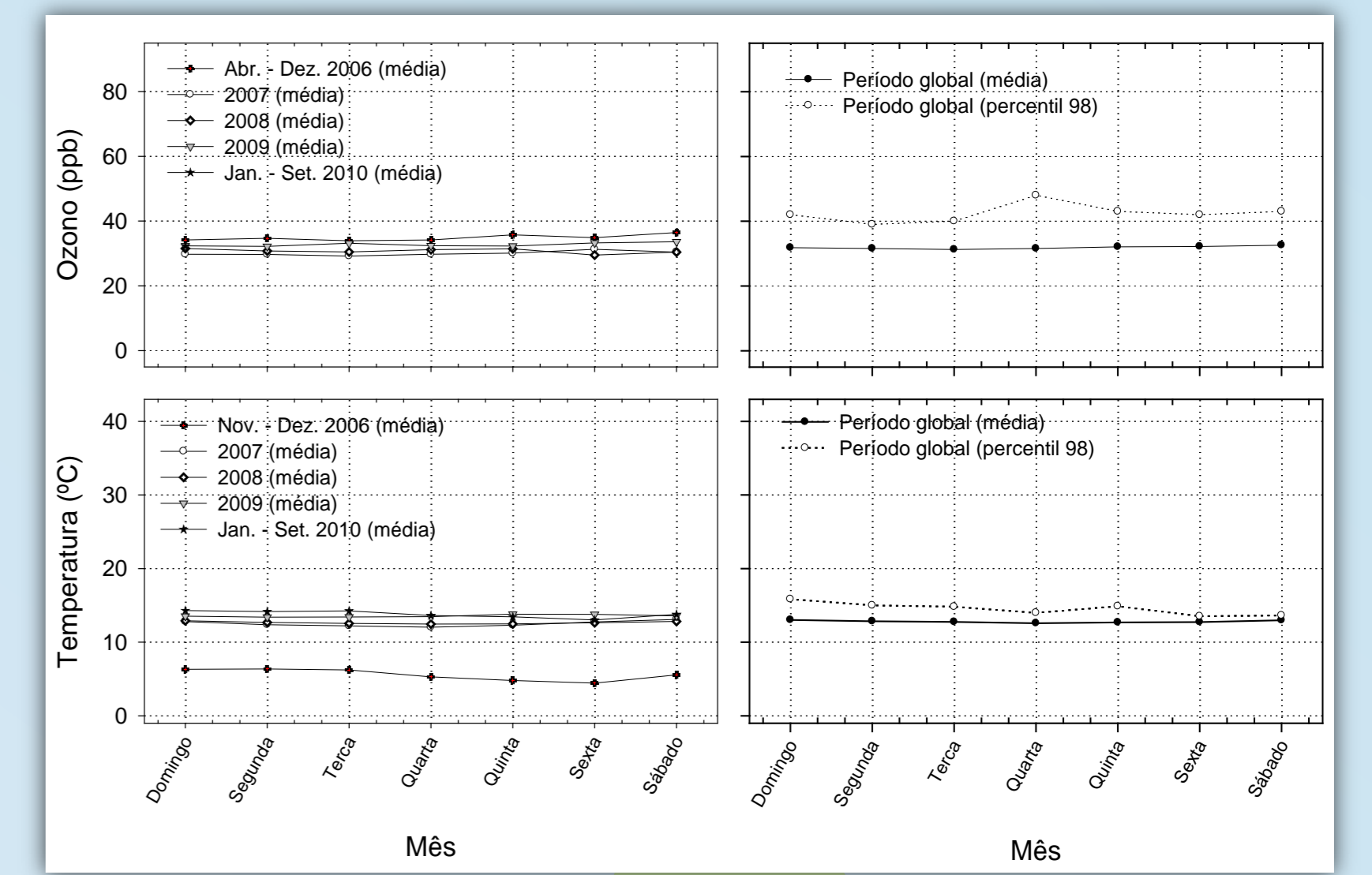


Figura 3. Variação média ao longo dos dias da semana da temperatura do ar e dos níveis atmosféricos de ozono para cada um dos anos do período compreendido entre Abril de 2006 e Setembro de 2010 e para o período global.

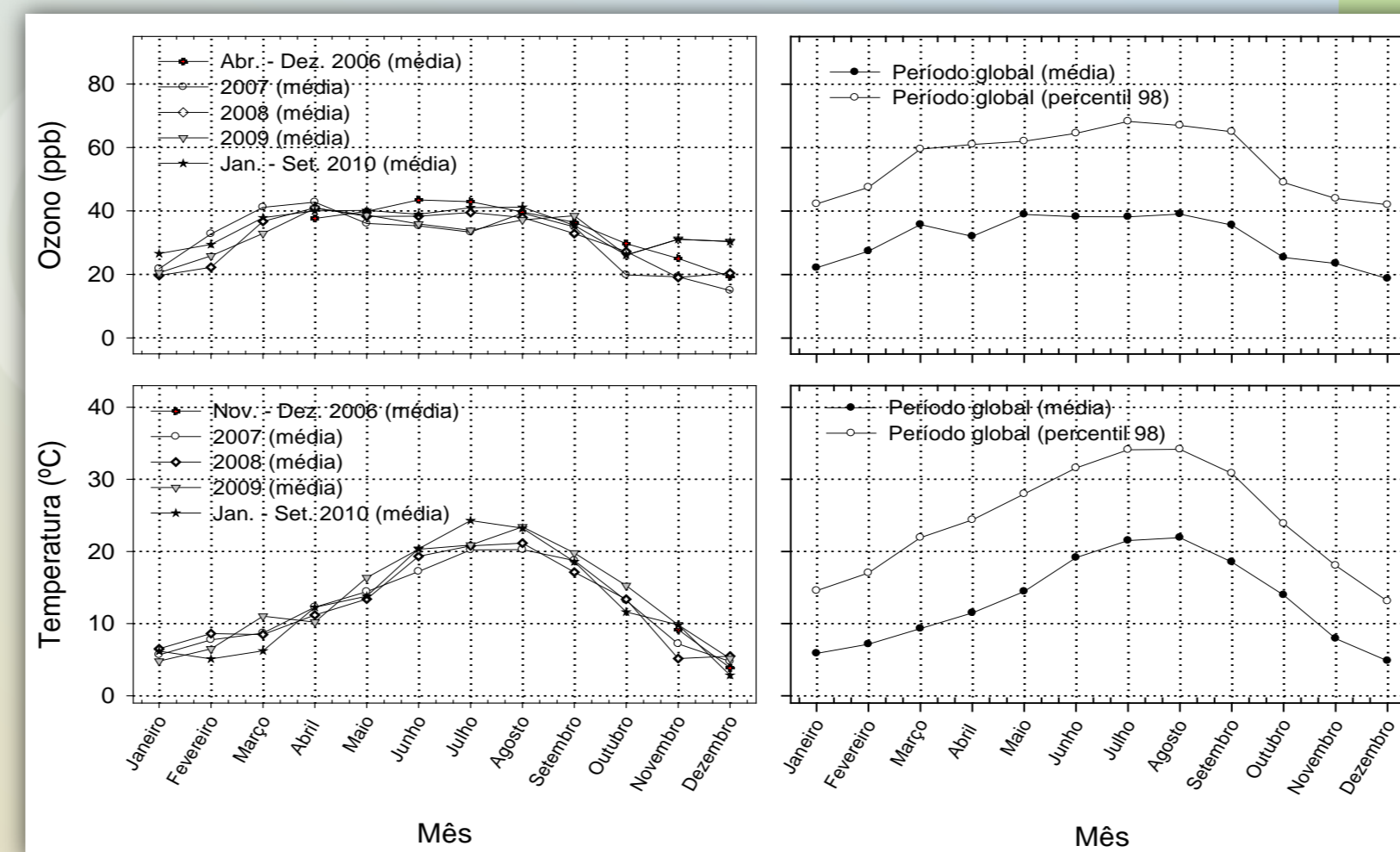


Figura 4. Variação média mensal da temperatura do ar e dos níveis de ozono superficial para cada um dos anos em análise e para o período global.

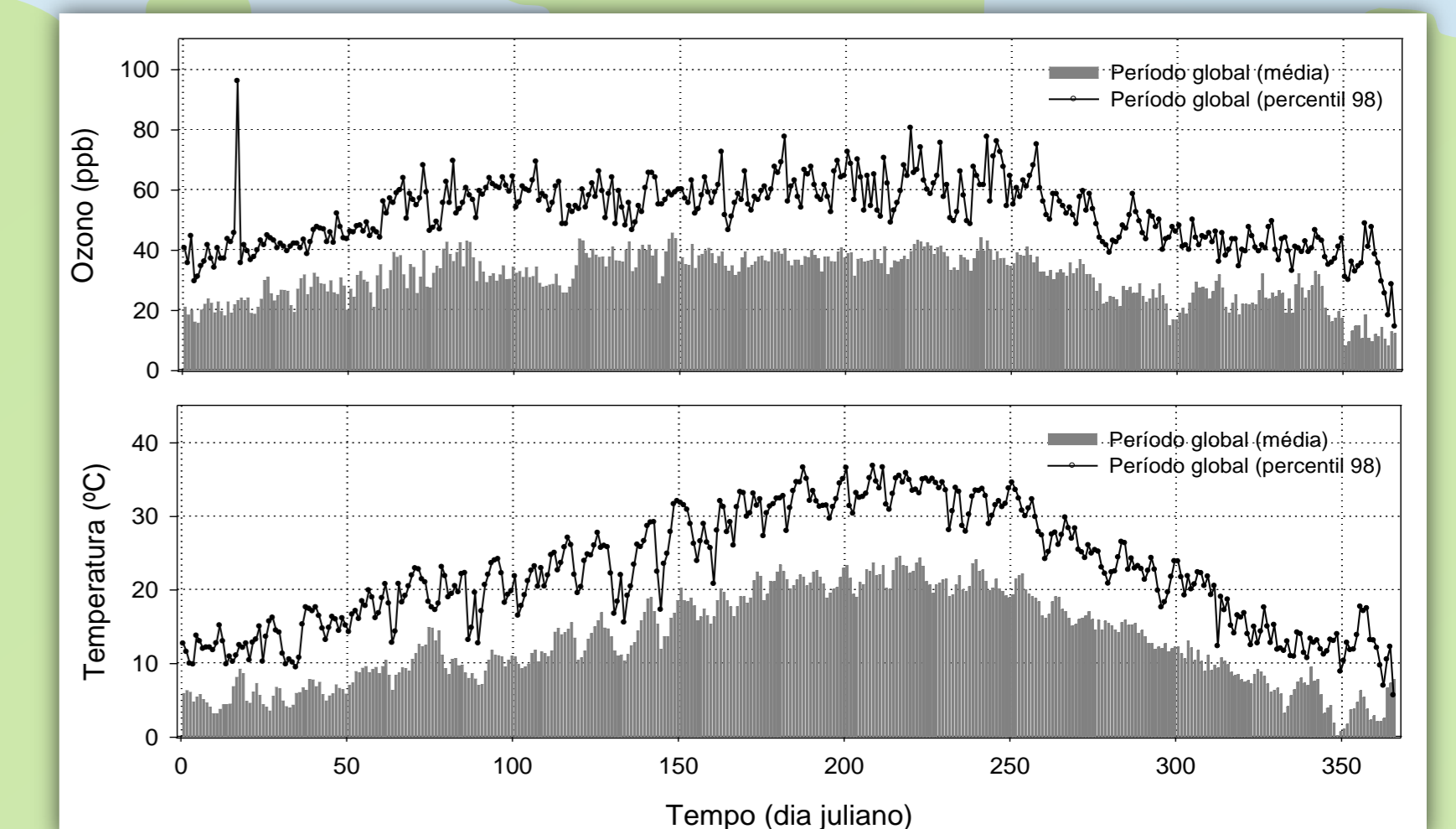


Figura 5. Ciclo anual das concentrações médias diárias de ozono e da temperatura do ar para o período compreendido entre Abril de 2006 e Setembro de 2010.

Relativamente ao perfil de variação diário (Figura 2), verifica-se que os níveis de ozono começam a aumentar logo após o nascer do sol, até atingirem valores máximos no início da tarde. A partir do final da tarde assiste-se a um decréscimo gradual que leva à existência habitual de níveis mais baixos durante a noite e no início da manhã. A temperatura do ar apresenta igualmente um contraste dia/noite bastante acentuado, devido à elevada amplitude térmica que prevalece ao longo do ano nesta região. Não menos importante é também a relação que se pode estabelecer entre este ciclo diário do ozono e o perfil diário típico de emissões de precursores de ozono, principalmente em zonas urbanas, onde existe um contraste muito claro entre as emissões diurnas e as emissões nocturnas. No entanto, ao analisarmos a variação ao longo dos dias da semana (Figura 3), a correlação potencial entre emissões de precursores e concentrações de ozono perde qualquer relevância, na medida em que não se vislumbrou qualquer tipo de variação consistente dos níveis de ozono ao longo da semana. O perfil semanal encontrado sugere que a formação fotoquímica de ozono em Bragança não está associada a fontes locais. As concentrações estão principalmente associadas a processos regionais de produção e transporte/dispersão de ozono e dos precursores de outras regiões. O perfil semanal encontrado sugere que a formação fotoquímica de ozono em Bragança não é determinada pelas fontes locais. As concentrações estão principalmente associadas a processos regionais de produção e transporte/dispersão de ozono e dos precursores de outras regiões.

Quando se analisa a sazonalidade das concentrações de ozono e da temperatura (Figura 4 e 5), constata-se que os valores mais elevados são atingidos no Verão e, por vezes, na Primavera, enquanto os valores mais baixos são observados no Inverno. Esta tendência reforça também o papel crucial da radiação solar e das temperaturas elevadas nas taxas de foto-oxidação dos precursores de ozono (Olszyna et al., 1997). A variação diária ao longo do ano permite ainda identificar a ocorrência de escassas situações episódicas, com ultrapassagem dos limiares de informação ao público, destacando-se um período relativamente curto em Janeiro de 2007, sendo revelador da complexidade da dinâmica de formação/destruição do ozono superficial.

### RELAÇÕES ENTRE CONCENTRAÇÕES DE OZONO E TEMPERATURA DO AR

De modo a compreender melhor as relações entre os níveis de ozono e a temperatura do ar, estas duas variáveis foram representadas em gráficos 2D de dispersão (XY), para diferentes escalas temporais (Figura 6). Os valores usados foram os valores médios de ambas as variáveis referentes ao ciclo diário, à variação diária e mensal ao longo do ano e à variação entre anos.

Analisando a Figura 6 verificamos que as variações de curto e longo termo das concentrações de ozono estão correlacionadas positivamente com as variações da temperatura do ar, sugerindo que o aumento da temperatura conduz ao aumento das concentrações de ozono. Ressalva-se o facto de que para a relação existente entre os valores médios anuais das duas variáveis, o número de pontos é manifestamente reduzido e não suficientemente representativo do intervalo de temperaturas incluído na análise, para se poder tirar ilações sustentadas. Ainda assim, a relação encontrada sugere que as variações anuais da temperatura explicam, pelo menos uma parte, da variação anual das concentrações de ozono superficial.

As variações da temperatura parecem induzir um efeito directo nas variações dos níveis de ozono, porém sendo a temperatura uma variável ambiental que reflecte outros processos atmosféricos, as relações apresentadas na figura 6 podem indicar simplesmente a influência de outros fenómenos climáticos na dinâmica do ozono. Além disso, também é de realçar que esta relação pode advir da influência directa da temperatura nas emissões de COV biogénicos e antrópicos, bem como de NOx de origem natural, podendo por esta via contribuir indirectamente para a alteração dos níveis de ozono.

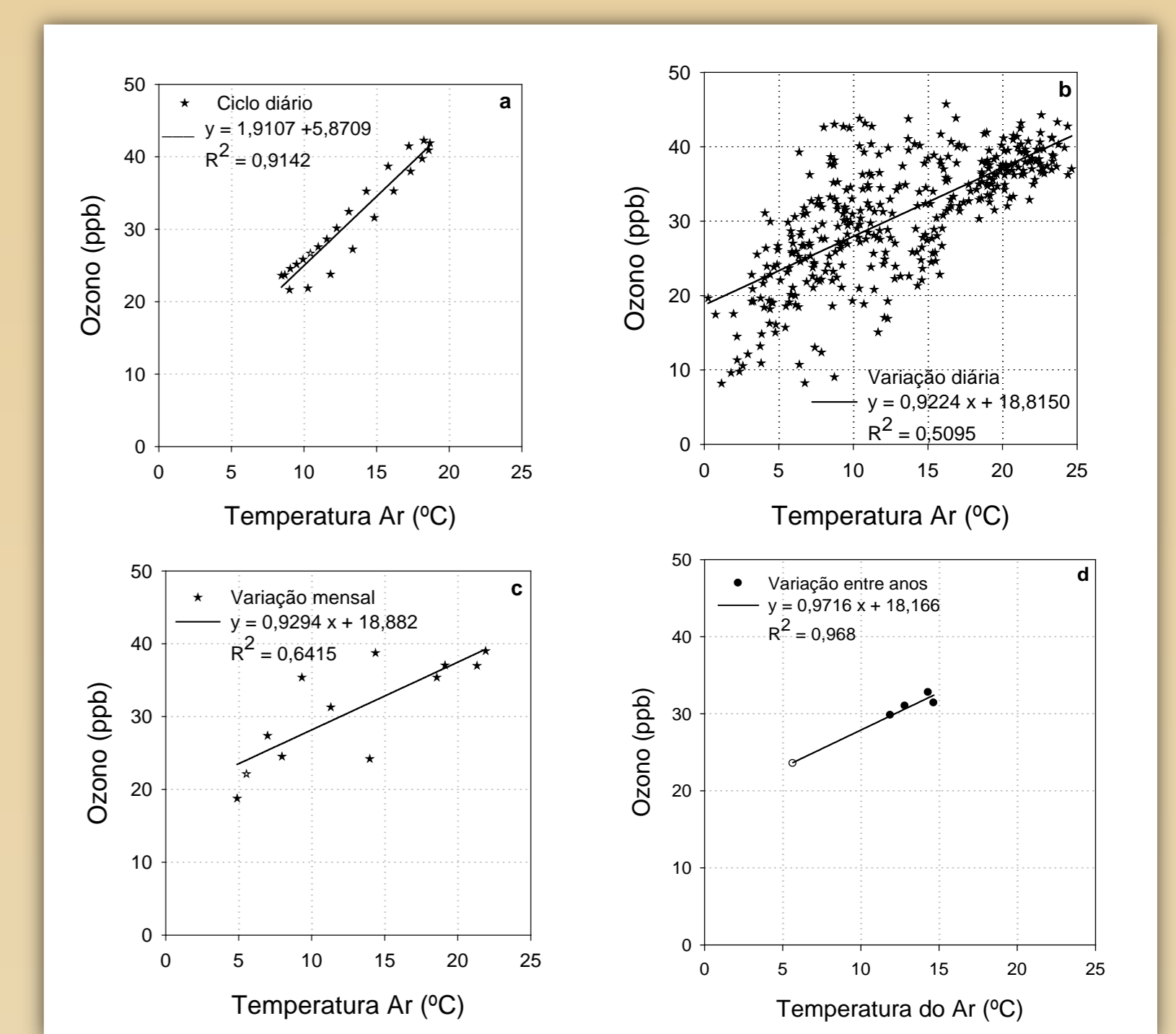


Figura 6. Concentrações de ozono superficial em função da temperatura do ar para diferentes escalas temporais: a) variação horária ao longo do dia; b) variação diária ao longo do ano; c) variação mensal ao longo do ano; d) variação anual.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao presidente da Escola Superior de Tecnologia e Gestão a cedência do espaço para instalar o equipamento de monitorização. Também uma palavra de apreço aos Serviços de Manutenção do IPB pela colaboração na instalação da estrutura de suporte. Um agradecimento especial ao João Azevedo pela leitura e pelos comentários partilhados com os autores.

### REFERÊNCIAS

- APA. 2008. Relatório do Estado do Ambiente. Agência Portuguesa do Ambiente. Portugal.
- EEA. 2010. Air pollution by ozone across Europe during summer 2009: Overview of exceedances of EC ozone threshold values for April–September 2009. Technical report No 2/2010. Copenhagen.
- Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Bernsten, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland. 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Liu, S. C., Trainer, M., Fehsenfeld, F. F. C., Parrish D. D., Williams, Z. J., Fahey, D. W., Hubler, G., Murphy, P. C., 1987. Ozone production in the rural troposphere and the implications for regional and global ozone distributions. Journal of Geophysical Research, 92, 4191-4207.
- Olszyna, K. J.; Luria, M.; Meagher, J. F., 1997. The correlation of temperature and rural ozone levels in southeastern U.S.A. Atmospheric Environment, 31 (18): 3011-3022.