

STRATOZON: O OZONO ESTRATOSFÉRICO NA BAIXA TROPOSFERA SOBRE PORTUGAL

Nelson Barros - *Faculdade de Ciência e Tecnologia, UFP*
Centro de Modelação e Análise de Sistemas Ambientais (CEMAS)
Professor Associado | E-mail: nelson@ufp.pt

Carlos Borrego - *DAO, Universidade de Aveiro*
Professor Catedrático | E-mail: borrego@ua.pt

Tânia Fontes - *Faculdade de Ciência e Tecnologia, UFP*
Centro de Modelação e Análise de Sistemas Ambientais (CEMAS)
Bolseira de Investigação | E-mail: tania@ufp.pt

Ana Cristina Carvalho - *DAO, Universidade de Aveiro*
Bolseira de Doutoramento | E-mail: anacarv@dao.ua.pt

ABSTRACT

Supported by Science and Technology Foundation, the STRATOZON project is a 2 years national project and is being developed by Fernando Pessoa and Aveiro Universities, in collaboration with the Meteorological Institute and the Environmental Institute. The main scope of STRATOZON project is to justify non-photochemical ozone episodes, and such, episodes that cannot be controlled by local/regional management of its precursors emissions. At the end, it will be produced a document with guidelines to the Environmental Institute about this subject.

RESUMO

Financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, o projecto *STRATOZON: O ozono estratosférico na baixa troposfera sobre Portugal*, é um projecto nacional, que têm duração de 2 anos (2002-2004), e está a ser desenvolvido pela Universidade Fernando Pessoa e pela Universidade de Aveiro, em colaboração com o Instituto de Meteorologia e o Instituto do Ambiente. O projecto STRATOZON tem como objectivo genérico justificar os episódios de ozono de origem não fotoquímica e, como tal, não passíveis de qualquer controlo local/regional de emissões dos seus precursores. No final será feito um documento contendo directrizes para o Instituto do Ambiente sobre esta matéria.

1. INTRODUÇÃO

O projecto de investigação que aqui se apresenta, desenvolve-se desde 2002 entre a Universidade de Aveiro e a Universidade Fernando Pessoa em colaboração com o Instituto de Meteorologia. O projecto prevê como utilizador final dos resultados, o Instituto do Ambiente. Trata-se de um projecto financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia com a duração de dois anos.

2. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS DO PROJECTO

O ozono é uma forma extremamente reactiva do oxigénio e é um dos gases constituintes da atmosfera. Cerca de 90% deste gás situa-se na estratosfera e a restante fracção distribui-se entre a troposfera livre e a camada limite. Na estratosfera, o ozono absorve a radiação ultravioleta mais energética, actuando como um gás de estufa e protegendo os seres vivos dos seus efeitos.

144 Embora o ozono tenha um papel importante na estratosfera, à superfície pode tornar-se pernicioso, quer para o Homem, quer para os ecossistemas devido ao seu grande poder oxidante. A exposição de curta duração (1-3 horas) a níveis elevados de ozono pode causar problemas respiratórios agudos e a exposição repetida conduz a um aumento da susceptibilidade a infecções respiratórias e a inflamações pulmonares. Este efeito pode também ser notado em exposições prolongadas (6-8 horas) a níveis moderados de ozono. A exposição de longo termo a este poluente pode contribuir para alterações irreversíveis da capacidade pulmonar e doenças respiratórias crónicas (Colorado, 2001). Devido a estes impactos negativos, as concentrações de ozono na baixa troposfera encontra-se legislada em Portugal através do Decreto-Lei 320/2003, de 20 de Dezembro.

A concentração de fundo de ozono na camada limite, ou seja à superfície, resulta de mecanismos dinâmicos e químicos:

- (1) Intrusão de ozono estratosférico na troposfera livre e posterior transporte para a camada limite;
- (2) Reacções fotoquímicas que envolvem o metano, o monóxido de carbono e óxidos de azoto;

Contudo, a maior fonte de ozono nesta camada são os processos fotoquímicos que envolvem as emissões de óxido de azoto e várias classes de compostos orgânicos voláteis reactivos.

A Directiva Comunitária 2002/03/CE, transposta para o direito interno pela DL 320/2003, obriga os estados membros a informar, justificar e desenvolver planos de acção de curto prazo (Artigo 7º). Estes planos deverão contemplar indicações de medidas específicas a tomar, a curto prazo, sempre que haja um risco de excedência do limite de alerta ($240 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) e sempre que haja um potencial de redução desse risco ou duração e intensidade de qualquer excedência do limite de alerta. Para tal, os Estados Membros deverão investigar e avaliar o potencial destas medidas de redução de curto prazo. Deverão também informar o público em geral, e variadas organizações em particular, sobre os resultados dos planos de acção de curto prazo. Por outro lado, deverão advertir o público sobre o episódio de excedência e qual o plano de acção para minimizar o episódio de poluição e também fazer um prognóstico para o dia, e/ou para os próximos dias e recomendar condutas de precaução a grupos de risco.

Tais planos de acção não são passíveis de aplicação quando os episódios de ozono medidos à superfície se devem a fenómenos naturais, como o são as intrusões de ozono estratosférico na camada limite.

O facto de a Directiva obrigar ao prognóstico de ozono quando se verifica um episódio mostra como é importante conhecer, com o maior rigor possível, a contribuição do ozono estratosférico na troposfera para melhorar os resultados obtidos na modelação da química troposférica (Elbern et al., 1997; Bian et al., 1999).

A troca de ozono entre as diferentes camadas da atmosfera, nomeadamente entre a camada limite atmosférica, a troposfera livre e a baixa troposfera, constitui actualmente um tópico científico importante quando se trata de estimar o balanço de ozono troposférico. As trocas de massas de ar estratosféricas/troposféricas desempenham um papel importante na distribuição de outros constituintes atmosféricos, nomeadamente aerossóis, gases com efeito de estufa, e a taxa de transporte entre as duas camadas afecta o seu balanço químico.

Warneck (1988), descreve quatro processos responsáveis pela troca de massas de ar através da tropopausa:

- (i) Ajustamento sazonal do nível médio da tropopausa;
- (ii) Movimentos médios organizados de grande escala devido a circulações meridionais;
- (iii) Processos de troca turbulenta via falhas da tropopausa, ou depressões desta, associadas com as correntes de jacto;
- (iv) Transporte de pequenos turbilhões através da toda a tropopausa.

Estudos climatológicos indicam que os processos extratropicais de transferência por turbilhões mais eficientes são fenómenos de mesoscala de depressões da tropopausa e gota fria (Elbern et al., 1998). Este estudo revelou também que as ocorrências significativas se restringem às latitudes médias de 30°, e que são mais intensas no Hemisfério Norte. Davies e Schuepbach (1994) indicam que as massas de ar estratosféricas podem ser detectadas à superfície, apesar da ocorrência de eventos profundos que o permitam ser escassa.

As “dobras” na tropopausa observam-se quando se verificam valores anómalos de vorticidade potencial isentrópica normalmente em forma de língua em direcção ao equador, e que se formam através do transporte isentrópico em perturbações ciclónicas e anticiclónicas de larga escala (Figura 1).

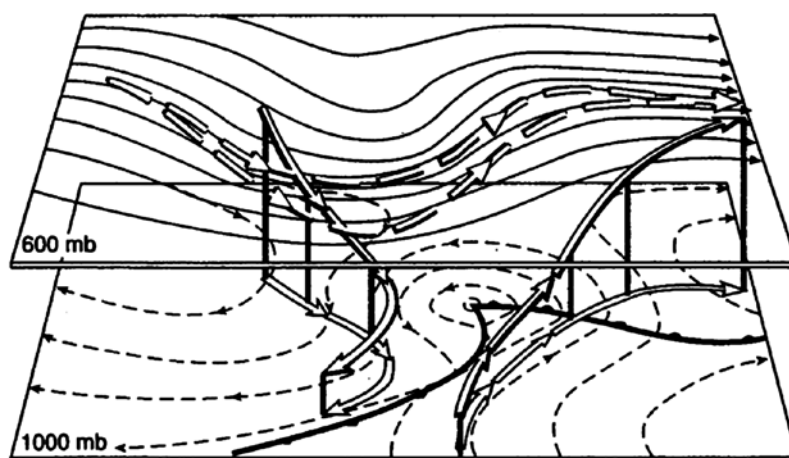


Figura 1 – Perturbações ciclónicas e anticiclónicas de larga escala (Brasseur et al., 1999).

146 Em certas circunstâncias, estas depressões da tropopausa têm a forma de línguas estreitas formando filamentos alongados, noutras circunstâncias formam-se estruturas coerentes contendo massas de ar com valores elevados de vorticidade potencial (gotas frias) (Holton et al., 1995 in Zanis et al, 2003).

Os eventos de intrusão de ar estratosférico de maior interesse são aqueles que conseguem atingir a superfície, pois alteram a composição química da troposfera através da mistura de massas de ar com composição química diferente. Os parâmetros que permitem detectar uma massa de ar estratosférico à superfície são o ozono, o vapor de água, a vorticidade potencial, e os isótopos 7 e 10 do Berílio.

As estações de monitorização de montanha têm uma probabilidade maior de registar eventos de intrusão. Estudos estatísticos baseados em registos de ⁷Be, ozono e humidade relativa, para uma década, feitos por Elbern e colaboradores (1997, in Zanis et al. 2003), adquiridos em duas estações dos Alpes alemães (Zugspitze and Wank) mostram que os eventos de intrusão afectam Zugspitze (2962 m) durante 5 % do tempo e Wank (1776) menos de 2,5 %. James e co-autores (2002, in Zanis et al. 2003) mostraram uma influência de 8,8 % por aplicação de um filtro diferente aos dados de Wank. Contudo, é preciso notar que a frequência absoluta de intrusões estratosféricas profundas depende muito dos valores limite especificados como critério para o ⁷Be, ozono e humidade relativa.

3. METODOLOGIA

O projecto STRATOZON encontra-se dividido em 4 tarefas:

- Tarefa 1: Identificação do historial de episódios de ozono;
- Tarefa 2: Análise de padrões meteorológicos;
- Tarefa 3: Modelação dos episódios de ozono de curta duração;
- Tarefa 4: Desenvolvimento de directrizes para o utilizador final.

Na tarefa 1 foi efectuada a filtragem das séries longas de medição de ozono superficial, adquiridas pela rede de qualidade do ar sob a responsabilidade do Instituto do Ambiente (Figura 2) de acordo com a metodologia da Figura 3. Por outro lado, efectuou-se um inventário dos dias com concentrações médias horárias elevadas de ozono à superfície a partir dos registos das estações do Instituto de Meteorologia desde 1971, um inventário de variações bruscas da quantidade total de ozono em Lisboa e no Funchal, e um inventário de situações de tropopausas múltiplas nas sondagens de Lisboa, Lajes e Funchal.

Com base na análise de toda a informação disponível relacionada com a estrutura vertical da atmosfera, foi efectuada em estudo ao nível sinóptico e de mesoscala da situação meteorológica, centrado no dia identificado como

episódio de elevada concentração de ozono superficial, considerando os 8 dias anteriores e os 2 dias posteriores ao episódio.

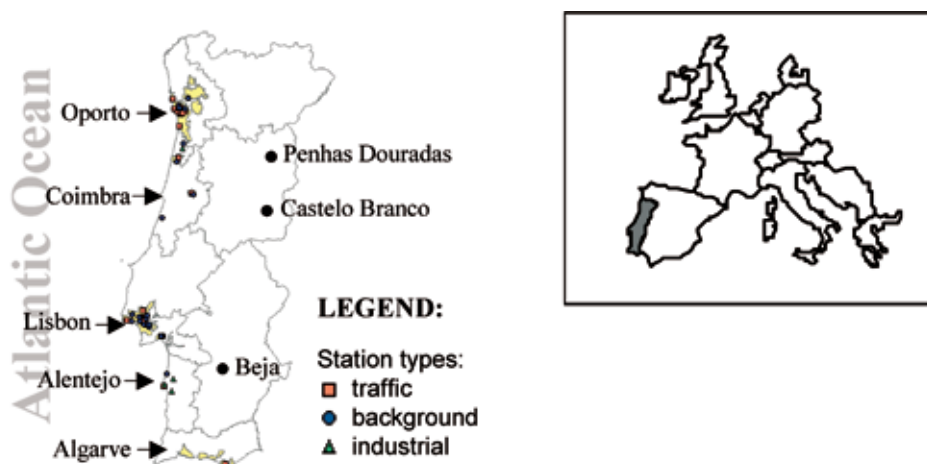


Figura 2 – Localização das estações de qualidade do ar em Portugal Continental.

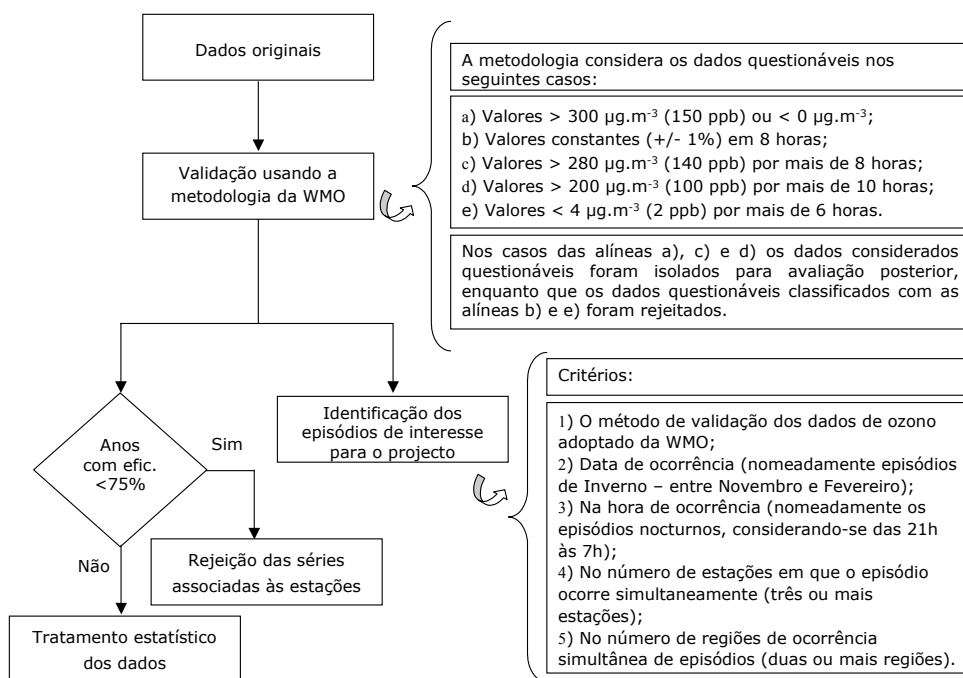


Figura 3 – Metodologia.

Actualmente está a decorrer a tarefa 3, referente à modelação dos episódios de ozono de curta duração, onde se pretende a modelação da tropopausa dinâmica durante os dias de episódio de ozono à superfície de forma a fundamentar, em termos numéricos, as conclusões da tarefa 2 e proceder a um refinamento das condições iniciais e de fronteira a introduzir no sistema

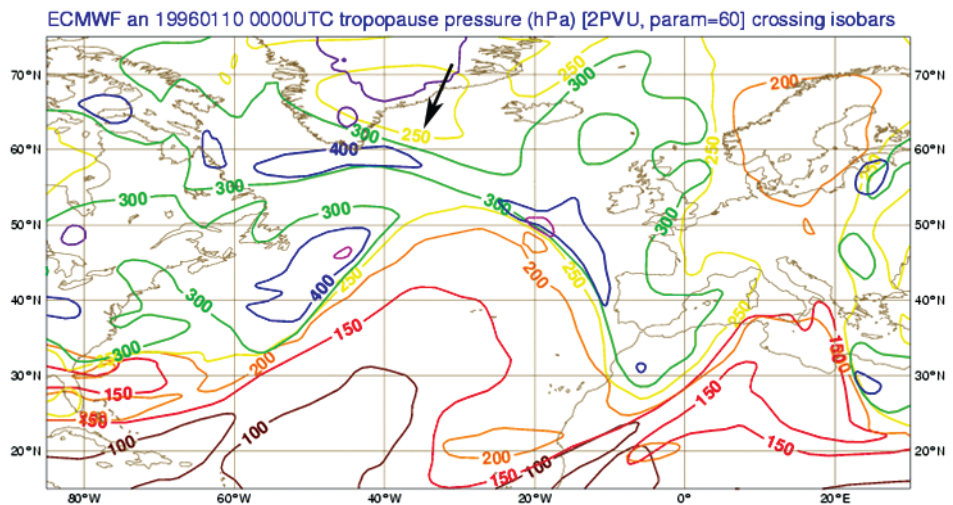
148 de modelos de mesoscala (tendo em consideração as conclusões da tarefa 1, no que se refere a perfis verticais).

A tarefa 4 consistirá no desenvolvimento de um documento contendo diretrizes, a entregar ao Instituto do Ambiente, com a justificação científica de episódios de ozono superficiais devidos ao transporte dinâmico pela atmosfera.

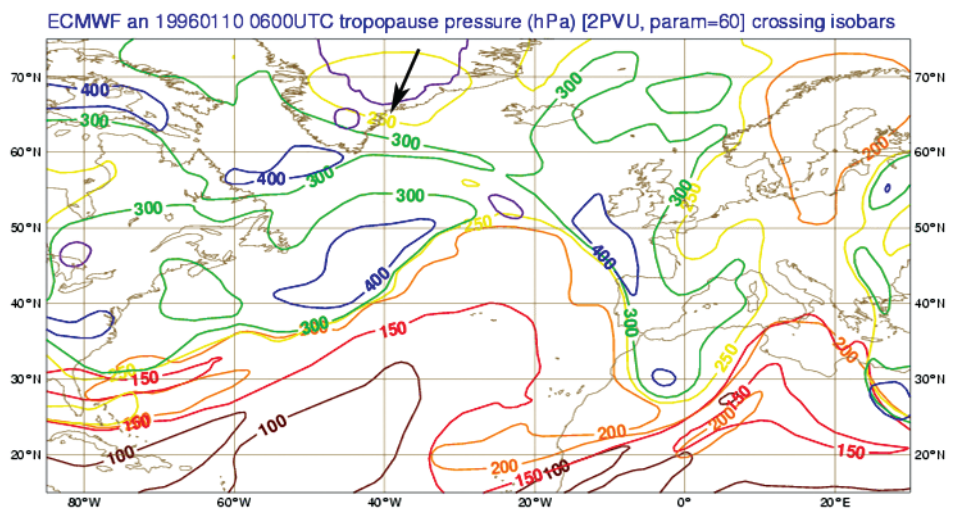
4. RESULTADOS

Os resultados da tarefa 1 permitiram a identificação de episódios de ozono ($>180\text{mg/m}^3$) medidos em Portugal e a sua correlação com a coluna total de ozono, esperando-se que os episódios de interesse não estejam correlacionados com produção fotoquímica à superfície.

A análise de padrões meteorológicos efectuados na tarefa 2, permitiu a caracterização das condições meteorológicas presentes nos episódios de ozono identificados. A obtenção de informação meteorológica a diferentes níveis da atmosfera (recorrendo aos arquivos do Instituto de Meteorologia e do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts - ECMWF), de forma a conseguir uma correcta avaliação do seu estado, permitiu obter informação de determinados parâmetros meteorológicos, tais como a vorticidade potencial isentrópica, que permite a identificação de intrusão de ar estratosférico e identificação dos níveis da tropopausa (Figura 4). Foi também efectuada: a análise das imagens obtidas pelo satélite Meteosat, em particular o canal de WV, com o objectivo de avaliar as zonas de intrusão de ar estratosférico; traçado e análise de cartas de tropopausa e sua integração com imagens do WV; a identificação dos fenómenos meteorológicos, tanto de grande escala como de mesoescala, tais como afundamentos da tropopausa e “cut-off lows” que provocaram intrusão de ar estratosférico na troposfera; avaliação dos resultados obtidos e identificação das condições meteorológicas que contribuem para o aumento dos valores de ozono registados à superfície.



A) Máximo da tropopausa: 553 hPa (50°N; 20°W)



B) Máximo da tropopausa: >700 hPa (53°N; 23°W)

Figura 4 – Exemplo do mapa da tropopausa em coordenadas isobáricas para o dia 10/01/1996, usando a técnica da sobreposição de isopleias, mostrando os máximos de pressão da tropopausa (hPa): A) às 00H00 UTC, localizada junto a uma dobra da tropopausa; e B) às 06H00 UTC, localizada sobre a bolha de ar estratosférico (Borrego et al., 2004).

150 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borrego, C., Barros, N., Fontes, T., Carvalho, A.C., Miranda, A.I., Monteiro, A. e Martins, H. (2003). Avaliação da Qualidade do Ar Relativamente ao Ozono Troposférico em Portugal. *In: INGENIUM*, Novembro/Dezembro 2003 - Nº 79, pp. 61-67.
- Brasseur, G. P., Orlando, J. J., Tyndall, G. S. (1999). *Atmospheric Chemistry and Global Change*. Oxford University Press.
- Bian, Xindi, Richland, W. A., Fast, J. D., (1999). *Correlation between potential vorticity and ozone in the troposphere and lower stratosphere over eastern North America during the summer of 1991*, [Em linha]. Disponível em <http://www.confex2.com/ams/99annual7abstracts7800.htm> [Consultado em 20/04/2004].
- Colorado, (2001). *Air Quality Data Report*. Colorado Department of Public Health and Environment, Air Pollution Control Division, APCD-TS-B1.
- Davies, T. D., Schuepbach, E., (1994). Episodes of high ozone concentrations at the earth's surface resulting from transport down from the upper troposphere/lower stratosphere: a review and case studies. *In: Atm. Env.*, 28, pp. 53-58.
- Decreto-Lei 623/96 de 31 de Outubro, (1996). *Incumbe ao Instituto de Meteorologia estabelecer os mecanismos de monitorização, de intercâmbio de informações e de informação e alerta da população, no que respeita à poluição atmosférica pelo ozono*.
- Directiva 2002/03/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. *Relativa ao ozono no ar ambiente*.
- Elbern, H., Hendricks, J., Ebel, A., (1998). A climatology tropopause folds by global analysis. *In: Theoretical and Applied Climatology*, 59, pp.181-200.
- Elbern, H., Kowol, J., Sládkovic, R., Ebel, A., (1997). Deep stratospheric intrusions: a statistical assessment with model guided analysis. *In: Atmos. Env.*, Vol. 31, N.º10, pp. 3207-3226.
- Warneck, P., (1988), *Chemistry of the Natural Atmosphere*, International Geophysics Series, Vol.41, Eds: Renata Dmowska and James R. Holton.
- Zanis P., T., Trickl, Stohl, A., Wernli, H., Cooper, O., Zerefos, C., Gaeggeler, H., Schnabel, C., Tobler, L., Kubik, P. W., Priller, A., Scheel, H. E., Kanter, H. J., Cristofanelli, P., Forster, C., James, P., Gerasopoulos, E., Delcoo, A., Papayannis, A., Claude, H., (2003). *Forecast, observation and modeling of a deep stratospheric intrusion event over Europe*, Atmospheric Chemistry and Physics Discussions European Geosciences Union, [Em linha]. Disponível em <http://www.atmos-chem-phys.org/acpd/3/1109>. [Consultado em 20/04/2004].