

**DIAGNÓSTICO DE VENTO DE UMA REGIÃO
USANDO UMA CARTA METEOROLÓGICA DE SUPERFÍCIE***

Mário A.R. Talaia

Departamento de Física, Universidade de Aveiro,
Campus Santiago, Aveiro
mart@ua.pt

Rui Fernandes

ISCTA – Instituto Superior de Ciências da Informação e da Administração Aveiro
rualberto.fernandes@gmail.com

RESUMO

O comportamento e o desenvolvimento de um incêndio florestal estão directamente relacionados com o chamado Triângulo do Fogo Florestal, nomeadamente com parâmetros meteorológicos: temperatura, humidade e vento.

Neste trabalho é apresentada uma contribuição de modo a ser possível fazer um diagnóstico simples das características de vento. Também, é possível conhecer e interpretar as condições meteorológicas, a partir do uso de cartas meteorológicas de superfície.

São apresentados sítios da *Internet* que disponibilizam cartas meteorológicas sinópticas.

Palavras chave: incêndio florestal, alterações climáticas, desastres naturais, cartas meteorológicas de superfície

RÉSUMÉ

Le comportement et le progrès d'un incendie dans une forêt sont mis en rapport avec le triangle du feu forestier, notamment avec les paramètres météorologiques: température, humidité et vent.

Ça c'est une contribution qui peut aider à faire un simple diagnostic à la façon de connaître et interpréter les conditions météorologiques à partir de cartes météorologiques de surface.

Ici sont présentées plusieurs adresses à l'*internet* qui montrent des cartes météorologiques synoptiques et font aussi l'interprétation physique vis-à-vis des valeurs diagnosticables.

Mots-clés: incendie forestier, changement climatique, désastres naturels, cartes météorologiques de surface.

ABSTRACT

The behaviour and progress of a forestal fire are straight related with the so called forestal fire triangle, namely with the meteorological parameters: temperature, humidity and wind.

This is a contribution that helps to be possible to make a simple diagnosis in order to know and explain meteorological conditions by means of use of meteorological charts near surface.

Here are given several *internet* sites which permit to access to synoptical meteorological charts as well as to its physical explanation according the diagnostic values.

Keywords: forestal fire, climate change, natural disasters, meteorological charts of surface

* Comunicação apresentada ao V Encontro Nacional e I Congresso Internacional de Riscos.

Introdução

Alguns desastres naturais estão associados a fenómenos meteorológicos extremos. Por exemplo, períodos de seca prolongada podem ser desastrosos e favorecer incêndios florestais, quando são condicionados, em simultâneo, por humidade relativa do ar baixa, temperatura do ar alta e ventos fortes.

É sabido que o aquecimento global está a provocar alterações de clima e desta forma estão a ser alterados os padrões de risco (IPCC, 2001; IPCC, 2007).

Várias frentes podem ser accionadas: a *científica* permite desenvolver competências de construção de conhecimento científico, de modo a interpretar os diferentes fenómenos meteorológicos que podem provocar desastres naturais como por exemplo um incêndio florestal; a *educacional* deve começar nas escolas e dar atenção à cidadania; a *política e social* permite tomar decisões adequadas e considerar a coordenação organizacional.

Pensa-se que num incêndio florestal é importante conhecer o que pode contribuir para o seu comportamento e para o seu desenvolvimento.

O comportamento e o desenvolvimento de um incêndio florestal estão directamente relacionados com o chamado *Triângulo do Fogo Florestal*: o *combustível* tem a ver com o tamanho, carga térmica existente, continuidade e teor de humidade; a *morfologia do terreno* com altitude, relevo e exposição; a *meteorologia* com temperatura, humidade relativa do ar e vento (intensidade e direcção).

As coordenadas geográficas de Portugal permitem usar um método de diagnóstico, que é apresentado e que é válido para a latitude de cerca de 40° N, denominado *diagnóstico de vento geostrófico*.

Neste método de diagnóstico, a partir de cartas meteorológicas de superfície será possível, de uma maneira simples e rápida, conhecer a orientação, origem, sentido e intensidade do vento. São usados centros de baixa pressão (ciclones), centros de alta pressão (anticiclones), linhas isobáricas (indicam a mesma pressão), distância entre linhas isobáricas, massa volumica do ar, temperatura do ar e pressão do local.

Teoria

Para prever o estado do tempo atmosférico é fundamental saber como se comporta e circula o ar à escala sinóptica.

Na meteorologia sinóptica, procura-se por um processo de comparação, análise e síntese do resultado das observações, executadas numa rede de estações meteorológicas, identificar e caracterizar as principais "entidades" meteorológicas e prever a sua evolução.

O método sinóptico é "sui generis" no domínio das ciências, porque consiste fundamentalmente, na recolha dos resultados das observações executadas nas diferentes estações no mesmo momento (horas sinópticas).

Nestas circunstâncias, é possível prever se irá ocorrer ou não precipitação num dado local ou ainda para estimar a direcção, intensidade e sentido do vento.

Para prever o movimento e comportamento do ar à escala sinóptica, é fundamental identificar e localizar os centros de altas e baixas pressões.

É sabido que a pressão atmosférica diminui rapidamente com a altitude, mas à superfície terrestre a variação de pressão atmosférica dá-se em torno de um valor médio de cerca de 1013mbar ou 1013hPa. Estas variações de pressão à superfície ocorrem devido ao aquecimento desigual da superfície terrestre (McINOSH e THOM, 1981; SAEY, 1995).

Um anticiclone é um sistema de isobaras fechadas em que a pressão atmosférica diminui do centro para a periferia, em todas as direcções e é representado pela letra **A** (de alta) ou **H** (de High). Uma depressão é um sistema de isobaras fechadas em que a pressão atmosférica aumenta do centro para a periferia, em todas as direcções e é representada pela letra **B** (de baixa) ou **L** (de Low).

Para perceber como ocorre a circulação de ar nos centros de altas e baixas pressões, é necessário compreender o conceito de equilíbrio de forças.

Fala-se em equilíbrio da pressão atmosférica quando esta possui iguais valores junto ao solo, no entanto devido à existência de variações de pressão, essa situação de equilíbrio não se verifica. Quando ocorrem diferenças de pressão, a atmosfera tentará repor valores de pressão iguais. Como consequência haverá movimento de ar proveniente de um anticiclone em direcção a um centro depressionário, como se ilustra fig.1.

O vento junto ao solo é originado devido às diferenças de pressão que aí se registam. A força que faz com que o ar se desloque das altas para as baixas

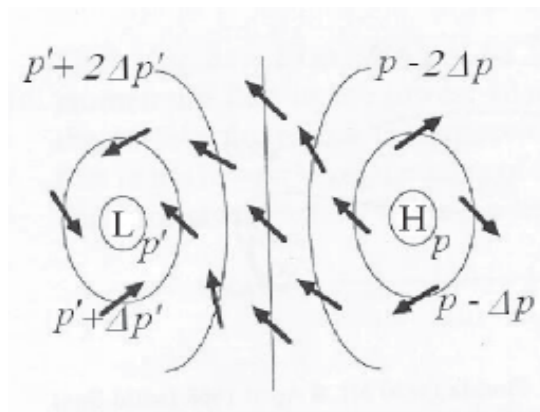


Fig. 1 - Movimento do ar das altas para as baixas pressões [adaptado de HILTON (2004)].

pressões designa-se por força de gradiente de pressão.

Em função do movimento de rotação da Terra é gerada uma força denominada força de Coriolis (para movimentos à escala sinóptica, não pode ser desprezada), que é perpendicular ao movimento do ar ou seja ao vector velocidade do pacote de ar. A sua acção vai fazer com que o deslocamento do ar, em relação ao seu movimento inicial, seja desviado para a direita no Hemisfério Norte (HN), como se ilustra na fig. 2.

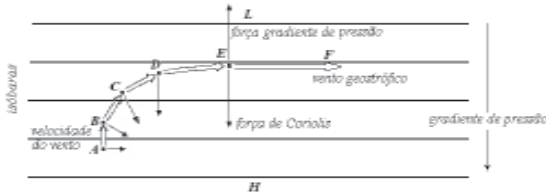


Fig. 2 - Movimento de um pacote de ar: aproximação geostrófica (HN).

Na fig.2, no instante inicial, a força de Coriolis é nula pois também é nula a velocidade do pacote de ar (a força de Coriolis só aparece quando a velocidade da parcela de ar é diferente de zero). Quando o pacote de ar inicia o movimento por acção da força gradiente de pressão, surge imediatamente a força de Coriolis, sendo sempre perpendicular ao vector velocidade e proporcional a esta. A trajectória do pacote de ar será portanto desviado para o lado em que actua a força de Coriolis. Estabelece-se assim o equilíbrio entre a força gradiente de pressão e a força de Coriolis.

Note-se que se houver alteração na distribuição das pressões demorará um certo intervalo de tempo a restabelecer-se o equilíbrio. Chama-se ainda a atenção que esta solução do vento geostrófico não é aplicável nas regiões intertropicais, entre 15°N e 15°S (não há equilíbrio entre a força de Coriolis e a força gradiente de pressão). Nas latitudes médias e altas verifica-se que o vento na atmosfera livre é quase geostrófico. A aproximação geostrófica é, portanto, útil porque pode ser utilizada numa grande parte do globo para estimar ventos a partir da distribuição da pressão atmosférica.

Existe também uma força adicional que vai alterar a direcção do vento denominada força de atrito, que actua junto ao solo e não só muda a direcção como reduz a intensidade do vento, como se ilustra na fig.3.

Como consequência, no centro depressionário o ar irá circular para dentro (há convergência) e no anticiclone o ar irá circular para fora (há divergência). Assim, quando o ar chega a um determinado local, proveniente de diferentes direcções (convergência), terá de continuar o seu movimento. Como consequência, se o ar estiver junto

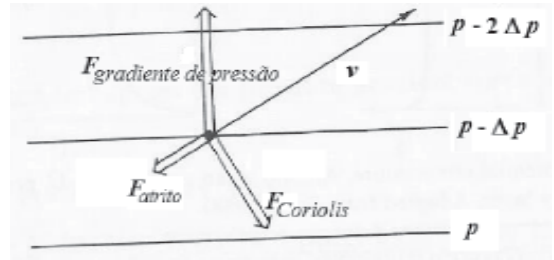


Fig. 3 - Balanço das forças: gradiente de pressão, de Coriolis e de atrito (turbulência).

ao solo, terá de ascender na atmosfera. Quando num determinado ponto o ar se afasta em todas as direcções (divergência), isso significa que proveio de uma maior altitude.

Quando o ar sobe, a sua temperatura diminui. Se essa diminuição de temperatura for suficiente em atingir uma temperatura igual ou inferior à do ponto de orvalho, haverá condições para que o vapor de água condense e possa haver formação de nuvens. Esta situação, onde ocorre convergência e subida de ar, está associada à formação de nuvens e pode ocorrer precipitação.

Por outro lado, nos anticiclones ocorre divergência e descida ou acumulação de ar junto ao solo. Ao descer, a sua temperatura aumenta, o que favorece uma diminuição da humidade relativa do ar. Nestas circunstâncias não ocorre condensação de vapor de água, não há formação de nuvens e promove-se condições de bom tempo.

O vento horizontal devido à força de atrito muda ligeiramente de direcção tomando o sentido para a pressão mais baixa, como se indica na fig. 1. Esta situação implica numa convergência de massa quando se trata de circulação ciclónica e numa divergência de massa no caso de circulação anticiclónica, a qual por continuidade de massa se requer movimento vertical ascendente e descendente, respectivamente.

Nesta perspectiva é possível considerar a aproximação denominada de aproximação geostrófica, que tem como componentes:

segundo x

$$-fv \cong -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1)$$

segundo y

$$+fu \cong -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (2)$$

em que f representa o parâmetro de Coriolis, ρ a massa volúmica do ar, p a pressão, v a velocidade meridional e u a velocidade zonal.

As expressões (1) e (2) são de diagnóstico e estabelecem a relação entre o campo horizontal de pressão e a velocidade horizontal (nas duas

componentes, a zonal e a meridional). Na prática, se uma variável for conhecida pode avaliar-se a outra.

A aproximação geostrófica é válida para escalas sinópticas nas latitudes extratropicais. Por que não aparece a variável tempo nas expressões (1) e (2), não é possível prever a evolução do campo da velocidade.

O vento geostrófico (geo - Terra; estrófico - que roda) no campo horizontal, em termos vectoriais, é dado por

$$\vec{V}_g = u_g \hat{i} + v_g \hat{j} \quad (3)$$

e o seu valor é determinado a partir do produto vectorial,

$$\vec{V}_g = \hat{k} \times \frac{1}{\rho f} \nabla p \quad (4)$$

em que \hat{k} representa um versor (vector unitário) que é perpendicular ao plano da carta e com sentido positivo do plano considerado para o topo da atmosfera, e ∇p o gradiente da pressão (dá orientação ao campo de pressões). A expressão (4) pode tomar o aspecto

$$\vec{V}_g = \hat{k} \times \frac{1}{\rho f} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial p}{\partial y} \hat{j} \right) \quad (5)$$

resultando para as componentes zonal e meridional,

$$+u_g = -\frac{1}{\rho f} \frac{\partial p}{\partial y} \quad v_g = +\frac{1}{\rho f} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (6)$$

O parâmetro de Coriolis f é determinado a partir da expressão

$$f = 2\Omega \sin(\varphi) \quad (7)$$

onde Ω representa a velocidade angular da Terra e φ a latitude local.

O parâmetro de Coriolis é superior a zero (positivo) no Hemisfério Norte.

Assim, a distribuição do vento geostrófico depende essencialmente da distribuição da pressão ao longo da horizontal (o parâmetro de Coriolis varia com a latitude e a massa volúmica varia muito pouco ao longo da horizontal).

Nestes termos, o vento geostrófico é uma boa aproximação do movimento horizontal real do ar. Vamos supor uma dada distribuição espacial horizontal da pressão atmosférica representada numa carta meteorológica.

Como o gradiente de pressão horizontal ∇p é um vector perpendicular às isobáricas que aponta no sentido crescente dos valores da pressão e como \hat{k} é perpendicular ao plano da representação, o vector velocidade geostrófica \vec{V}_g , conforme se indica na expressão (4), aponta paralelamente segundo as isobáricas deixando à sua direita os valores mais altos da pressão.

Na fig. 4 está esquematizada a direcção e sentido do vento geostrófico no Hemisfério Norte, quando se usa a regra do saca-rolhas na aplicação da expressão (4). Não esquecer que a rotação deve ser feita sempre no sentido do menor ângulo.

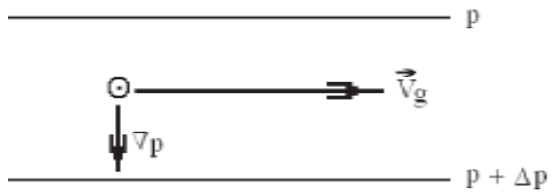


Fig. 4 - Ilustração da orientação do vento geostrófico.

Para estudar a intensidade ou módulo do vento geostrófico pode admitir-se com boa aproximação que localmente a massa volúmica e o parâmetro de Coriolis pouco variam. Então o módulo da velocidade geostrófica será proporcional ao módulo do ∇p como se indica,

$$V_g \cong \frac{1}{\rho f} \frac{\Delta p}{\Delta n} \quad (8)$$

onde Δn representa o afastamento ou a distância entre duas isobáricas correspondentes à variação da pressão Δp , como se ilustra na fig. 5. A intensidade do vento geostrófico é inversamente proporcional ao afastamento das isobáricas.

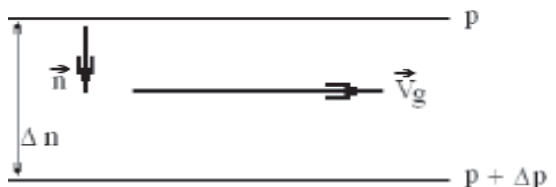


Fig. 5 - Vento geostrófico condicionado pela distância entre isobáricas.

De acordo com a lei de Buys Ballot podem ser retiradas algumas conclusões: o vento geostrófico é inversamente proporcional ao afastamento das isobáricas; para o mesmo gradiente de pressão o vento geostrófico é mais forte nas latitudes baixas do que nas latitudes altas; para a mesma latitude e com o mesmo valor de $\Delta p / \Delta n$, o vento geostrófico é inversamente proporcional à massa volúmica do ar, ou seja, é directamente proporcional à temperatura.

O vento real pode coincidir com o movimento geostrófico apenas se os contornos de altura forem paralelos aos círculos de latitude. Conforme já citado, o vento geostrófico é geralmente uma boa aproximação do vento real nos distúrbios extra-tropicais de escala sinóptica. No entanto, para cada situação deve avaliar-se esta afirmação.

Análise de cartas meteorológicas de superfície

O nosso objectivo é avaliar a direcção, intensidade e sentido do vento na região centro de Portugal.

Para o efeito considerou-se, para exemplo, um dia aleatório, o dia 28 de Abril de 2009.

Recorreu-se a dois sítios na Internet para obtenção de cartas meteorológicas do dia em análise (on-line a 28/4/2009) :

<http://www.meteo.pt/pt/otempo/previsao numerica/>
<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/tkfaxbraar.htm>.

A fig. 6 mostra a carta meteorológica de superfície ECMWF pressão ao nível médio do mar para o dia 28/4/2009. Na figura a letra A indica a presença de anticiclone (centro de alta pressão) e a letra B de ciclone (centro de baixa pressão). As linhas a negro são isóbaras e indicam para a mesma linha uma pressão igual. Os valores indicados, por exemplo aqueles que nos interessam, 1014 e 1018 não apresentam unidades. Na meteorologia estes valores são indicados no sistema internacional SI na unidade de mbar ou hPa.

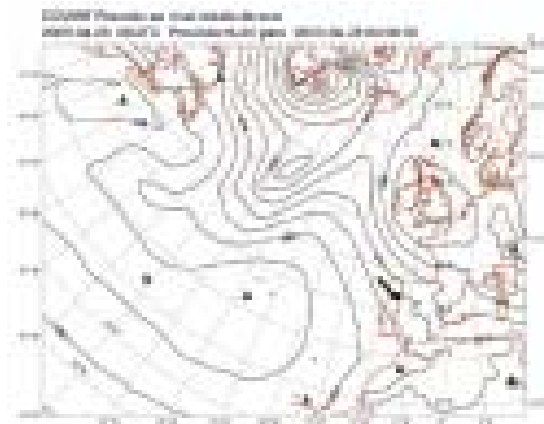


Fig. 6 - Carta meteorológica de superfície ECMWF para o dia 28/4/2009.

Como avaliar a direcção do vento na região centro de Portugal?

De acordo com a teoria apresentada, estando Portugal a uma latitude superior a 35° e inferior a 45° pode usar-se a aproximação geostrófica.

A linha de pressão de valor mais alto (1018 hPa) atravessa Portugal e a linha de valor mais baixo (1014 hPa) está a Norte de Portugal. O pacote de ar no seu movimento deve deixar a linha isóbara com valor de pressão mais alto à sua direita. Nestas circunstâncias a direcção será de noroeste para sudeste, como se indica pela seta a negro. Esta seta (indica o vector velocidade) deve ser deslocada ligeiramente para a isóbara de valor mais baixo devido à força de atrito ou seja deve provocar convergência num centro de baixa pressão. Assim, a representação da orientação do vento é aproximadamente a indicada.

Uma maneira expedita de identificar a posição das isóbaras é voltarmos de costas para o vento. À nossa direita estará a linha isóbara de valor mais alto e à nossa esquerda a isóbara de valor mais baixo. Nestas circunstâncias bastará ao observador da carta meteorológica de superfície identificar o valor das isóbaras, colocar-se de modo a que a isóbara de pressão mais alta fique do seu lado direito. A direcção e sentido ficam facilmente conhecidos.

Para avaliar a intensidade do vento recorre-se à expressão (8).

Da fig. 6 constata-se que $\Delta p = 4$ hPa. A figura não apresenta escala mas é conhecido o comprimento de Portugal. Nestes termos o valor de $\Delta n \cong 460$ km. Sem grande erro pode usar-se para a nossa latitude $f \cong 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ e $\rho \cong 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$.

O valor calculado para a intensidade da velocidade do pacote de ar, por aplicação da expressão (8), é aproximadamente de $7,2 \text{ m.s}^{-1}$ ou $25,7 \text{ km.h}^{-1}$.

O Instituto de Meteorologia (Portugal) apresentava a seguinte previsão para 3ª Feira, 28 de Abril de 2009: *céu geralmente muito nublado, tomando-se pouco nublado a partir da tarde nas regiões do interior Centro e na região Sul. Agulheiros fracos, em especial até ao final da manhã e nas regiões do litoral Norte e Centro. Vento em geral fraco (10 a 20 km.h^{-1}) de noroeste, soprando moderado (15 a 35 km.h^{-1}) no litoral e forte (35 a 45 km.h^{-1}), com rajadas da ordem dos 65 km/h nas terras altas até ao início da manhã. Neblina ou nevoeiro matinal.*

O diagnóstico realizado a partir da carta meteorológica de superfície do Instituto de Meteorologia está em concordância com a descrição de previsão do sítio do Instituto de Meteorologia (Portugal) : vento a soprar de noroeste com uma intensidade de $25,7 \text{ km.h}^{-1}$.

A partir da fig. 7 é possível obter a seguinte informação (carta de superfície do sítio <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/tkfaxbraar.htm>) :

O centro de altas pressões é representado pela letra H e o centro de baixas pressões pela letra L. As linhas isóbaras estão indicadas apenas pelo valor (em Portugal a de maior valor de 1020 hPa a Sul e a de menor valor de 1016 hPa a Norte). A distância entre as isóbaras no contexto de estudo é também semelhante. A direcção, intensidade e sentido do vento são concordantes. No entanto, esta carta meteorológica de superfície tem uma valiosa informação porque indica a aproximação de uma frente fria.

Uma frente fria é caracterizada por uma massa de ar que apresenta uma temperatura baixa. Nestas circunstâncias a sua entrada na Península Ibérica levará à formação de um céu muito nublado, com presença de neblina ou nevoeiro no litoral.

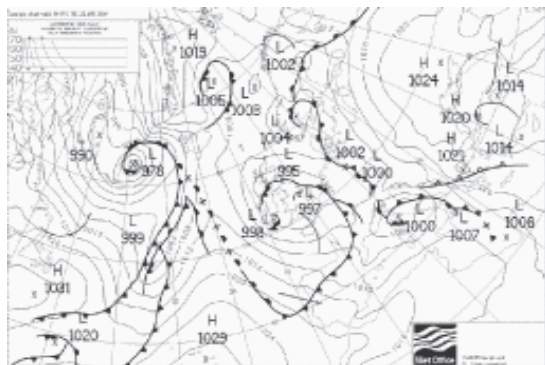


Fig. 7 - Carta meteorológica de superfície MetOffice para o dia 28/4/2009.

Esta informação complementar está de acordo com a previsão do Instituto de Meteorologia.

Considerações finais

A aproximação de vento geostrofico é uma ferramenta útil de diagnóstico.

Em caso de incêndio florestal a consulta a cartas de superfície podem contribuir para a definição de estratégias de prevenção e combate.

Por último apresenta-se a situação típica do tempo atmosférico que se faz sentir em Portugal: em geral chove muito pouco no Verão, enquanto os Invernos são mais chuvosos. Estas situações podem ser explicadas pelas localizações médias do anticiclone dos Açores e da depressão da Islândia. No Inverno, a depressão da Islândia encontra-se em média mais próxima de Portugal, enquanto que o anticiclone dos Açores se encontra mais longe. Por isso ocorre com alguma frequência precipitação durante o Inverno. No Verão, a depressão da Islândia encontra-se em média mais afastada de Portugal, enquanto que o anticiclone dos Açores se encontra mais perto. Assim, durante o Verão é raro chover!

Referências bibliográficas

- IPCC (2001). *Intergovernmental Panel on climate change Technical Summary*. A Report Accepted by Working Group I, wgI_ts.pdf. Acedido em 19 de Novembro de 2004, em: <http://www.ipcc.ch/pub/wg1TARtechsum.pdf>.
- IPCC (2007). *Climate change 2007: the physical science basis summary for policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Paris: IPCC, Working Group I.
- HOLTON, J.R. (2004). *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Volume 88 in the International Geophysics Series. Edited by Renata Drowska and James R. Holton. Elsevier Academic Press.
- MCINICH, D.H. and THOM, A.S. (1981). *Essentials of meteorology*, the Wykeham Sciences Series, Taylor and Francis, Ltd, London.
- SALBY, M.L. (1995). *Fundamentals of atmospheric physics*. Vol 61 in the International Geophysics Series, Edited by Renata Drowska and James R. Holton, Academic Press, Inc., London.