

INFLUÊNCIA DA METEOROLOGIA LOCAL NO CAMPO ELÉCTRICO ATMOSFÉRICO DE LISBOA

Cláudia Serrano⁽¹⁾, A. Heitor Reis^(1,2), Rui Rosa^(1,2) e Paulo S. Lucio⁽¹⁾

⁽¹⁾ Centro de Geofísica de Évora, Universidade de Évora, Apartado 94, 7000-554 Évora

⁽²⁾ Departamento de Física, Universidade de Évora, Apartado 94, 7000-554 Évora

claudiafserrano@clix.pt, ahr@uevora.pt, rosa@uevora.pt, pslucio@evora.pt

RESUMO

Múltiplos estudos confirmam que o campo eléctrico atmosférico é extremamente influenciado pela meteorologia local e por influências de natureza planetária. Neste trabalho foram analisadas as variações sazonais e diurnas da componente vertical do campo eléctrico atmosférico, ao nível do solo, na estação Lisboa/Portela, no período 1955-91, e em condições de bom tempo. Também foram analisadas em termos horários, as correlações da anomalia do campo eléctrico atmosférico com a humidade relativa, a direcção e a velocidade do vento e a nebulosidade, em condições de bom tempo. Encontramos correlações estatisticamente significativas entre a anomalia do campo eléctrico atmosférico e a intensidade do vento, no período 1970-91. Verificámos que a influência da humidade relativa no campo eléctrico atmosférico é fraca.

Palavras chave: campo eléctrico atmosférico, humidade relativa, direcção e velocidade do vento, nebulosidade.

1. Introdução

As medições do campo eléctrico atmosférico são, em geral, difíceis de interpretar porque existe uma grande variedade de factores de influência a considerar (MacGorman and Rust, 1998; Harrison, 2002). No entanto, estas medições em situação de bom tempo são indicadores sensíveis da poluição do ar, sendo também relevantes para a compreensão da fenomenologia da camada limite, podendo ser usado como indicador e até como preditor de alguns fenómenos que ocorrem na camada limite.

Estudos recentes (Serrano et al, 2006) indicam que a radiação cósmica afectou significativamente o campo eléctrico atmosférico na região de Lisboa no período 1955-91. A estas influências de longo período adicionam-se as influências da meteorologia local, tais como, a humidade relativa, a intensidade e a direcção do vento, a concentração de poluição e a nebulosidade. Este tipo de influência da meteorologia local sobre o campo eléctrico atmosférico tem sido objecto de estudos (Kamra et al, 1997; Israelsson and Tammet 2001; Nagaraja et al, 2003).

Em situações de bom tempo e para casos em que a corrente de convecção J_{cv} são significativas, a corrente eléctrica total é J , e é dada por:

$$J = \sigma E + J_{cv} \quad (1)$$

onde E é o campo eléctrico e σ é a condutividade eléctrica do ar. A condutividade eléctrica do ar está

relacionada com a densidade de iões positivos n_+ , a densidade de iões negativos n_- , e com as mobilidades respectivas m_+ e m_- , pela forma:

$$\sigma = n_+ q_+ m_+ + n_- q_- m_- \quad (2)$$

onde q_- representa a carga eléctrica negativa e q_+ a carga eléctrica positiva.

Dado que a densidade de corrente eléctrica em situações de bom tempo apresenta reduzida variabilidade, conclui-se que o campo eléctrico de bom tempo varia inversamente com a condutividade eléctrica.

A humidade relativa e o tipo de nuvens podem afectar a condutividade eléctrica do ar enquanto a intensidade do vento afecta a corrente de convecção J_{cv} .

No presente estudo foram usados os valores horários das séries temporais do campo eléctrico atmosférico, nebulosidade, tipo de nuvem, direcção e intensidade do vento e humidade relativa, em situações de bom tempo, ao nível do solo, respeitante à estação meteorológica de Lisboa/Portela (38°47' N, 9°08' W), no período 1970-91. Um dos objectivos deste estudo é a procura de correlações horárias entre o campo eléctrico atmosférico de bom tempo, a humidade relativa, intensidade do vento e nebulosidade para a avaliar a respectiva contribuição no campo eléctrico no período 1970-91.

Para pesquisa destas correlações, a componente do campo eléctrico resultante da influência da

meteorologia local é separada da componente planetária através da determinação dos desvios dos valores observados relativamente aos valores climatológicos de bom tempo do campo eléctrico local obtidas para o período 1970-91 que definem a Curva de Carnegie local. Para validar as regressões lineares entre os valores das anomalias do campo eléctrico atmosférico e a: intensidade do vento e a humidade relativa, para os diferentes quadrantes da direcção do vento, e a nebulosidade correspondente a dois tipos de nuvens (*cumulus* e *stratocumulos*), foi usado o teste de Pearson.

2. Variação diurna e sazonal do campo eléctrico atmosférico

Os valores do campo eléctrico usados nesta análise são valores médios horários obtidos na estação Lisboa/Portela (38°47' N, 9°08'W) com um electrógrafo electromecânico (Benndorff) com a ponta de prova a 1 m de altura e publicados pelo Instituto de Meteorologia (*Boletim Geoeléctrico*), durante o período 1955-91. Os dias de bom tempo foram seleccionados, segundo as normas internacionais (Voeikov, 1965), a partir da análise dos fenómenos atmosféricos à escala horária, observados nas imediações da estação: nebulosidade inferior a 0,2, velocidade do vento menor que 20 km/h e ausência de nevoeiro ou de precipitação.

As curvas da figura 1 apresentam como característica principal um padrão estável de variação horária com dois máximos. Um dos máximos ocorre entre as 8 e as 10 UTC e o outro entre as 14 UTC e as 18 UTC. Também se verifica um mínimo do campo eléctrico atmosférico por volta das 4 UTC, em que o valor aumenta gradualmente depois do nascer do Sol.

O primeiro máximo é devido a influências locais. Facto que é reconhecido por apresentar grandes anomalias neste período relativamente à curva de Carnegie. Entre as possíveis influências locais estarão as inversões nocturnas de temperatura que fixam a poluição junto ao solo, a humidade e o início do tráfego rodoviário e aéreo. A poluição de que são parte os aerossóis em suspensão origina a depleção dos iões pequenos por combinação com iões maiores (Nagaraja, 2003), que têm uma menor mobilidade o que conduz ao aumento do campo eléctrico. O segundo pico poderá ser devido, em parte, ao máximo do campo eléctrico planetário que ocorre na Europa por volta das 14 UTC (MacGorman and Rust, 1998).

No Inverno e no período entre as 8 e as 10 UTC, o valor máximo do campo eléctrico atmosférico deverá estar relacionado com a inversão nocturna da temperatura que mantém a poluição junto ao solo, desfavorecendo a difusão vertical da poluição e afectando de forma significativa o processo de

dispersão, o que se traduz numa menor condutividade dos iões atmosféricos e no aumento do valor do campo eléctrico.

No Verão, no período entre as 8 e as 10 UTC, o campo eléctrico atmosférico apresenta um valor inferior em relação ao campo eléctrico médio o que poderá ser explicado pelas brisas marítimas que transportam pequenos iões e aumentam a condutividade do ar, para além, de que, a corrente de convecção apresentar algum peso relativamente à corrente óhmica.

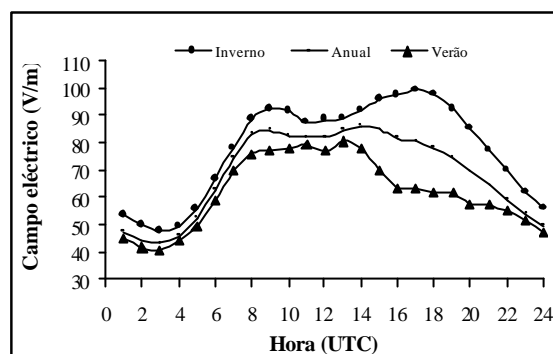
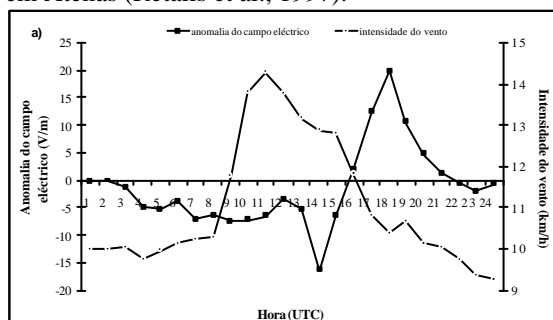


Figura 1 - Variação média diurna do campo eléctrico atmosférico de bom tempo para o período 1955-91, na estação Lisboa/Portela.

3. Influência da direcção e da velocidade do vento, da humidade relativa e da nebulosidade no campo eléctrico atmosférico

3.1- Direcção e velocidade do vento

No estudo da influência diária da direcção e da velocidade do vento no campo eléctrico atmosférico, na situação de bom tempo e nebulosidade zero, foram analisadas as séries representadas na figura 1(a-d), que representam o período 1970-91. Verifica-se que o campo eléctrico atmosférico varia marcadamente com a direcção do vento. A anomalia do campo eléctrico atmosférico diminui com o aumento da intensidade do vento (“efeito de espelho”). Este aumento da intensidade do vento provoca o aumento das correntes de convecção J_{cv} e o conseqüente decréscimo do campo eléctrico atmosférico. Esta tendência foi também observada em Atenas (Retalis et al., 1997).



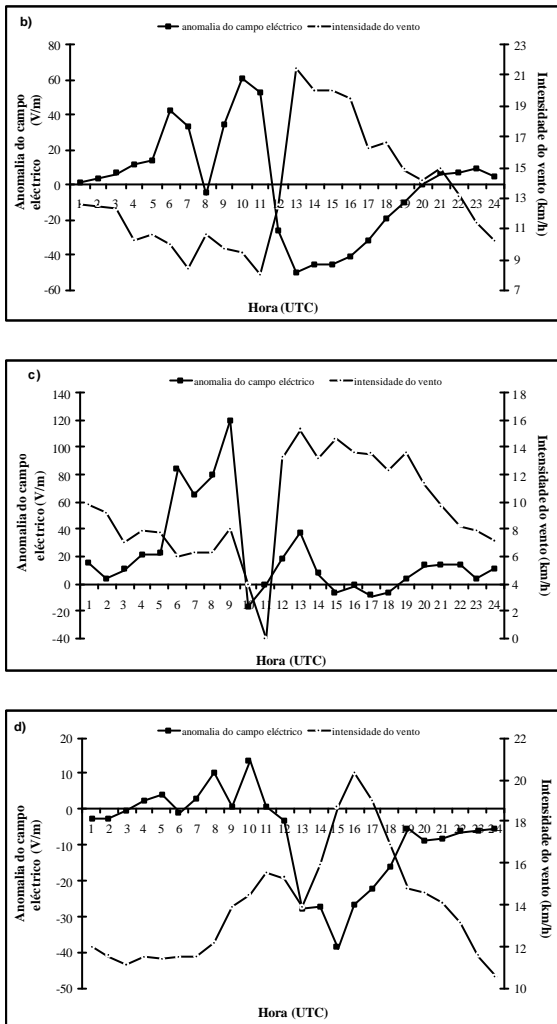


Fig. 1 - Médias horárias da anomalia do campo eléctrico e da intensidade do vento, em situação de bom tempo, para os quatro quadrantes da direcção do vento: a) nordeste (NE); b) noroeste (NW); c) oeste (W); d) norte (N), em Lisboa no período 1970-91.

Ao analisar-se a figura 1-a) verifica-se que a partir das 17 UTC a anomalia relativa do campo eléctrico atmosférico não varia inversamente com a intensidade do vento, o que poderá significar que as correntes de convecção não têm influência a partir das 17 UTC, podendo ser a variável meteorológica - humidade relativa - a afectar o campo eléctrico atmosférico (ver secção seguinte).

A correlação entre a anomalia do campo eléctrico atmosférico de bom tempo e a intensidade do vento é forte para direcções do vento de Norte, Nordeste e Este, para valores horários entre 322 UTC, 415 UTC e 7-17 UTC, respectivamente (tabela 1). Para os restantes quadrantes da direcção do vento, nomeadamente sudeste e sudoeste, a correlação é praticamente inexistente, enquanto para noroeste, oeste e sul a correlação é muito fraca.

Para avaliar o nível de significância da correlação, foi usado o teste de Pearson: $H_0: r = 0$ (hipótese nula) versus $H_1: r \neq 0$, onde r é a correlação entre

pares de variáveis. O p -valor é o nível de significância empírico de um teste de hipóteses. Deve ser rejeitada a hipótese nula se o p -valor for inferior ao nível de significância, adoptado neste caso como 5%.

A tabela 1 apresenta a correlação das anomalias do campo eléctrico com as direcções mais frequentes do vento observadas na estação Lisboa/Portela. De uma forma geral verifica-se que, embora, a correlação não seja muito acentuada, apresenta valores estatisticamente significativos em muitas horas do dia. Os valores indicam que a direcção e a intensidade do vento devem influenciar o valor do campo eléctrico, embora se tenha de admitir que essa influência não é única, devendo, haver contribuições de outros factores meteorológicos. Por outro lado, torna-se claro que a intensidade do vento tem um efeito geral de redução da intensidade do campo eléctrico (correlação inversa).

Direcção do Vento (°)	N			NE			E		
	r	p-valor	n	r	p-valor	n	r	p-valor	n
Hora(UTC)									
1	-0,168	0,023	182	-0,151	0,034	197	0,036	0,857	27
2	0,138	0,073	171	-0,161	0,019	213	-0,017	0,941	22
3	-0,288	0,000	164	-0,094	0,160	224	-0,072	0,734	30
4	-0,187	0,024	145	-0,161	0,014	232	-0,184	0,349	28
5	-0,263	0,003	123	-0,264	0,000	245	-0,116	0,555	28
6	-0,307	0,002	98	-0,348	0,000	255	-0,037	0,843	31
7	-0,281	0,015	74	-0,110	0,110	213	-0,393	0,015	38
8	-0,336	0,018	49	-0,218	0,002	191	-0,381	0,022	36
9	0,407	0,010	39	-0,263	0,001	168	-0,618	0,000	66
10	0,286	0,141	28	-0,331	0,000	162	-0,437	0,000	95
11	-0,639	0,004	18	-0,289	0,001	140	-0,479	0,000	127
12	-0,703	0,007	15	-0,300	0,002	108	-0,454	0,000	148
13	-0,057	0,840	15	-0,435	0,000	106	-0,383	0,000	130
14	-0,536	0,018	19	-0,365	0,001	84	-0,476	0,000	112
15	-0,571	0,006	22	-0,220	0,036	91	-0,390	0,000	87
16	-0,409	0,013	36	-0,156	0,137	93	-0,433	0,000	64
17	-0,381	0,005	52	-0,063	0,539	98	-0,447	0,006	37
18	-0,421	0,000	83	-0,196	0,104	70	-0,105	0,722	14
19	-0,386	0,000	120	-0,297	0,021	60	-0,186	0,690	7
20	-0,354	0,000	170	-0,205	0,077	75	0,291	0,884	8
21	-0,374	0,000	189	-0,083	0,441	89	-0,285	0,425	10
22	-0,176	0,015	190	-0,177	0,068	109	-0,156	0,688	9
23	-0,095	0,179	203	-0,168	0,054	132	0,355	0,314	10
24	-0,114	0,124	184	-0,171	0,037	150	-0,475	0,118	12

Tabela 1 – Coeficientes de correlação da anomalia do campo eléctrico atmosférico de bom tempo com a intensidade do vento, para os quadrantes da direcção do vento N (norte), NE (nordeste) e E (este), em Lisboa, no período 1970-91, para diferentes horas (1-24 UTC).

3.2 – Humidade relativa

Para examinar a possível influência da humidade relativa (HR) no ciclo diurno do campo eléctrico atmosférico, para a situação de bom tempo, procedeu-se à determinação da componente local, pelo cálculo das anomalias do valor sinóptico do campo eléctrico, em situação de humidade relativa superior a 75% e inferior a 98% (ou 80% e inferior 98%), relativamente aos valores médios do campo em situação de humidade relativa inferior a 80% (ou 75%):

$$?E = E_{0.75-HR-0.98} - <E_{HR<0.8}> \quad (3)$$

Foi analisada a correlação dos valores sinópticos de $?E$ com os da humidade relativa para $0.75=HR=0.98$ e para o intervalo da 1 às 9 UTC e das 17 às 24 UTC, no período 1970-91, para os diferentes

quadrantes da direcção do vento, e com desfaseamentos de 0, 1, 2 e 3 (lag time) da anomalia do campo eléctrico atmosférico e da humidade relativa. Estes intervalos foram escolhidos pelo facto da humidade relativa constituir um dos possíveis factores de explicação do comportamento do campo eléctrico neste período. O valor de 75% de humidade relativa foi fixado tendo em conta que o crescimento higroscópico dos aerossóis ocorre normalmente a partir de valores da humidade relativa superiores a 75% (Pruppacher and Klett, 1997). Observando a figura 2, verifica-se que a humidade relativa só se encontra dentro do intervalo durante um curto período da manhã e para os ventos no quadrante de N a W.

A contribuição da humidade relativa para a anomalia do campo eléctrico atmosférico não é estatisticamente significativa, em qualquer um dos casos, o que poderá significar que as correntes de convecção se sobrepõem ao efeito da humidade relativa.

De facto, seria de esperar um aumento do campo eléctrico atmosférico com a humidade relativa (nomeadamente para valores elevados da humidade relativa) devido redução da mobilidade dos iões na troposfera (Reiter, 1992; MacGorman and Rust, 1998; Wilding and Harrison, 2005) resultante da condensação de vapor de água nos iões e ao conseqüente crescimento higroscópico destes. No entanto, a influência directa da humidade relativa no valor do campo eléctrico atmosférico da estação de Lisboa /Portela não é significativo e pode ser mesmo ignorada. Uma conclusão similar foi obtida por Retalis et al. (1991) num estudo feito na região de Atenas, onde foi observada uma fraca correlação negativa, para um lag time 3, entre a condutividade eléctrica da atmosfera (correlação positiva para o campo eléctrico) com o aumento da humidade relativa.

Inversamente, Kamra et al. (1997) encontraram uma forte correlação negativa entre a condutividade eléctrica do ar marítimo no oceano Índico e do mar Arábico com valores da humidade relativa do ar superiores a 75%-80%.

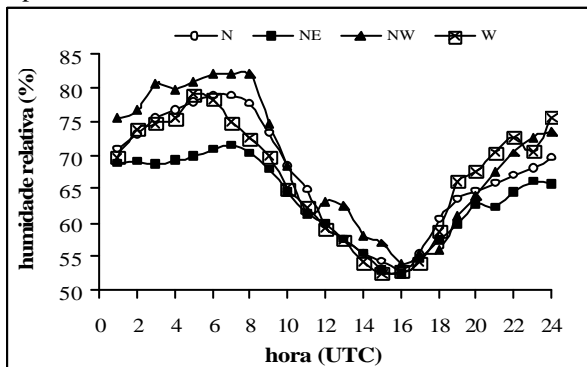


Fig.2 - Variação média horária da humidade relativa, nas direcções do vento N, NE, NW e W, para situações de bom tempo, no período 1970-91.

3.3 – Nebulosidade

Para o estudo da influência da nebulosidade correspondente a dois tipos de nuvens (*cumulus* e *stratocumulos*) com o campo eléctrico atmosférico para a situação de bom tempo, procedeu-se à determinação da componente local pelo cálculo das anomalias do valor sinóptico do campo eléctrico atmosférico em situação de *cumulus* ou *stratocumulos* relativamente aos valores médios do campo em situação de nebulosidade igual a zero:

$$?E = E_{cumulos\ ou\ stratocumulos} - \langle E_{N=0} \rangle \quad (4)$$

Foi analisada a correlação dos valores sinópticos de $?E$ com os da nebulosidade, para *Cumulus* e *Estratocumulus*, no período 1970-91.

Ao analisar a tabela 2 verifica-se que a correlação entre a anomalia do campo eléctrico atmosférico e a nebulosidade é forte para o caso dos *Cumulus* e fraca ou quase inexistente nos *Estratocumulus*. No caso dos *Cumulus* pode-se observar (tabela 2) que a correlação é significativa entre as 3-8 UTC e pobre a partir das 9 UTC. Com o nascer do Sol aumenta o número de electrões na atmosfera, estes são absorvidos pela base das nuvens, tornando-a mais negativa, contribuindo deste modo para a redução do campo eléctrico atmosférico na superfície terrestre. Reiter (1992) também verificou que o aparecimento de *cumulus* reduz o campo eléctrico atmosférico na superfície terrestre.

Tipo de nuvem	CUMULUS			ESTRATOCUMULUS		
	r	p-valor	n	r	p-valor	n
Hora (UTC)						
1	0,760	0,029	8	0,151	0,606	14
2	0,632	0,128	7	0,244	0,381	15
3	0,894	0,041	5	-0,003	0,992	13
4	0,966	0,002	6	0,164	0,543	16
5	0,965	0,008	5	0,100	0,683	19
6	0,796	0,010	9	0,252	0,347	16
7	—	—	4	-0,119	0,685	14
8	0,775	0,009	10	0,105	0,773	10
9	0,491	0,075	14	0,156	0,713	8
10	0,097	0,701	18	0,245	0,559	8
11	-0,237	0,314	20	0,450	0,550	4
12	-0,071	0,730	26	—	—	4
13	-0,020	0,910	34	0,532	0,643	3
14	-0,104	0,540	37	—	—	2
15	-0,073	0,667	37	-0,818	0,182	4
16	-0,242	0,137	39	0,720	0,280	4
17	0,099	0,638	25	0,599	0,591	3
18	-0,214	0,483	13	-0,296	0,629	5
19	0,358	0,133	19	0,093	0,907	4
20	0,518	0,048	15	0,418	0,230	10
21	0,419	0,228	10	0,072	0,832	11
22	0,427	0,145	13	0,123	0,662	15
23	-0,153	0,653	11	0,628	0,012	15
24	-0,207	0,694	6	0,406	0,076	20

Tabela 2 – Coeficientes de correlação da anomalia do campo eléctrico atmosférico de bom tempo com a nebulosidade para diferentes tipos de nuvem, no período 1970-91.

4. Conclusões

As variações diárias e sazonais do campo eléctrico atmosférico, em Lisboa, foram examinadas em condições de bom tempo, para o período 1955-91. No que respeita à existênciade correlações entre a meteorologia local e o campo eléctrico atmosférico observado em Lisboa foram identificadas várias

componentes locais que poderão influenciar o campo eléctrico observado. Entre estas componentes estão as brisas marítimas, a poluição local, a direcção e a velocidade do vento. A influência da direcção do vento e da intensidade do vento é significativa no campo eléctrico atmosférico. O aumento da velocidade do vento induz o decréscimo do campo eléctrico atmosférico em situações de bom tempo. As inversões de temperatura deverão ter também uma influência importante especialmente durante as primeiras horas do dia no período de Inverno. A influência da humidade relativa sobre o campo eléctrico encontra-se aparentemente mascarada pelo efeito mais acentuado das correntes de convecção.

Por outro lado, foi detectada uma correlação estatisticamente significativa, entre a anomalia relativa do campo eléctrico atmosférico de bom tempo e a nebulosidade associada aos *Cumulus*, e que estes reduzem significativamente o campo eléctrico atmosférico, na superfície terrestre.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Meteorologia de Portugal a disponibilização dos registos das observações do campo eléctrico atmosférico utilizadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Harrison, R. G., 2002: "Twentieth century atmospheric electrical measurements at the observatories of Kew, Eskdalemuir and Lerwick", *Weather*, **58**, 11-19.
- Israelsson, S.; Tammet, H., 2001: "Variation of fair weather atmospheric Marsta", *J. of Atm. And Solar-Terrestrial Phys.* **63**, 1693-1703.
- Kamra, A.; Deshpande, C.; Gopalakrishnan, V., 1997: "Effect of Relative Humidity on the Electrical Conductivity of Marine Air", *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **123**, 1295-1305.
- MacGorman, D.R.; Rust, W. D., 1998: "The Electrical Nature of Storms", D. Oxford University Press.
- Nagaraja, K.; Prasad, B. ; Srinivas, N.; Madhava, M. S., 2003: "Electrical Conductivity near the Earth's Surface: Ion-Aerosol Model", Proc. Int. Conf. On Atmospheric Electricity ICAE 03.
- Pruppacher, H. R., Klett, J. D., 1997: "Microphysics of Clouds and Precipitation", Kluwer Academic, Mass.
- Retalis, D., Pitta, A. and Psallidas, P., 1991: "The conductivity of the air and other electrical parameters in relation to meteorological elements and air pollution in Athens", *Meteorology and Atmospheric Physics*, **46**, 197-204.
- Retalis, D. and Retalis, A., 1997: "The Atmospheric Electric Field in Athens-Greece", *Meteorology and Atmospheric Physics*, **63**, 235-241.
- Reiter, R., 1992: "Phenomena in Atmospheric and Environmental Electricity", Elsevier, Amsterdam.
- Serrano, C., Reis, A. H., Rosa, R., and Lucio, P.S., 2006: "Influences of cosmic radiation, artificial radioactivity and aerosol concentration upon the fair weather atmospheric electric field in Lisbon (1955-1991)" (accepted to appear in Atmospheric Research).
- Voeikov, A.I., 1965: "Instruction on Preparation of the Material and Publication of the results of Atmospheric Electric Observations", Ed. Main Geophysical Observatory, Leningrad.
- Wilding, R. J.; Harrison, R. G., 2005: "Aerosol modulation of small ion growth in coastal air", *Atmospheric Environment*, **39** (32), 5876-5883.