



Sazonalidade de aerossóis atmosféricos e microanálise individual por EDS em testemunho de gelo da ilha Rei George

KELY C. DALIA¹, HEITOR EVANGELISTA¹, JEFFERSON C. SIMÕES² e ENIO B. PEREIRA³

¹Laboratório de Radioecologia/LCR/DBB/IBRAG, Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Pavilhão Haroldo Lisboa da Cunha, Subsolo, Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã
20550-013 Rio de Janeiro, RJ, Brasil

²Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas, Departamento de Geografia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – 91501-970 Porto Alegre, RS, Brasil

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cx. Postal 515 – 12201-970 S.J. Campos, SP, Brasil

ABSTRACT

The concentration and elemental composition of atmospheric and ice-deposited aerosols were investigated on King George Island (KGI), South Shetland Islands. Elemental composition of the coarse mode aerosol was determined by employing an energy dispersive spectrometer on samples collected from 7 intervals down a 49.9 m snow and firn core from the KGI ice cap. Results show a systematic contribution of marine and crustal aerosol throughout the whole core, with a random presence of minerals containing Si, Fe, Al, Zn, Ni, Ti and Cr. Giant S-enriched aerosol particles were found at the bottom layers of the core (below 23 m water equivalent) suggesting a volcanic signature. A continuous 2-year atmospheric aerosol concentration time series at KGI (1997 and 1998) indicates a seasonal pattern, which is similar to those found at other subpolar and polar sites. This was attributed to the oceanic biological activity and to the cyclonic frequency. Higher values of total aerosol number concentration found in KGI, when compared to other Antarctic sites, may be attributed to the proximity to the South American continent and to the transport efficiency of regional cyclone systems.

Key words: King George Island, aerosols, ice cores.

INTRODUÇÃO

O depósito glacial da Antártica teve origem há 15 milhões de anos aproximadamente. Os particulados e compostos gasosos, que precipitam e são armazenados nas suas camadas ao longo dos séculos (Jojo et al. 1995), constituem um reservatório de alto índice de integridade. Desta forma, os testemunhos formados pela neve e pelo gelo antártico são: (1) considerados como uma das melhores matrizes para estudos paleoclimáticos globais; (2) indicadores dos processos de transporte e precipitação de espécies

químicas, de origem natural ou processadas tecnologicamente, e muitos destas estão associadas a processos que regulam o balanço geoquímico e radiativo da atmosfera.

A presença de produtos de origem antrópica, em matrizes bióticas e abióticas pertencentes aos ecossistemas antárticos, está relatada em inúmeras referências na literatura. Pode-se citar, como exemplo, a presença de metais pesados e de radionuclídeos artificiais, como o ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am e ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, liberados durante testes atômicos, que estão incorporados a espécies de líquens e musgos, assim como presentes nos estratos do gelo polar e terrenos aflorantes no verão austral (Roos et al. 1994, Pourchet et

Correspondência para: Heitor Evangelista
E-mail: heitor@uerj.br

al. 1983). Esses compostos antropogênicos detectados na Antártica são representativos de um largo espectro da atividade humana, em diversas regiões do globo. São gerados por processos que vão desde a simples queima de combustível de origem fóssil até a liberação atmosférica durante os testes atômicos a céu aberto, desenvolvidos desde 1945.

Na atualidade, o enfoque é dedicado à relação entre a atividade humana nos continentes e o impacto ambiental observado no meio antártico. Entretanto, não é sabido, exatamente, se a ação antrópica global pode corresponder a uma mera interferência, sem relevância a curto e médio prazos nos ecossistemas e na atmosfera em particular, ou se as conseqüências são imprevisíveis.

Estudos recentes, que relacionam aerossóis atmosféricos às mudanças climáticas, indicam que os constituintes minoritários da atmosfera podem afetar, de forma relevante, o albedo e o balanço radiativo terrestre, uma vez que atuam como núcleos absorvedores e espalhadores da radiação solar de curto comprimento de onda (Charlson et al. 1992, Kiehl e Briegleb 1993, Box e Trautman 1994, Schneider 1994, citados por Rood 1997). Os aerossóis tomam parte, de forma relevante, no processo de formação de nuvens em áreas sob influência marítima direta, regiões sujeitas à ação eólica de grande intensidade ou representativas de emissões atmosféricas por processos tecnológicos. Em muitas áreas do globo os aerossóis são responsáveis por modificações drásticas no perfil de visibilidade da atmosfera. Estes fenômenos, isoladamente ou não, estão associados ao balanço radiativo da atmosfera. Tais eventos possibilitam, com maior exatidão, e como um todo, o estudo do ciclo dos aerossóis e gases minoritários na atmosfera terrestre, sua relação com as trocas gasosas através da tropopausa, seu impacto global sobre o clima, a importância relativa no balanço energético do planeta e, conseqüentemente, a sua resposta climatológica. Especificamente, no contexto da atmosfera antártica, o monitoramento de compostos minoritários apresenta, como principal atributo, o baixo ruído de fundo gerado por fontes antropogênicas locais. Nessa perspectiva, as

estações remotas têm papel fundamental na determinação mais precisa dos períodos de residência, diluição e transporte de aerossóis e gases em escala global.

Pereira (1990) apresentou os primeiros resultados de séries temporais para o ^{222}Rn atmosférico na Península Antártica, ilha Rei George – IRG (62°05'S; 58°23,5'W) para o período de 1986 a 1987. Em virtude de sua meia-vida e sua mobilidade na atmosfera, este radionuclídeo, predominantemente litosférico, é empregado como traçador de massas de ar em escala intercontinental. Esse trabalho também aponta para uma forte correlação entre o aumento da atividade do ^{222}Rn e a freqüência de passagem de centros ciclônicos, nas proximidades da latitude 60°S, no trecho que compreende a Península Antártica. Segundo o autor, esses sistemas atuariam como principais agentes responsáveis pelo transporte de massas de ar do Pacífico Sul e da extremidade meridional da América do Sul para a Península Antártica. Estudos mais recentes evidenciaram que o tipo de trajetória ciclônica e energia destes sistemas, quando combinados, constituem efetivamente o principal agente de transporte atmosférico (Evangelista 1999 inédito). Esse trabalho estimou, a partir da relação das atividades do ^{222}Rn e ^{210}Pb , que o período médio de residência dos aerossóis atmosféricos na Península Antártica (ilhas Shetland do Sul) está na ordem de 6,3 dias. Dentro de uma escala geográfica e temporal mais ampla, cobrindo as três últimas glaciações, demonstrou-se que, a partir das razões isotópicas do $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, a fonte predominante dos particulados, originados na superfície terrestre e encontrados nos testemunhos de gelo de Vostok e ‘‘Dome C’’, é a Patagônia / Terra do Fogo (Basile et al. 1997). Esses resultados mostram a importância de se estudar a relação entre as trocas gasosas e a dinâmica de transporte de particulados atmosféricos entre a Antártica, como um todo, e a América do Sul.

O estudo da relação entre aerossóis em suspensão no ar e particulados aprisionados em testemunhos de gelo é de grande interesse para a física e a química da baixa atmosfera, pois é o conteúdo

presente nos testemunhos que servirá como registro paleoclimático ou possibilitará uma associação com algum evento atmosférico de implicação global. Entretanto, em muitos casos, esta relação é experimentalmente de difícil desenvolvimento, pois para um número grande de metais minoritários as concentrações são muito baixas, tanto na atmosfera antártica como nos testemunhos de gelo. Outra dificuldade seria associar o conteúdo depositado em um estrato de gelo com os monitoramentos atmosféricos correspondentes ao mesmo período. Esta afirmação considera as incertezas envolvidas na estratigrafia, percolação vertical e a ação permanente da neve soprada das camadas superficiais. Na Península Antártica, Wolff e Cachier (1998) estimaram o fluxo de espécies químicas de origem marinha na interface atmosfera-gelo, para os compostos mais abundantes como o SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ e Mg^{2+} .

A compreensão dos mecanismos de transporte e a caracterização de eventos climáticos atípicos de extensão global têm na análise dos aerossóis um importante aliado. Para o ambiente antártico, este estudo se completa ao caracterizar as diferentes frações granulométricas da composição elementar dos aerossóis, sua sazonalidade e o conhecimento de suas microestruturas – tanto para o aerossol em suspensão na atmosfera como para os seus depósitos na coluna de gelo. Na ilha Rei George, o estudo da composição elementar foi largamente explorado desde o final da década de 70 (Pecherzewski 1987). Foram identificados aerossóis de fontes marinhas e antropogênicas de origem continental (Correia 1998 inédita), produtos decorrentes do impacto humano local (Rojas et al. 1992) e da fissão nuclear, liberados durante a guerra fria (Roos et al. 1994). Este trabalho aborda resultados complementares a esses estudos, ao relacionar a sazonalidade da concentração dos aerossóis atmosféricos medidos em alta resolução temporal, a estimativa dos aerossóis na interface atmosfera-gelo e a avaliação das microestruturas dos particulados encontrados num testemunho da IRG.

MATERIAIS E MÉTODOS

Aerossóis atmosféricos e aqueles presentes em um testemunho de gelo antártico foram analisados por técnicas distintas e referem-se a bases temporais diferentes. O monitoramento atmosférico buscou avaliar a variabilidade da concentração no tempo. Neste trabalho são apresentados 2 anos consecutivos de amostragem. O monitoramento ocorreu num laboratório a 1.800 m da estação antártica Comandante Ferraz – EACF (62°05'S, 58°23.5'W) e suas concentrações foram comparadas com resultados obtidos em outras latitudes polares.

A coleta do testemunho de gelo ocorreu na geleira Lange na IRG durante o verão de 1997 (Simões et al. 2004, neste volume). Os aerossóis presentes neste testemunho foram caracterizados por suas composições elementares, de forma individual e em estratos específicos da coluna de gelo abrangendo as camadas superficiais até 30 m de profundidade, aproximadamente. Uma análise estatística de *cluster* é aplicada sobre os resultados para identificar a persistência de algumas espécies de aerossóis ao longo de todo o testemunho, determinando se elas ocorrem em profundidades específicas, caracterizando a assinatura de algum evento climatológico ou geofísico. As técnicas empregadas foram as seguintes:

MONITORAMENTO DE AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS

Um contador de partículas em suspensão é o medidor de aerossóis empregado para amostragem contínua do ar e de resposta instantânea. O modelo utilizado foi o 3760 *Condensation Nuclei Counter*, fabricado pela TSI® Incorporated. A Figura 1 mostra o diagrama de operação do equipamento. As setas na figura ilustram a passagem do fluxo de ar no circuito de amostragem. O medidor de aerossóis é conectado a um processador remoto que recebe pulsos digitais do contador e decodifica-os na unidade “número de partículas por litro” (posteriormente convertido em “número de partículas por cm^{-3} ”). Com o objetivo de observar as variações rápidas do número de aerossóis no ar, a base temporal de aquisição de da-

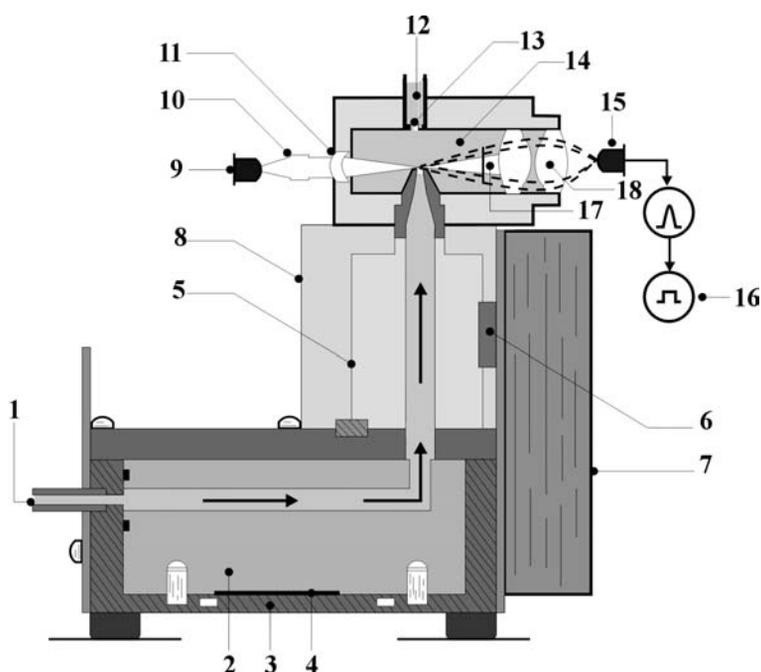


Fig. 1 – Detalhes do monitor de aerossóis e o circuito interno de passagem de ar: (1) orifício de admissão de ar atmosférico, (2) meio poroso de acondicionamento e evaporação de butanol, (3) isolante térmico, (4) aquecedor do reservatório de butanol, (5) condensador, (6) bomba termoeletrica, (7) dissipador de calor, (8) isolante térmico, (9) laser de diodo (3 mW), (10) lentes colimadoras, (11) lentes cilíndricas de convergência, (12) orifício de saída do ar atmosférico, (13) orifício crítico de controle de fluxo, (14) câmara de espalhamento de luz, (15) fotodetector, (16) pulso digital de saída para o processador remoto, (17) bloqueador de luz direta e (18) lentes de convergência.

dos foi de 10 minutos. Ao mesmo tempo essa base foi utilizada como parâmetro para discriminação de eventos, em potencial, associados a contaminações locais. O Modelo 3760 foi projetado para detectar aerossóis com diâmetros aerodinâmicos maiores ou iguais a $0,014 \mu\text{m}$. Em regiões remotas, onde as concentrações atmosféricas são relativamente baixas, os efeitos do tipo *pileup* (superposição de eventos), para este tipo de instrumentação, são desprezíveis (Maring e Schwartze 1994).

PROCESSAMENTO E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DAS AMOSTRAS DE GELO

As amostras de gelo foram divididas em 7 grupos, de acordo com suas profundidades correspondentes, e identificadas como Grupo A+B (0,50-

1,04 metros em equivalente de água – m eq. H_2O); Grupo C (3,87-4,34 m eq. H_2O); Grupo D (7,25-8,25 m eq. H_2O); Grupo E (13,85-14,84 m eq. H_2O); Grupo F (23,0-24,01 m eq. H_2O); Grupo G (26,01-26,98 m eq. H_2O) e Grupo H (30,70-31,25 m eq. H_2O). O processamento físico foi composto de: derretimento das amostras de gelo; preenchimento sucessivo de 100 mL, em frasco lavador *Dreschel*; acidificação, com 0,3 mL de HNO_3 60% e filtragem em sistema fechado de circulação de água, usando-se uma bomba peristáltica e filtro *Millipore* de acetato de celulose, com 3,5 cm de diâmetro. Após secagem, em temperatura ambiente, uma fração de 1/8 de cada filtro, foi removida para pulverização por carbono e posterior microanálise, na qual empregou-se um microscópio eletrônico de

varredura (MEV) acoplado a um espectrômetro dispersivo de energia (EDS) modelo *Spectroscopy Si/Li Oxford*. A composição elementar de cada partícula selecionada foi obtida a partir do espectro definido pelo EDS. O emprego desta técnica limita a análise dos particulados à sua respectiva moda grossa (Rojas et al. 1992) que, neste trabalho, correspondeu a um diâmetro de 2 e 20 μm . Sobre cada filtro contendo particulados, desenvolveu-se uma varredura ótica completa, a cada milímetro quadrado de área filtrada. Assim, identificando as estruturas predominantes, em termos de morfologia e diâmetro equivalente. Desta forma, definiu-se uma identificação para cada tipo de particulado predominante na forma $\Gamma\alpha$, onde $\Gamma = A, B, \dots, H$ é correspondente à estratificação das camadas de gelo analisadas e também a uma estrutura morfológica específica, $\alpha = 1, 2, \dots, 11$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

AEROSSÓIS NA ATMOSFERA ANTÁRTICA

Os dados dos aerossóis atmosféricos foram compilados de forma a subtrair influências locais, em potencial, que são claramente visíveis nas séries temporais e relatadas nas planilhas de controle. Os dados foram agrupados em médias mensais para os anos de 1997 e 1998. Em virtude do tipo de instrumentação e metodologia, os resultados de concentração representam uma contribuição global, e não consideram aspectos de granulometria e composição elementar dos aerossóis. As variações médias encontradas apontam para uma concentração máxima de particulados atmosféricos, durante o verão austral, na ordem de 4×10^3 partículas cm^{-3} , e mínima no mês de agosto, na ordem de 1×10^3 partículas cm^{-3} . Os resultados apresentados na Figura 2 mostram que a sazonalidade observada na IRG obedece ao mesmo comportamento verificado por outros autores em áreas costeiras da Antártica: Estação Syowa (60°00'S, 39°06'E); ilha Ross (77°38'S, 166°25'E); e na estação Amundsen-Scott, Pólo Sul Geográfico (Shaw 1988).

Ao confrontar os dados da EACF com o das es-

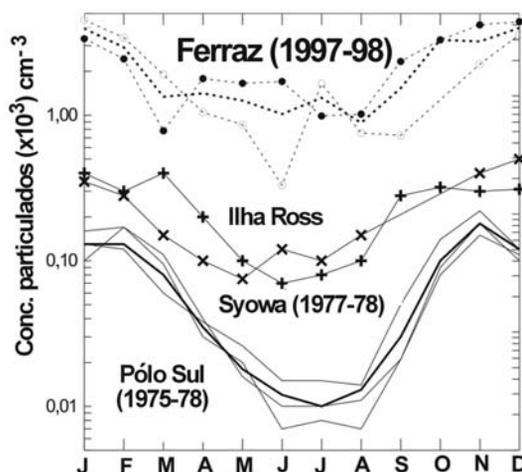


Fig. 2 – Comportamento sazonal para aerossóis atmosféricos monitorados na ilha Rei George/Península Antártica (este trabalho); Terra de Enderby (Estação Syowa), ilha Ross e Pólo Sul Geográfico (Shaw 1988).

tações citadas acima, verifica-se que os valores absolutos para a IRG são maiores e que suas diferenças, entre mínimo e máximo, são menos pronunciadas. No caso da IRG, este fato reflete, provavelmente, a maior proximidade com o continente sul-americano. Uma provável explicação para esse comportamento sazonal pode ter relação com aspectos meteorológicos e oceanográficos, que ocorrem simultaneamente durante o verão austral na Antártica. Isto é, deve-se ao aumento da produção primária nos oceanos e ao aumento da frequência no surgimento de sistemas frontais na região. A abundância relativa de luz no verão sobre os oceanos faz aumentar a produção fitoplanctônica e de clorofila, acarretando no aumento de sulfeto de dimetila e da produção de aerossóis marinhos secundários. Associado a isto, o aumento da frequência de ciclones, normalmente acompanhados de ventos fortes de superfície, aumentam a resuspensão destes aerossóis. Esse processo resulta em maior concentração atmosférica de aerossóis totais, onde predomina o componente marinho. Maldonado (2003) reportou, para uma região tropical no Brasil, uma variabilidade anual da mesma natureza descrita acima. Através da Figura 3, pode-se observar que ocorre uma modulação na

variabilidade sazonal das concentrações, em número e em massa, dos aerossóis atmosféricos induzidos pela frequência de ciclones na região (Correia 1998 inédita), cujo padrão típico é ilustrado para o ano de 1995 no arquipélago das Shetland do Sul (dados gerados pela EACF). Este padrão anual, para a frequência ciclônica, também é verificado para a ocorrência de ciclones na Antártica como um todo (Budd 1981).

RELAÇÃO ATMOSFERA-GELO PARA AEROSSÓIS

A concentração de particulados nas estratificações do testemunho de gelo da geleira Lange (para diâmetros menores do que $50 \mu\text{m}$), juntamente com os dados de concentração no ar, obtidos para EACF, permitem estimar o fator de deposição médio para aerossóis totais no sistema atmosfera-gelo. A relação entre as concentrações numéricas de aerossóis na atmosfera e no depósito glacial retrata um comportamento médio no tempo da ação conjunta de todos os mecanismos de precipitação dos aerossóis atuantes na região. Segundo Wolff e Cachier (1998), para a Península Antártica, que tem alta influência oceânica, a deposição úmida é expressivamente maior do que a deposição seca e a deposição por ação de *fog*. Neste trabalho, empregou-se um modelo simples de deposição expresso por $\langle W_{\text{part,total}} \rangle = \rho_{\text{ar}} \langle C_{\text{gelo,part,total}} \rangle / \langle C_{\text{ar,part,total}} \rangle$, onde $\langle W_{\text{part,total}} \rangle$ é o fator de deposição; $\langle C_{\text{gelo/ar,part,total}} \rangle$ representa o valor médio da concentração numérica de particulados em um intervalo de profundidade no testemunho de gelo ou no ar, e ρ_{ar} é a densidade do ar (g cm^{-3}). Os dados do testemunho da geleira Lange referem-se ao intervalo de $-0,54$ a $-3,22$ m eq. H_2O (correspondente a $1,33$ m e $6,80$ m em comprimento real). A média obtida para a concentração de particulados no testemunho foi 15939 ± 7802 partículas g^{-1} de água.

O valor médio de $\langle C_{\text{ar,part,total}} \rangle$ para a IRG, no período de 1997–1998 foi de $2,5 \times 10^3$ partículas cm^{-3} (Figura 2). A densidade para o ar úmido (ρ_{ar}) é dependente da temperatura do ar, da temperatura do ponto de orvalho e da pressão atmosférica barométrica (Weast 1986). Considerando-se

as condições meteorológicas para a IRG, a densidade do ar variaria entre $1,4524$ à $1,2472$ g L^{-1} , ou, empregando-se a mesma unidade utilizada para a densidade do gelo, tem-se como média $1,35 \times 10^{-3}$ g cm^{-3} . Desta forma, o termo W (fator de deposição), avaliado para micropartículas, assume o valor de $8,6 \times 10^{-3}$.

O fluxo médio de partículas depositadas na geleira Lange (F_{part}) pode ser calculado como $\langle F_{\text{part}} \rangle = \langle \rho_{\text{gelo}} \rangle P \langle C_{\text{gelo,part,total}} \rangle$, onde $\langle \rho_{\text{gelo}} \rangle$ é a densidade média do testemunho de gelo. Neste caso, tendo como base de cálculo a profundidade correspondente ao pico de ^3H (1963), cujo valor foi de $0,664$ g cm^{-3} (Dália 2002), P é a taxa de precipitação baseada na datação com o ^3H ($23,5$ m eq. H_2O), cujo valor foi de 2×10^{-6} cm s^{-1} . O valor encontrado para o fluxo médio de partículas depositadas na geleira Lange é de $2,1 \times 10^{-2}$ partículas $\text{cm}^{-1} \text{s}^{-1}$ para as três últimas décadas. Este valor é compatível ao estimado para a Península Antártica por Dick (1990), que corresponde a $5,28 \times 10^{-2}$ partículas $\text{cm}^{-1} \text{s}^{-1}$.

ANÁLISE DE PARTICULADOS DEPOSITADOS EM GELO

Quanto à análise do testemunho de gelo, representada por uma faixa correspondente de profundidade, de um modo geral, verificou-se que, para cada grupo de amostras, havia uma grande variedade de particulados, apresentando diferentes morfologias e composições elementares, Tabela I.

Foram obtidas imagens digitais de todas as partículas analisadas e seus respectivos espectros de análise elementar. A Figura 4 mostra a fotografia e o respectivo espectro das partículas predominantes para cada *cluster* encontrado.

A análise de *cluster* evidenciou a ocorrência de 5 grupos de particulados, conforme apresentados na Tabela II. Os *clusters* 1, 2, 4 e 5 representam aerossóis de origem litosférica, sendo o primeiro composto predominantemente por Si, O, Fe e Al (nesta ordem) e que ocorrem sistematicamente ao longo de todo o testemunho. O Cr, Ni, Mg e o Zn foram considerados impurezas (proporção média inferior a 1%). No segundo, predominam os compo-

TABELA I

Identificação dos principais tipos de aerossóis encontrados em 7 intervalos distintos de um testemunho de gelo da ilha Rei George (de 0,50 até 31,25 m eq. H₂O) e suas composições relativas.

Profundidade (m eq. H ₂ O)	Tipo	Abund. (%)	Composição elementar relativa de massa do material particulado (%)														
			C	O	P	Al	Si	Mg	S	Cl	K	Ca	Cr	Ti	Fe	Ni	Zn
0,50-1,04	A1	15	-	5	-	-	15	-	10	40	10	5	-	15	-	-	-
	A2	15	-	15	-	-	50	-	-	10	-	-	-	-	10	-	-
	A3	5	-	15	-	-	35	-	-	20	-	-	-	15	15	-	-
	A4	20	-	20	-	-	40	-	-	-	-	-	10	-	20	10	-
	B1	30	-	20	-	-	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B2	15	-	15	-	-	40	-	25	20	-	-	-	-	-	-	-
3,87-4,34	C1	15	-	15	-	10	45	-	-	-	5	10	-	5	10	-	-
	C2	45	-	15	-	15	45	-	10	-	4	-	-	2	9	-	-
	C3	20	-	20	-	-	65	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	C4	20	2	30	-	-	15	-	45	8	-	-	-	-	-	-	-
7,25-8,25	D1	15	-	60	-	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D2	30	-	10	-	-	5	-	-	-	-	-	30	-	50	5	-
	D3	55	-	10	-	10	45	-	-	-	10	12	-	3	10	-	-
13,85-14,84	E1	40	-	15	-	15	35	-	-	-	20	-	-	-	15	-	-
	E2	15	-	15	-	-	25	-	20	15	-	-	-	10	15	-	-
	E3	35	-	30	-	-	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E4	10	-	10	-	-	5	-	-	-	-	-	30	-	50	5	-
23,00-24,01	F1	5	-	5	-	95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F2	10	-	15	-	10	40	3	-	10	3	-	-	10	9	-	-
	F3	30	-	30	-	-	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F4	5	-	25	-	-	50	-	-	-	25	-	-	-	-	-	-
	F5	5	-	15	-	-	40	-	25	20	-	-	-	-	-	-	-
	F6	10	-	20	-	25	40	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-
	F7	10	-	25	-	8	35	-	5	7	3	5	-	2	8	-	2
	F8	5	-	15	-	15	35	-	-	-	20	-	-	-	15	-	-
	F9	10	-	15	-	15	35	-	-	-	-	20	-	-	15	-	-
	F10	5	-	30	-	-	-	-	-	70	-	-	-	-	-	-	-
	F11	5	-	35	-	-	20	-	45	-	-	-	-	-	-	-	-
26,01-26,98	G1	10	-	35	-	25	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	G2	15	-	20	-	40	10	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-
	G3	45	-	30	-	-	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	G4	10	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	-	-
	G5	20	-	5	-	5	-	-	15	30	-	40	-	-	-	-	5
30,70-31,25	H1	10	-	20	-	30	10	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-
	H2	5	5	20	3	3	25	-	30	3	-	2	-	4	5	-	-
	H3	5	5	15	-	5	15	-	30	10	-	-	-	-	20	-	-
	H4	10	-	20	-	5	50	-	-	-	-	5	-	2	18	-	-
	H5	15	-	10	-	-	50	-	-	-	-	-	-	-	40	-	-
	H6	5	-	15	3	-	-	-	5	2	-	-	-	-	70	5	-
	H7	10	-	10	-	10	65	-	-	-	3	12	-	-	-	-	-
	H8	15	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	65	10	-
	H9	10	-	15	-	3	35	5	-	-	2	25	-	2	13	-	-
	H10	15	-	30	-	-	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

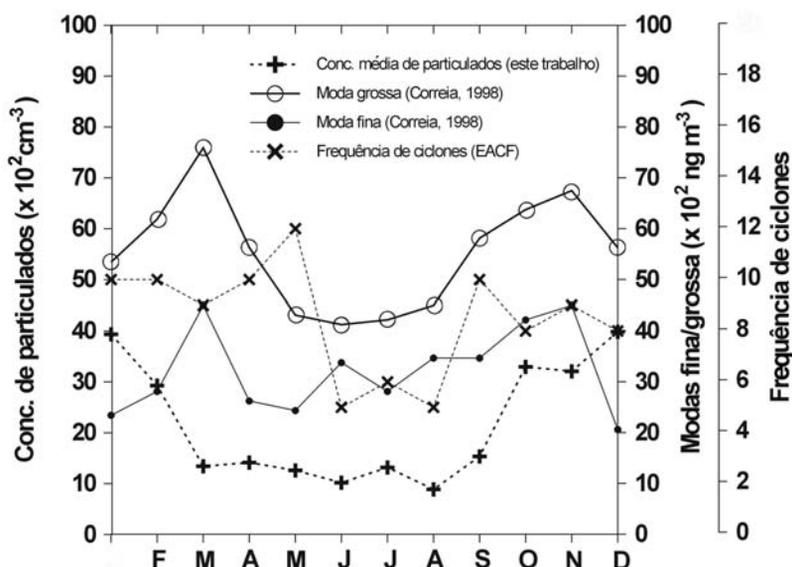


Fig. 3 – Sazonalidade para ciclones, quanto ao número e a concentração, em massa de aerossóis atmosféricos para a ilha Rei George.

nentes metálicos (Fe e Cr). O quarto é composto basicamente de SiO_2 . O quinto *cluster*, que só ocorre abaixo de 23 m eq. H_2O de profundidade, rico em Al, S e Si, com partículas de diâmetro elevado (20–70 μm), indica uma provável origem vulcânica. O *cluster* 3 representa aerossóis com provável origem marinha/litosférica, predominado os elementos S, Cl, Si e O.

CONCLUSÕES

O monitoramento dos aerossóis atmosféricos na ilha Rei George indicou padrão de sazonalidade semelhante a outras regiões da borda do continente antártico (mar de Ross, onde se situa a ilha Ross e Terra de Enderby, onde se situa a estação Syowa). Comparativamente, os valores mínimos de concentração encontrados na IRG equivalem aos valores máximos encontrados para as regiões citadas acima. O valor máximo encontrado para o verão austral da IRG é de $4,5 \times 10^3$ partículas cm^{-3} . Como já reportado para outras regiões, o comportamento sazonal observado pode estar relacionado a variabilidade na emissão de aerossóis de origem marinha e a frequência do surgimento de sistemas frontais na região. Quanto

ao aumento no número de aerossóis atmosféricos, em eventos isolados, pode ocorrer uma associação com o transporte de larga escala planetária (Evangelista 1999 inédita). Os resultados mostraram que o padrão sazonal (gradiente entre verão e inverno) é mais acentuado da borda continental antártica para as latitudes maiores. O valor encontrado para o fluxo médio de partículas depositadas na geleira Lange, de $2,1 \times 10^{-2}$ partículas $\text{cm}^{-1} \text{s}^{-1}$, é compatível ao estimado para outras regiões da Península Antártica.

Os aerossóis presentes no depósito glacial da IRG apresentaram elevada influência marinha e litosférica, com a presença de diversos tipos e morfologias de silicatos ao longo dos 30 m de testemunho de gelo analisado. A composição sugere a existência de quartzo, silicatos de alumínio-potássio, silicatos de alumínio-cálcio, silicatos de magnésio e ferro, aluminossilicatos de cálcio e magnésio, e outros mais raros, contendo Ti, Ni e Cr. Aerossóis gigantes (diâmetro longitudinal máximo na ordem de 150 μm), observados na estratificação entre 23,00 e 24,01 m eq. H_2O , podem indicar vestígios de erupções vulcânicas na vizinhança da ilha. A composição elementar destas partículas é SiO_2 , de

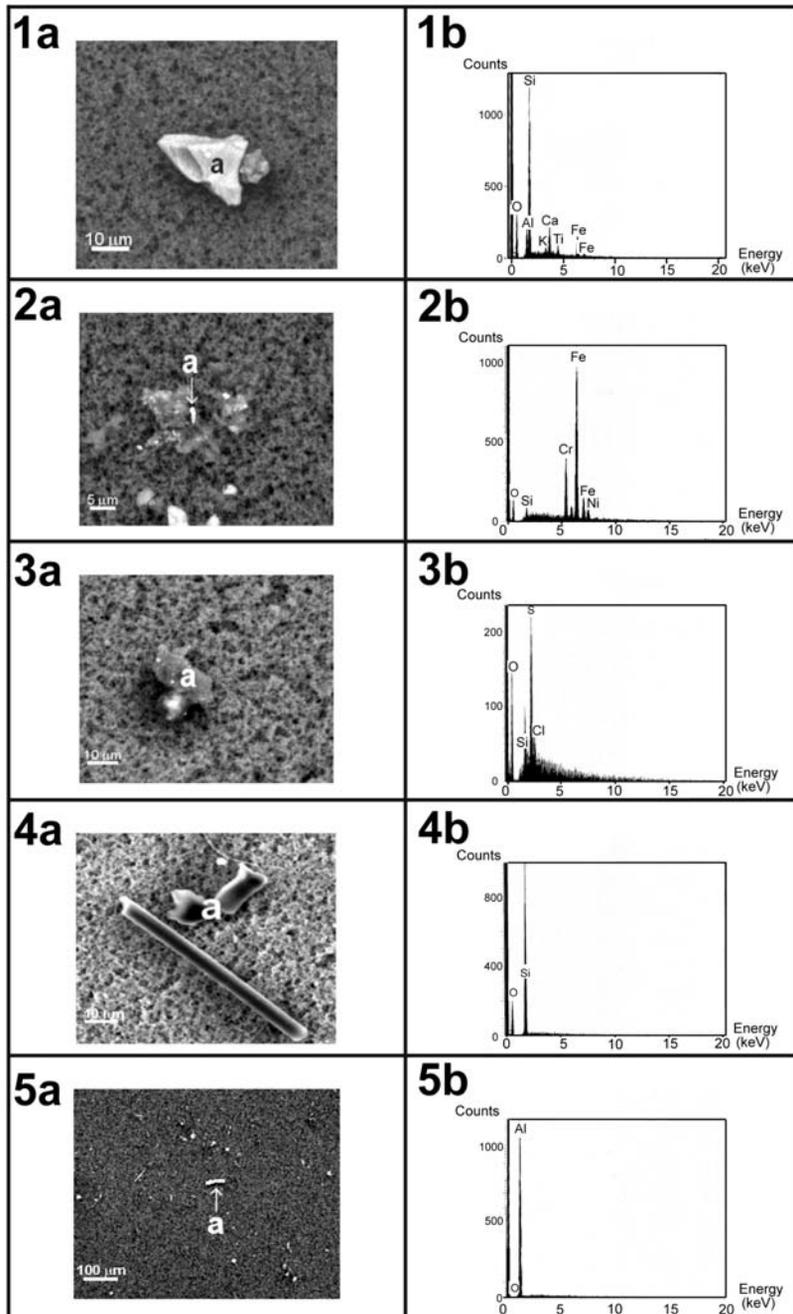


Fig. 4 – Microfotografia por MEV com EDS de aerossol presente em testemunho da calota de gelo da ilha Rei George. (1a) Partícula típica associada ao *cluster 1* e seu respectivo espectro (1b), cuja composição elementar é: Si, O, Al, Ca, Fe, K e Ti; (2a) *cluster 2* e o espectro (2b): Fe, Cr, O, Si e Ni; (3a) *cluster 3* e o espectro (3b): S, O, Si, Cl e C; (4a) partículas típicas associadas ao *cluster 4* e espectro correspondente; (4b) cuja composição elementar é: Si e O; (5a) *cluster 5* e espectro (5b): Al e O. A letra ‘a’ na figura indica a posição do alvo.

TABELA II

Agrupamento dos tipos de aerossóis encontrados e sua proporção média elementar, por *cluster*.

Tipo	Composição elementar	Proporção média elementar por cluster (%)	
"Cluster" 1			
A2	Si, O, Cl, Fe	Si = 40,9	
A3	Si, Cl, O, Ti, Fe	O = 17,2	
A4	Si, O, Fe, Cr, Ni	Fe = 12,9	
C1	Si, O, Al, Ca, Fe, K, Ti	Al = 9,8	
C2	Si, O, Al, S, Fe, K, Ti	Ca = 5,8	
D3	Si, Ca, O, Al, K, Fe, Ti	K = 4,2	
E1	Si, K, O, Al, Fe	Cl = 2,9	
F2	Si, O, Al, Cl, Ti, Fe, Mg, K	Ti = 2,6	
F6	Si, Al, O, Ca	S = 0,9	
F7	Si, O, Al, Fe, Cl, S, Ca, K, Ti, Zn	Cr = 0,6	
F8	Si, K, O, Al, Fe	Ni = 0,6	
F9	Si, Ca, O, Al, Fe	Mg = 0,5	
G1	Si, O, Al	Zn = 0,1	
H4	Si, O, Fe, Al, Ca, Ti		
H5	Si, Fe, O		
H9	Si, Ca, O, Fe, Mg, Al, K, Ti		
"Cluster" 2			
D2	Fe, Cr, O, Si, Ni	Fe = 63,0	S = 1,0
E4	Fe, Cr, O, Si, Ni	Cr = 16,0	P = 0,6
G4	Fe, O	O = 12,0	Cl = 0,4
H6	Fe, O, S, Ni, P, Cl	Ni = 5,0	
H8	Fe, Cr, Ni, O	Si = 2,0	
"Cluster" 3			
A1	Cl, Si, Ti, S, K, O, Ca	S = 24,5	Zn = 0,5
B2	Si, S, Cl, O	Cl = 21,6	P = 0,3
C4	S, O, Si, Cl, C	Si = 19,5	
E2	Si, S, O, Cl, Fe, Ti	O = 18,5	
F5	Si, S, Cl, O	Ca = 4,7	
F10	Cl, O	Fe = 4,0	
F11	S, O, Si	Ti = 2,9	
G5	Ca, Cl, S, O, Al, Zn	Al = 1,3	
H2	S, Si, O, C, Fe, Ti, P, Al, Cl, Ca	C = 1,2	
H3	S, Fe, O, Si, Cl, C, Al	K = 1,0	
"Cluster" 4			
B1	Si, O	Si = 64,4	
C3	Si, O, Mg	O = 28,3	
D1	Si, O	K = 3,1	
E3	Si, O	Mg = 1,7	
F3	Si, O	Ca = 1,3	
F4	Si, O, K	Al = 1,1	
G3	Si, O		
H7	Si, Ca, O, Al, K		
H10	Si, O		
"Cluster" 5			
F1	Al, O	Al = 55,0	Si = 6,7
G2	Al, S, O, Si	S = 23,3	
H1	S, Al, O, Si	O = 15,0	

textura escura, e associadas a particulados de elevada granulometria (moda superior a 30 μm), com alto teor de Al, S e Si.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq através do Programa Antártico Brasileiro – PROANTAR coordenado pela Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (Projetos: Aerossóis e Radioatividade na Atmosfera Antártica, Meteorologia Antártica, Dinâmica e Balanço de Massa da Geleira de Descarga Lange). Os autores agradecem o apoio logístico prestado pela Marinha do Brasil e à estagiária Letícia Rodrigues Melo do Setor de Radioecologia/LCR/UERJ pelo processamento físico das amostras de gelo.

RESUMO

A concentração e a composição elementar dos aerossóis, atmosféricos e depositados no gelo, foram investigadas na ilha Rei George (IRG), ilhas Shetland do Sul. A composição elementar na moda grossa dos aerossóis foi determinada com o emprego de um espectrômetro de dispersão em energia. As amostras foram coletadas em um testemunho de neve e firn, com 7 intervalos, da calota de gelo da IRG. Os resultados mostram a influência sistemática do aerossol marinho e crustal. Em todo o testemunho estão presentes, de forma aleatória, minerais contendo Si, Fe, Al, Zn, Ni, Ti e Cr. Partículas gigantes de aerossol, enriquecidas de enxofre, foram observadas no fundo do testemunho (abaixo de 23 m em equivalente de água), sugerindo um sinal vulcânico. Uma série temporal contínua, de dois anos de monitoramento da concentração do aerossol atmosférico na IRG (1997 e 1998), indicou um padrão sazonal similar a aqueles encontrados em outros locais subpolares e polares. Isto foi atribuído à atividade biológica marinha e à frequência de ciclones. As concentrações totais mais altas dos aerossóis na IRG, quando comparados a outros sítios antárticos, podem ser atribuídas à proximidade com o continente sul-americano e à eficiência do transporte atmosférico pelos sistemas ciclônicos regionais.

Palavras-chave: Ilha Rei George, aerossóis, testemunhos de gelo.

REFERÊNCIAS

- BASILE I, GROUSSET FE, REVEL M, PETIT J-R, BISCAYE PE E BARKOV N. 1997. Patagonian origin of glacial dust deposited in the East Antarctica (Vostok and Dome C) during Glacial Stages 2, 4 and 6. *Earth Planet Sci Lett* 146: 573–589.
- BUDD WF. 1981. The role of Antarctica in southern hemisphere weather and climate. In: YOUNG NW (Comp.), *Antarctica: weather and climate*, Victoria: Parkville, p. 13–20.
- CORREIA AL. 1998. Aerossóis Atmosféricos na Antártica: Sazonalidade, Composição Elementar e Relação com ‘El Niño’. São Paulo: Universidade de São Paulo, 145 p. Dissertação de mestrado inédita.
- DALIA KCP. 2002. Identificação de eventos de transporte atmosférico por análise de micropartículas no ar e no depósito glacial da ilha Rei George – Península Antártica. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 90 p. Dissertação de mestrado inédita.
- DICK AL. 1990. A simple model for air/snow fractionation of aerosol components over the Antarctic Peninsula. *J Atmos Chem* 11: 179–196.
- EVANGELISTA H. 1999. Um Estudo sobre o Transporte Atmosférico na ilha Rei George. Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 198 p. Tese de doutoramento inédita.
- JOJO PJ, KUMAR A, RAMACHANDRAN TV E PRASAD R. 1995. Microanalysis of Uranium in Antarctica soils samples using Fission Track method. *J Radioan Nucl Ch Ar* 91: 381–386.
- MARING H E SCHWARTZE G. 1994. A Condensation Particle Counter for long-term continuous use in the remote marine Environment. *Atm Environ* 28: 3293–3298.
- PECHERZEWSKI K. 1987. Air pollution and natural sedimentation from the atmosphere in the region of the Admiralty Bay (South Shetland Islands). *Pol Polar Res* 8: 145–151.
- PEREIRA EB. 1990. Radon-222 Time series measurements in the Antarctic Peninsula (1986–1987). *Tellus* 42B 1: 39–45.
- POURCHET M, PINGLOT F E LORIUS C. 1983. Some meteorological applications of radioactive fallout measurements in antarctic snows. *J Geophys Res* 88: 6013–6020.

- ROJAS CM, GRIEKEN R e CANTILLIANO ME. 1992. Study of antarctic aerosol X-ray fluorescence and single particle analysis. *Ser Cient Inst Antart Chil* 42: 37–45.
- ROOD MJ. 1997. Influence of Anthropogenic Aerosol on Climate at Climactically Relevant Regions, Tainan, Taiwan: Chinese Association of Aerosol Research Conference, 12 p.
- ROOS P, HOLM E e PERSSON RBR. 1994. Deposition of ^{210}Pb , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$, and ^{214}Am in Antarctic Peninsula area. *J Env Radioactiv* 24: 235–251.
- SHAW GE. 1988. Antarctic aerosols: a review. *Rev Geophys* 26: 89–112.
- SIMÕES JC, FERRON FA, BERNARDO RT, ARISTARAIN AJ, STIÉVENARD M, POURCHET M e DELMAS RJ. 2004. Ice core study from the King George Island, South Shetlands, Antarctica. *Pesq Antart Bras* 4: 9–23.
- WEAST RC (Ed.). 1986. Handbook of Chemistry and Physics, 1985–1986, 66^a ed, Boca Raton: CRC Press.
- WOLFF EW e CACHIER H. 1998. Concentrations and seasonal cycle of black carbon in aerosol at a coastal Antarctic station. *J Geophys Res* 103: 11033–11041.