

ANÁLISIS GEOQUÍMICO DE TESTIGOS DE HIELO PROVENIENTES DE TRAVESÍA ANTÁRTICA- RESULTADOS PRELIMINARES

**Daiane F. Hammes¹, Jefferson C. Simões¹, Masiel S. Cerón²,
Maria Â. R. Santos¹, Rosemary Vieira¹.**

RESUMEN

En este trabajo se presenta la metodología empleada para muestras de hielo y nieve y su análisis de tipo químico, con el objeto de reconstruir tanto la historia climática como la composición química de la atmósfera a partir de testigos de hielo obtenidos por perforación del manto de hielo. El derretimiento y sub-muestreo de los testigos (secciones de 1 metro) fue realizado en uno sistema de derretimiento continuo y automatizado (desarrollado por investigadores del *Climate Change Institute* (Universidad de Maine, EUA) que permite obtener simultáneamente muestras para análisis geoquímicos, incluyendo la determinación de elementos traza por Espectrometría de Masas por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), del contenido iónico por Cromatografía Iónica (IC) y la determinación de isótopos estables de hidrógeno y oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$ y δD) por Espectrometría de Masas de Proporción Isotópica (IR-MS). Este trabajo se basa en el análisis de 2 de 6 testigos colectados, de los cuales se tiene parte de los datos obtenidos en el análisis químico realizado por cromatografía iónica (concentraciones iónicas promedio) para los testigos IC-5 (42.5 m; 82°30.5'S, 79°28'W) e IC-6 (36 m; 81°03'S, 79°51'W), correspondientes a los primeros 10 m de profundidad; los cuales aún están siendo analizados.

Palabras clave: Testigo de hielo, Antártica, geoquímica

GEOCHEMICAL ANALYSIS OF ICE CORES FROM SOUTH POLE TRAVERSE - PRELIMINARY RESULTS

ABSTRACT

Two ice cores, IC-5 (82°30.5'S, 79°28'W, 950 m a.s.l.; 42.5 m) and one IC-6 (81°03'S, 79°51'W, 750 m a.s.l.; 36 m) were collected as part of the 2004/2005 Chilean (with Brazilian collaboration) ITASE traverse from Patriot Hills to the South Pole. Mean accumulation rates in water equivalent calculated for the upper 10 m at the IC5 site is 0.37 m a⁻¹ and 0.33 m a⁻¹ at the site IC6. Coregistered samples (1595 for IC5 and 1368 for IC6) were obtained using a discrete continuous melter system with a pure nickel melt head at the Climate Change Institute under class 100 clean room conditions. All samples were analysed by ion chromatography (IC), inductively coupled plasma field mass spectrometry (ICP-MS), and stable isotope ratio mass spectrometry (IRMS).

Keywords: Ice core, glaciochemical, Antarctic

¹Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas – (NUPAC)/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Instituto de Geociências, Porto Alegre, RS, Brasil, daiane Hammes@yahoo.com.br.

²Centro de Estudios Científicos CECS, Valdivia, Chile.

INTRODUCCIÓN

Brazil forma parte del proyecto de *International Trans-Antartic Scientific Expedition* (ITASE) (FIGURA 1) en conjunto con veinte países, la cual tiene por objetivo investigar como el ambiente atmosférico moderno está representado en las capas superficiales del casquete de hielo antártico en la escala espacial de los últimos 200 años, pues se registra una gran influencia antropogénica desde finales de la Pequeña Edad del Hielo (*Little Ice Age*) (Bernardo & Simões 2006).

Este trabajo presenta una metodología empleada para muestras de hielo y nieve, que incluye varios análisis de tipo químico con el objeto de reconstruir tanto la historia climática como la composición química de la atmósfera a partir de testigos de hielo recolectados en Antártica (cilindros de 7,5 centímetros de diámetro), obtenidos por perforación del manto de hielo.

Fueron colectados testigos de hielo rasos (*ice cores*) cada 100 Km por un equipo chileno-brasilero en la travesía desde la estación chilena Teniente Parodi (80°18,2'S, 81°23,3'W) en Patriot Hills hasta el Polo Sur Geográfico (a lo largo de 1.150 km) durante el verano austral 2004/2005 (FIGURA 1).

METODOLOGIA

Durante dicha travesía fueron colectados 6 testigos de hielo rasos (hasta 46 m de profundidad), 105 muestras superficiales recolectadas cada 10 km de distancia, y 1 trinchera en la superficie de la nieve (89° S). Este trabajo se basa en el análisis de 2 de los 6 testigos.

De acuerdo a las bajísimas concentraciones de impurezas existentes en el hielo y la nieve polar rigurosos protocolos de muestreo y descontaminación son requeridos antes de realizar los análisis químicos. Los testigos de la travesía, con secciones aproximadas de 1 m de longitud y 7,5 cm de diámetro, permanecen almacenados en cajas aislantes en una cámara fría (-20 °C) en el *Climate Change Institute* (Universidad de Maine, EUA) hasta el momento de su pretratamiento analítico.

Primeramente, los testigos pasan por un proceso de descontaminación, consistente en la remoción física de 2 a 4 mm de su capa externa con un cuchillo de cerámica, realizado en una mesa de trabajo con flujo laminar horizontal que se encuentra dentro de la cámara fría (-20°C) (FIGURA 2).

Posteriormente cada sección de 1 metro fue embalada en cilindros plásticos especiales, siendo transportadas a un laboratorio limpio donde se realizó su fusión en

sistema de derretimiento continuo. En tanto, algunos de los testigos superficiales presentaron problemas durante la fase de descontaminación debido a la falta de consistencia del hielo, que ocasionó problemas en la conservación de los mismos, principalmente porque estaban en el fondo de las cajas debajo de fracciones más densas. El procedimiento empleado para estas secciones fue efectuado de acuerdo a lo establecido: descontaminación por remoción de la capa externa del testigo por raspaje, cortes en fracciones de 5 cm, almacenamiento en envases plásticos prelavados y posterior descongelamiento en los mismos envases a temperatura ambiente (FIGURA 3).

Las secciones de 1 metro en buen estado de conservación posteriormente a su descontaminación fueron embaladas y transportadas a un laboratorio limpio (CLASE 100), fundiéndose en un sistema de derretimiento continuo. Los procedimientos de laboratorio fueron realizados entre mayo y junio de 2007. Cabe decir que este sistema de fusión fue desarrollado por investigadores del *Climate Change Institute* (Universidad de Maine, EUA) (Osterberg *et al.*, 2006).

De acuerdo con el diseño de Osterberg *et al.* (2006), este innovador sistema de fusión permanece en un refrigerador a -20°C, cuenta con un disco de Ni 270 (>99,99% Ni) y con un cono (Ni) montados sobre una base de aluminio. El disco cuenta con ranuras dirigidas hacia el centro, un anillo separador de 1 mm de alto y un agujero central (FIGURA 4 c). Las ranuras permiten el flujo del líquido hacia abajo del disco sobre el cual ocurre la fusión. El anillo separador en medio del disco separa físicamente dos canales (FIGURA 4 b), uno **externo**, por donde fluye la muestra proveniente de la fracción externa del testigo (cerca de 2 cm de espesor), potencialmente contaminada, la que se utiliza para los análisis correspondientes a determinaciones isotópicas, y uno **interno**, no contaminado, proveniente del núcleo interno del testigo (diámetro 2,5 cm), direccionado para análisis iónico y de elementos traza (FIGURA 4 d y e). Durante el proceso, el testigo es puesto verticalmente sobre el disco de Ni respetando la secuencia estratigráfica, esencial para la interpretación paleoambiental (FIGURA 4 a).

Este sistema automatizado permite obtener simultáneamente muestras para análisis geoquímicos, incluyendo la determinación de elementos traza por Espectrometría de Masas por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), del contenido iónico por Cromatografía Iónica (IC) y la determinación de isótopos estables de hidrógeno y oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$ y δD) por Espectrometría de Masas de Proporción Isotópica (IR-MS). Así, para muestras de nieve superficial,

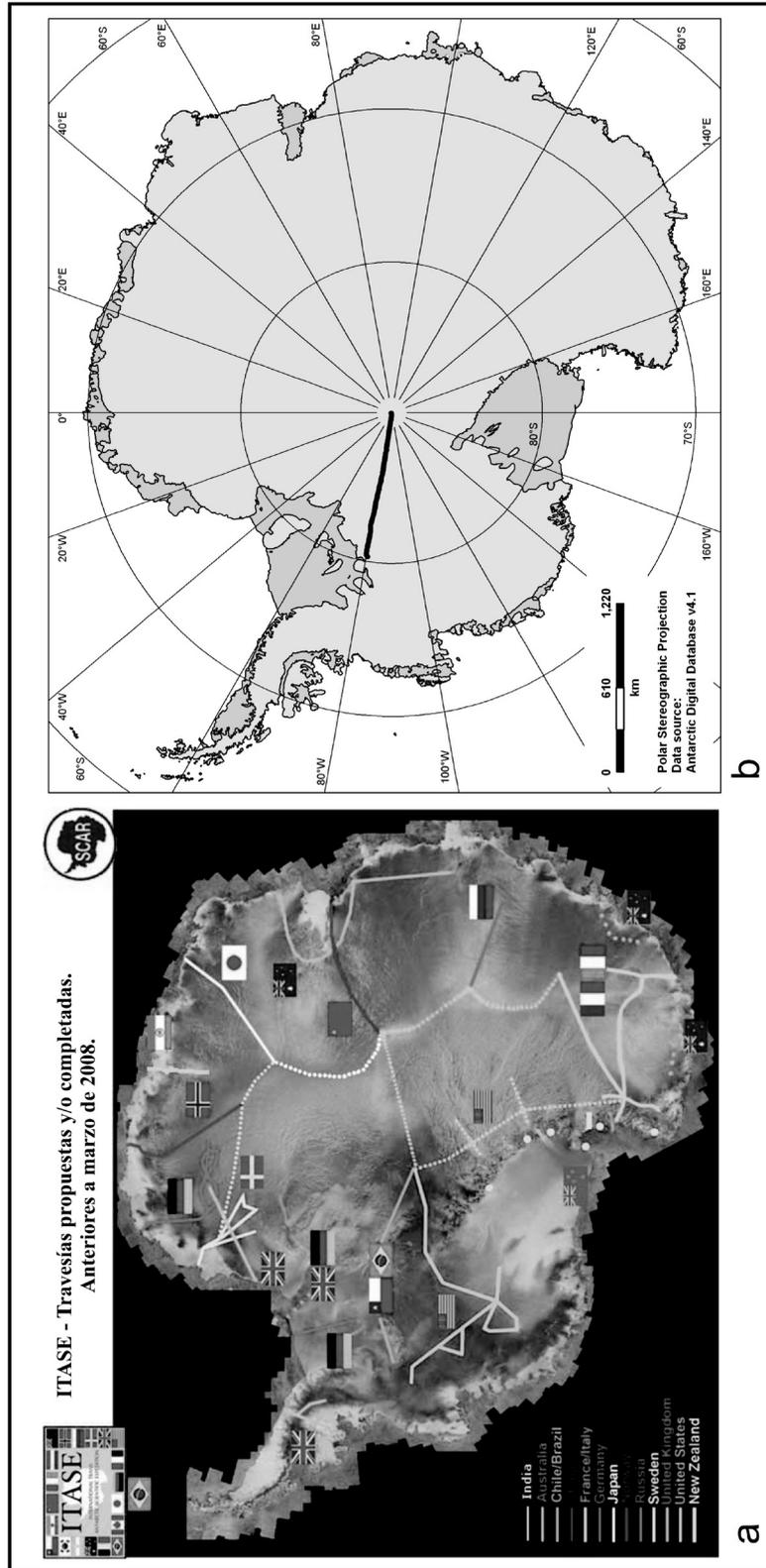


FIGURA 1. a) Travesías propuestas y/o completadas anteriores a marzo de 2008. (<http://www2.umaine.edu/itase/content/maps/map.html>). **b)** Recorrido por chilenos y brasileños, donde se colectaron seis testigos de hielo, los cuales fueron numerados desde el Polo Sur Geográfico en dirección oeste.

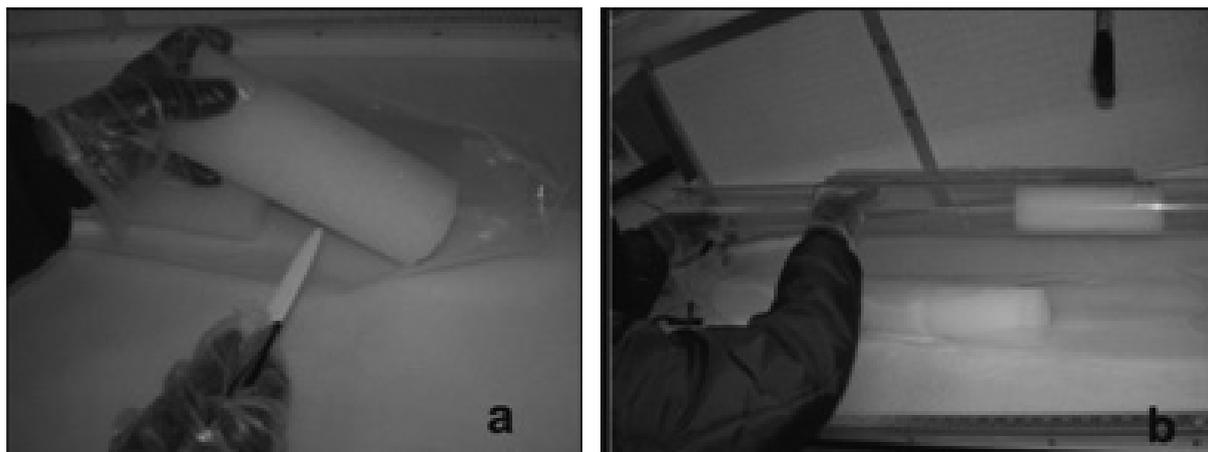


FIGURA 2. a) Mesa de flujo laminar dentro de cámara fría para sub-muestreo de los testigos. b) Disposición en tubos plásticos adaptados para sistema de fusión.



FIGURA 3. Descontaminación, fraccionamiento y almacenamiento en envases plásticos prelavados para testigos superficiales.

testigos superficiales (no consistentes) y de trinchera, el derretimiento fue realizado en el propio envase (en bolsas plásticas selladas) de recolección (previamente lavado con agua Milli-Q) a temperatura ambiente. El sub-muestreo de éstas fue realizado manualmente en una sala limpia y, debido al mayor riesgo de contaminación, sólo fueron determinadas las más altas concentraciones iónicas y las razones isotópicas.

RESULTADOS OBTENIDOS

En el momento de enviar este trabajo fueron obtenidos solamente parte de los datos referentes al análisis químico realizado por cromatografía iónica para los testigos IC6 e IC5, los cuales están siendo analizados. En el gráfico 1 (FIGURA 5), se resumen los resultados del análisis por cromatografía iónica (concentraciones iónicas promedio) para los primeros 10 m de testigos de hielo respectivos (IC5 e IC6).

Aún los resultados de concentraciones iónicas promedio determinadas por Cromatografía Iónica para Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} (IC5 e IC6) y Cl^-/Na^+ ratio (2.25; IC5 y 2.51; IC6) concuerda con la distribución espacial Antártica resumida por Bertler et al. (2006). La acumulación en el equivalente del agua calculado para los 10 m superior en el sitio IC5 son 0.37 m a^{-1} y 0.33 m a^{-1} en el sitio IC6.

CONCLUSIONES

Se espera contribuir en la investigación ambiental que ha venido desarrollándose en Antártica, colaborando así en el entendimiento de la evolución del clima global y su impacto en el medio ambiente. A través

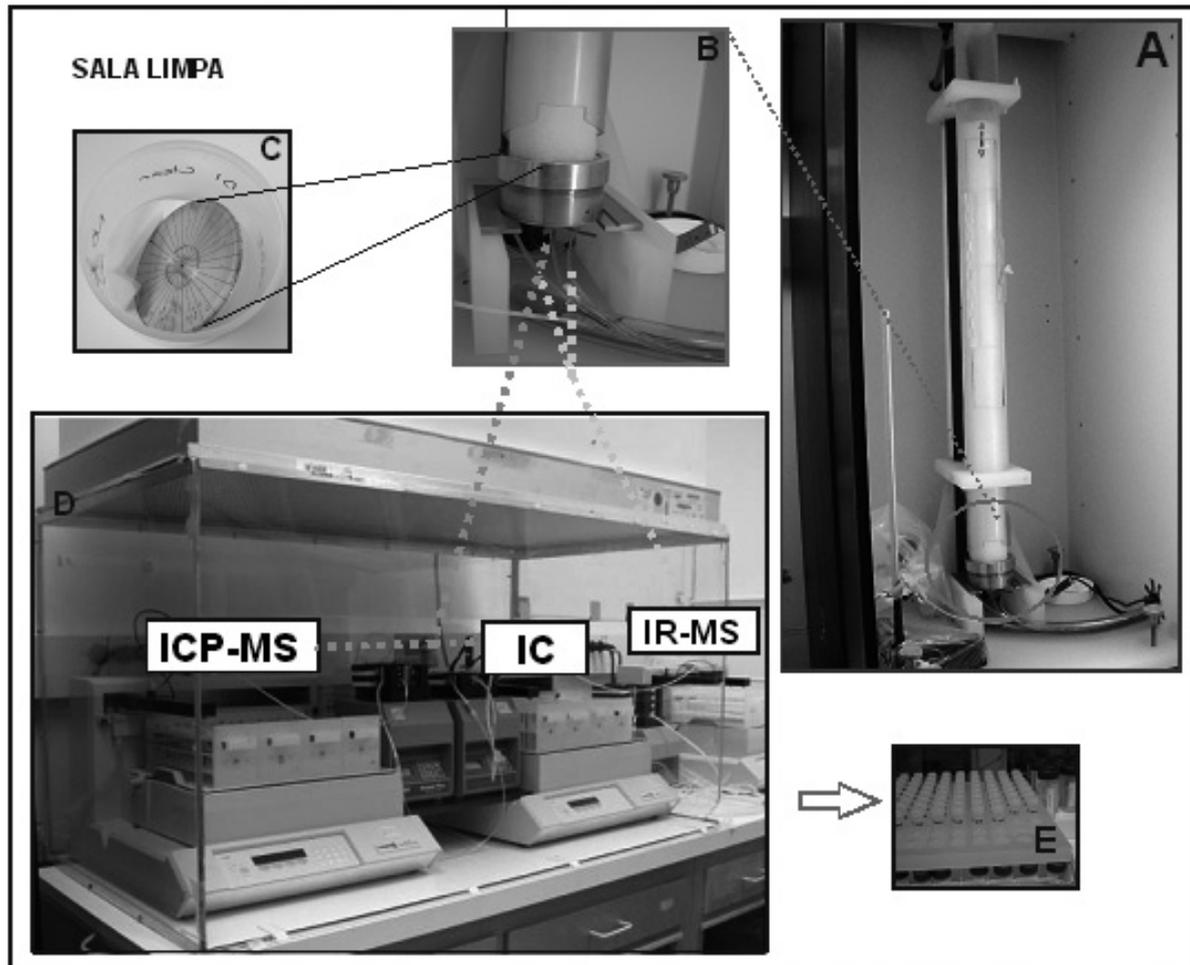


FIGURA 4. Sistema de fusión continuo utilizado en sala limpia (clase 100) para sub-muestreo (IC, ICP-MS e IR-MS) de Testigos de hielo. a) Congelador (-20°C) donde ocurre el proceso de fusión del Testigo. b) Derretimiento y separación física de porción interna y externa del testigo. c) Disco de Ni después del proceso de lavado. d) Bombeo y goteo del testigo (derretido) nos respectivos frascos para diferentes análisis. e) Envases debidamente embalados y etiquetados para posteriores análisis específicos.

TABLA 1. Resumen de los resultados de concentraciones iónicas promedio determinadas por Cromatografía Iónica para 10 metros respectivos.

Local Latitud	Na^+ ($\mu\text{g/L}$)	K^+ ($\mu\text{g/L}$)	Mg^{2+} ($\mu\text{g/L}$)	Ca^{2+} ($\mu\text{g/L}$)	CH_3SO_3^- ($\mu\text{g/L}$)	Cl^- ($\mu\text{g/L}$)	NO_3^- ($\mu\text{g/L}$)	SO_4^{2-} ($\mu\text{g/L}$)
IC6 81°	62,1	3,83	9,87	16,93	11,7	155,21	62,16	67,61
IC5 82°	65,11	4,05	8,36	20,05	1,34	136,23	48,49	50,54

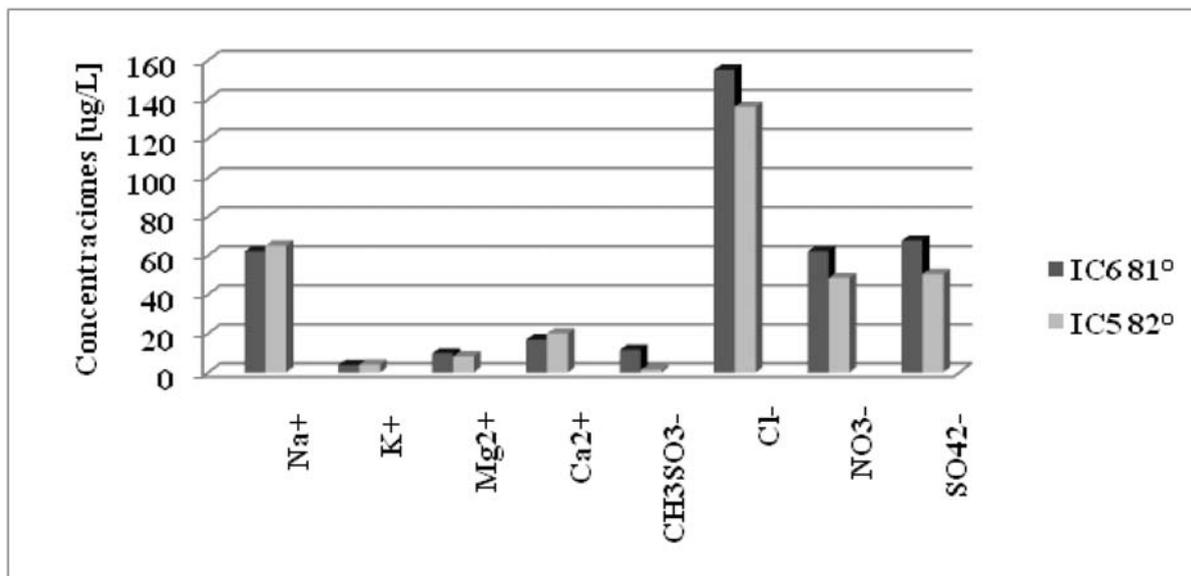


FIGURA 5. Composición promedio de testigos de hielo IC5 e IC6 determinadas por Cromatografía Iónica para los 10 metros respectivos.

de los datos obtenidos se pretende conferir cual es la variabilidad espacial del clima antártico correlacionando posteriormente (proyecto en curso) los datos obtenidos a partir de testigos, trinchera y muestras superficiales.

AGRADECIMIENTOS

Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas – (NUPAC) Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Cnpq). Programa Antártico Brasileiro (Proantar)

REFERENCIAS

Alencar, a., Evangelista, h., Felzenszwalb, i., Simões, j. C., De Angelis, m., Vimeux, f. 2007. Análise glacioquímica de testemunhos de neve e gelo da ilha Joinville, Península Antártica: aplicações no estudo da variabilidade do gelo marinho e da produtividade primária na região In: XV Simpósio Brasileiro sobre Pesquisa Antártica, 2007, São Paulo. Programas e Resumos do XV Simpósio Brasileiro sobre Pesquisa Antártica. São Paulo: IGeo USP. (1): 56 – 56.

Bernardo, R. T. 1999. Conteúdo aniônico da neve e do gelo da Ilha Rei George, Antártica. Porto Alegre. 100p. Dissertação de mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Bernardo, R. T., Simões, J. C. 2006. Glacioquímica e a contribuição brasileira ao ITASE (International Trans-

Antarctic Scientific Expedition) In: A pesquisa sul-riograndense na Antártica, 2006. Porto Alegre. Programa e Resumos do encontro. Porto Alegre, RS: Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas - UFRGS, (1): 10 – 10.

Bernardo, R.T. & Ferron, F.A. 2003. Estudo de impurezas na neve e no gelo da ilha Rei George (Antártica) em amostragem sob condições ultralimpas. In: XI Seminário sobre pesquisa Antártica. Livro de resumos. USP. São Paulo, Livro de resumos, p. 36. 33. Bertler et al. (2006).

Ferron, F. A., Bernardo, R.T. & Simões, J. C. 2000. Isótopos estáveis e química iônica da cobertura glacial da Ilha Rei George (Shetlands do Sul, Antártica) como indicadores de parâmetros ambientais. Pesquisas em Geociências, 28 (2):343–357.

Ferron, F. A. 1999. Variações nas razões de isótopos estáveis na neve e no gelo da Ilha Rei George, Antártica. Porto Alegre. 125p. Dissertação de mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Hammes, D.F., Viera, R., Simões, J. C., Reis dos santos, M. A., Ceron, M. S. 2007. Preparação de amostras para análise geoquímica de testemunhos de gelo na Antártica In: XV Simpósio Brasileiro sobre Pesquisa Antártica, 2007, São Paulo. Programas e Resumos do XV Simpósio Brasileiro sobre Pesquisa Antártica. São Paulo: IGeo USP, (1): 20 - 20.

Legrand, M. & Mayewski, P. 1997. Glaciochemistry of polar ice cores: a review. *Reviews of Geophysics*, 35(3): 219-243.

Mayewski, P.A. 1996, US ITASE: Science and Implementation Plan. <http://www2.umaine.edu/USITASE/>, acessado em 23 de março de 2008.

Osterberg, E.C., Handley, M.J., Sneed, S.B., Mayewski, P.A., Kreutz, K.J. 2006. Continuous Ice Core Melter System with Discrete Sampling for Major Ion, Trace Element, and Stable Isotope Analyses. *Environ. Sci. Technol.*, 40(10): 3355 – 3361.

Simões, J. C. 1990. Environmental Interpretation from Svalbard Ice Cores. Cambridge, 236p. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy, Scott Polar Research Institute, University of Cambridge.

Simões, J. C. ; Petit, J.R. ; Souchez, R. ; Lipenkov, V. YA. ; De Angelis, M. ; Liu, L. ; Jouzel, J. ; Duval, P. 2002. Evidence of glacial flour in the deepest 89 m of the glacier ice from Vostok core. *Annals of glaciology*, Cambridge, (35): 340-346

Simões, J.C., Ferron, F.A., Bernardo, R.T., Aristarain, A.J., Stievenard, M., Pourchet, M. 2004. Ice core study from King George Island ice cap, South Shetlands, Antarctica. *Pesquisa Antártica Brasileira*, (4): 9-23.

Simões, J. C. O registro da evolução da química atmosférica e da variabilidade climática nos testemunhos de gelo In: XI Congresso Brasileiro de Geoquímica, 2007, Atibaia. CD Geoquímica no Ano Internacional do Planeta Terra - Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geoquímica, 2007. (1):1 – 2.

Trabajo recibido: Junio 22 de 2009

Trabajo aceptado: Octubre 16 de 2009