

## **Análisis Sedimentológico y geomorfológico de áreas lacustres en la Península Fildes, Isla Rey Jorge, Antártica Marítima**

**Rosemary Vieira<sup>1</sup>, rosemaryvieira@id.uff.br; Humberto Marotta<sup>1</sup>; Kátia Kellem da Rosa<sup>1,2</sup>; Ricardo Jaña<sup>3</sup>; Carolina Lorenz Simões<sup>2</sup>; Enoil de Souza Júnior<sup>2</sup>; Fabrício Ferreira<sup>1</sup>; Liliane Ronquette Santos<sup>1</sup>; João Victor dos Santos<sup>1</sup>; Marcos Aurélio Perroni<sup>1</sup>; Matheus Gonçalves<sup>1</sup>; João Pedro Farias Santos<sup>1</sup>; Raphael Issa Rodrigues<sup>1</sup>; Janaína Cynthia Medeiros Galvão<sup>1</sup>; João Paulo de Sá Felizardo<sup>4</sup>**

### **RESUMEN**

Son analizados los rasgos geomorfológicos y las características sedimentológicas de cinco conjuntos de testigos rasos recolectados en lagos de la Península Fildes, isla Rey George. La geomorfología y los sedimentos fueron obtenidos y analizados en las actividades de campo durante la Operación Antártica XXXI (marzo/abril de 2013), del Programa Antártico Brasileño. Se realizaron análisis biogeoquímicos de parámetros físicos de la composición mineralógica, distribución granulométrica, características macroscópicas de los sedimentos e imágenes de satélite. Análisis preliminares de los sedimentos indican variaciones climáticas y ambientales en el transecto norte-sur de la península. La composición mineralógica se asocia a la estructura geológica del área, en donde predominan rocas basálticas. La variación granulométrica refleja los distintos ambientes fuente de los sedimentos. Los análisis macroscópicos y de composición mineralógica reflejan la variación de la acción del intemperismo a lo largo de la península. Los sedimentos presentan potencial de mineralización y consecuente liberación de gases del efecto invernadero. Se presenta un mapa preliminar de la clasificación de los lagos. Además, se identificó que el sedimento de un humedal presenta tasas de producción de metano (CH<sub>4</sub>) alrededor de 40 veces mayores y más sensibles al efecto del calentamiento global en comparación al de un lago. Sedimentos de ecosistemas acuáticos subpolares de la Antártica Marítima pueden constituir sitios preferenciales para el estudio de los efectos de variabilidad climática.

**Palabras Clave:** Antártica, Península Fildes, sedimentología, biogeoquímica, lagos

## **Sedimentological and geomorphological analysis of lacustrine areas of Fildes Peninsula, King George Island, Maritime Antarctica**

### **ABSTRACT**

Geomorphological features and sedimentary characteristics are analyzed from five sets of shallow sediment cores collected in lakes in the Fildes Peninsula, King George Island. The geomorphology of the area was observed and sediments samples were obtained at field activities during the XXXI Brazilian Antarctic Operation (March-April/2013). Biogeochemical characteristics, physical parameters, mineralogical composition, particle size distribution, macroscopic characteristics of the sediments and satellite images were analyzed. Preliminary results indicate climatic and environmental changes in north-south transect of the peninsula. The mineralogical composition is associated with geological structure of the area, where basaltic rocks predominate. The particle size variation reflects different sediment source environments. Macroscopic analysis and mineralogical composition variation reflect the action of weathering along the peninsula. The sediments also have potential mineralization and subsequent release of greenhouse gases. A preliminary map of the classification of the lakes is presented. In addition, it was identified that wetland sediment presents methane production rates (CH<sub>4</sub>) about 40 times larger and more sensitive to the effect of global warming compared to lake sediment. Subpolar aquatic ecosystems sediments from Maritime Antarctica can be a preferential site for the effects of climate variability.

**Keywords:** Antarctica, Fildes Peninsula, sedimentology, biogeochemistry, lakes

Recibido el 15 de marzo de 2015, aceptado el 30 de mayo de 2015.

<sup>1</sup> Laboratório de Processos Sedimentares e Ambientais (LAPSA), Programa de Pós-Graduação em geografia (POSGEO/UFF), UFF - Instituto de Geociências - Depto de Geografia. Av. Gal. Milton Tavares de Souza, s/n Campus da Praia Vermelha, Boa Viagem - Niterói/RJ - Brasil.

<sup>2</sup> Centro Polar e Climático (CPC), UFRGS - Instituto de Geociências - Depto de Geografia. Porto Alegre/RS - Brasil.

<sup>3</sup> Instituto Antártico Chileno (INACH), Punta Arenas - Chile.

<sup>4</sup> Laboratório de Biogeoquímica, UFRJ - Instituto de Biologia - Depto de Ecologia, Rio de Janeiro/RJ - Brasil

## INTRODUCCIÓN

Estudios sobre variabilidades paleoambientales son importantes para estimar la influencia de cambios ambientales actuales y futuros inducidos por factores naturales y/o por las actividades humanas. En la actualidad, la información sobre esas variabilidades son obtenidas en gran parte a través del análisis de testigos de hielo en regiones de elevada latitud y altitud, y por el análisis de formas y sedimentos terrestres, marinos y lacustres (LEVENTER *et al.* 1993; DOMACK *et al.* 1995; RATHBURN *et al.* 1997; KIRBY *et al.* 1998; YOON *et al.* 2000; TATUR *et al.* 2004).

Los lagos son considerados importantes archivos paleoclimáticos y paleoambientales ya que están sujetos a múltiples fuerzas que regulan su historia, tales como el clima, basamento rocoso, actividad tectónica y volcánica, vegetación, biota acuática y actividad humana. En consecuencia, conservan los registros disponibles para el estudio e interpretación de esa historia. Los ecosistemas lacustres presentan una rápida y continua acumulación, con discriminación de eventos en escala temporal de cientos a miles de años (COHEN 2003; BERTRAND *et al.* 2005).

Los sedimentos lacustres igualmente representan un importante sitio para la acumulación y preservación de carbono orgánico en escala global, capturando más carbono (C) anualmente que los sedimentos oceánicos (TRANVIK *et al.* 2009). La materia orgánica de origen terrestre o acuático puede ser mineralizada y liberar gases de C por el metabolismo biológico intenso en los lagos (MAROTTA *et al.* 2014). El Metano (CH<sub>4</sub>) es un gas producido por la degradación de la materia orgánica, y posee la reconocida propiedad de intensificar el calentamiento global por efecto invernadero (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE 2007). De esa forma, los aportes terrestres de C, una vez mineralizado en la forma gaseosa (JONES

& MULHOLLAND 1998; MAROTTA *et al.* 2010) o de materia orgánica, subsidiando la producción de gases de C (DUARTE & AGUSTI 1998; BASTVIKEN *et al.* 2003; DUARTE & PRAIRIE 2005; SOBEK *et al.* 2005), tornan los lagos fuentes notables de CO<sub>2</sub> (COLE *et al.* 1994, 2007, MAROTTA *et al.* 2009; RAYMOND *et al.* 2013) y de CH<sub>4</sub> (BASTVIKEN *et al.* 2004; BERGSTREOM *et al.* 2007; TRANVIK *et al.* 2009) a la atmósfera.

La temperatura es reconocidamente una de las condiciones más importantes para la actividad biológica (BROWN *et al.* 2004; DILLON *et al.* 2010). Por consiguiente, el aumento de la temperatura tiene un rol importante para la intensificación de la liberación de gases de C por descomposición biológica, aunque otros factores, destacando la cantidad y calidad de los sustratos orgánicos, puedan también interferir en la magnitud de esos efectos (DAVIDSON & JANSSENS 2006). Las regiones polares y subpolares son áreas del planeta sujetas a los mayores aumentos de temperatura (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007), convirtiéndose en reservas de C susceptibles a la mineralización. En los sedimentos lacustres, los procesos de degradación anaeróbica de la materia orgánica pueden ser importantes debido a la escasez de oxígeno a los primeros milímetros (SOBEK *et al.* 2009).

En los días actuales la región de la Península Antártica es la que presenta las elevaciones más rápidas en la temperatura media del aire en todo el hemisferio sur, comparable al rápido calentamiento de las regiones del Ártico (VAUGHAN *et al.* 2003, HANSEN *et al.* 2010). La temperatura media se ha elevado en torno de 2,8°C a 3,5°C en los últimos cincuenta años (TURNER *et al.* 2005; HANSEN *et al.* 2010). Una evidencia de estos procesos es el incremento de las plumas de sedimentos en suspensión en los ambientes glaciolacustres y glaciomarinos. Sin embargo, los efectos del calentamiento

sobre los sedimentos de los lagos de las regiones de latitudes subpolares son todavía poco conocidos.

Estudios de sedimentos lacustres en islas antárticas y subantárticas han presentado importantes resultados sobre la variabilidad climática en ambientes relativamente poco alterados por la acción humana a lo largo del Holoceno, como en las islas Livingstone (BJÖRCK *et al.* 2001), James Ross (INGOLFSSON *et al.* 1992), Rey George (ROBERTS *et al.* 2001) y Georgia del Sur (MORETON *et al.* 2004). Dichos estudios, integrados a investigaciones estratigráficas y geomorfológicas, han posibilitado contrastar periodos y variaciones climáticas. Las islas Shetland del Sur, separadas de la Península Antártica por el Estrecho de Bransfield, es el área de clima más ameno de la Antártica. El promedio de la temperatura de verano en la isla Rey Jorge (la más grande del archipiélago) es de 2°C (DOMACK & ISHMAN 1993). La principal forma de precipitación es la nieve, aunque haya considerable precipitación líquida durante el verano, especialmente en las áreas de menor altitud (VOGT & BRAUN 2004). Procesos de fusión ocurren también durante el invierno, debido a la advección de masas de aire húmedas y cálidas (RACHLEWICKS 1997). Por lo tanto, el régimen hidrológico es dominado por la descarga de agua de fusión (VOGT & BRAUN 2004), la cual tiene un importante rol en la dispersión de sedimentos en el ambiente proglacial (subaéreo y lacustre) y glaciomarino (GRIFFITH & ANDERSON 1989). El retroceso de los glaciares ha generado nuevos ambientes lacustres y terrestres, dejando expuestos los depósitos y rasgos en la zona proglacial terrestre, y en el fondo de lagos y lagunas, secuencias de depósitos sedimentares (DOWDESWELL *et al.* 2004; 2006).

Las actividades en terreno en la isla Rey George fueron realizadas durante las Operaciones Antárticas (OPERANTAR XXII - verano 2003/2004), OPERANTAR XXVI (verano 2007/2008), OPERANTAR

XXVIII (verano 2009/2010) y OPERANTAR XXIX (verano 2010/2011) y han posibilitado profundizar los estudios geomorfológicos y sedimentológicos en la zona proglacial de los glaciares Ecology y Wanda (VIEIRA *et al.* 2004; VIEIRA *et al.* 2005; ROSA *et al.* 2009; 2010a). Fueron identificados diversos tipos de depósitos y rasgos, aparte de áreas espesas de acumulación de detritos basales. Esa observación indica que grandes cantidades de material detrítico glacial son liberadas de la base de los glaciares, aportando material en suspensión a los ecosistemas lacustres y marino a través de canales de fusión, procesos que ya han sido medidos y monitoreados. Muestras en la ensenada Martel y Mackellar (PICHLMAIER *et al.* 2004; ROSA *et al.* 2010) indican elevada concentración de sedimentos en suspensión, movilizados por el agua superficial y transportados al ambiente glaciomarino, y cuya variación temporal está asociada a la elevación de la descarga de agua dulce y de la denudación, aparte de la acción de los vientos y corrientes. De esta manera se puede entender que la relación entre clima y deposición glacial es también vital para descifrar la variabilidad y cambios climáticos a partir de los registros sedimentarios.

Esa investigación presenta datos preliminares que identifican variabilidades climáticas y ambientales mediante estudios geomorfológicos y sedimentológicos en las áreas lacustres de la Península Fildes, isla Rey George, Antártica Marítima, incluyendo experimentos sobre los efectos de escenarios de calentamiento en la descomposición orgánica anaeróbica de los sedimentos lacustres.

## AREA DE ESTUDIO

La Península Fildes (62°08'/62°14' S - 59°02'/58°51' W) está localizada en el sudoeste de la isla Rey Jorge, la más extensa del archipiélago de las Shetland del Sur (Fig. 1), con aproximadamente 1.400 km<sup>2</sup> (PETER *et al.* 2008).

Cerca de 29 km<sup>2</sup> de la Península Fildes son áreas libres de hielo. La península está limitada a noreste por el glaciar Collins, al norte y oeste por el Paso de Drake, por la bahía Maxwell al sureste y por el Estrecho Fildes al sur. El relieve de la península está caracterizado por áreas influenciadas directamente por el glaciar Collins, al norte, con lagos proglaciales y depósitos glaciales aún recientes, mientras que en la parte central y sur dominan los rasgos periglaciales, modificadas por la acción de otros agentes, como el viento, fusión de nieve, precipitaciones líquidas, actividad de las vertientes y las acciones marinas. Los sectores más elevados no superan los 170 metros de altitud y los valles se direccionan hacia la ensenada Maxwell y el paso de Drake (PETER *et al.* 2008).

Se registra actividad volcánica en varios sitios de la isla, predominando los depósitos volcánicos y volcanoclasticos. Gran parte de la península está cubierta principalmente por lavas basálticas y en proporciones pequeñas por lavas andesíticas y dacíticas (SMELLIE *et al.* 1984).

La península Fildes está entre una de las primeras áreas expuestas de las islas Shetland del Sur posteriormente al Último Máximo Glacial (entre 20.000 y 18.000 años AP). BARSH & MAÜSBACHER (1986) dataron los sedimentos de las playas elevadas de la península, deduciendo una deglaciación en la isla tras 6.000 años AP. HALL *et al.* (2010) concluyeron, a partir de la datación de musgos en morrenas en la zona frontal y lateral del glaciar Collins, que la posición del frente del glaciar ha estado relativamente estable y no ha retrocedido más que unas pocas decenas de metros en el Holoceno Tardío.

HALL *et al.* (2010) consideran que esa relativa estabilidad del glaciar, que tiene forma cóncava, ocurre porque el glaciar no termina en el mar, como en otras partes de la isla, donde algunos de los glaciares alcanzan los fiordos y presentan mayor sensibilidad a los cambios climáticos. Sin

embargo, estudios recientes revelan que el glaciar ha presentado retroceso continuo y elevación de la altura de la línea de nieve en el período 1983–2006, como respuesta a la tendencia de ascenso regional de la temperatura del aire. Dichos cambios pueden estar relacionados igualmente al incremento de precipitación líquida y al aumento del número de grados de días de fusión (SIMÕES 2014).

Debido a la historia glacial y neotectónica la península Fildes posee un gran número de playas elevadas y cuencas aisladas en altitudes inferiores a 20 metros, concentrando de esa manera gran cantidad de lagos, humedales y depósitos del período holocénico (WATCHAM *et al.* 2011). Procesos geomorfológicos actualmente activos, como nivación, soliflucción, crioturbación, ablación y erosión, actúan a lo largo de la península. (SIMAS *et al.* 2008).

En los días actuales el promedio de la temperatura es de -2,3°C, la más elevada de la Antártica. Gran parte de los días en el verano es lluviosa y ventosa. La región es afectada por pasajes continuos de sistemas ciclónicos, que se originan en su mayoría en el océano Pacífico (AQUINO 2012) y por masas de aire originarias del mar de Weddell y de la Península Antártica (BREMER 1998). Los días de verano con precipitación líquida aumentaron en los últimos 30 años, junto a los días en que la temperatura ultrapasa 0°C, acelerando el proceso de fusión de la nieve y del hielo (ROSA 2011).

Por lo tanto, la parte norte de la península está influenciada por el glaciar Collins, lo que genera gradiente sur-norte de condiciones periglaciales (no-glaciales) en las áreas más distantes del glaciar hacia condiciones paraglaciales (aún glaciales, pero ya con influencias de otros agentes, tales como precipitación pluvial, actividades de vertientes y flujos de fusión) en las áreas próximas al glaciar (MICHEL 2011; MICHEL *et al.* 2014).



El proceso de retracción del glaciar Collins (PARK *et al.* 1998; SIMÕES *et al.* 1999; BRAUN & GOBMANN 2002; SIMÕES 2014) produjo en la parte norte de la península ambientes distintos, marcados por flujos de agua de fusión del glaciar, lo que han generado humedales y lagos con dos tipos de drenaje: uno interno y otro hacia la ensenada Maxwell.

Los procesos periglaciales son dominantes sobre los 50 metros de elevación, donde son comunes los patrones asociados a ciclos congelamiento/derretimiento; pocos rasgos son encontrados entre 0 y 20 m.s.n.m (MICHEL *et al.* 2014).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Geomorfología y análisis sedimentológico

La geomorfología de la área de estudio fue mapeada con el uso de imágenes

de sensores ópticos Quickbird RGB 432 (2006). En terreno se identificaron las formas y los depósitos que fueron verificados por puntos de control con GPS, con margen de error de 3 m.

Se recolectaron muestras de sedimentos de fondo lacustre, en un transecto norte-sur (Fig.1 y Tabla 1). Para la recolección de sedimentos en el fondo de los lagos y humedales se utilizaron dos tipos de instrumental: para las partes más profundas un muestreador de sedimentos en el cual fue acoplado un tubo de acrílico (Fig. 2); para las partes más someras, pequeños testigos de plástico de 10 cm acoplados a tubos de PVC, de acuerdo con la profundidad (Fig. 3). En las partes más someras fueron colectadas de cuatro a cinco muestras para cada punto, de acuerdo con las condiciones del fondo y de la profundidad.

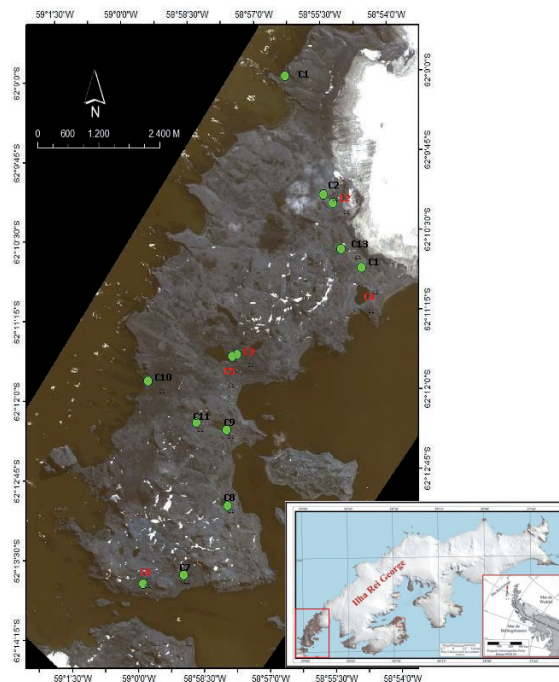


Fig. 1. Península Fildes, isla Rey George, Antártica Marítima, con la ubicación del área de estudio. Los puntos indican los sitios de recolección de sedimentos lacustres en la Operación Antártica XXXI, en marzo/abril de 2013 (Imagen Quickbird, 2006). Los números en rojo indican los sitios analizados en ese trabajo.

Fig. 1. Fildes Peninsula, King George Island, Maritme Antarctica. Dots indicate the sampling sites of lacustrine sediments during the Antarctic Operation XXXI, March- April/ 2013 (Quickbird Image, 2006). Red numbers indicate analysed sites in this study.

**TABLA 1. SITIOS DE MUESTREO DE SEDIMENTOS EN LA PENÍNSULA FILDES Y EL TIPO DE ANÁLISIS EMPLEADO.****TABLE 1. SEDIMENTS SAMPLING SITES IN FILDES PENINSULA AND ANALYSIS EMPLOYED.**

Sitio	Muestra	Coord. Lat.	Coord. Long.	Granulometría	Mineralogía	Parámetros Físicos	Biogeoquímica
Fildes Central	C3	62°11'38"S	58°57'39"W	X	X	X	-
Fildes Norte	C4	62°11'07"S	58°54'47"W	-	-	-	X
Fildes Central	C5	62°11'38"S	58°57'45"W	X	X	X	-
Fildes Sur	C6	62°13'45"S	58°59'56"W	X	X	X	X
Fildes Norte	C12	62°10'40"S	58°55'14"W	X	X	-	-

**Fig. 2. Recolección de sedimentos en tubos de acrílico de las partes más someras.****Fig. 2. Shallow sediment sampling in acrylic tubes.**

Se realizaron observaciones y mediciones de, (1) rasgos erosivos (diversas escalas) para su clasificación y análisis (proceso, morfología, dimensión linear); (2) rasgos deposicionales, en especial, identificación y clasificación de los diversos tipos de morrenas y su contraste con otros depósitos de origen subglacial, para la reconstrucción de parámetros actuantes en los procesos basales y en la dinámica de los glaciares.

### ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO

Fueron trabajadas las muestras de testigos cortos (10 cm) que comprenden las partes sur, central y norte de la Península Fildes: C6 (Sur); C3 y C5, (Centro) y C12, (norte) (Fig.1 y Tabla 1). El análisis estadístico de la distribución granulométrica fue calculada usando el software *Gradistat* que incluye: promedio, grado de selección y asimetría

para la distribución logarítmica (método de FOLK & WARD 1957), distribución de gravas, arena y limo.

Para la determinación de la composición química elemental de las muestras, los sedimentos fueron liofilizados y se utilizó la fracción granulométrica  $<0,06$  mm en el espectrómetro de fluorescencia de rayos X por dispersión de energía (EDXRF), SHIMADZU EDX-720. Los sedimentos fueron preparados en el *Laboratorio de Sedimentología* (Instituto de Geociencias) y analizados en el *Laboratório de Reatores, Cinética e Catálisis* (Departamento de Ingeniería Química, Universidad Federal Fluminense).

La identificación litológica fue realizada con lupa binocular en fracciones  $>250$   $\mu\text{m}$  y  $>500$   $\mu\text{m}$ . Fueron consideradas características macroscópicas, como textura, brillo y color (COSTA 2008). Las rocas volcánicas fueron clasificadas según LE BAS (1986).

Para los análisis biogeoquímicos, las muestras de sedimento de fondo y de aguas superficiales fueron recolectadas para incubaciones experimentales y análisis de las concentraciones de nutrientes y de carbono orgánico (APHA 1992).

Las muestras de sedimento en testigos cortos (10 cm) C4 y C6 fueron acondicionadas en frascos herméticamente cerrados, mantenidos en temperatura de 4-7 °C. Esa condición es para producir menos disturbios a la comunidad biológica presente en el sedimento. En laboratorio, el sedimento fué homogenizado suavemente antes de las incubaciones experimentales. El experimento que tuvo como objetivo testar el efecto del calentamiento sobre los diferentes sedimentos lacustres fue realizado en frascos de vidrio de 100 ml lavados previamente y cerrados herméticamente con corchos masivos de goma de butil impermeable al gas (Apodan, Denmark) y un sello de aluminio. Los

corchos usados fueron hervidos por lo menos 5 veces para eliminar substancias tóxicas. Fueron acondicionados 20-30 ml de sedimento lacustre en cada frasco, de forma que restaron 70-80 ml de aire en su interior. Con los frascos lacrados, las muestras de sedimentos fueron sometidas a la circulación de gas  $\text{N}_2$  de pureza elevada en el sentido de obtener condiciones anóxicas. Los frascos cerrados con las muestras de sedimento fueron dispuestos en 2 baños termostáticos LAUDA modelo RE 2025S (precisión de  $\pm 0,02^\circ\text{C}$ ), siendo uno para temperatura media observada de  $1^\circ\text{C}$  y otro para el calentamiento alrededor de  $4^\circ\text{C}$  previsto por los escenarios del IPCC (2007). Alícuotas de 1 ml de gas para determinar las concentraciones de  $\text{CH}_4$  en el interior de los frascos en cada tiempo experimental fueron retiradas por jeringa apropiada, de forma tal de devolverlos lo más rápidamente posible para los baños. Los análisis de  $\text{CH}_4$  fueron realizados en un analizador de  $\text{CH}_4$  por infrarojo Los Gatos.

Los conjuntos de datos fueron logaritimizados y presentaron principios de parametricidad (ZAR 1996) evaluados por los tests de Kolmogorov-Smirnov (normalidad significativa  $p<0,05$ ), Bartlett (desviación standard no significativamente diferentes  $p>0,05$ ) y coeficiente de variación  $< 30\%$ . Posteriormente, las tasas de producción de  $\text{CH}_4$  fueron calculadas a partir de la fase lineal de mayor inclinación significativa y con, en el mínimo, cuatro tiempos consecutivos de incubación (regresión linear, significativa  $p<0,05$ ), la cual fue comparada entre los diferentes lagos estudiados por el test *one-way ANOVA* (significativo  $p<0,05$ ) seguido de post-test de Tukey-Kramer (significativo  $p<0,05$ ). Todos los tests estadísticos y gráficos fueron realizados con el uso del programa *GraphPad Prism* (versión 5.0).

En el Laboratório de Sedimentologia del Instituto de Geociencias, de la Universidad Federal Fluminense, tres testigos de 30 cm de largo fueron analizados aún congelados

en el Perfilador Multi-Sensor de Testigos (*Multi Sensor Core Logger* - MSCL), para mediciones de densidad, velocidad de las ondas P, impedancia y susceptibilidad magnética. Los testigos corresponden a las muestras C3, C5 e C6.

El sensor de densidad gama analiza la porosidad asumida, es decir, es asumido que todos los sedimentos son carbonatos. Como los valores son relativos, debido a los cambios de los ambientes, estos datos sirven para comparar diferentes testigos. Los otros sensores fueron los de velocidad de ondas P ( $V_p$ ) para inferir sobre la litología, limo o arena por ejemplo); de resistividad eléctrica para evaluar la porosidad y de susceptibilidad magnética, para determinar la procedencia del material.

## RESULTADOS

### Geomorfología glacial y periglacial

La geomorfología glacial y la periglacial de la Península Fildes pueden ser analizada a partir de imágenes de satélite, actividades en terreno y de los datos preliminares del análisis granulométrico de los sedimentos. Un mapa con una clasificación preliminar de los lagos fue elaborado para la ubicación de las principales formaciones lacustres y flujos (Fig. 3).

La retracción del glaciar Collins hacia el norte ha generado diversas formas: (1) al norte de la península predominan las formas proglaciales y paraglaciales, siendo las primeras aún controladas directamente por la acción del glaciar y las segundas, ya bajo impacto de otros agentes, como viento y agua de fusión de nieve y precipitación líquida; (2) al centro y al sur, ambientes periglaciales ya con intensos procesos de erosión no-glaciales, como actividades de vertientes (soliflucción y reptación), viento y agua de fusión de nieve y del permafrost, además de las precipitaciones líquidas.

En la Figuras 4a y 4b pueden ser observadas dos áreas de acción diferenciada del proceso de fusión de la parte frontal del glaciar Collins. En el Valle Norte, las morrenas presentan alturas que varían de 1-10 metros con crestas abruptas y asimétricas y con el interior de hielo (Fig. 5a y 5b). Los flujos de fusión del glaciar generaron humedales y lagos que producen dos tipos de drenaje: uno interna y otro hacia la ensenada Maxwell (Fig. 6). En el Valle Klotz (Fig. 7a y 7b) fueron observados flujos de agua de fusión formando canales mucho más desarrollados que los observados en la imagen de satélite y mapeados preliminarmente, pues fluyen en terrenos más planos y sujetos a acciones marinas del Paso de Drake (Gradzinski Cove), lo que es confirmado por la presencia de pavimentos de clastos (Fig. 8). La fusión en esa parte del glaciar Collins (SIMÕES 2014) también ha contribuido con el flujo de canales.

Como las partes sur y central de la península fueron deglaciadas antes de los valles del norte, la identificación de formaciones morrénicas y de otros depósitos glaciales se tornó más difícil debido a la acción de la lluvia, de la fusión de la nieve y del permafrost, y del viento, lo que ha alterado los depósitos glaciales originales.

Los lagos de la parte sur y central de la península parecen tener origen glacial, es decir, son antiguos lagos proglaciales, fruto del deshielo de las partes frontales del glaciar que con la deglaciación pasaron a tener aporte de otras fuentes, como la precipitación líquida y fusión de la nieve. Sin embargo, se buscó en el análisis en detalle de imagen de satélite y en observaciones en terreno otras posibilidades de origen o de contribución, como por ejemplo, aporte marino en momentos anteriores a la neotectónica. Hay que considerar también el rol de la fusión de la capa activa del permafrost, que participa del sistema de drenaje y del nivel de los lagos y humedales.

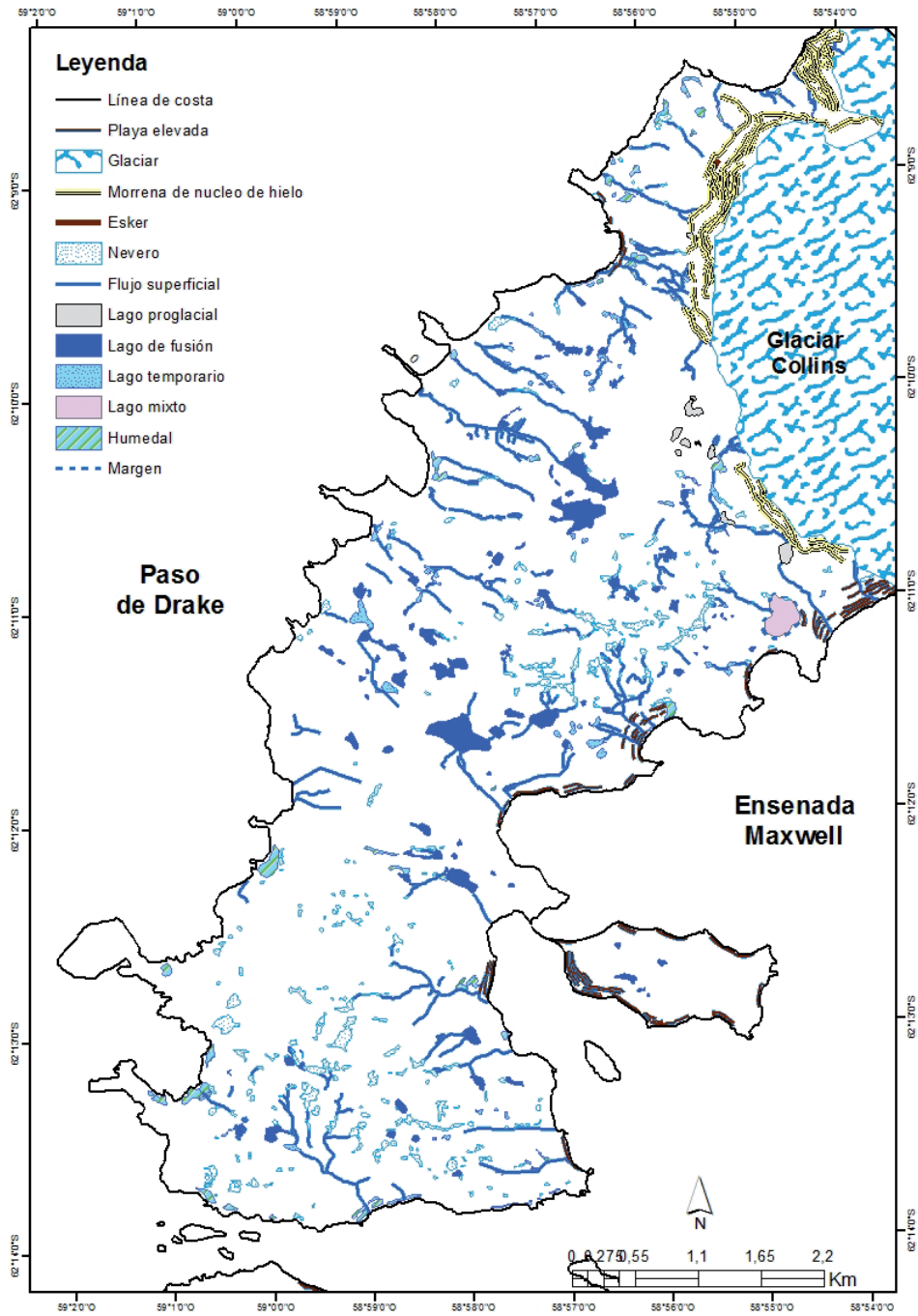


Fig. 3. Península Fildes, clasificación preliminar de los lagos.

Fig. 3. Fildes Peninsula, preliminar classification of the lakes.





**Fig. 4 (a y b). Ubicación de la muestra C12, en el sector norte de la Península, junto al frente del glaciar Collins (Valle Norte – ver ubicación en la Figura 1), caracterizada por la formación de cordones morrénicos, canales de fusión de nieve y hielo y formaciones lacustres.**

**Fig. 4 (a and b). C12 sample location at the northern sector, near Collins glacier front (see location at Figure 1), characterized by the formation of moraine ridge, snowmelt channels and lake formations.**





**Fig. 5 (a).** Forma abrupta y asimétrica de los cordones morrénicos del sector norte de la Península. **(b)** Matriz gravo arenosa de los depósitos morrénicos, con parte del interior de núcleos de hielo.

**Fig. 5 (a).** Abrupt and assymetrical shape of the moraine ridge at the northern part of the peninsula. **(b)** Sandy gravel matrix of moraine deposits, with ice cored interior.



**Fig. 6. Canal hacia ensenada Maxwell alimentado por fusión de nieve y lagos.**  
**Fig. 6. Channel toward Maxwell bay provided by snow melt and lakes drainage.**

### ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS DE LOS TESTIGOS DE LAGOS DE LA PENÍNSULA FILDES

Testigos de 20-30 cm de largo analizados por el MSCL corresponden a las muestras C3, C5 y C6, respectivamente (Fig. 1). Datos de MSCL para la muestra C3, localizada en la parte central de la península (Fig. 9) indican densidad con oscilaciones entre  $1,6 \text{ g/cm}^3$  en la porción más profunda, pasando cerca de  $1,9 \text{ g/cm}^3$  en la parte central y volviendo a  $1,7 \text{ g/cm}^3$  en la cima de la sección. Respecto a las velocidades de las ondas primarias ( $V_p$ ), hay una ruptura de la señal en la parte central del testigo. Proceso similar ocurre en la parte central respecto a la susceptibilidad magnética: los valores crecen gradativamente de la cima a la parte central y vuelven a caer; después saltan para valores más elevados y caen en dirección a la base. Los valores menos elevados de ese último sensor indican granulometría más gruesa, es decir, más arenosa. Las ondas P presentan valores crecientes de la porción

superior para la parte central (1820-1940 m/s), y decrecientes de la parte central para la base (1990-1920 m/s).

Los valores de densidad y de susceptibilidad magnética presentan valores opuestos en la parte central del testigo, junto con el valor de la  $V_p$ , aunque fragmentada, lo que indica una respuesta a la presencia de capas de granulometría más gruesa. Análisis granulométrico de la muestra indican el predominio de arenas (98%), y dentro de esa clase textural, las arenas medias (71%) (Tabla 2).

La muestra C6 (Fig. 10), localizada al sur de la península, muestra también oscilación de los valores de densidad gama, pero con tendencias de elevación de los valores en las secciones con la presencia de sedimentos más arenosos, en asociación con los valores de  $V_p$  y de la disminución de la susceptibilidad magnética. En la parte superior del testigo el valor más bajo de la densidad gama ( $1,92 \text{ g/cm}^3$ ) se opone al valor más elevado





**Fig. 7 (a y b).** Vale Klotz. El drenaje de los flujos de agua de fusión de nieve y hielo fluye hacia el Paso de Drake y sufren influencia de las actividades marinas.

**Fig. 7 (a and b).** Klotz Valley. Draining water flows from snow and ice melting into the Drake Passage and undergoes influence of marine activities.



**Fig. 8. Pavimento de clastos em el valle Klotz, indicando acción marina.**

**Fig. 8. Clasts pavement in Klotz Valley, revealing marine action.**

de la susceptibilidad magnética (próximo a  $1650 \text{ SI} \cdot 10^5$ ). Esa tendencia sigue en las partes central e inferior del testigo. De la parte central para la inferior no hay dato de la velocidad de las ondas P, solamente los de densidad gama y susceptibilidad. Análisis granulométrico de la muestra indican el predominio de arenas (96,8%), pero con la granulometría distribuida en arenas medias (34,5%), arenas finas (29,2%) y arenas muy finas (33,1%) (Tabla 2).

La muestra C5 (Fig. 11), en la parte central de la península, no presenta registro de  $V_p$ . Los valores de densidad gama y de susceptibilidad se oponen desde la sección central a las partes más profundas del testigo, lo que indica granulación arenosa. La susceptibilidad magnética presenta un pico aún en las secciones superiores y disminuye gradativamente hacia a la base del testigo, diferente de la densidad gama, que después de alcanzar el pico de  $>1,7$

$\text{g/cm}^3$ , mantiene el valor hasta la base del testigo. Análisis granulométricos de la muestra indican el predominio de arenas (99,8%), con la granulometría distribuida en arenas medias (59,4%), arenas finas (22,1%) y arenas muy finas (18,3%) (Tabla 2).

El análisis de estos datos es importante, pues los valores más elevados de velocidad y densidad, inversamente proporcionales a los de susceptibilidad magnética, están asociados a los sedimentos de mayor granulometría; sedimentos limosos presentan, a su vez, valores más elevados de susceptibilidad magnética (FALCÃO & AYRES NETO 2010).

Por lo tanto, el tamaño de las partículas influye en la susceptibilidad magnética de los sedimentos, lo que significa que variaciones en sus valores están relacionadas a cambios del tipo de material y consecuentemente, a su origen.



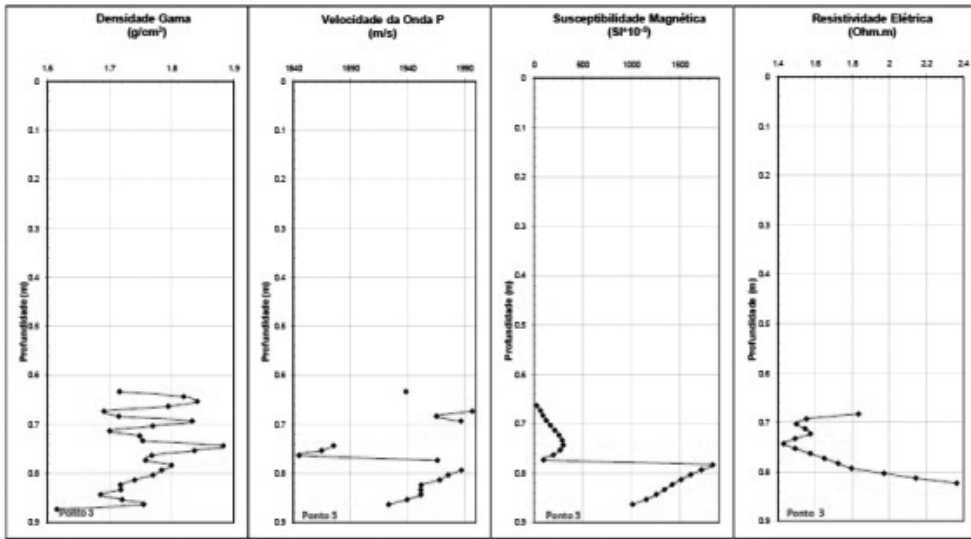


Fig. 9. Datos de Multi Sensor Core Logger para la muestra C3 (parte central de la península Fildes).

Fig. 9. Multi Sensor Core Logger data from C3 sample (central part of Fildes peninsula).

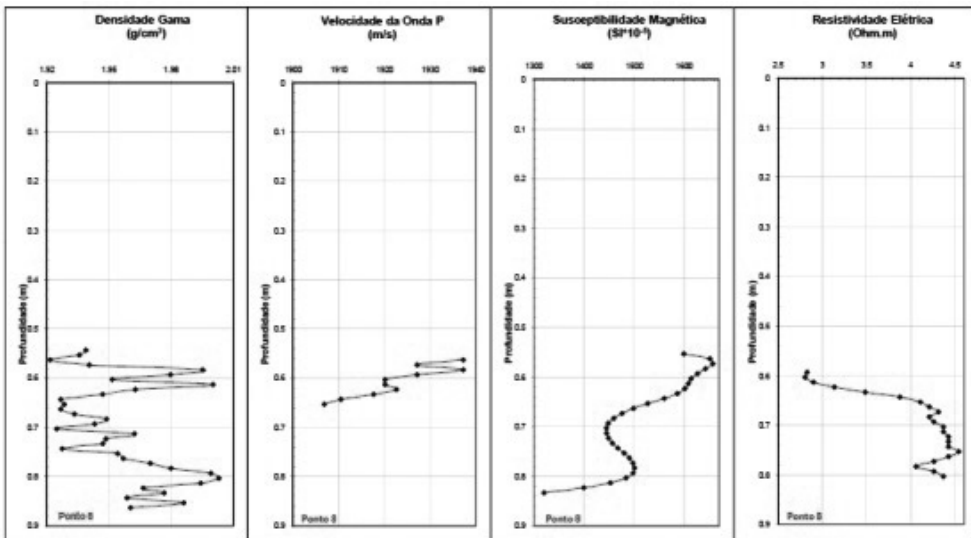


Fig. 10. Datos de Multi Sensor Core Logger para la muestra C6 (parte sur de la península Fildes).

Fig. 10. Multi Sensor Core Logger data from C6 sample (southern part of Fildes peninsula).

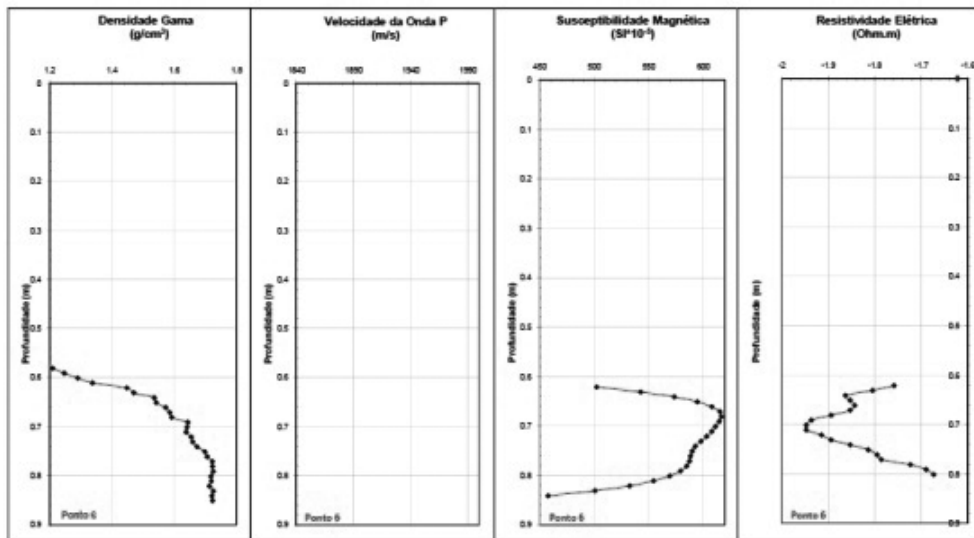


Fig. 11. Datos de Multi Sensor Core Logger para la muestra C5 (parte central de la península Fildes).

Fig. 11. Multi Sensor Core Logger from C5 sample (central part of Fildes peninsula).

### MINERALOGÍA

Los análisis químicos preliminares de los testigos cortos (10 cm - Tabla 3), que comprenden el transecto sur-norte de la península, indican composición media correspondiente a basaltos picríticos (41-45% de SiO<sub>2</sub>) y basaltos (45-52% de SiO<sub>2</sub>), según la clasificación de LE BAS (1986). Esos resultados están de acuerdo con la información litológica de la literatura, la cual consiste principalmente de basaltos (MACHADO *et al.* 2001). En todas las muestras fueron identificados fenocristales de olivina, mineral característico del basalto, además de la textura afanítica. Igualmente fueron identificados en todas las muestras vidrios volcánicos u obsidiana, y cuarzo.

Aparte de los basaltos, fueron también identificados, diorita fanerítica con textura granular (C5, C6); cuarzo diorita (C6); sienita con textura microfanerítica (C6, C12); dacita con cristales de plagioclasa (C3). SCHAEFER *et al.* (2008) han identificado la plagioclasa como el principal componente mineral en la fracción arena,

con granos ya alterados en suelos a lo largo de la península.

Siguiendo el transecto sur-norte, son identificadas las evidencias de la acción de intemperismo en las muestras 5 (centro) y 6 (sur), mientras en la parte norte, en el Valle Klotz, los sedimentos presentan poca actividad de intemperismo, lo que significa su reciente liberación desde las fuentes, es decir, el glaciar Collins (Fig. 13). Para corroborar las imágenes fue aplicado el Índice de Alteración Química (CIA – *Chemical Index of Alteration*), propuesto por NESBITT & YOUNG (1982) y aplicada por SRIVASTAVA *et al.* (2013) en la Antártica Oriental:  $IAQ = \frac{Al_2O_3}{(Al_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO)} \times 100$ . Valores de 100 indican intenso intemperismo químico y valores entre 45 - 55 indican ausencia de intemperismo químico. Los valores de IAQ de las muestras C6, C5, C3 y C12 son respectivamente: 79, 69, 68 y 66. Las cuatro muestras ya indican alteraciones, pero se nota el gradiente sur-norte, con acentuación del intemperismo a medida que se desplaza hacia la parte sur de la península.

TABLA 2. SÍNTESIS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS MUESTRAS DE LA PENÍNSULA FILDÉS, EN ESCALA LOGARÍTMICA  $\phi$  (MÉTODO DE FOLK Y WARD, 1957).

TABLE 2. SUMMARY OF STATISTICAL ANALYSIS OF FILDÉS PENINSULA SEDIMENTS SAMPLES AT LOGARITHMIC SCALE  $\phi$  (METHOD OF FOLK AND WARD, 1957).

Muestra	Tipo de Muestra	Clase Textural/ Sedimento	Media	Grado de selección ( $\sigma$ )/ Descripción	Asimetría (Sk)/Descripción	% Grava	% Arena	% Silte
Muestra 3	Bimodal	arena/ arena media	2,4	1,2/poco seleccionado	0,5/ positiva	0	98,6	1,4
Muestra 5	Unimodal	arena/ arena media	1,7	1,2/poco seleccionado	0,2/ positiva	0	99,8	0,2
Muestra 6	Unimodal	arena/ arena media	2,3	1,2/poco seleccionado	-0,2/ negativa	0	96,8	3,2
Muestra 12	Unimodal	Arena siltosa/ Arena media siltosa muy gruesa	2,6	1,3/pobrememente seleccionado	-0,2/ positiva	0	76,1	23,9

Muestra	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Silte muy grueso	Silte grueso	Silte medio	Silte fino	Silte muy fino
Muestra 3	0	71,3	14,7	12,6	1,4	0	0	0	0
Muestra 5	0	59,4	22,1	18,3	0,2	0	0	0	0
Muestra 6	0	34,5	29,2	33,1	3,2	0	0	0	0
Muestra 12	0	30,4	25,8	19,9	23,9	0	0	0	0

**TABLA 3. ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS TESTIGOS RASOS (10 CM) Y VALORES DE REFERENCIA DE LE MAITRE\* PARA EL BASALTO (1976).**

**TABLE 3. CHEMICAL ANALYSIS OF SHALLOW CORES (10 CM) AND REFERENCE VALUES FOR BASALT (LE MAITRE, 1976).**

Ponto C3	SiO <sub>2</sub>	AlO <sub>3</sub>	FeO <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	Ba	K <sub>2</sub> O	Mn	S	Sr	Zr	Cr	Zn	V
Core 1	42,36	20,34	17,60	9,17	8,03	1,02	nd	0,80	0,31	0,08	0,15	nd	0,04	0,04	0,05
Core 2	43,14	21,01	16,18	8,83	8,42	1,39	nd	0,79	0,26	0,06	0,13	0,02	0,04	0,04	0,05
Core 3	42,54	20,74	16,51	9,23	7,98	0,86	0,67	0,81	0,38	0,07	0,15	nd	0,04	0,04	nd
Core 4	42,64	20,37	17,06	8,71	8,38	0,81	nd	0,80	0,32	0,07	0,16	nd	0,04	0,04	nd
Média	42,67	20,61	16,84	8,99	8,20	1,02	0,67	0,80	0,32	0,07	0,15	0,02	0,04	nd	nd
Máx	43,14	21,01	17,60	9,23	8,42	1,39	0,67	0,81	0,38	0,08	0,16	0,02	0,04	nd	nd
Mín	42,36	20,34	16,18	8,71	7,98	0,81	0,67	0,79	0,26	0,06	0,13	0,02	0,04	0,04	0,05
Basalto (*)	45,72	14,80	14,42	10,57	7,85	3,02	nd	1,01	0,20	0,03					

Ponto C5	SiO <sub>2</sub>	AlO <sub>3</sub>	FeO <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	Ba	K <sub>2</sub> O	Mn	S	Sr	Zr	Cr	Zn
Core 1	42,38	21,56	17,68	8,77	6,44	1,17	0,71	0,69	0,40	nd	0,14	nd	0,04	0,02
Core 2	42,55	21,46	17,68	8,77	6,45	1,10	0,62	0,75	0,40	0,06	nd	nd	nd	nd
Core 3	43,19	20,75	17,79	9,03	6,27	1,31	nd	0,79	0,56	0,07	0,02	0,03	nd	nd
Core 4	44,09	21,10	16,70	8,83	6,56	1,19	nd	0,73	0,51	0,08	0,09	nd	0,03	0,02
Média	43,05	21,22	17,46	8,85	6,43	1,19	0,67	0,74	0,47	0,07	0,08	0,03	0,03	0,02
Máx	44,09	21,56	17,79	9,03	6,56	1,31	0,71	0,79	0,56	0,08	0,14	0,03	0,04	0,02
Mín	42,38	20,75	16,70	8,77	6,27	1,10	0,62	0,69	0,40	0,06	0,02	0,03	0,03	0,02
Basalto (*)	45,72	14,80	14,42	10,57	7,85	3,02		1,01	0,20	0,03				

Ponto C6	SiO <sub>2</sub>	AlO <sub>3</sub>	FeO <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	Ba	K <sub>2</sub> O	Mn	S	Sr	Zr	Cr	Zn
Core 1	45,32	22,64	16,98	6,98	4,47	1,46	nd	1,03	0,26	0,14	0,10	0,04	nd	0,04
Core 2	44,76	22,52	17,33	7,01	4,55	1,48	nd	1,00	0,35	0,14	0,11	nd	nd	0,03
Core 3	44,98	22,35	17,55	7,06	4,13	1,50	0,74	1,03	0,37	0,15	0,10	0,04	nd	nd
Core 4	45,06	22,58	17,80	6,88	4,10	1,68	nd	1,03	0,51	0,16	0,10	nd	nd	0,04
Core 5	45,10	22,31	17,83	6,78	4,12	1,44	0,78	1,00	0,38	0,14	0,10	0,04	nd	nd
Média	45,04	22,48	17,50	6,94	4,27	1,51	0,76	1,02	0,37	0,14	0,10	0,04	nd	0,03
Máx	45,32	22,64	17,83	7,06	4,55	1,68	0,78	1,03	0,51	0,16	0,11	0,04	0,00	0,04
Mín	44,76	22,31	16,98	6,78	4,10	1,44	0,74	1,00	0,26	0,14	0,10	0,04	0,00	0,03
Basalto (*)	45,72	14,80	14,42	10,57	7,85	3,02		1,01	0,20	0,03				

Ponto C12	SiO <sub>2</sub>	AlO <sub>3</sub>	FeO <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	Ba	K <sub>2</sub> O	Mn	S	Sr	Zr	Zn	P	Ag	Y	V
Core 1	46,82	19,69	16,52	8,23	4,26	1,47	0,56	1,72	1,34	0,06	0,16	nd	0,03	0,14	nd	0,01	nd
Core 2	46,56	19,99	16,29	8,40	4,90	1,60	nd	1,69	0,31	nd	0,16	nd	0,03	nd	nd	0,008	0,07
Core 3	46,02	20,00	16,46	8,24	4,69	1,43	nd	1,67	0,33	nd	0,17	0,05	0,02	nd	nd	nd	nd
Core 4	46,84	20,12	16,16	8,41	4,42	1,58	nd	1,83	0,32	0,06	0,17	0,05	nd	nd	nd	nd	0,05
Média	46,56	19,95	16,36	8,32	4,57	1,52	0,56	1,73	0,58	0,06	0,16	0,05	0,03	0,14	0,00		
Máx	46,84	20,12	16,52	8,41	4,90	1,60	0,56	1,83	1,34	0,06	0,17	0,05	0,03	0,14	0,00		
Mín	46,02	19,69	16,16	8,23	4,26	1,43	0,56	1,67	0,31	0,06	0,16	0,05	0,02	0,14	0,00		
Basalto (*)	45,72	14,80	14,42	10,57	7,85	3,02		1,01	0,20	0,03							

nd. - no determinado



**FIG. 12 (A Y B).** VISIÓN DE LOS SEDIMENTOS (>500 MM) EN LUPA MICROSCÓPICA. LA MUESTRA C6 (A), EN EL SUR DE LA PENÍNSULA, EXHIBE ACCIÓN DEL INTEMPERISMO, MIENTRAS LA MUESTRA C12, MÁS CERCANA AO GLACIAR COLLINS, EN LA PARTE NORTE, CONTIENE SEDIMENTOS AÚN PRESERVADOS. AMPLIACIÓN DE LA FOTO EN 36 X.

**FIG. 12 (A AND B).** SEDIMENTS VIEW (> 500 MM.) IN MICROSCOPIC LENS. THE C6 SAMPLE (A), AT THE SOUTH OF THE PENINSULA, EXHIBITS WEATHERING ACTION, WHILE C12 SAMPLE, CLOSER TO COLLINS GLACIER, AT THE NORTHERN PART, CONTAINS SEDIMENTS STILL PRESERVED. PHOTO ENLARGEMENT 36 X.

#### **ANÁLISIS DEL CALENTAMIENTO SOBRE LAS TASAS DE PRODUCCIÓN ANAERÓBICA DE CH<sub>4</sub>**

El análisis fue efectuado en los testigos cortos (10 cm). Durante el tiempo de incubación los lagos y humedales estudiados presentaron aumentos significativos de las tasas de producción de CH<sub>4</sub> normalizadas por el peso seco de sedimento (*Turkey=Kramer*  $p < 0.05$  *two-way* Figs. 13). El humedal más somero (Muestra C6) presentó mayor incremento

de CH<sub>4</sub> con el tiempo en comparación al lago más profundo (Muestra C4).

Las tasas de producción anaeróbica de CH<sub>4</sub>, calculadas a partir de la fase linear significativa de mayor inclinación para cada lago y temperatura, también indicaron valores cerca de 40 veces más elevados en el humedal C6 con relación al lago C4 (*Turkey=Kramer*,  $p < 0.05$ ; Fig. 13). Además, el lago C4 presentó variación no significativa de esas tasas entre los



tratamientos con temperatura control de 1°C y elevada a 5°C, mientras el humedal C6 presentó un aumento significativo

de 60% one-way ANOVA significativo  $p < 0,05$ ; Fig. 13).

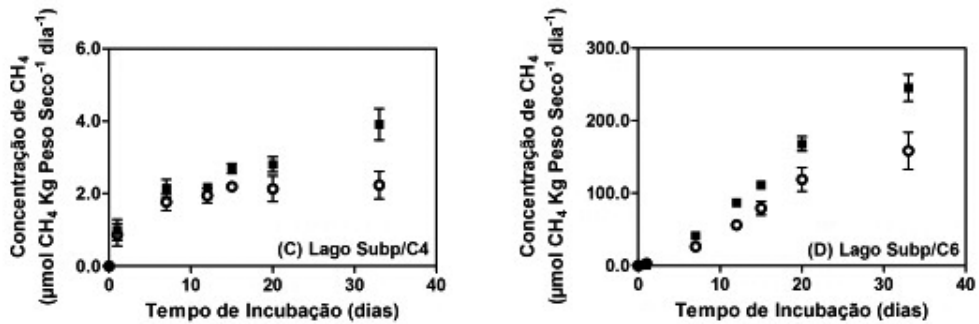


FIG. 13: TASAS DE PRODUCCIÓN ANAERÓBICA CH<sub>4</sub> NORMALIZADA POR PESO HÚMEDO DEL SEDIMENTO (MG C-CH<sub>4</sub> L. SED. HÚMEDO<sup>-1</sup> D<sup>-1</sup>) A LO LARGO DEL TIEMPO DE INCUBACIÓN EXPERIMENTAL. CÍRCULOS CERRADOS REPRESENTAN LAS INCUBACIONES DE SEDIMENTO (N=3 RÉPLICAS) Y LAS BARRAS HORIZONTALES LOS PROMEDIOS PARA EL LAGO C4 Y HUMEDAL C6 EN CADA TEMPERATURA EXPERIMENTAL (1 Y 5°C). LETRAS IGUALES INDICAN DIFERENCIAS NO SIGNIFICATIVAS (ONE-WAY ANOVA,  $p > 0.05$ )

FIG. 13: ANAEROBIC PRODUCTION RATES OF CH<sub>4</sub> NORMALIZED BY THE WET SEDIMENT WEIGHT (MG C-CH<sub>4</sub> L WET SED<sup>-1</sup> D<sup>-1</sup>) OVER THE EXPERIMENTAL INCUBATION TIME. FULL CIRCLES REPRESENT SEDIMENT INCUBATIONS (N=3 REPLICATES), AND HORIZONTAL BARS THE AVERAGES FOR LAKE C4 AND WETLAND C6 IN EACH EXPERIMENTAL TEMPERATURE (1 AND 5°C). EQUAL LETTERS INDICATE NON-SIGNIFICANT DIFFERENCES (ONE-WAY ANOVA  $p > 0.05$ )

## DISCUSIÓN

Los sedimentos someros recolectados en lagos de la Península Fildes concentran informaciones climáticas y ambientales a lo largo del transecto norte-sur. El análisis granulométrico señala un predominio de clases granulométricas arenosas y limo-arenosa, y la mineralogía de los sedimentos en conjunto con el análisis óptico, evidencias del predominio de elementos de composición original del basalto, formación rocosa dominante en la península, y el control de sedimentos terrígenos. Sin embargo, factores geográficos y la dinámica del glaciar en escala espacial y temporal han contribuido en la variación de algunas características de los sedimentos.

Hay una diferencia entre las muestras respecto a la granulometría. Los sedimentos de las muestras C3 y C6 son

predominantemente arenosos (>95%). No obstante, dominan en la muestra C3 la composición de arenas medias, mientras en la muestras C6 hay un equilibrio entre arenas media, finas y muy finas. La muestra C12, aunque arenosa (76%), hay limos (24%). Las muestras C12 están ubicadas en la zona proglacial del glaciar Collins (norte de la península), la cual recibe el aporte de sedimentos finos transportados en la base del glaciar y también por el viento. Las arenas finas y muy finas distribuidas en las muestras C6, en la parte sur de la península, igualmente pueden haber sido transportada por el viento. El predominio de arenas medias en las muestras C3, de la parte central, puede ser reflejo de la configuración del sitio, el cual es circundado por vertientes. Dicha configuración posibilita una protección relativa al viento y aporte de agua de fusión desde las vertientes circundantes.

La relación de la susceptibilidad magnética con los ciclos glaciales tiende a relacionarse bien con la granulometría media de los testigos, siendo en general, bajos valores en intervalos de capas con granulometría más gruesa, y altos valores de susceptibilidad magnética en intervalos de granulometría más fina. Eso puede estar relacionado con los granos más finos, que contienen más material orgánico (LEE *et al.* 2012). En adición, en períodos interglaciales, se eleva el contenido de cuarzo en los sedimentos, que es diamagnético, con disminución de los valores de susceptibilidad magnética.

Los sedimentos someros recolectados de los lagos, con la excepción de la muestra C12, indican poco transporte por el hielo. Gran parte de la península y de las áreas adyacentes a los lagos se convirtieron en fuentes mixtas de esos sedimentos. La influencia de agua de fusión y del viento es identificada por el grado de alteración ya observada y por la presencia de granulometría fina en los sedimentos. ANDRADE (2012) argumenta que en regiones glaciales y periglaciales el intemperismo químico es limitado, no aún suficiente para cambios representativos en la composición de rocas y suelos, teniendo así, el predominio de procesos físicos asociados a congelamiento y deshielo del agua. Sin embargo, las temperaturas más elevadas y la disponibilidad de agua en las capas más profundas y activas en la Península Fildes favorecen el intemperismo mineral y la cobertura vegetal, pese al predominio de la desintegración física de las rocas, como ha reportado ANDRADE (2012). SRIVASTAVA *et al.* (2013) encontraron señales de intemperismo químico en sedimentos lacustres, en Schirmacher Oasis, Antártica Oriental, área con condiciones climáticas más rigurosas que las de la Península Fildes.

Por otro lado, grandes diferencias de la producción de CH<sub>4</sub>, como aquellas observadas aquí entre los sedimentos del humedal C6 y del lago C4, son comúnmente atribuibles al rol de la variabilidad en

cantidad y/o calidad de los sustratos orgánicos a la descomposición orgánica (FIERER *et al.* 2005; BOKHORST *et al.* 2007). Estos resultados sugieren que incluso ecosistemas subpolares fríos pueden presentar factores controladores distintos de la actividad metabólica, la cual puede ser igualmente influenciada potencialmente por la temperatura (BROWN *et al.* 2004; DILLON *et al.* 2010). Los incrementos significativos de las tasas de producción de CH<sub>4</sub> de los sedimentos del humedal C6 frente al calentamiento confirman evidencias previas sobre la sensibilidad de la mineralización biológica de la materia orgánica en aguas frías en relación a la temperatura (GUDASZ *et al.* 2010; WADHAM *et al.* 2012). Sin embargo, las diferencias no significativas de esas tasas en los sedimentos del lago C4 por el calentamiento experimental refuerzan también que otros factores controladores (Ej. sustratos orgánicos y aceptores de electrones) pueden contribuir para reducir el efecto de la temperatura sobre la producción de gases de C en los ecosistemas (DAVDSON & JANSSEN, 2006).

La realización de estudios con una malla más grande de áreas con lagos en el gradiente latitudinal parece ser crucial para comprender los efectos del calentamiento, no solamente en función de condiciones térmicas aisladas contrastantes. La heterogeneidad de los sedimentos de las aguas interiores puede resultar en respuestas muy distintas frente al calentamiento en una misma zona climática, lo que puede influir intensamente los efectos de los cambios globales en el ciclo del C de lagos.

## CONCLUSIÓN

Han sido presentadas evidencias preliminares de muestras recolectadas en ambientes someros de cuatro lagos de la Península Fildes, distribuidas en el transecto norte-sur, que poseen procedencia terrígena, con una composición química

consistente con las características geológicas del área.

Basado en las características geomorfológicas y sedimentarias encontradas, se sugieren tres fuentes diferentes (1) sedimentos glaciales derivados de las áreas expuestas del glaciar Collins, desplazados en distancias cortas y en periodos recientes, debido a la poca alteración por intemperismo químico; (2) sedimentos transportados por el viento siempre presente en el área y con capacidad de mezclar distintas fuentes y con una capacidad de transportes más largo (3) agua de fusión de nieve y de permafrost de áreas y vertientes circundantes a los lagos, ya con señales de alteración química de los sedimentos, aunque predomine la desintegración física de las rocas en el área.

Se Identificó una elevada heterogeneidad de las tasas de producción de CH<sub>4</sub> entre los sedimentos de un humedal y un lago, además de distintivos efectos de la temperatura sobre la mineralización orgánica. Esos resultados sugieren que los sedimentos de aguas interiores subpolares pueden ser un sitio de respuestas variables de la producción biológica de gases invernaderos frente al calentamiento global. Las variaciones granulométrica y geoquímica a lo largo del transecto norte-sur pueden estar relacionadas a la evolución climática y ambiental del área, por los consecuentes cambios en los procesos de intemperismo. La escala temporal de esos cambios será posible determinar con los otros conjuntos de muestras del área que siguen en análisis y con la datación por <sup>210</sup>Pb e <sup>14</sup>C que se está iniciando. Los sedimentos lacustres indican igualmente el potencial de mineralización de la materia orgánica y liberación de gases del efecto invernadero.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Programa Antártico Brasileño, al Instituto Nacional de Ciencia

y Tecnología de la Criósfera / CNPq y a la FAPERJ por el apoyo a la expedición y adquisición de equipos de laboratorio. A José Carlos Teixeira Júnior, Rodrigo Abuchacra y Aracelis Pamphile (Instituto de Geociências y Escuela de Ingeniería, Universidad Federal Fluminense) por la orientación y capacitación de los alumnos en los protocolos de preparación de los sedimentos en laboratorio.

#### REFERENCIAS

**ANDRADE, R.P., 2012.** Geoquímica dos Solos e das Águas da Península Fildes e Ilha Ardley, Antártica Marítima. Tesis de Doctorado. Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, 189 p. Inédito.

**APHA. 1992.** Standard methods for the examination of water and wastewater. 18° edition. American Public Health Association, Washington, DC.

**AQUINO, F.E., 2012.** Conexão climática entre o modo anular do hemisfério Sul com a Península Antártica e o sul do Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 121 p. Inédito.

**BARSH, D. & R. MAUSBACHER, 1986.** New data on the relief development of the South Shetland Islands, Antarctica. *Interdisciplinary Science Review*, 11: 211-219.

**BASTVIKEN, D., 2009.** Methane. Pages 783-805 in G. E. Likens, editor. *Encyclopedia of inland waters*. Elsevier, Oxford.

**BASTVIKEN, D., J., EJLERTSSON, I., SUNDH & L. TRANVIK, 2003.** Methane as a source of carbon and energy for lake pelagic food webs. *Ecology*, 84: 969-981.

- BASTVIKEN, D., J. COLE, M. PACE & L. TRANVIK, 2004.** Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Global Biogeochemical Cycles*, 18: (4), GB4009, 10.1029/2004GB002238.
- BERGSTRÖM, I., S.P. MÄKELÄ, P. KANKAALA & P. KORTELAINEN, 2007.** Methane efflux from littoral vegetation stands of southern boreal lakes: An upscaled regional estimate. *Atmospheric Environment*, 41: 339-351.
- BERTRAND, D., X. BOËS, J. CASTIAUX, F. CHARLET, R. URRUTIA, C. ESPINOZA, G. LEPOINT, B. CHERLIER & N. FAGEL, 2005.** Temporal evolution of sediment supply in Lago Puyehue (Southern Chile) during the last 600 yr and its climate significance. *Quaternary Research*, 64: 163-175.
- BJÖRCK, S., S. OLSSON, C. ELLIS-EVANS, H. HAKANSSON, O. HUMLUM & J.M. DE LIRIO, 1996.** Late Holocene palaeoclimatic records from lake sediments on James Ross Island, Antarctica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 121: 195-220.
- BOKHORST, S., A. HUISKES, P. CONVEY & R. AERTS, 2007.** Climate change effects on organic matter decomposition rates in ecosystems from the Maritime Antarctic and Falkland Islands. *Global Change Biology*, 13: 2642-2653.
- BREMER, U.F., 1998.** Morfologia e bacias de drenagem na cobertura de gelo da ilha Rei George, Antártica. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 135 p. Inédito.
- BRAUN, M. & H. GOßMANN, 2002.** Glacial changes in the area of Admiralty Bay and Potter Cove, King George Island, Antarctica. In: M. Beyer, M. Boelter. *GeoEcology of Terrestrial Antarctic Oases* Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 75-89.
- BROWN, J.H., J.F. GILLOOLY, A.P. ALLEN, V.M. SAVAGE & G.B. WEST, 2004.** Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology*, 85: 1771-1789.
- COHEN, A.S., 2003.** *Paleolimnology – The History and Evolution of Lake System.* Oxford University Press. New York. 526 p.
- COLE, J., N.F. CARACO, G.W. KLING & T.K. KRATZ, 1994.** Carbon-Dioxide Supersaturation in the Surface Waters of Lakes. *Science*, 265: 1568-1570.
- COSTA, J.B., 2008.** Estudo e Classificação das Rochas por Exame Macroscópico. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 196 p.
- DAVIDSON, E.A. & I.A. JANSSENS, 2006.** Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 440: 165-173.
- DILLON, M.E., G. WANG & R.B. HUEY, 2010.** Global metabolic impacts of recent climate warming. *Nature*, 467: 704-788.
- DOMACK, E.W., S.E. ISHMAN, A.B. STEIN, C.E. MCCLENNEN & A.S.T. JULL, 1995.** Late Holocene advance of the Muller Ice Shelf, Antarctic Peninsula: sedimentologic, geochemical, and paleontological evidence. *Antarctic Science*, 7: 159-170.
- DOWDESWELL, J.A., C. COFAIGH & C.J. PUDSEY, 2004.** Thickness and extent of the subglacial till layer beneath an Antarctic paleo-ice stream. *Geology*, 32: 13-16.
- DUARTE, C.M. & S. AGUSTI, 1998.** The CO<sub>2</sub> balance of unproductive aquatic ecosystems. *Science*, 281: 234-236.
- DUARTE, C.M. & Y.T. PRAIRIE, 2005.** Prevalence of heterotrophy and atmospheric CO<sub>2</sub> emissions from aquatic ecosystems. *Ecosystems*, 8: 862-870.

- FALCÃO, L.C. & A. AYRES NETO, 2010.** Parâmetros físicos de sedimentos marinhos superficiais da região costeira de Caravelas, sul da Bahia. *Revista Brasileira de Geofísica*, 28(2): 279-289.
- FIERER, N., J.M. CRAINE, K. MCLAUCHLAN & J.P. SCHIMEL,, 2005.** Litter quality and the temperature sensitivity of decomposition. *Ecology*, 86: 320-326.
- FOLK, R.L. & W.C. WARD, 1957.** Petrol Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentology*, 3 (27): 3-26.
- GRIFFITH, T.W. & J.B. ANDERSON, 1989.** Climatic control of sedimentation in bays and fjords of the northern Antarctic Peninsula. *Marine Geology*, 85: 181-204.
- GUDASZ, C., D. BASTVIKEN, K. STEGER, K. PREMKE, S. SOBEK & L.J. TRANVIK, 2010.** Temperature-controlled organic carbon mineralization in lake sediments. *Nature*, 466: 478-U473.
- HALL, B.L., T. KOFFMAN & G.H. DENTON, 2010.** Reduced ice extent on the western Antarctic Peninsula at 700-970 cal yr BP. *Geology*, 38: 635-638.
- HANSEN, J., R. RUEDY, M. SATO & K. LO, 2010.** Global surface temperature change. *Review Geophysics*, 48: RG4004.
- INGOLFOSSON, O., C. HJÖRT, S. BJÖRCK & R.I.L. SMITH, 1992.** Late Pleistocene and Holocene glacial history of James Ross Island, Antarctic Peninsula. *Boreas*, 21: 209-222.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2007.** Climate change 2007: The physical science basis. Page 18, Paris.
- JONES, J.B.J. & P. J. MULHOLLAND, 1998.** Influence of drainage basin topography and elevation on carbon dioxide and methane supersaturation of stream water. *Biogeochemistry*, 40: 57-72.
- KIRBY, M.E., E.W. DOMACK & C.E. MCCLENNEN, 1998.** Magnetic stratigraphy and sedimentology of Holocene glacial marine deposits in the Palmer Deep, Bellingshausen Sea, Antarctica: implications for climate change? *Marine Geology*, 152: 247-259.
- LE BAS M.J., R.W. LÊ MAITRE, A. STRECKEISEN & B. ZANETTIN, 1986.** A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. 7. *Petrology*, 25:745-750.
- LEE, J.I., H.I. YOON, K-C. YOO, H.S. LIM, Y.I. LEE, Y-S. BAK & T. ITAKI, 2012.** Late Quaternary Glacial–interglacial Variations in Sediment Supply in the Southern Drake Passage. *Quaternary Research*, 78: 119-129.
- LEVENTER, A., R.B. DUNBAR & D.J. DEMASTER, 1993.** Diatom evidence for late Holocene climatic events in Granite Harbor, Antarctica. *Paleoceanography*, 8: 373-386.
- MACHADO, A., E.F. LIMA, JR. F. CHEMALE, J.A. LIZ & J.N. ÁVILA, 2001.** Química mineral das rochas vulcânicas da Península Fildes (Ilha Rei George), Antártica. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(3): 299-306.
- MAROTTA, H., 2006.** Os fatores reguladores do metabolismo aquático e sua influência sobre o fluxo de dióxido de carbono entre os lagos e atmosfera. *Oecologia Brasiliensis* 10 (2): 177-185.



- MAROTTA, H., C.M. DUARTE, S. SOBEK & A. ENRICH-PRAST, 2009.** Large CO<sub>2</sub> disequilibria in tropical lakes. *Global Biogeochemical Cycles*, 23: GB4022, doi:10.1029/2008GB003434.
- MAROTTA, H., C.M. DUARTE, L. PINHO & A. ENRICH-PRAST, 2010.** Rainfall leads to increased pCO<sub>2</sub> in Brazilian coastal lakes. *Biogeosciences*, 7: 1607-1614.
- MAROTTA, H., C.M. DUARTE, S. SOBEK & A. ENRICH-PRAST, 2009.** Large CO<sub>2</sub> disequilibria in tropical lakes. *Global Biogeochemical Cycles*, 23: GB4022, doi:10.1029/2008GB003434.
- MICHEL, R.F.M., 2011.** Pedogênese, classificação e monitoramento térmico da camada ativa de solos da Península Fildes, ilha Rei George e ilha Ardley, Antártica Marítima. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa. 120 p.
- MICHEL, R.F.M., C.E.G.R. SCHAEFER, J. LÓPEZ-MARTINEZ, F.N.B. SIMAR, E. SERRANO & J.G. BOCKHEIM, 2014.** Soils and landforms from Fildes Peninsula and Ardley Island, Maritime Antarctica. *Geomorphology*, 222: 76-86.
- MORETON, S.G., G.C. ROSQVIST, S.J. DAVIES & M.J. BENTLEY, 2004.** Radiocarbon reservoir ages from freshwater lakes, South Georgia, Sub-Antarctic: modern analogues from particulate organic matter and surface sediments. *Radiocarbon* 46, (2): 621-626.
- PARK, B.K., S.K. CHANG, H.I. YOON & H. CHUNG, 1998.** Recent retreat of ice cliffs, King George Island, South Shetland Islands, Antarctic Peninsula. *Annals of Glaciology*, 27: 633-635.
- PETER, H.U., C. BUESSER, O. MUSTAFA & S. PFEIFFER, 2008.** Risk assessment for the Fildes Peninsula and Ardley Island, and development of management plans for their designation as Specially Protected or Specially Managed Areas. Research Report 203 13 124 UBA-FB 001155e. 508 p.
- PILCHLMAIER, M., F.E. AQUINO, C.S. DA SILVA & M. BRAUN, 2004.** Suspended sediments in Admiralty Bay, King George Island (Antarctica). *Pesquisa Antártica Brasileira*, 4: 77-85.
- RACKLEWICKS, G., 1997.** Mid-winter thawing in the vicinity of Arctowski station, King George Island. *Polish Polar Research* 18: 15-24.
- RATHBUERN, A.E., J.J. PICHON, M.A. AYRESS & P. DE DECKKER, 1997.** Microfossil and stable isotope evidence for changes in Late Holocene palaeoproductivity and palaeoceanographic conditions in the Prydz Bay region of Antarctica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 131: 485-510.
- RAYMOND, P.A., J. HARTMANN, r. LAUERWALD, S. SOBECK, C. McDONALD, m. HOOVER, D. BUTMAN, R. STRIEGL, E. MAYORGA, C. HUMBORG, P. KORTELAINE, H. DÚRR, M. MEYBECK, P. CIAIS & P. GUTH, 2013.** Global carbon dioxide emissions from inland waters. *Nature*, 503: 355-359.
- ROBERTS D., T.D. VAN OMMEN, A. MCMINN, V. MORGAN & J.L. ROBERTS, 2001.** Late-Holocene East Antarctic climate trends from ice-core and lake-sediment proxies. *The Holocene*, 11: 1171-120.

- ROSA, K.K., R. VIEIRA, F.F. ACUÑA & J.C. SIMÕES, 2009.** Feições sedimentológicas e geomorfológicas do ambiente de deglaciação das geleiras Wanda e Ecology, ilha Rei George, Antártica. *Pesquisas em Geociências*, 36: 315-326.
- ROSA, K.K., R. VIEIRA, D.F. HAMMES, L. MARQUETTO, F.L. SIMÕES, P. SCALCO & J.C. SIMÕES, 2010.** Sediment yield and transport processes by subglacial meltwater channels Wanda glacier, King George Island, Antarctica. In: XXXI SCAR - 4th Open Science Conference, 2010, Buenos Aires. XXXI SCAR- 4th Open Science Conference, 2010.
- ROSA, K.K., 2011.** Processos de sedimentação glacial e variações ambientais na enseada Martel, ilha Rei George, Shetlands do Sul. Plano de tese apresentado como Exame de Qualificação, pré-requisito para a obtenção do título de Doutor em Ciências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Brasil, 68 p. Inédito.
- SCHAEFER, C.E.G.R., M.R. ALBUQUERQUE FILHO, F.N.B. SIMAS, L.M.P. COSTA, M.B.B. GUERRA, & M.R.M. GOMES, 2004.** Indicadores biogeoquímicos de metais pesados e elementos maiores em solos e coberturas vegetais na península Keller, Antártica. In: Schaefer, C.E.G.R., Francelino, M.R., Simas, F.N.B., Albuquerque Filho, M.R. *Ecossistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima*, 59-64. 192 p.
- SCHULZ, S. & R. CONRAD, 1996.** Influence of temperature on pathways to methane production in the permanently cold profundal sediment of Lake Constance. *Microbiology Ecology*, 20: 1-14.
- SIMAS, F., C. SCHAEFER, M.F. FILHO, E. FILHO & I. DACOSTA, 2008.** Genesis, properties and classification of cryosols from admiralty Bay, Maritime Antarctica. *Geoderma*, 144 (1-2), 116-122. Doi: 10.1016/j.geoderma.2007.10.019.
- SIMÕES, C.L., 2014.** Retração da frente da geleira Collins (ilha Rei George) e sua relação com as variações no clima regional. Trabalho de conclusão de curso de graduação (grau de Bacharel). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Brasil, 65 p. Inédito.
- SIMOES, J.C, U.F. BREMER, F.E. AQUINO & F.A. FERRON, 1999.** Morphology and variations of glacial drainage basins in the King George Island ice fields, Antarctica. *Annals of Glaciology*. International Glaciological Society, 29: 220-224.
- SMEIHE, J.,L., J. PANKHURSTR, R.A. THOMSOMN & E.S. DAVIESR, 1984.** The Geology of the South Shetland Islands: VI. Stratigraphy, geochemistry and evolution. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, No. 87, 85 pp.
- SOBEK, S., L.J. TRANVIK & J.J. COLE, 2005.** Temperature independence of carbon dioxide supersaturation in global lakes, *Global Biogeochemical Cycles*, 19: 1-10. GB2003, doi:10.1029/2004GB002264
- SOBEK, S., E. DURISCH-KAISER, R. ZURBRUGG, N. WONGFUN, M. WESSELS, N. PASCHE & B. WEHRLI, 2009.** Organic carbon burial efficiency in lake sediments controlled by oxygen exposure time and sediment source. *Limnology and Oceanography*, 54: 2243-2254.
- SRIVASTAVA, A.K., K.R. RANDIVE & N. KHARE, 2013.** Mineralogical and geochemical studies of glacial sediments from Schirmacher Oasis, East Antarctica. *Quaternary International*, 292: 205-216.
- SUGDEN, D.E., M.J. BENTLEY & C.O. COFAIGH, 2006.** Geological and geomorphological insights into Antarctic ice sheet evolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 364: 1607-1625.

- TATUR, A., R. DELVALLE, A. BARCZUC & J.C. MARTINEZ-MACCHIAVELLO, 2004.** Records of Holocen environmental changes in terrestrial sedimentary deposits on King George Island, Antarctica: a critical review. *Ocean and Polar Research*, 26: 531-537.
- TRANVIK, L.J., J.A. DOWNING, J.B. COTNER, S.A. LOISELLE, R.G. STRIEGL, T.J. BALLATORE, P. DILLON, K. FINLAY, K. FORTINO, L.B. KNOLL, P.L. KORTELAINEN, T. KUTSER, S. LARSEN, I. LAURION, D.M. LEECH, S.L. MCCALLISTER, D.M. MCKNIGHT, J.M. MELACK, E. OVERHOLT, J.A. PORTER, Y. PRAIRIE, W.H. RENWICK, F. ROLAND, B.S. SHERMAN, D.W. SCHINDLER, S. SOBEK, A. TREMBLAY, M.J. VANNI, A.M. VERSCHOOR, E. VON WACHENFELDT & G.A. WEYHENMEYER, 2009.** Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate. *Limnology and Oceanography*, 54: 2298-2314.
- TURNER, J., S.R. COLWELL, G.J. MARSHALL, T.A. LACHLAN-COPE, A.M. CARLETON, P.D. JONES, V. LAGUN, P.A. REID & S. IAGOVKINA, 2005.** Antarctic climate change during the last 50 years. *International Journal of Climatology*, 25: 279-294.
- VAUGHAN, D.G., G.D. MARSHALL, W.M. CONNOLLEY, C. PARKINSON, R. MULVANEY, D.A. HODGSON & J. TURNER, 2003.** Recent Rapid Regional Climate Warming on the Antarctic Peninsula. *Climate Change*, 60: 243-274.
- VIEIRA, R., M.S. ROSSATO & J.C. SIMÕES, 2004.** Condições termo-basais da geleira Ecology inferidas de sedimento subglacial e geoformas. In: XII Seminário de Pesquisas Antárticas, 2004, São Paulo. XII Seminário de Pesquisas Antárticas.
- VIEIRA, R., M.S. ROSSATO, F.E. AQUINO & J.C. SIMÕES, 2005.** Feições morfológicas associadas ao ambiente de deglaciação da geleira Ecology, Ilha Rei George, Antártica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2: 51-64.
- VOGT, S. & M. BRAUN, 2004.** Influence of glaciers and snow cover on terrestrial and marine ecosystems as revealed by remotely-sensed data. *Pesquisa Antártica Brasileira*, 4: 105-118.
- YOON, H.I., B.K. PARK, Y. KIM & D. KIM, 2000.** Glaciomarine sedimentation and its paleoceanographic implications along the fjord margins in the South Shetland Islands, Antarctica during the last 6000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 157: 189-211.
- WADHAM, J.L., S. ARNDT, S. TULACZYK, M. STIBAL, M. TRANTER, J. TELLING, G.P. LIS, E. LAWSON, A. RIDGWELL, A. DUBNICK, M.J. SHARP, A.M. ANESIO & C.E.H. BUTLER, 2012.** Potential methane reservoirs beneath Antarctica. *Nature*, 488:633-637.
- WATCHAM, E.P., M.J. BENTLEY, D.A. HODGSON, S.J. ROBERTS, P.T. FRETWELL, J.M. LLOYD, R.D. LARTER, P.L. WHITEHOUSE, M.J. LENG, P. MONIEN & S.G. MORETON, 2011.** A new Holocene relative sea level curve for the South Shetland Islands, Antarctica. *Quaternary Science Reviews*, 30: 3152-3170.



ENSENADA, REGION OF LOS LAGOS. EFFECTS OF THE LAST ERUPTIVE EVENT OF CALBUCO VOLCANO IN APRIL 2015. COVER OF PYROCLASTIC MATERIAL IN SOILS AND LIVESTOCK FARMING WERE OBSERVED, WHICH GENERATED SIGNIFICANT DAMAGE TO HOMES, INFRASTRUCTURE AND PRODUCTIVE ACTIVITIES. THE POPULATION OF ENSENADA VILLAGE WAS EVACUATED, DUE TO BEING LOCATED WITHIN THE EXCLUSION AREA 20 KM AROUND THE VOLCANO. THIS SECTOR HAS UNDERGONE A MAJOR CHANGE IN LAND USE DUE TO INTEREST FROM PROPERTY DEVELOPER IN CONSTRUCTING HOLIDAY HOMES AND SELLING PLOTS OF LAND, WHICH HAS INCREASED THE EXPOSURE OF THE POPULATION IN THE AREA. RECURRENCE OF CALBUCO VOLCANO ERUPTIONS AND ITS DANGEROUSNESS HAS DEMONSTRATED THE NEED TO HAVE INSTRUMENTS AND REGULATIONS OF LAND USE PLANNING THAT EFFECTIVELY CONTROLS THE TENDENCY OF OCCUPATION OF RISK AREAS. PROYECTO FONDECYT 1130259. PROF. CARMEN PAZ CASTRO, CPCASTRO@UCHILEFAU.CL.