

**UFRRJ**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,**  
**TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA**

**TESE**

**Regime Térmico da Camada Ativa e *Permafrost* na**  
**Península de Keller, Ilha Rei George, Antártica**  
**(2011-2014)**

**Daniela Augusto Chaves**

**2016**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E  
INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA**

**REGIME TÉRMICO DA CAMADA ATIVA E  
*PERMAFROST* NA PENÍNSULA DE KELLER, ILHA  
REI GEORGE, ANTÁRTICA (2011-2014)**

**DANIELA AUGUSTO CHAVES**

*Sob a Orientação do Professor*

**Leonardo Duarte Batista da Silva**

*e Co-orientação do Professor*

**Márcio Rocha Francelino e**

**Gustavo Bastos Lyra**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária. Área de concentração: Recursos Naturais e Proteção Ambiental.

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2016

631.4360998

C512r

T

Chaves, Daniela Augusto, 1975-

Regime térmico da camada ativa e permafrost na Península de Keller, Ilha Rei George, Antártica (2011-2014) / Daniela Augusto Chaves. - 2016.

133 f.: il.

Orientador: Leonardo Duarte Batista da Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação Agropecuária, 2016.

Inclui bibliografia.

1. Solos - Temperatura - Antártida - Teses. 2. Permafrost - Antártida - Teses. 3. Difusividade térmica - Teses. 4. Análise harmônica - Teses. I. Silva, Leonardo Duarte Batista da, 1971-II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação Agropecuária. III. Título.

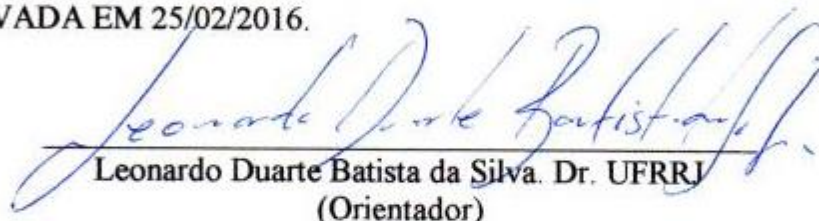
É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E  
INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA**

**DANIELA AUGUSTO CHAVES**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, área de concentração em Recursos Naturais e Proteção Ambiental.

TESE APROVADA EM 25/02/2016.

  
Leonardo Duarte Batista da Silva. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

  
Carlos Rodrigues Pereira. Dr. UFF

  
Elpidio Inácio Fernandes Filho. Dr. UFV

  
Henderson Silva Wanderley. Dr. UFRRJ

  
Mauro Antonio Homem Antunes. Ph.D. UFRRJ

*À Deus, a meus pais, ao meu marido André, ao meu  
filho Raul e a todos que de forma direta ou indireta  
apoiaram e acreditaram em meu trabalho.*

***Dedico***

## AGRADECIMENTO

A Deus, por estar presente em todos os momentos da minha vida e principalmente por colocar em minha vida pessoas especiais que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao PPGCTIA – Programa de Pós-graduação em Ciência Tecnologia e Inovação Agropecuária pela oportunidade da realização do doutorado e de crescimento profissional.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pelo ensino de qualidade durante toda a minha vida acadêmica (graduação, mestrado e doutorado).

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo suporte ao doutorado.

Ao IFRJ (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro) – Campus Nilo Peçanha/Pinheiral pela concessão da licença para a pesquisa.

Ao Dr. Leonardo Duarte Batista da Silva, pela orientação e confiança em mim depositada.

Aos meus Co-orientadores Dr. Gustavo Bastos Lyra e Dr. Márcio Rocha Francelino pelos ensinamentos, dedicação, confiança, paciência, zelo, compreensão e pela oportunidade do doutorado.

À professora Dr<sup>a</sup>. Lúcia Helena Cunha dos Anjos pelo zelo e compreensão.

Aos amigos Thiago Andrade Bernini, Ana Carolina Dornelas e Juliana Oliveira Tostes pelo apoio nas disciplinas, ajuda nas análises e palavras de incentivo.

À funcionária da Secretaria de Pós-graduação em Ciência Tecnologia e Inovação Agropecuária, Renata, que com toda paciência e amor não mediu esforços para me ajudar na realização desse trabalho ao longo desses quatro anos.

Ao Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) e à Marinha do Brasil pelo apoio logístico aos trabalhos de campo.

A meus pais que acreditaram em mim e me apoiaram em todos os momentos.

Ao meu marido André, pela paciência, incentivo e apoio nos momentos mais difíceis e especialmente ao nosso filho Raul que durante esses anos, mesmo sem entender direito, compreendeu a ausência da mãe.

Muito obrigada!

## **BIOGRAFIA**

Daniela Augusto Chaves, filha de Domar Meireles Chaves e Glória Maria Augusto Chaves, nasceu na cidade de Piraí – RJ em 22 de julho de 1975. Graduada em Agronomia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em 2001. Em 2002 foi residente no programa de sementes da UFRRJ, sob orientação do Prof. Dr. Higino Marcos Lopes. Neste mesmo ano foi professora substituta do antigo Colégio Agrícola Nilo Peçanha (UFF) – Pinheiral, hoje Instituto Federal do Rio de Janeiro – Campus Pinheiral até 2004 e depois de 2006 a 2008. Em setembro de 2008 ingressou no Mestrado no Curso de Pós-Graduação em Agronomia Ciência do Solo na UFRRJ, sob a orientação do Prof. Dr. Márcio Rocha Francelino. Em 2009 foi aprovada no concurso público para Docente no Instituto Federal do Rio de Janeiro - Campus Pinheiral com posse em 2010. Em março de 2012, ingressou no doutorado, no Programa de Pós-Graduação em Ciência Tecnologia e Inovação em Agropecuária na UFRRJ, na área de Recursos Naturais e Proteção Ambiental, sob a orientação do Prof. Dr. Leonardo Duarte Batista da Silva.

## RESUMO GERAL

CHAVES, DANIELA A. **Regime térmico da camada ativa e *permafrost* na Península de Keller, Ilha Rei George, Antártica (2011-2014)**. 133 f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação Agropecuária). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

O monitoramento do regime térmico do solo em ambiente periglacial é fundamental para identificar a presença do *permafrost* e a espessura da camada ativa. Este estudo foi realizado para identificar os fatores que influenciam no regime térmico do solo na Península Keller, entre 02/2011 a 02/2015. Para tal monitoramento foram instalados sensores de temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) e do solo ( $T_s$ ) e umidade do solo em diferentes profundidades e sítios na Península de Keller. As análises preliminares dos dados foram realizadas com base nas médias mensais, anuais; médias máximas e mínimas e médias sazonais de  $T_{ar}$ ,  $T_s$  e umidade do solo em diferentes profundidades nos sítios de monitoramento Ipanema, Refúgio II, Punta e sítio Solo com Padrão. Após essas análises foram identificados os dias de congelamento, descongelamento, isotérmicos e congelamento/descongelamento para cada profundidade; as frequências de distribuição das temperaturas e oscilação de temperatura durante o período estudado. As análises realizadas foram: a de correlação cruzada entre as séries de AAO (*Antarctic Oscillation Index*), SOI (*Southern Oscillation Index*),  $T_{ar}$  e  $T_s$ ; a regressão linear simples entre as temperaturas médias anuais e a maior média máxima e mínima anuais; a regressão linear múltipla entre umidade e difusividade térmica aparente do solo (DTA); o índice N\_fator de congelamento e sua relação com a DTA e; a análise harmônica das séries AAO, SOI, MEI (*multivariate ENSO index*),  $T_{ar}$  e  $T_s$ . A maior e a menor  $T_{ar}$  média anual nos quatro anos e nos quatro sítios estudados foi de  $-1,7\text{ °C}$  no sítio Refúgio II e de  $-4,8\text{ °C}$  no sítio Solo com Padrão, respectivamente. O período em que o solo apresentou mais tempo sob o regime de camada ativa foi Ipanema e Refúgio II. A maior e a menor soma de graus dias de descongelamento e congelamento foram de 154,6 e -263,3, respectivamente em Refúgio II. Na análise de correlação cruzada o atraso de fases entre as ondas de  $T_{ar}$  e  $T_s$  foi inferior a um mês em todos os sítios. A correlação entre a AAO x  $T_{ar}$  e SOI x  $T_{ar}$  ocorre com até cinco meses de atraso entre as fases. A análise de regressão linear simples indicou que, em Ipanema e em Refúgio II, o regime térmico do solo se restringe a camada ativa. No sítio Solo com Padrão e Punta Plaza o regime térmico apresentado alcançou o *permafrost* antes da camada de 0,80 e 1,00 m de profundidade respectivamente. Os histogramas de frequência apresentaram predominância de temperaturas em torno de  $0\text{ °C}$  e o gráfico de primeira diferença mostrou que as variações da temperatura foram mais fortes no verão. A análise de regressão linear múltipla mostrou que a umidade influencia na DTA na maior parte dos casos. O N\_fator de congelamento foi inversamente proporcional a DTA próxima a superfície, porém quando o compara com a DTA em profundidade essa relação se aproxima. A análise harmônica permitiu identificar que os modos de variabilidade climática que influenciaram a  $T_{ar}$  nesses sítios, entre os anos de 2011 a 2014, foram os índices AAO e SOI. De maneira geral, o isolamento térmico proporcionado por cobertura da neve mais espessa nos sítios Punta Plaza e Solo com Padrão, permitiu que



o *permafrost* fosse encontrado a profundidades menores quando comparado com os sítios Refúgio II e Ipanema, que obtiveram cobertura da neve menos espessa.

**Palavras-chave:** Regime térmico do solo. Difusividade térmica. Análise harmônica.

## GENERAL ABSTRACT

CHAVES, Daniela Augusto. **Thermal regime of the active layer and *permafrost* in Keller Peninsula, King George Island, Antarctica (2011-2014)**. 133 p. Thesis (Doctorate in Science, Technology and Agricultural Innovation). Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

The monitoring of soil thermal regime in periglacial environment is critical to identify the presence of *permafrost* and the thickness of the active layer. This study was conducted to identify factors that influence the soil thermal regime in Keller Peninsula, from 02/2011 to 02/2015. For such monitoring were installed air temperature sensors (Tar) and soil (Ts) and soil moisture at different depths and sites in Keller Peninsula. Preliminary analyzes of the data were based on the monthly average, annual; maximum and minimum averages and seasonal averages of Tar; Ts and soil moisture at different depths in the monitoring sites Ipanema Refúgio II, Punta and site soil with Standard. After these analyzes identified the days of freezing, thawing, isothermal and freezing / thawing for each depth; the frequency distribution of temperature and temperature fluctuation during the period studied. The analyzes were carried out: the cross-correlation between the AAO series (Antarctic Oscillation Index), SOI (Southern Oscillation Index), Tar and Ts; linear simple regression between the annual average temperatures and the highest average maximum and annual minimum; Multiple linear regression between moisture apparent soil thermal difusividade (DTA); N\_fator the rate of freezing and its relationship with DTA and; the harmonic analysis of the AAO series, SOI, MEI (multivariate ENSO index), Tar and Ts. The highest and lowest Tar annual average in the four years and four sites studied was 1.7 °C on site Refúgio II and 4.8 °C in place with Standard Solo, respectively. The period in which the soil has more time under the active layer system was Ipanema and Refúgio II. The highest and the lowest sum of degree days of thawing and freezing were 154.6 and 263.3, respectively Refúgio II. In cross-correlation analysis the delay phase between the waves of Tar and Ts was less than one month in all sites. The correlation between the AAO x Tar Tar and SOI x occurs up to 5 months delay between the phases. Simple linear regression analysis indicated that in Ipanema and Refúgio II, the soil thermal regime restricted the active layer. On site soil with Standard and Punta Plaza thermal regime presented reached the *permafrost* before the layer of 0.80 and 1.00 m deep respectively. In the frequency histograms showed predominance of temperatures around 0 °C and the first difference graph shown that temperature variations are stronger in summer. Multiple linear regressão analysis showed that the moisture influence on the DTA in most cases. The freezing N\_fator was inversely proportional to close DTA the surface, but when compared with the DTA in depth the relationship approaches. The harmonic analysis identified that climate variability in ways that influenced the Tar these sites between the years 2011-2014, were the AAO and SOI indices. In general, the thermal insulation provided by covering the thickest snow in places Punta Plaza and Solo with Standard allowed the *permafrost* were found at depths less when compared to the Refúgio II and Ipanema sites that were less thick blanket of snow.

**Keywords:** Soil thermal regime. Thermal diffusivity. Harmonic analysis.

## RESUMEN AMPLIADO

**CHAVES, DANIELA AUGUSTO.** Régimen térmico de la capa activa y *pemafrost* en la Península Keller, isla Rey Jorge, Antártida (2011-2014). 133 p. Tesis (Doctorado en Ciencia, Tecnología y Innovación en Agricultura). Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

### 1. Introducción

El territorio antártico queda en inercia del Océano Antártico o Austral, tiene una superficie de 14 millones de km<sup>2</sup> y está situado entre los paralelos 60° y 90 °S y entre 0° y 120 °W meridiano. Es el continente más aislado, frío, alto, seco, con las más altas velocidades de viento, desconocidos y en conserva (Ferreira, 2009).

El Comité Científico de Investigación Antártica (Comité Científico de Investigación Antártica - SCAR) fue creado para hacer frente a los esfuerzos de investigación de diferentes países que trabajaron en la Antártida. Con la entrada de Brasil en la investigación antártica creado el Programa Antártico Brasileño (PROANTAR, 1982), que proporciona una oportunidad para la comunidad científica nacional para llevar también a cabo estudios en la región, entre los cuales el Centro para la Investigación sobre los ecosistemas terrestres antárticos (TERRANTAR) , que forma parte del Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología de la criosfera (inc-criosfera), que este trabajo está vinculado y que también forman parte del proyecto internacional Antártico permafrost y Suelos (ANTPAS), apoyado por el SCAR, que tiene como objetivo controlar el sistema el calor de los suelos antárticos.

Las condiciones climáticas de la Antártida y su aislamiento proporcionan la formación de un ecosistema único, resistente a condiciones extremas y altamente sensibles a los cambios ambientales (SALAMENE, 2013; ANDRADE et al 2014). La temperatura del aire, la cubierta de nieve, el microrrelieve y la cubierta de vegetación, interactuando, entre otras cosas, de la temperatura de la superficie del suelo que es un indicador sensible a las variaciones climáticas. El seguimiento de la capa activa y el permafrost, así como los registros de la temperatura del suelo a largo tiempo son también importantes para calibrar los modelos generales de circulación Ambiente (MCG) en la región (GUGLIELMIN, 2006).

La importancia de la Antártida para Brasil es la influencia de su clima y las corrientes antárticas que fluyen hacia la costa brasileña. Las decisiones que definirán el futuro del continente antártico serán informadas en la realización de la investigación científica y tecnológica que no sólo benefician a la nación brasileña, ya que toda la humanidad. Estas encuestas, en su mayor parte, están relacionadas con cuestiones ambientales, donde los estudios sobre el cambio climático se destacan, cuyas peculiaridades regionales que las posibles variaciones de estudio en la atmósfera a lo largo de los años (SIMÕES et al., 2013).

La Antártida es considerada una región clave para el control del cambio climático. Sus ecosistemas son controlados por el microclima local que afecta a la temperatura del suelo y por lo tanto el estado térmico de la capa activa del permafrost (Almeida et al., 2014).

Por lo tanto, la hipótesis general de este estudio era confirmar, basándose en la vigilancia de la temperatura y la humedad del suelo, el sistema térmico suelo interfiere

con la profundidad de la ocurrencia de permafrost y esto está influenciado por los modos de variabilidad climática. Por lo tanto, se realizó un análisis de series temporales de la temperatura y la humedad del suelo y temperatura del aire en cuatro sitios en la península Keller, isla Rey Jorge, Antártida, entre los años 2011 y 2014 con el fin de proporcionar información para futuros estudios de seguimiento del zona, y contribuir a la comprensión de las variaciones climáticas globales.

## **2. Material y Métodos**

### **2.1 Los sitios de monitoreo**

Para el seguimiento y la capa de permafrost activo en la península Keller, isla Rey Jorge, Antártida Marítima se instalaron sensores de temperatura y humedad del suelo aire y el suelo en cuatro sitios que tenían diferentes características del suelo, la altitud y la cubierta vegetal. Los sitios de monitoreo fueron nombrados en función de su proximidad a localidades (puntos de referencia) reconocidos en la Península, para facilitar su identificación, de la siguiente manera: Ipanema (62°05'09,00" S, 58°24'48,97" W; 96m), Refugio II (62°04'21,33" S, 58°24'58,11" W, 70 m), Punta Plaza (62°05'19,14" S, 58°24'23,98" W; 65m) y Patterned Ground (62°05'20,08" S, 58°24'30,31"W; 93m). Los sensores de temperatura del suelo (modelo L107E - temperatura de la sonda, Inc. Campbell Scientific, Utah, EE.UU.) tienen una precisión de  $\pm 0,42$  ° C y se han instalado verticalmente con profundidades de 5, 10, 30, 50 y 100 cm a lo largo del perfil de suelo. El sensor de humedad del suelo (CS616-L modelo, Campbell Scientific Inc.) con una precisión de  $\pm 2,5\%$  (contenido de agua reflectómetro) se estableció en 10, 30, 50 y 100 cm de profundidad para determinar el contenido de agua volumétrico a lo largo del perfil.

Todos los sensores se conectan a un sistema de adquisición y almacenamiento automático de datos (datalogger CR 1000 Campbell Scientific Inc, Utah, EE.UU.), con fuente de alimentación por batería blindado de alta resistencia. El sistema está programado para almacenar los datos de temperatura y humedad del suelo cada hora. El sensor de temperatura del aire se instaló 1 metro por encima de la superficie del suelo, que consiste en una radiación sistema termistor protegido, ventilado y con una precisión de  $\pm 0,1$  °C. La humedad temperatura de los sistemas de adquisición y almacenamiento y el suelo se colocaron en los compartimientos 120L PVC de alta densidad, los cuales fueron parcialmente enterradas.

### **2.2 Análisis de datos**

#### **2.2.1 Análisis preliminar**

Las mediciones de temperatura (aire y suelo) y la humedad del suelo fueron analizadas previamente para evaluar la calidad de los datos. Posteriormente se calcularon temperatura media del aire mensual y anual; la temperatura del suelo a una profundidad de 5, 10, 30, 50 y 100 cm y la humedad del suelo a profundidades de 10, 30, 50 y 100 cm desde los sitios de monitoreo Ipanema Refugio II, Punta Plaza y Patterned Ground entre los años 2011 y 2014.

La temperatura del suelo a 5, 10, 30, 50 y 100 cm se analizó cada día (24 horas) por la siguiente configuración: 1) días de congelación: durante todo el día la temperatura es negativa y por lo menos una pequeña observación a  $-0,5$  °C; 2) días de descongelación: durante todo el día la temperatura es positiva y al menos una

observación mayor que 0,5 °C; 3) días de congelación y descongelación: temperaturas, respectivamente positivo y negativo con al menos una observación mayor temperatura de 0,5 °C o -0,5 °C; 4) isotérmicos días: todas las temperaturas durante el día debe estar entre -0,5 °C a 0,5 °C, si usted tiene una temperatura fuera de este límite no será caracterizado como el día isotérmica, pero una de las opciones anteriores (GUGLIELMIN et al, 2008 ; MICHEL et al, 2014; ALMEIDA et al, 2014).

Para estimar el espesor de la capa activa y el comienzo de la capa de permafrost de cada sitio, un simple análisis de regresión lineal usando las temperaturas de la planta media anual a diferentes profundidades se ha realizado, y la temperatura máxima más alta y el mínimo anual siguiendo la metodología propuesto por Brown (1970) y Burn & Smith (1988).

En el software Past 1:34 se llevó a cabo la prueba de correlación cruzada para verificar la correlación entre la serie de la temperatura del aire y del suelo a diferentes profundidades. Para la temperatura de análisis de correlación cruzada se fijó la temperatura del suelo y se desplaza en el tiempo (lag), así como las temperaturas del suelo superficial se fija y la otra fase en el tiempo (lag). Para retardos interpretación fue evaluado, el valor de correlación y el valor p. Los valores de  $p < 0,05$  se consideraron significativos, es decir, más del 95% de probabilidad de las series están correlacionados. La correlación más alta que el 50% se considera alta entre las series. Por lo tanto un valor negativo desfase indica que la señal observada en la serie de fase en el tiempo, se produjo n períodos después de que ha ocurrido en el rango fijo como valor de desfase positivo indica que la señal observada en la serie de fase en el tiempo, se produjo "n" periodos antes de tener producido en el número fijo "(soppa, 2011).

El análisis de datos considera la temperatura del aire y del suelo mensual (en las profundidades antes mencionadas), normalizada enero 2011 a diciembre 2014 los sitios Ipanema Refugio II, Punta Plaza y Patterned Ground. Estas temperaturas se normalizaron a la serie de temperaturas del aire y del suelo podría ser comparado. La normalización se obtiene restando la temperatura media de un mes determinado promedio del mes en cada año de la serie y se divide por la desviación estándar de las temperaturas. Los datos finales (resultado de la normalización) se denominan "anomalías en la temperatura (aire o tierra)" y son adimensionales.

Posteriormente, los rangos normales de temperatura del aire estaban relacionados con los índices de la Oscilación Antártica (*Antarctic Oscillation Index* - AAO) y el Índice de Oscilación del Sur (*Southern Oscillation Index* - SOI). Los datos mensuales de los índices de la AAO y el SOI se obtuvieron de la página web de la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) (NOAA, 2015).

Histogramas y gráficos de primera diferencia (primera diferencia de tiempo consecutivo de las mediciones de temperatura) se representaron para comprobar la frecuencia de la distribución y la fluctuación de las temperaturas medidas en cada profundidad, donde las series de tiempo se descompone en su estacionalidad.

### **2.2.2 Análisis de la difusividad térmica del suelo aparente**

La difusividad térmica aparente del suelo (DTA) se estimó para las diferentes estaciones, a través de la ecuación de McGaw et al. (1978). Para evaluar la resistencia al perfil de flujo de energía, varios autores (Nelson et al, 1985; Outcalt y HINKEL, 1989; HINKEL et al ; 2001; Michel et al, 2014; ALMEIDA et al, 2014) utilizó este ecuación.

Para todos los sitios se estimó la difusividad térmica aparente (DTA) en el suelo utilizando temperaturas a profundidades intermedias y calcula cada hora.

Posteriormente la media estacional se calcula teniendo en cuenta el principio de las estaciones y los valores promedio se calcula y se presenta para cada día.

En el software<sup>®</sup> se llevaron a cabo la prueba de regresión lineal múltiple, que se utilizó para verificar si la humedad se correlaciona con los valores de difusividad. Los valores de la variable dependiente (DTA) se generaron en las lecturas por hora, que se llevó a cabo después de la media mensual teniendo en cuenta todos los años y se compara, también el promedio mensual de cada año, con las variables independientes (humedad del suelo a diferentes profundidades). Para ello se determinó  $DTA_{10}$  (valores de difusividad entre las temperaturas de 5 cm, 10 cm y 30 cm de profundidad en el suelo)  $DTA_{30}$  (valores de difusividad entre las temperaturas de 10 cm, 30 cm y 50 cm de profundidad en el suelo) y  $DTA_{50}$  (valores de difusividad entre las temperaturas de 30 cm, 50 cm y 100 cm de profundidad en el suelo) a los sitios de Refugio II y Punta plaza. Para Ipanema sitio para la introducción de los fallos de la temperatura a 50 cm, se hizo  $DTA_{10}$  (valores de difusividad entre 5 temperaturas cm, 10 cm y 30 cm de profundidad en el suelo) y  $DTA_{30}$  (valores de difusividad entre las temperaturas de 10 cm 30 cm y 100 cm de profundidad en el suelo). Para el sitio Patterned Ground que se hizo  $DTA_{TB-30}$   $DTA_{TC-30}$  (valores de difusividad entre las temperaturas de 10 cm, 30 cm y 80 cm de profundidad en el suelo en el borde de la ranura (TB) y el centro de la ranura (TC)).

El índice  $N\_fator$  se analizó para evaluar la influencia del espesor de la nieve en la difusividad térmica aparente del suelo (DTA). El índice  $N\_fator$  relaciona la temperatura del aire con la temperatura del suelo, empleando los valores de grados-día de la congelación del suelo. Para estimar el índice  $N\_fator$  ( $N\_f$ ) fue de los grados relacionados días de congelación la temperatura del aire (FDDA) grados con los días de la temperatura de congelación del suelo de 5 cm (FDD). La temperatura a 5 cm fue elegido para ser el más cercano a la superficie original que permite tener una mayor relación con la cubierta de nieve en el suelo; hay que destacar que no la medición directa del espesor de nieve se hizo en el acto.

### 2.2.3 Análisis de la armónica

El análisis armónico es una representación de una serie obtenido mediante la combinación de senos y cosenos funciones, mientras que el análisis espectral en el que los dominios de frecuencias. En la normalización de serie aplicado a “Z”. El estándar serie transformación,  $Tar$  y  $Ts$  se probaron para confirmar la estacionariedad y distribución independiente de la serie. A esto se realiza mediante el test de Box-Pierce y Dickey Fuller, a través de software libre de Gretl. El análisis armónico y espectral se generaron en el software *Statistica*<sup>®</sup>.

La prueba ADF (Dickey-Fuller), confirma la estacionariedad de la serie estándar, en el que la hipótesis nula  $\delta = 0$ , confirma la existencia de una raíz unitaria, es decir, se dice que no estacionaria de la serie, de lo contrario será estacionaria. El análisis de datos con patrones periódicos puede ser estudiado mediante el análisis armónico o análisis de Fourier, que descompone una serie de datos en componentes independientes, cuyos modelos resultantes son funciones sinusoidales y cosenoidais. Este análisis permite describir el dominio de la frecuencia de una serie de datos ordenados en el tiempo que se repiten a intervalos regulares de tiempo o espacio (JOAO, 2009).

El modelado de la temperatura del suelo y del aire a través del análisis armónico y espectral se da para una serie de datos con “n” muestras y representa como una combinación de senos y cosenos, que oscila alrededor de un valor medio ( $\bar{y}$ ), se ajustó a  $n/2$  funciones armónicas (SALAMENE, 2013).

A medida que el uso de todos los armónicos posibles ( $n/2$ ) para representar la serie no es práctico, entonces usted debe fijar la frecuencia a la que los armónicos representan la mayor parte de la variabilidad de la serie. La relación entre las variables de estimadores de armónicos y la serie de datos  $y_t$  (invariable) independiente de otras funciones armónicas, y puede ser usado para representar la serie.

La anomalía de la temperatura del aire en los sitios se comparó con el índice de AAO (*Antarctic Oscillation Index*), índice SOI (*Southern Oscillation Index*) y el índice MEI (*Multivariate ENSO Index*) para determinar cuál (s) Modo (s) la variabilidad del clima afecta a la (in) en los sitios estudiados. Para ello se representó armónica cuyo espectro fue más dominante en cada sitio.

El análisis de series temporales se normalizaron por la media y la desviación estándar para la identificación de frecuencias (periodograma). La normalización de datos permite que estos tender a una distribución normal, es decir, las variables tienen una distribución simétrica. Después de la normalización de los datos que se presentaron a las pruebas de estacionariedad (*Box-Pierce* y *Dickey-Fuller*), que confirmó la estacionariedad y la independencia de la serie.

### **3. Resultados y Discusión**

En el período 2011-2014, el promedio anual de alquitrán alto y más bajo en los cuatro años y cuatro sitios estudiados fue de 1,7 °C en el sitio Refugio II y 4,8 °C en el sitio Patterned Ground, respectivamente. El período en que el suelo tenía mucho tiempo bajo el sistema de capa activa estaba en su lugar en Ipanema 01/2012 y el sitio Refugio II en 01/2012, 2013 y 2014. La temperatura media mensual y el suelo de temporada a 10 cm de profundidad el sitio Refugio II fueron en promedio 2.0 a la 0.4 °C más alta que las temperaturas a una profundidad de 5 cm, respectivamente, teniendo en cuenta todos los años estudiados. Este sitio possui suelo con arena y arcilla arenosa textura de 0-10 cm, arcilla abierto 10-30 cm y francas 30-50 cm de profundidad (SALAMENE, 2013). Un suelo arcilloso tiene una capacidad de calor más alta, sin embargo el aumento de la temperatura del suelo en la capa de 10 cm de profundidad en este sitio es debido a la textura de este (Romanovsky y Osterkamp, 1997). Para la temperatura mensual, el aumento de la profundidad de 10 cm se produjo entre los meses de octubre / noviembre a febrero / marzo y media estacional este aumento fue en la primavera / verano, que coincidió con los meses de aumento de la temperatura mensual. La temperatura mostró un marcado carácter estacional, con temperaturas más altas en los meses de octubre a mayo y la más baja desde junio a septiembre. Las temperaturas del suelo estaban por encima de 0 °C entre los meses de diciembre y febrero, que era similar a la presentada por Thompson et al. (1971) para estudiar la superficie del suelo continental antártica en seco Valey.

La variabilidad interanual de la capa activa en todos los sitios se demostró que era similar a partir de un año a otro. En todos los sitios de la temperatura del suelo disminuyó al aumentar la profundidad. En general, la temperatura del suelo acompañó a la temperatura del aire ( $T_{ar}$ ). Sin embargo, el suelo, sobre todo en condiciones de ultracongelación más lentamente debido a sus propiedades térmicas, que son influenciados por la textura, estructura y aspectos del relieve, la baja eficiencia como conductor del calor y la inercia debido a la propagación de la onda de calor en el suelo (Francelino et al., 2004). La mayor suma de días-grado de deshielo fue 154,6 en el lugar de Refugio II, 10 cm de profundidad, en 01/2012. El suelo se mantuvo congelado en todos los lugares y en todos los años de estudios en los meses de agosto y septiembre. La suma más baja de grados-día fue de 263,3 en 07/2011 en el sitio Refugio II. Al

comparar los diferentes años y diferentes sitios, el Patterned Ground era lo que se conserven más tiempo (junio a noviembre), el suelo helado en todas las profundidades estudiadas. Refugio II tuvo la mayor suma de grados-día con 263 g.d<sup>-1</sup> congelación a 10 cm de profundidad 07/2011, seguido de 236 g.d<sup>-1</sup> de congelación a 5 cm de profundidad 08/2011. Incluso con se observó el suelo congelado que 100 cm del suelo temperatura, aunque por debajo de 0 °C, se mantiene más alta que la profundidad de la superficie. Esto es debido a que el equilibrio térmico tarda más tiempo en alcanzar a mayores profundidades (Ramos y Vieira, 2003).

El análisis de regresión lineal simple mostró que los sitios Ipanema, Refugio II ninguna de las profundidades de las medidas se encuentra en permafrost, lo que indica que el régimen térmico del suelo en estos sitios se restringió a la capa activa. El sitio Patterned Ground y Punta Plaza, el régimen térmico alcanzado el permafrost antes de la capa de 0,8 y 1,0 m de profundidad, respectivamente. En el Patterned Ground se encontró que la temperatura por hora en el borde de la cresta del suelo todavía permanecía a temperaturas por encima de 0 °C, no permafrost caracterización, y Punta Plaza también no caracterizó la presencia de permafrost a cerca de 1 m, pero indicó que esta es la profundidad de más de 0,97 m. Sin embargo, el centro de la ranura a la misma profundidad (80 cm), la temperatura se mantuvo por debajo de 0 °C, pero cuando el suelo no se congeló en un estado de isoterminia. Por lo tanto, se puede concluir que el permafrost está presente en el suelo sitio con profundidad estándar mayor de 0,75 m. La profundidad de la capa activa en el área de estudio varió un poco del que se encuentra por Michel et al (2014) en la Península Fildes, cuya variación está entre 89,0 cm y 105,8 cm, con un promedio de 101.0 cm.

La correlación entre la AAO x T<sub>ar</sub> y T<sub>ar</sub> x SOI ocurre, respectivamente, con un retraso de cinco meses entre las fases en el sitio con el patrón del suelo. En otros lugares, el retraso de fase era menos de un mes. Los histogramas de frecuencia mostraron un predominio de temperaturas de alrededor de 0 °C en todas las capas y todos los sitios. Para la primera parcela diferencia se encontró que las variaciones de temperatura fueron más fuertes en el verano. El régimen térmico del suelo varió entre sitios y entre años, sin embargo, los sitios que tenían mucho tiempo bajo el régimen de cortina de cero había *pemafrost* cerca de la superficie.

Para calcular la difusividad térmica aparente se observó media estacional que cuando la variación de la temperatura media del suelo se acercó  $\pm 0,03$  °C valores de difusividad presentados hasta tres órdenes de magnitud mayor que en otras condiciones térmicas. Cuando los valores de temperatura en las diferentes profundidades del suelo considerados en la determinación de la difusividad o están cerca difusividad isoterminia tiende a infinito. Sobre la base de esta restricción y la exactitud de los sensores que elegimos para no tener en cuenta los valores de la variación de temperatura entre 0,04 °C y 0,04 °C.

La difusividad térmica aparente del suelo varía según la temporada y fue negativo en invierno la DTA<sub>10</sub>, positiva la DTA<sub>30</sub> y DTA<sub>50</sub> en todos los sitios. En verano, los valores mostraron una tendencia positiva en casi todos los sitios. Los valores de difusividad eran menos variabilidad en las condiciones más frías, principalmente las capas más profundas. En general, los valores de DTA eran más pequeños y más poca profundidad aumentó con la disminución de profundidad. La difusividad media aparente del suelo teniendo en cuenta todos los años fue de  $9,2 \times 10^{-07} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (DTA<sub>10</sub>) y  $5,5 \times 10^{-06} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (DTA<sub>30</sub>) Ipanema;  $9,6 \times 10^{-08} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (DTA<sub>10</sub>),  $1,5 \times 10^{-06} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (DTA<sub>30</sub>) y  $2,3 \times 10^{-06} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (DTA<sub>50</sub>) Punta Plaza;  $2,5 \times 10^{-07} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (DTA<sub>10</sub>)  $1,9 \times 10^{-06} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (DTA<sub>30</sub>) y  $2,3 \times 10^{-06} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (DTA<sub>50</sub>) en Refugio II; y  $6,4 \times 10^{-07} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (DTA<sub>TB30</sub>) y  $1,1 \times 10^{-06} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (DTA<sub>TC30</sub>).



En el verano los valores mostraron una tendencia positiva en casi todos los sitios, la excepción fue el sitio Refugio II, que tenían valores de difusividad negativos  $DTA_{10}$  este período. Se puede inferir que en invierno puede haber ocurrido la precipitación de agua en forma líquida (lluvia) en la mayoría de los sitios, y por lo tanto hay una mayor infiltración de agua en la superficie, lo que contribuye a los valores negativos del DTA en invierno profundidades menores. A pesar de la precipitación en forma líquida son más frecuentes en verano, asociado con la temperatura del aire por encima de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Rosa et al., 2015), estas precipitaciones también se producen en invierno, pero en un menor porcentaje de aparición de 26% de la precipitación neta en (datos calculados de acuerdo a la climatología de la Bahía del Almirantazgo (PROANTAR / CPTEC / INPE), basado en la serie 1986-2010) de invierno y de 59,1% en verano. Como Almeida et al. (2014), los valores de difusividad eran menos variabilidad en las condiciones más frías, principalmente las capas más profundas. Este autor también informa que el promedio DTA fue positivo en invierno ( $1.7 \times 10^{-07} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) a 30 cm de profundidad, lo que corrobora los hallazgos de este estudio, cuyos valores DTA fueron positivos en profundidad. El menor contenido de agua de los resultados de suelo en una baja conductividad térmica y difusividad térmicas relativamente altas (SEYBOLD et al., 2009). Sin embargo, en el inicio de la descongelación del suelo (primavera-verano), con la más alta DTA humedad tenido los valores más altos, esto es porque el agua llena los huecos y proporciona un mayor contacto entre las partículas de suelo, lo que resulta en una mayor propagación de calor y por lo tanto la difusividad térmica (CALABONE, 2002).

Por lo tanto, en el verano en los lugares más, el DTA fue positivo, a excepción era Refugio II, que tiene el mayor número de días de descongelación (431 días), teniendo en cuenta todos los años y la profundidad de 10 cm. Esto causó aumento de humedad del suelo en superficie, lo que resultó en la superficie difusividad negativo y a profundidades positivas. En invierno, la superficie difusividad negativa puede estar relacionada con líquido en la precipitación de invierno como se describe anteriormente. En el análisis de regresión múltiple Linar se puede concluir que más del 70 y el 63% de probabilidad de influencia de humedad del DTA en el sitio Ipanema, Plaza y Punta respectivamente. En los otros sitios, Refugio II y Patterned Ground, la humedad puede influir en el DTA ( $p > 0,05$ ), pero el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) no se exponía en los valores observados.

El  $N_{\text{factor}}$  fue similar en los sitios de Ipanema ( $r^2 = 0,96$   $DTA_{10}$ ;  $r^2 = 0,98$   $DTA_{30}$  y Refugio II ( $r^2 = 0,96$   $DTA_{10}$ ;  $r^2 = 0,96$   $DTA_{30}$ ;  $r^2 = 0,98$   $DTA_{50}$ ), pero si sitios diferenciados del Patterned Ground ( $r^2 = 0,88$   $DTA_{TC-30}$ ;  $r^2 = 0,92$   $DTA_{TB-30}$ ) y Punta Plaza ( $r^2 = 0,12$   $DTA_{10}$ ;  $r^2 = 0,84$   $DTA_{30}$ ;  $r^2 = 0,59$   $DTA_{50}$ ). La relación entre el  $N_{\text{factor}}$  congelación acumulada con el DTA acumulada fue inversamente proporcional en comparación con la siguiente superficie difusividad calculado acumulativa ( $DTA_{10}$ ), pero si se compara con el  $N_{\text{factor}}$  DTA en profundidad, esta relación es estrecha. Sin embargo, los sitios en Patterned Ground con estándar y Punta Plaza tenían los índices más bajos  $N_{\text{factor}}$ , lo que indica una mayor cobertura de nieve y el permafrost cerca de la superficie en comparación con los sitios de Ipanema y Refugio II. Por lo tanto, en el verano donde no la descongelación del agua en el suelo, lo que conduce a un aumento de la humedad en la superficie, y por lo tanto la DTA mostraron valores positivos, mientras que en invierno valores DTA eran superficial negativa. El espesor de la capa de nieve y las precipitaciones en forma líquida en el invierno contribuido a este resultado.

El análisis armónico identificó un período repetitivo de unos 7.7 meses en alquitrán  $T_{\text{ar}}$  y  $T_s$ , los sitios de Ipanema, Refugio II y Patterned Ground, que se

correspondía con el mismo periodo de armónicos (suma de los tres armónicos) de la AAO y el SOI. Este patrón se explica por el gráfico de dispersión, el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) era superior al 60% para el sitio de Ipanema, el 30% de Refugio II y el 50% para el Patterned Ground. Para Punta Plaza se observó un periodo de repetición de 7,2 meses en todas las profundidades, con más del 70% de este patrón se explica por la suma de los tres mayores armónicos del espectro de potencia de la serie. Cuando se trazan los índices AAO y SOI con alquitrán armónico más dominante, se verificó éstos están en fase. Por lo tanto podemos decir que la variabilidad del clima en formas que influyó en el  $T_{ar}$  estos sitios entre los años 2011-2014 en la Antártida fueron los índices de AAO y SOI. Del mismo modo, cuando se representa armónico de alquitrán con  $T_s$  observaron un período de cuatro meses con una fase negativa y cuatro meses con fase positiva que se alternan con los años. Este período se divide en positivos (temperaturas del suelo promedio por encima de 0 °C), negativa (con temperaturas medias del suelo por debajo de 0 °C) y isotérmica o de transición (con temperaturas de -0.5 °C y 0,5 °C).

Por lo tanto, los análisis armónicos y espectrales dados resultados satisfactorios cuando se utiliza con el propósito de comparar el régimen térmico del suelo de la capa activa con las variables meteorológicas y puede contribuir a la vigilancia del medio ambiente de la región antártica.

#### 4. Conclusiones

En resumen, el sitio que tiene las temperaturas más bajas es el Patterned Ground y el sitio con las temperaturas más altas es Refugio II, cuya temperatura anual promedio aire es de -4,8 °C y -1,7 °C, respectivamente. Los datos de temperatura del aire indican una tendencia al aumento de las temperaturas medias anuales en todos los sitios. Todos los sitios de estudio exhibieron temperatura media anual del suelo por debajo de 0 °C. La medición de la profundidad de los suelos no alcanza el permafrost en los sitios de Ipanema y Refugio II, lo que indica que el régimen térmico del suelo restringe la capa activa en estos sitios. El sitio Patterned Ground y Punta Plaza, donde el régimen térmico del suelo tiene condiciones más frías que permitieron el desarrollo de permafrost a profundidades mayores de 0,75 y 1,0 m, respectivamente. El análisis de correlación mostró que el evento AAO tiene una mayor correlación con el alquitrán que el evento SOI (ENOS), pero el retraso en el tiempo de ambos eventos es el siguiente. Por lo tanto, el suelo régimen térmico varió entre sitios y entre los años, sin embargo, los sitios tenían más tiempo bajo el sistema de cortina de cero *permafrost* presentar más cercana a la superficie.

El modelo de la aparente del suelo difusividad térmica (DTA) presenta un buen valor a deducir difusividad datos. Sin embargo, hay una necesidad de hacer caso omiso de los valores de la variación de la temperatura media del suelo acercarse  $\pm 0,03$  °C. Esto es debido a la tendencia del modelo de acercarse a la (variación de la temperatura del suelo con la profundidad igual a cero) isoterma difusividad tienden a infinito. Los sitios presentes tendencia a la baja el  $DTA_{10}$  y positivo  $DTA_{30,50}$  en invierno, en todos los sitios. En el verano los valores mostraron una tendencia positiva en casi todos los sitios, con valores más altos de DTA. Esto nos permite inferir que en el invierno puede haber ocurrido la precipitación en forma líquida en la mayoría de los sitios. La difusividad aumentó con la disminución de la profundidad del suelo. La humedad del suelo influye en la DTA en Ipanema sitio y Punta Plaza con más de 70,0 y 63,0% de probabilidad, respectivamente. En los otros sitios, Refugio II y Patterned Ground, la humedad puede influir en el DTA ( $p > 0,05$ ), pero el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) no explicaron la mayor parte de la variabilidad de los valores observados. Los índices

N\_fator varían entre años y entre los lugares y la relación entre el N\_fator congelación acumulada y acumulada DTA fue inversamente proporcional en comparación con la siguiente superficie difusividad térmica acumulada estimada ( $DTA_{10}$ ), pero cuando se compara la N\_fator con DTA en profundidad esta relación se acerca.

La región cuenta con cuatro meses con una fase negativa y positiva de fase cuatro meses de alternancia en los últimos años así la estacionalidad se puede dividir en tres períodos de cuatro meses durante el año. El análisis espectral y armónico permitió identificar periodos de frecuencias más altas que se repiten a intervalos de tiempo regulares que están relacionados con la modos de variabilidad del clima AAO y SOI. En el período de observación (cuatro años) se puede concluir que los resultados fueron satisfactorios para expresar la temperatura modelo de suelo a diferentes profundidades en la región estudiada.

**Palabras clave:** Días grados. Análisis armónico. AAO y SOI índice.



## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2.	REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1	<i>Permafrost</i> e Camada Ativa .....	3
2.2	Mecanismos de Transporte de Calor .....	4
2.3	Modos de Variabilidade Climática na Antártica .....	5
2.4	Solo com Padrão ( <i>Patterned Ground</i> ) .....	6
CAPÍTULO I: REGIME TÉRMICO DA CAMADA ATIVA E <i>PERMAFROST</i> NA PENÍNSULA KELLER, ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA MARÍTIMA (2011-2014)		
1.	RESUMO .....	13
2.	ABSTRAT .....	14
3.	INTRODUÇÃO .....	15
4.	MATERIAL E MÉTODOS .....	17
4.1	Sítios de Monitoramento .....	17
4.2	Análise dos Dados .....	20
5.	RESULTADO E DISCUSSÕES .....	23
6.	CONCLUSÕES .....	75
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	76
CAPÍTULO II: MODELAGEM DA DIFUSIVIDADE TÉRMICA APARENTE DO SOLO PARA CARACTERIZAR AS TROCAS DE CALOR NO SOLO NA PENÍNSULA KELLER, ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA MARÍTIMA		
1.	RESUMO .....	83
2.	ABSTRAT .....	84
3.	INTRODUÇÃO .....	85
4.	MATERIAL E MÉTODOS .....	86
5.	RESULTADO E DISCUSSÃO .....	88
6.	CONCLUSÕES .....	98
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	99
CAPÍTULO III: SÉRIES TEMPORAIS APLICADAS AO REGIME TÉRMICO DO SOLO E AOS MODOS DE VARIABILIDADE CLIMÁTICA NA PENÍNSULA KELLER, ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA MARÍTIMA – UM ESTUDO DE 2011-2014		
1.	RESUMO .....	103
2.	ABSTRAT .....	104
3.	INTRODUÇÃO .....	105
4.	MATERIAL E MÉTODOS .....	107
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	110
6.	CONCLUSÕES .....	133
7.	CONCLUSÕES GERAIS .....	134
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	135

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O território Antártico é considerado o sexto continente. “Profundidades abissais superiores a 3.000 m o torna totalmente ilhado, sem vinculação alguma a outras terras, nem mesmo através de plataformas continentais” (BISCHOFF, 1996, p.3). Costeado pelo oceano Antártico ou Austral, possui superfície de 14 milhões de km<sup>2</sup> e está localizado entre os paralelos 60° e 90°S e entre os meridianos de 0° e 120°W. É o continente mais isolado, frio, elevado, seco, com as maiores velocidades do vento, desconhecido e preservado. A flora existente é primitiva, composta principalmente por líquens e musgos. A fauna, apesar de pouca diversa, é composta por grandes populações de mamíferos e aves aquáticas (FERREIRA, 2009).

A exploração do continente Antártico começou em 1772-1775 pelo navegador britânico James Cook, sendo limitado ao seu litoral. Na primeira década do século XX começaram outras expedições (francesas, russas, estadunidenses, entre outras) que, além de explorar o território, tinham o interesse científico como principal viés (VIEIRA, 2006). Nessa época, foi criada a Comissão Polar Internacional, que reunida na Alemanha em 1879, decidiu promover o “Primeiro Ano Polar” (1882-1883) com a participação de doze países (BISCHOFF, 1996).

Esta região, entre os anos 20 e 30 foi marcada por disputas de território por vários países, entre eles estavam a Argentina, Grã-Bretanha, França, Noruega, Austrália, Nova Zelândia e o Chile (VIEIRA, 2006). Posteriormente, durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), vários países começaram a ocupar permanentemente o território Antártico com caráter científico-estratégico. Em 1955, foi organizada a “Conferência de Paris” que tratava de assuntos relacionados com o continente Antártico (BISCHOFF, 1996).

Com a assinatura do Tratado da Antártica em 1959, iniciou-se a criação de um comitê especial para tratar das ações de pesquisas dos diferentes países que atuavam naquela região que ficou denominado como Comitê Científico para Pesquisas Antárticas (*Scientific Committee on Antarctic Research – SCAR*). Posteriormente, com a entrada do Brasil no Tratado da Antártica em 1972, foi criado o Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR, 1982), que oportunizou a comunidade científica nacional a também realizar estudos na região, dos quais se destaca o Núcleo de Pesquisas sobre Ecossistemas Terrestres da Antártica (TERRANTAR), que integra o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Criosfera (INCT-Criosfera), o qual esse trabalho está vinculado e o qual também compõem o projeto internacional *Antarctic Permafrost And Soils* (ANTPAS), apoiado pelo SCAR, que objetiva o monitoramento do regime térmico dos solos da Antártica.

As condições climáticas da Antártica e seu isolamento proporcionam a formação de um ecossistema único, resistente a condições extremas e altamente sensíveis às mudanças ambientais (SALAMENE, 2013; ANDRADE et al. 2014). A temperatura do ar, a cobertura de neve, o microrelevo e a cobertura da vegetação, interagem, entre outros, com a temperatura da superfície do solo que é um indicador sensível a variações climáticas. O monitoramento da camada ativa e do *permafrost*, assim como registros em longo tempo da temperatura do solo são importantes também para calibrar os Modelos Gerais de Circulação da Atmosfera (GCMs) naquela região (GUGLIELMIN, 2006). A região Antártica desempenha influência essencial na circulação atmosférica e oceânica e, portanto, no sistema ambiental global. As variações climáticas em escala

global estão interligadas com a atmosfera sul-americana e os oceanos que os cercam. As massas de ar frias, associadas às frentes frias, formadas sobre o oceano Austral deslocam-se sobre a América do Sul e produzem eventos de baixa temperatura e geadas nos estados do Sul e Sudeste do Brasil, que podem chegar até o sul da Amazônia, e assim, caracterizar o fenômeno da friagem (SIMÕES et al., 2013).

A importância da Antártica para o Brasil está na influência do seu clima e das correntes Antárticas, que fluem para o litoral brasileiro. As decisões que definirão o futuro do continente Antártico estarão embasadas na realização de pesquisas científicas e tecnológicas que beneficiem não somente a nação brasileira, como toda humanidade. Essas pesquisas, em grande maioria, estão relacionadas a questões ambientais, onde estudos sobre mudanças climáticas se destacam, cujas peculiaridades regionais tornam possível o estudo de variações na atmosfera ao longo dos anos. Esses tipos de estudos são importantes, pois as mudanças provocadas nesse ambiente refletem no restante do Planeta, visto que a Antártica é um dos principais controladores do sistema climático mundial (SIMÕES et al., 2013).

As mudanças ambientais na Antártica são provenientes de diferentes causas, como alterações climáticas, aumento da precipitação e elevação da temperatura do ar e do oceano. Como resultado tem-se a retração das geleiras e plataformas de gelo, o que aumenta as áreas livres de gelo e altera seu ecossistema e a dinâmica do *permafrost* (ANDRADE et al., 2014).

A Antártica é considerada região-chave para o monitoramento das alterações climáticas. Seus ecossistemas são controlados pelo microclima local que afeta a temperatura do solo e, portanto, o estado térmico da camada ativa o *permafrost* (ALMEIDA et al., 2014).

Dessa forma, a hipótese geral desse estudo foi confirmar, com base no monitoramento da temperatura e umidade do solo, que o regime térmico do solo interfere na profundidade de ocorrência do *permafrost* e este é influenciado pelos modos de variabilidade climática. Para tanto foram realizadas análises das séries temporais das temperaturas e umidade do solo e temperatura do ar em quatro sítios na Península Keller, Ilha Rei George, Antártica, entre os anos de 2011 e 2014, a fim de fornecer subsídios para futuros estudos de monitoramento na área, além de contribuir para o entendimento das variações climáticas globais. Esse estudo foi subdividido em três capítulos, sendo eles:

- Capítulo I: Regime térmico da camada ativa e *permafrost* na península Keller, ilha Rei George, Antártica marítima (2011-2014);
- Capítulo II: Modelagem da difusividade térmica aparente do solo para caracterizar as trocas de calor no solo na península Keller, ilha Rei George, Antártica marítima e;
- Capítulo III: Séries temporais aplicadas ao regime térmico do solo e aos modos de variabilidade climática na península Keller, ilha Rei George, Antártica marítima – um estudo de 2011-2014.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 *Permafrost* e Camada ativa

O termo periglacial baseia-se em condições climáticas, referindo-se a ambientes que apresentam temperaturas médias anuais abaixo de  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nestas regiões quando o solo, rocha ou material orgânico permanece com uma temperatura de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ou menor por um período de dois anos ou mais, este recebe a denominação de *permafrost*, não sendo este pré-requisito, mas ocorrendo praticamente em todo ambiente periglacial, de forma contínua ou não (FRENCH, 2007).

*Permafrost* é um conceito puramente pedoclimático, sem significância genética, sendo sua aplicação viável apenas em região de clima extremamente frio que garanta sua existência (BÖLTER et al., 1997). Entretanto, em ambientes onde a presença do *permafrost* é descontínua, ou mesmo esporádica, sua determinação é essencial para compreensão dos processos pedoclimáticos em regiões periglaciais (FRANCELINO, 2004).

O *permafrost* é definido com base na temperatura do solo, não sendo obrigatória a presença de gelo, já que o ponto de solidificação da água pode ser alterado em função da presença de sais, sendo reduzido para valores abaixo de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Assim a presença do *permafrost* não indica necessariamente condição de congelamento permanente do solo, contudo todo solo com temperatura abaixo de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  é *permafrost* (HARRIS et al., 1988). O *permafrost* é considerado como a massa dentro do solo, mas geleiras, deposições superficiais de gelo ou águas superficiais com temperaturas constantes abaixo de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  não se enquadram no termo. Já a camada ativa é a parte superficial acima do *permafrost* que congela e descongela, sendo dependente principalmente da temperatura de seu material constituinte (BREMER, 2008).

O estudo e monitoramento do *permafrost* e da camada ativa na região da Antártica é importante para indicar mudanças relativas ao clima. Pois esses ambientes estão sujeitos a elevadas transferências de energia em superfície podendo alterar o seu ecossistema que são reconhecidamente sensíveis às mudanças climáticas (PEREIRA, 2012). Tal monitoramento é feito utilizando registradores automáticos (*datalogger*) de temperatura e umidade do solo, e temperatura do ar, instalados a várias profundidades, na qual se permite obter informações sobre fluxos de calor no perfil e compreender os processos que afetam o regime térmico do solo ou da rocha como crioclastia, termoclastia e crioexpulsão. (PEREIRA, 2012; GONÇALO et al., 2000).

A crioclastia ou geliturbação é o processo de fragmentação de geleiras e rochas que resulta da força exercida pela água que congela dentro das fendas. Quando a temperatura a água que penetra nas fraturas e nos poros da rocha diminui pode congelar, a água ao mudar de estado líquido para o estado sólido expande-se e aumenta de volume exercendo forças que aumentam as fissuras já existentes ou originam novas fissuras, contribuindo, deste modo para a desagregação da rocha. A termoclastia é um processo que ocorre quando há amplitudes térmicas diárias muito fortes, esta variação implica numa dilatação e posteriormente numa contração. Este movimento resulta em fratura das rochas com a formação de materiais soltos (CASSETI, 2005). A crioexpulsão é um processo que ocorre quando há ciclos de congelamento e descongelamento no solo ocasionando elementos grosseiros que são deslocados em direção oposta aos elementos



mais finos, sendo importante na formação de solos com padrões (poligonais, circulares, estriados etc.) (TOSTES, 2011).

O movimento da geleira, a produção de água de degelo e seu direcionamento, os tipos de erosão, a deposição das partículas de gelo e as taxas das atividades geomorfológicas são controladas por este regime. As características texturais de sedimentos glaciais estão relacionadas com as características térmicas e a dinâmica da geleira. Para reconhecimento da maioria das geleiras e camadas de gelo adota-se uma classificação bem simples: Regime temperado, frio e polythermal. (HAMBREY & GLASSER, 2012). O regime de clima polythermal é considerado por BLATTER & HUTTER (1991) como uma massa de gelo formado por várias regiões desconexas, cada uma apresentando propriedades de fluxo e comportamento físicos distintos e peculiares, sendo algumas partes frias e outras temperadas.

Rosa et al. (2006) analisando sedimentos da zona proglacial da geleira Ecology, Ilha Rei George, Antártica Marítima, verificou que não há muito transporte de sedimentos a longa distância nessas áreas, porém há indicativo que ocorra um regime termo basal úmido ou politermal para a essa geleira.

Devido a essa diferença de clima de um local para outro dentro de uma mesma região é importante compreender os processos de transferência de calor na camada ativa do solo e o estudo das propriedades térmicas do solo (SALAMENE, 2013). Essas propriedades podem ser observadas através da temperatura do solo em diferentes profundidades o que possibilita conhecer importantes propriedades como condutividade e difusividade térmica (RAO et al., 2005).

## 2.2 Mecanismos de Transporte de Calor

Os mecanismos de transporte e transferência de calor dar-se-á por três modos: condução, convecção e radiação térmica. O termo condução é usado quando, em meio estacionário, existe um gradiente de temperatura, podendo ser sólido ou líquido, ocorrendo a transferência de calor. A convecção é a transferência de calor entre um sólido e um líquido, em movimento, em diferentes temperaturas; já a radiação térmica é o transporte da energia na forma de ondas eletromagnéticas, não necessitando propriamente de um meio material para se propagar (INCROPERA et al., 2008).

A condutividade térmica é um processo de transferência de calor, cujo transporte dar-se-á por condução, ou seja, é a capacidade de um material em conduzir calor. É definida como sendo "*a taxa de transferência de calor, por unidade de comprimento, por unidade de área, por diferença de temperatura*" (DUARTE, 2004, p.55). Para solos finos, tais como: siltes, argilas siltosas, siltes argilosos e argilas a faixa de valores de condutividade térmica é em torno de 0,25 a 2,5 W/m.°K, para solos saturados; quando o solo está seco este valor pode ser mais baixo, apresentando uma média de 1,7 W/m.°K (DUARTE, 2004).

O transporte do fluxo de calor no solo ocorre pela transferência de energia cinética através da movimentação entre as moléculas. A temperatura é a propriedade que controla esse processo e é medida na forma de energia cinética, cuja movimentação das moléculas vai da zona de maior temperatura para a zona de menor temperatura (ÇENGEL & GHAJAR, 2011). A temperatura no solo é influenciada pelas trocas de calor entre a superfície do solo e a atmosfera (PREVEDELLO, 1996) e é gerenciada pelo fluxo de calor que depende: (a) da condutividade térmica do material, ou seja, da quantidade de energia térmica que o solo é capaz de transmitir e (b) do calor específico, ou seja, da quantidade de energia que solo necessita para armazenar antes de elevar a sua temperatura em 1k. Entretanto, o calor específico do solo reflete na capacidade que

o solo tem em atuar como reservatório de calor, enquanto que a condutividade térmica reflete na sua capacidade em transmitir calor (PREVEDELLO, 1996).

O calor específico ( $C_p$ ) de um solo seco mineral está entre 0,15 e 0,2 cal/g °C, enquanto que solos orgânicos apresentam  $C_p$  de aproximadamente 0,46 cal/g °C, contudo a água (que tem  $C_p$  de 1 cal/g °C) aumenta o  $C_p$  do solo, que pode subir para 0,3 a 0,5 cal/g °C em solos minerais, indicando que solos úmidos aquecem mais lentamente que solos secos (SALAMENE, 2013).

Em uma substância pura a energia fornecida ao sistema se mantém do início até o total de sua transformação, porém quando se trata de misturas de duas ou mais substâncias a temperatura de solidificação/fusão/ebulição varia do início ao fim do processo, não se mantendo constantes ao longo da transformação (FRENCH, 2007).

A difusividade térmica (DT) é a relação entre a capacidade do material em conduzir energia térmica e sua capacidade de armazená-la. Pode ser definido como a relação existente entre a condutividade térmica do material e a capacidade de aquecimento volumétrico dado em  $m^2 s^{-1}$  (INCROPERA et al., 2008). Ela é capaz de responder como um determinado material reage frente às mudanças de temperatura. Um material com elevada "DT" responde mais rapidamente às mudanças de temperatura do que aquele material com baixa DT que necessitará de mais tempo para atingir uma nova condição de equilíbrio (INCROPERA et al., 2008).

### 2.3 Modos de Variabilidade Climática na Antártica

A variabilidade climática é definida como a variação das condições climáticas que oscilam em torno da média climatológica (ANGELOCCI & SENTELHAS, 2007). Ela é caracterizada na forma de anomalias, que se reflete em distintos eventos meteorológicos ou padrões de circulações também denominados modos de variabilidade climática (CORREIA, 2015).

O principal modo de variabilidade climática de ocorrência no Hemisfério Sul é a oscilação Antártica (AO) que exerce forte influência na variação da temperatura em superfície na Antártica, contudo o *El Niño Oscilação Sul* (ENOS) ou *El Niño Southern Oscillation* (ENSO, em inglês), embora ocorra em regiões equatoriais, também exerce forte influência na variação da temperatura em determinadas regiões da Antártica, além de contribuir para a variação da temperatura das águas do oceano, frequências de ventos meridionais e extensão do gelo marinho (LINDEMANN, 2012). Segundo Turner et al (2004) a variação do ENOS pode afetar a variação do AAO e vice-versa, pois ambos eventos proporcionam um acoplamento entre o clima Antártico e o clima Equatorial.

A oscilação Antártica (AO) também chamado de Modo Climático Anular Sul (*South Annular Mode* - SAM) é um modo de variabilidade climática de grande escala, caracterizado por ventos de oeste que circundam a Antártica com movimento norte-sul (AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY, 2012). A AO é considerada um padrão de oscilação entre os cinturões de pressão extratropical no nível médio do mar, com estruturas em forma de anel, zonalmente simétricas e profundas, com sinais opostos e indicando trocas de massas entre as latitudes médias e altas no Hemisfério Sul. Aproximadamente 35% do total da variabilidade climática no Hemisfério Sul é governada pela Oscilação Antártica (AO). O índice AAO (*Antartic Oscillation Index*) positivo está associado com anomalias negativas na temperatura do ar em superfície sobre o continente Antártico e anomalias positivas nas latitudes médias. O aumento da  $T_{ar}$  na Península Antártica e Shetland do Sul, pode estar associada à intensificação dos ciclones sobre o Oceano Austral e dos ventos de oeste em torno de 60°S. (SANTOS & FRANCO, 2010; VASCONCELLOS, 2012; LINDEMANN & JUSTINO, 2015).

O *El Niño Oscilação Sul* (ENOS) também denominado de *Southern Oscillation Index* (SOI) é um índice padronizado, baseado nas diferenças de pressão ao nível do mar do Tahiti e Darwin. É uma medida de pressão do ar em grande escala que ocorre entre o Pacífico tropical oriental e ocidental. A fase negativa do SOI representa pressão do ar abaixo do normal no Tahiti, na Polinésia Francesa e acima do normal em Darwin no norte da Austrália (NOAA, 2015). O SOI é um fenômeno acoplado oceano-atmosfera em escala de tempo interanual e é usado para o monitoramento do componente atmosférico e expresso a correlação inversa entre a pressão atmosférica nos extremos leste e oeste do Oceano Pacífico (PHILANDER, 1990; GLANDZ, 2001). As mudanças na circulação da atmosfera estão relacionadas com o SOI e como consequência ocorre o aquecimento ou o resfriamento das águas superficiais, onde valores negativos do SOI indicam ocorrência de *El Niño* e positivos de *La Niña* (LOPES et al, 2007)

O índice MEI (*multivariate ENSO index*) é uma medida multivariada do evento ENSO. Esse índice usa combinações de seis componentes principais do Pacífico Tropical, computadas pelo COADS (*Comprehensive Ocean – Atmosphere Data Set*), NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), sendo eles: a pressão do nível do mar, componentes do vento de superfície zonal e meridional, a temperatura da superfície do mar, temperatura do ar a superfície, e fração de nebulosidade total do céu (MAZZARELLA et al., 2013). Assim como para o SOI, os valores negativos ou positivos do MEI estão relacionados com a ocorrência de *La Niña* ou *El Niño*, respectivamente. Expresso como médias bimestrais (jan-fev, fev-mar..., nov-dez), o MEI é calculado separadamente para cada mês do ano e obtido empregando a primeira componente principal não rotacionada de todos os seis campos observados. A variação total de cada campo é normalizada e a extração do primeiro componente principal na matriz de covariância dos campos combinados é executada (LOPES et al, 2007).

#### **2.4 Solo com Padrão (*Patterned Ground*)**

O termo *Patterned Ground* ou solos com padrões refere-se a formas de solos mais ou menos simétricos e não são restritos apenas a ambientes frios (HAUBER et al., 2011). Os solos com padrões ou solos poligonais podem ser encontrados em todos os lugares onde os processos criogênicos (congelamento e descongelamento) são, ou foram ativos. Encontram-se tais características na Antártica e em altas montanhas dos Alpes, dos Andes e ainda na África Central (ANISIMOV et al., 2010).

Em ambientes periglaciais os processos intempéricos são regidos pelos ciclos de congelamento-degelo, com a presença ou não de *permafrost*, e propicia uma movimentação no solo e subsolo, gerando distúrbios em sua estrutura e causando a sua reorganização. Este processo criogênico pode ser apresentado de diversas formas, e alguns deles podem ser observados sobre a superfície do solo, como os solos com padrões (*patterned ground*) (van EVERDINGEN, 2005).

A crioturbação é um processo criogênico, dominante em ambientes de *permafrost*, e está relacionada aos mecanismos de ciclos de congelamento/degelo, com destaque para o arredondamento de agregados por estresse mecânico/hídrico e rotação devido às diferentes respostas da massa do solo ao congelamento; lenta translocação de sedimentos contra a gravidade ao longo de fissuras; translocação de partículas e incorporação à estrutura do solo por processos de estresse (MICHEL, 2005). Este processo ocorre devido a diferentes composições dos horizontes do solo, presença de material orgânico e rochoso. Estas evidenciam a crioturbação, sendo utilizadas para registrar antiga presença de *permafrost*. (BOCKHEIM & TARNOCAI, 1998).

Já a solifluxão aborda o movimento lateral da massa do solo, ocasionada pelo degelo de uma massa fracamente consolidada. Este processo é o resultado da ação conjugada da crioturbação, da gelifluxão e da gravidade. O movimento da camada ativa está relacionado com o impedimento da drenagem vertical e com a camada pouco abrasiva rica em gelo fornecida pelo *permafrost*. A intensidade do processo de solifluxão é controlada por diversos fatores, podendo ter maior ou menos expressão dependendo da geoforma, do substrato e dos ciclos de congelamento/degelo (MICHEL, 2005).

Outros processos que influenciam na dinâmica dos regimes térmicos das geleiras são a crioclastia, termoclastia e crioexpulsão. A crioclastia ou geliturbação é o processo de fragmentação de geleiras e rochas que resulta da força exercida pela água que congela dentro das fendas. Quando a da temperatura a água que penetra nas fraturas e nos poros da rocha diminui pode congelar, a água ao mudar de estado líquido para o estado sólido expande-se e aumenta de volume exercendo forças que aumentam as fissuras já existentes ou originam novas fissuras, contribuindo, deste modo para a desagregação da rocha (CASSETI, 2005).

A Termoclastia é um processo que ocorre quando há amplitudes térmicas diárias muito fortes, esta variação implica numa dilatação e posteriormente numa contração. Este movimento resulta em fratura das rochas com a formação de materiais soltos (CASSETI, 2005). A Crioexpulsão é um processo que ocorre quando há ciclos de congelamento e descongelamento no solo ocasionando elementos grosseiros que são deslocados em direção oposta aos elementos mais finos, sendo importante na formação de solos com padrões (TOSTES, 2011).

A dinâmica dos ciclos de congelamento e descongelamento da camada ativa (frequência e intensidade), variações de relevo, quantidade e tamanho dos fragmentos de rocha; levam a uma grande variedade de padrões em solo (MOURA, 2010), os quais podem estar associados com a genética dos solos. Não é comum associar esses padrões com a classificação de solos, contudo sabe-se que provavelmente encontra-se esse padrão em solos como Regosol ou Arctic Brown (DREW & TEDROW, 1962).

Vários autores tentam descrever as terminologias para solos com padrões, mas a descrição de Washburn (1956) tem sido mais adotada, pois essa elimina muitas sobreposições e sinônimos comuns na literatura (DREW & TEDROW, 1962; WASHBURN, 1956). A explicação da origem de solos com padrão está longe de ser esclarecida, contudo Washburn (1956) enumerou 19 hipóteses para explicar sua origem e evolução (FRENCH, 2007), que foram resumidas de acordo com os processos dominantes como: (1) o acúmulo de fragmentos de rocha e/ou sedimentos mais finos ocorrem por repetição de ciclos de congelamento e descongelamento; (2) movimento de massa; (3) diferenças de local; (4) Movimento causado pela pressão hidrostática gerada pelo gelo (criostáticos); (5) movimentos circulatorios movidos pela pressão do gelo; (6) Cunhas de gelo; (7) absorção de água pelos colóides do solo; (8) Intemperismo; Movimentos de contração devido a (9) secagem da água, (10) baixa temperatura e (11) descongelamento; (12) forças de convecção devido a diferenças de densidade da umidade do solo; (13) movimento formado pela pressão intergranular e (14) descongelamento diferencial; (15) Vibrações; (16) fluxo artesianos; (17) aberturas de sulcos ou fendas; (18) descongelamento diferencial e eluviação; (19) combinação da solifluxão com um ou mais processos descritos acima (WASHBURN, 1956).

Os padrões, propostos por WASHBURN (1956) são classificados quanto a presença ou ausência de padrões geométricos (em forma de polígonos, círculos, bancadas (steps), redes (nets) e faixas ou estrias) e ordenação (ordenados ou desordenados) (MOURA, 2010; KRANTZ, 1990). A segregação de pedras é uma caracterização dos padrões

ordenados já os não ordenados se distinguem pela variação na cor, pela cobertura do solo ou topografia (KRANTZ, 1990).

Os padrões *circulares* podem ocorrer isolados ou em grupos, tem de 0,5 a 3,0 m de diâmetro, apresentam-se ordenados ou não ordenados e são encontrados tanto em regiões polares quanto em ambientes alpinos. Os círculos ordenados apresentam bordas de pedras enquanto que os círculos não ordenados apresentam vegetação ao redor (SINGH, 2009).

Os *polígonos* apresentam-se próximo a superfície, em grupos ordenados ou não. Os primeiros possuem bordas de pedras que rodeiam um material mais fino e possuem no máximo 10m de diâmetro, enquanto que os não ordenados apresentam sulcos ou rachaduras ao redor do material mais fino e possuem de 1 a 100 cm de diâmetro. As bordas podem ser altas em relação ao centro, contudo o mais comum é a ocorrência de sulcos com material mais fino no centro. Os polígonos em cunha de gelo são os mais comuns em regiões de *permafrost* (SINGH, 2009).

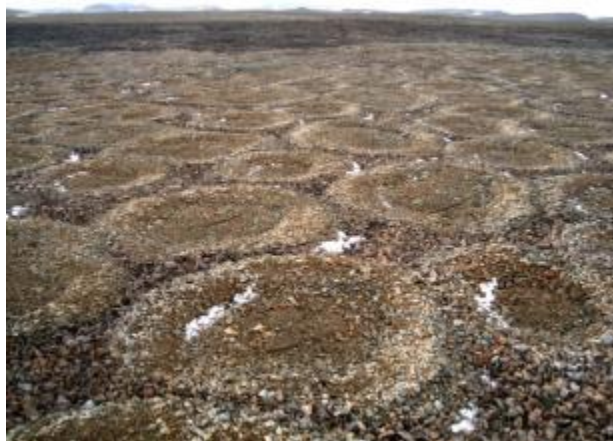
O padrão em *faixas* (estriados) tende a se formar em encostas mais íngremes que as bancadas tendo um relevo com boa drenagem. A forma ordenada é composta por faixas alternadas de material grosseiro e fino ao longo da encosta, enquanto que as formas não ordenadas são delimitadas por pequenas depressões não vegetadas (SINGH, 2009).

Segundo French (2007) as formas em que esses solos se apresentam (Círculos, polígonos e faixas) ainda não são bem explicadas, apenas se conhece que uma forma interage com a outra e o padrão que se apresenta é uma *rede*.

As *redes* são círculos e polígonos de tamanhos menores que não alcançaram o tamanho para serem chamados como tal. Representam uma transição entre polígonos e círculos verdadeiros. Também podem ser ordenados ou não ordenados (SINGH, 2009).

As *bancadas* (*Steps*) são encontradas em encostas suaves, quando em encostas mais inclinadas os polígonos começam a se alongar dentro de pequenos terraços. Podem tornar-se lobuladas. A forma não ordenada possui a parte levantada com vegetação e a borda com solo nu, enquanto que as ordenadas formam-se terraços com material grosseiro na frente. As formas lobadas são conhecidas como guirlandas de pedras (SINGH, 2009).

Os círculos (Figura 1), polígonos e redes são formados, na maioria das vezes, em terrenos planos ou quase planos, ao passo que vai aumentando a declividade os padrões formados são em forma de faixas e quando os círculos interagem uns com os outros se formam os padrões em rede (FRENCH, 2007).



**Figura 1.** Solos com padrão circular na península Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima (Moura, 2010).

Em ambiente periglaciais é mais comum encontrar solos com padrões poligonais, principalmente em regiões com *permafrost* contínuos (LOUSADA, 2012). Os padrões em solos tomam a forma de grandes polígonos que são limitados por depressões ou sulcos formados por partículas de rocha em diferentes tamanhos (MSSS, 2002).

Segundo Moura (2010) os solos com padrões estão distribuídos na Antártica em paisagens livres de gelo, apresentam, principalmente, formas poligonal ou circular, mais ou menos simétricos e de mesmo tamanho e em todas as localidades, variando de 2 até 30 m de diâmetro, sendo mais comum de 2 a 4 metros.

Os mecanismos que formam os padrões em solos são: (1) ordenação de partículas; (2) ciclos de congelamento e descongelamento; (3) congelamento e deformação do solo e; (4) arrastamento das partículas dos solos. Contudo esses mecanismos não são explicados com um único modelo devido a variedade de formas de solos com padrões (HAUBER et al., 2011; FRENCH, 2007).

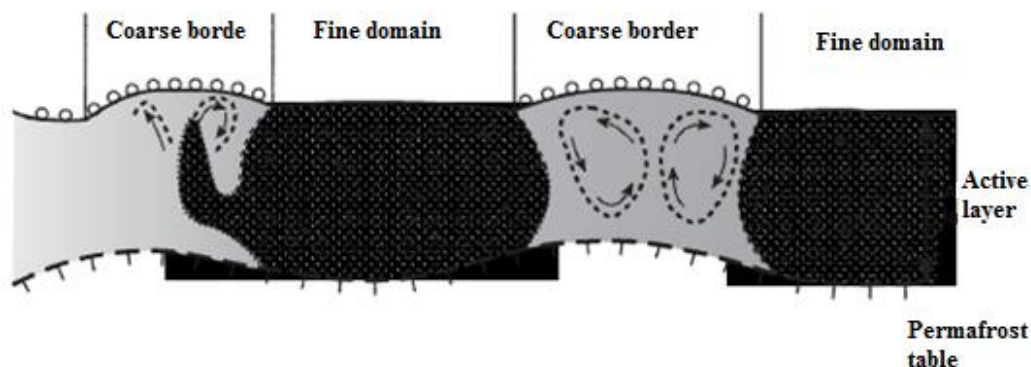
Dentre as hipóteses que tentam explicar a origem e evolução de solos com padrões, a "Teoria da Contração Térmica" é a principal referência da literatura (LACHENBRUCH, 1963) por ter evidências mais claras a seu favor (LOUSADA, 2012).

Segunda essa teoria, no inverno Ártico várias fraturas ou fendas (na forma de uma cunha de gelo) se formam na tundra gelada e são causadas por contração térmica. Na primavera, a água derretida da neve se infiltra nessas fendas abertas no solo e penetra no *permafrost*. Quando o inverno se aproxima novamente ocorre uma nova contração térmica em locais onde estão sujeitos a menores tensões, ocasionando um incremento de gelo. Além dos cristais de gelo, as fendas ou cunhas também recebem sedimentos, material orgânico e neve. Novamente na primavera o gelo derrete e posteriormente, no inverno, volta a congelar repetindo este ciclo por várias décadas e séculos (LOUSADA, 2012).

As cunhas de gelo são formadas em ambientes como planícies de tundra mal drenadas sustentada por *permafrost* contínuo, em desertos polares mais áridos, como as ilhas Alto Ártico, Antártica, e em altas montanhas, podendo também ser encontradas no centro do Alasca, norte do Canadá e Sibéria (FRENCH, 2007).

Os círculos não ordenados são as formas mais comuns de solos com padrões. O nome de "plug circle" é chamado quando a rede é formada por materiais grosseiros nas bordas e é chamada de "Hummocks" quando a rede é formada por montículos de terra sem vegetação (FRENCH, 2007).

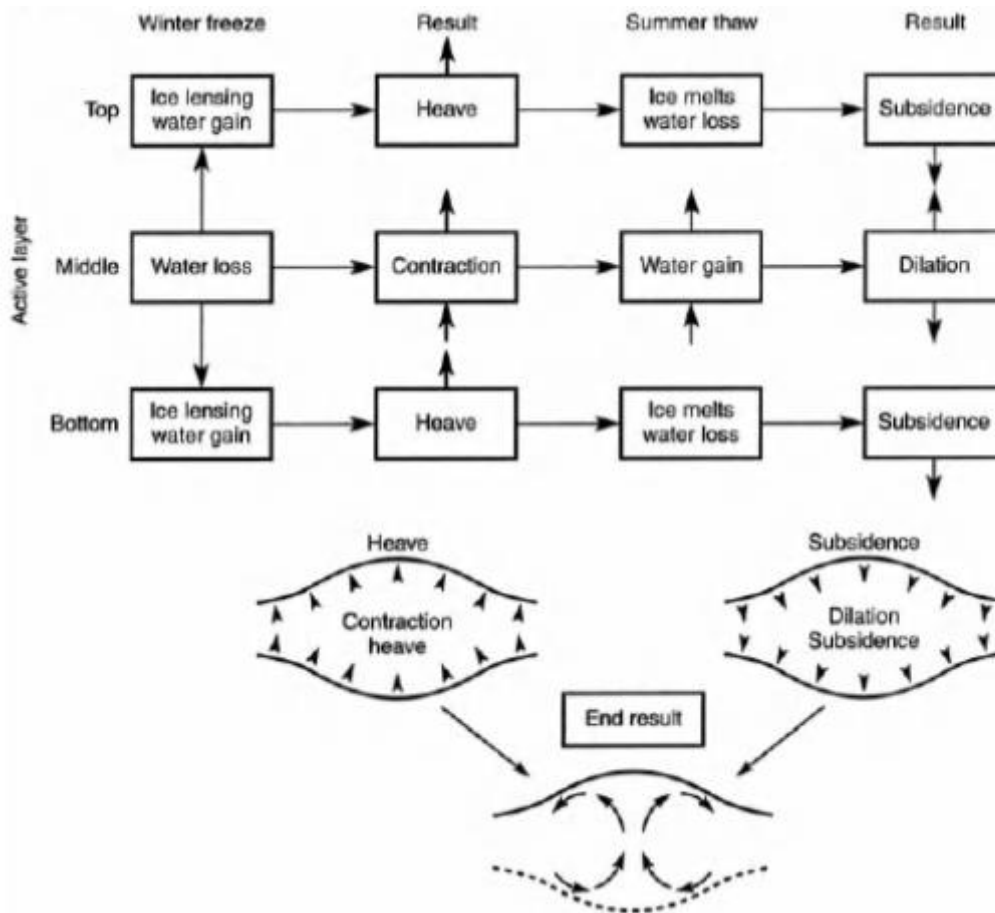
A formação das redes circulares são resultados do processo de crioturbação e supõe-se que os movimentos circulares que acontece na camada ativa, dentro do solo cria um desequilíbrio que conseqüentemente ocorre uma expulsão dos materiais subsuperficiais para superfície, que pode ser explicado pela diferença de densidade entre a água (aproximadamente 0 °C) e a base da camada ativa (aproximadamente 3-4 °C, à superfície) que são suficientes para induzir a convecção natural de água na camada ativa (Figura 2) (FRENCH, 2007).



**Figura 2:** Ilustração dos movimentos circulares que acontece com a elevação de materiais grosseiros (FRENCH, 2007).

Os processos de convecção ocorrem apenas em gases e líquidos, assim a água descongelada da parte superior da camada ativa se torna mais densa e tende a descer, ao entrar em contato com a parte inferior menos densa tende a subir, ocorrendo um deslocamento entre as massas do solo carregando consigo as partículas mais grosseiras, formando assim as correntes de convecção e mantendo a temperatura do solo em equilíbrio (FRENCH, 2007).

Outra suposição é que materiais semelhantes se movimentam de forma que a parte superior e a parte inferior nas zonas de congelamento-descongelamento possuam curvaturas opostas. A elevação do solo dar-se-á pelo ganho de lentes de gelo (congelamento no inverno) na parte superior e inferior da camada ativa, resultando na elevação do solo. No verão acontece o descongelamento da camada ativa ocasionando num ganho de água, resultando numa dilatação e posterior subsidência. O resultado final é um modelo de equilíbrio para formas circulares de padrões em solo elevando o solo por movimentos circulatorios (Figura 3) (FRENCH, 2007).



**Figura 3:** Modelo de equilíbrio que explica a elevação do solo em formas circulares (FRENCH, 2007).

Apesar desses conceitos de movimentos circulares, ainda não se explica a formação de todas as formas circulares, como por exemplo, a diapir<sup>1</sup>. Contudo explica-se que essas formas são resultadas da combinação da segregação do gelo e da instabilidade dos solos descongelados, criados a partir do processo de crioturbação. O confinamento de água entre a camada ativa e o *permafrost* pode gerar um potencial hidráulico elevado causando uma posterior dessecação e endurecimento da superfície no final do verão, o resultado é a formação de mudboils. Estas estruturas são características de sedimentos com significativo teor de argila ou silte e estão presentes em áreas de Keewatin e norte do Canadá (FRENCH, 2007).

<sup>1</sup> Diapir: estrutura geológica cuja rochas circundantes são mais frágeis e formadas geralmente pelo fluxo ascendente do material de origem. A ascensão pode ser resultado de forças gravitacionais (rochas mais leves sobem, enquanto que as mais pesadas ficam embaixo), de forças tectônicas (as rochas se movem espremendo umas as outras por estresse lateral), ou uma combinação de ambos.



## **CAPÍTULO I**

### **REGIME TÉRMICO DA CAMADA ATIVA E “*PERMAFROST*” NA PENÍNSULA KELLER, ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA MARÍTIMA (2011-2014)**

## 1. RESUMO

A presença do *permafrost* e da camada ativa são fatores importantes para avaliar o regime térmico do solo. Assim, o objetivo deste capítulo foi analisar as séries de temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) e do solo ( $T_s$ ) e umidade do solo ( $U_s$ ), entre os anos de 2011 e 2014, para o monitoramento da camada ativa e *permafrost* em Keller. Para o monitoramento foram instalados sensores de  $T_s$  e  $U_s$  nas profundidades de 5, 10, 30, 50 e 100 cm, exceto o sensor de umidade do solo a 5 cm, nos sítios de Ipanema ( $62^{\circ}05'09,00''S$ ,  $58^{\circ}24'48,97''W$ ; 95,8m), Refúgio II ( $62^{\circ}04'21,33''S$ ,  $58^{\circ}24'58,11''W$ ; 69,8m) e Punta Plaza ( $62^{\circ}05'19,14''S$ ,  $58^{\circ}24'23,98''W$ ; 64,8m). A  $T_s$  e  $U_s$ , no sítio Solo com Padrão ( $62^{\circ}05'20,08''S$ ,  $58^{\circ}24'30,31''W$ ; 93,3m), foram medidas a profundidades de 10, 30 e 80 cm (borda e centro das estrias). O sensor de  $T_{ar}$  foi instalado a 1,0 m acima da superfície do solo. Após essas análises foram identificados os dias de congelamento, descongelamento, isotérmicos e congelamento/descongelamento para cada profundidade. Foram realizadas análises de correlação cruzada entre as séries de AAO (*Antarctic Oscillation Index*), SOI (*Southern Oscillation Index*),  $T_{ar}$  e  $T_s$ ; regressão linear simples entre as temperaturas médias anuais e a maior média máxima e mínima anuais; Histogramas de temperatura do solo e; gráfico de primeira diferença horária da temperatura do solo a cada profundidade. A maior e a menor  $T_{ar}$  média anual nos quatro anos e nos quatro sítios estudados foi de  $-1,7^{\circ}C$  no sítio Refúgio II e de  $-4,8^{\circ}C$  no sítio Solo com Padrão, respectivamente. O maior período de tempo do solo sob o regime de camada ativa foi no sítio Ipanema em 01/2012 e no Refúgio II em 01/2012, 2013 e 2014. Neste último o maior somatório de graus dias de descongelamento foi de 154,6 a 10 cm de profundidade, em 01/2012. O solo manteve-se congelado em todos os sítios e em todos os anos estudados nos meses de agosto e setembro e o menor somatório de graus dias foi de -263,3 em 07/2011 no sítio Refúgio II. A análise de regressão linear simples mostrou que os sítios Ipanema, Refúgio II nenhuma das profundidades de medidas estava localizada no *permafrost*, o que indicou que o regime térmico do solo nesses sítios se restringiu a camada ativa. No sítio Solo com padrão e Punta Plaza, o regime térmico alcançou o *permafrost* antes da camada de 0,8 e 1,0 m de profundidade, respectivamente. A correlação entre AAO x  $T_{ar}$  e SOI x  $T_{ar}$  ocorre, respectivamente, com um e cinco meses de atraso entre as fases no sítio Solo com Padrão. Nos demais sítios o atraso de fase foi menor que um mês. Os histogramas de frequência apresentaram predominância de temperaturas em torno de  $0^{\circ}C$ , em todas as camadas e em todos os sítios. Para o gráfico de primeira diferença verificou-se que as variações da temperatura foram mais fortes no verão. O regime térmico do solo variou entre os sítios e entre os anos, contudo os sítios que apresentaram maior tempo sob o regime de cortina zero tiveram *permafrost* próximo à superfície.

**Palavras-chave:** Correlação cruzada. Regime térmico do solo. Graus dias.

## 2. ABSTRACT

The presence of *permafrost* and active layer are important factors to assess the soil thermal regime. The aim of this chapter is to analyze the air temperature series ( $T_{ar}$ ) and soil (Ts) and soil moisture (Us), between the years 2011 and 2014, for monitoring the active layer and *permafrost* in Keller. For monitoring were installed Ts and Us sensors at depths of 5, 10, 30, 50 and 100 cm, except the soil moisture sensor to 5 cm, the sites of Ipanema (62°05'09,00" S, 58°24'48,97" W; 95,8m), Refúgio II (62°04'21,33" S, 58°24'58,11" W; 69,8m) and Punta Plaza (62°05'19.14" O, 58°24'23,98" W; 64,8m). The Ts and Us, the site Patterned Ground (62°05'20,08" S, 58°24'30,31" W; 93,3m), were measured at depths of 10, 30 and 80 cm (edge and center of stretch marks).  $T_{ar}$  sensor was installed at 1.0 m above the soil surface. After these analyzes identified the days of freezing, thawing, isothermal and freezing/thawing for each depth. cross-correlation analyzes were performed between the AAO series (*Antarctic Oscillation Index*), SOI (*Southern Oscillation Index*),  $T_{ar}$  and Ts; linear simple regression between the annual average temperatures and the highest average maximum and annual minimum; soil temperature and histograms; graphic first time difference of soil temperature at each depth. The highest and lowest  $T_{ar}$  annual average in the four years and four sites studied was 1.7 °C on site Refúgio II and 4.8 °C in place with Standard Solo, respectively. The period in which the soil had long under the active layer system was in place in Ipanema 01/2012 and Refuge II site in 01/2012, 2013 and 2014. The largest sum of degree days of thaw was 154.6 the site Refuge II, 10 cm deep, in 01/2012. The soil remained frozen at all sites and in all the years studied in the months of August and September and the lowest sum of degree days was 263.3 in 07/2011 on the site Refúgio II. Simple linear regression analysis showed that the Ipanema sites Refúgio II none of the depths of measures was located in *permafrost*, which indicated that the soil thermal regime at these sites was restricted to active layer. The site Patterned Ground and Punta Plaza, the thermal regime reached the *permafrost* before the layer of 0.8 and 1.0 m deep, respectively. The correlation between AAO x  $T_{ar}$  and SOI x  $T_{ar}$  occurs, respectively, with a five-month delay between the phases at the site with soil pattern. In other places the phase delay was less than a month. The frequency histograms showed a predominance temperature around 0 °C in all layers and all sites. For the first difference plot was found that temperature variations were stronger in the summer. The soil thermal regime varied among sites and between years, however the sites that had long under the zero curtain regime had *permafrost* near the surface.

**Keywords:** Cross-correlation. Soil thermal regime. Degree days.

### 3. INTRODUÇÃO

O regime térmico é definido por meio da temperatura do solo e do ar, sendo que a temperatura do solo depende de fatores atmosféricos, condições de superfície e propriedades do solo. A presença de *permafrost* é fator essencial para definição do regime térmico do solo e está relacionada a vários atributos ambientais, que podem indicar mudanças no clima da região Antártica (SALAMENE, 2013).

A análise das séries de temperatura e umidade do solo e temperatura do ar visa fornecer um estudo detalhado das observações coletadas, o que permite obter informações e indicar modelos apropriados a serem utilizados na fase posterior, chamados de análise confirmatória de dados ou inferência estatística. A inferência estatística constitui um conjunto de técnicas que permite estimar os dados de uma população de amostras, e pode prever, com confiabilidade, como se todos os dados da população fossem estudados (MEDRI, 2011).

O armazenamento automático de dados obtidos, por meio de sensores instalados a várias profundidades no solo, geram grande quantidade de dados, sendo possível uma análise detalhada sobre a temperatura e umidade do solo, o que permite o entendimento de processos complexos que atuam na Antártica e também o monitorando da camada ativa e do *permafrost*.

A temperatura do solo na Antártica depende de fatores atmosféricos; das condições da superfície do solo e das propriedades do solo (SALAMENE, 2013). Detectar a presença e a distribuição do *permafrost* no solo, não é uma análise simples, visto que ele é um fenômeno térmico e encontra-se abaixo da camada ativa. Contudo, são necessárias medições periódicas da temperatura do solo por pelo menos dois anos para poder compreender a evolução do *permafrost*.

O clima na região Antártica se distingue em duas zonas; a continental que é o platô antártico com valores de precipitação anual menor que 30 mm e temperatura do ar com valores abaixo de -80 °C no inverno e outra que é na Antártica Marítima cuja temperatura do ar média frequentemente é acima de 0 °C no verão, com precipitação anual que pode chegar a 1.000 mm por ano (CAMPBELL & CLARIDGE, 1987; BÖLTER & BEYER, 2002; KEJNA, 2003; SALAMENE; 2013).

A Antártica compreende o continente Antártico, os arquipélagos e ilhas isoladas que são rodeadas pelo Oceano Austral. No noroeste da Península Antártica, localiza-se o arquipélago das Shetlands do Sul, na Antártica Marítima, que é formado por 29 ilhas, dentre as quais a Ilha Rei George, que a sudeste desta se encontra a Baía do Almirantado. Nesta região, localiza-se a estação Antártica brasileira Comandante Ferraz (BRAUN, 2001; ARIGONY-NETO et al., 2001, SALAMENE, 2013). A Ilha Rei George apresenta características específicas de ambientes periglaciais (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 2002; FRANCELINO, 2004), ou seja, ocorrem em regiões de elevada altitude e, ou latitude, onde os processos de intemperismo estão relacionados os ciclos de congelamento e descongelamento, que podem comprometer o desenvolvimento e a formação do *permafrost* (FRENCH, 1996; RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 2002; FRANCELINO, 2004; SALAMENE, 2013).

As alterações climáticas afetam diretamente a distribuição do *permafrost* e da camada ativa, cuja formação é influenciada pelo regime térmico do solo. Para entender melhor como acontece à transferência de energia térmica entre a atmosfera e o solo é

necessário monitorar tal regime, como a temperatura e umidade do solo e também suas propriedades termofísicas (condutividade térmica e difusividade) (AMARAL et al., 2011).

A temperatura do solo, em áreas de *permafrost* de montanhas, é afetada pela sua altitude, pelo microclima de superfície, pela espessura do material subsuperficial, pela disponibilidade de água, pela cobertura de neve e pela cobertura vegetal, todos esses fatores também influenciam nas características e ocorrência de *permafrost* nessas regiões (HAEBERLI & GRUBER, 2009).

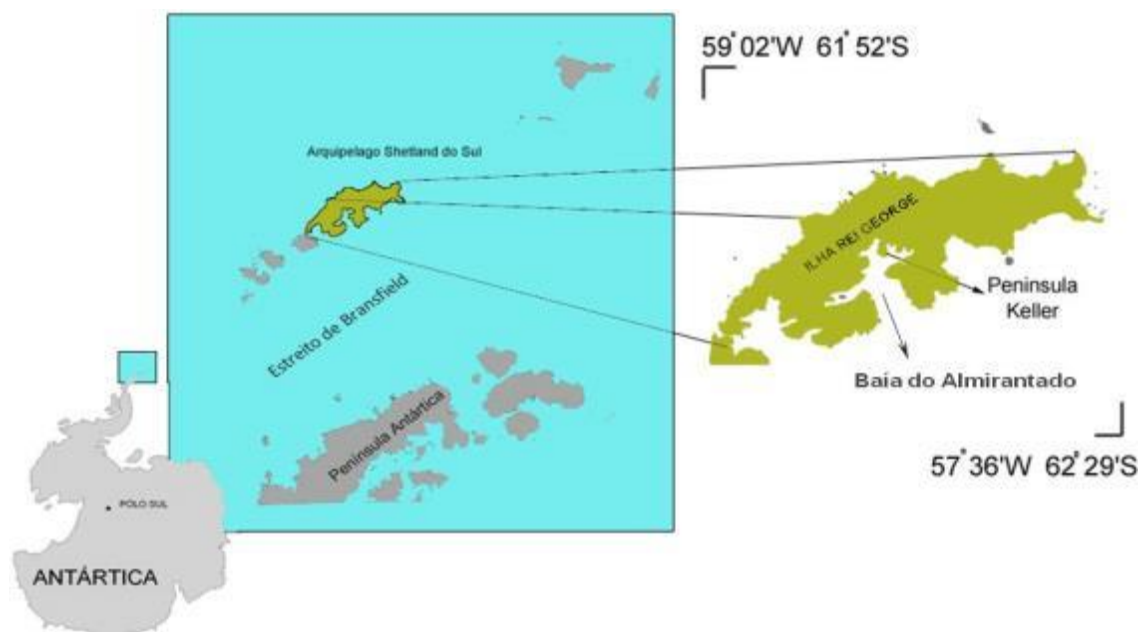
Os valores de temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) e pressão, nas últimas décadas indicam tendência de aquecimento na Península Antártica, que é atribuído às alterações regionais da circulação atmosférica (LINDEMANN & JUSTINO, 2014). As tendências da  $T_{ar}$  podem ser influenciadas pelos modos de variabilidade climática *Antarctic Oscillation Index* (AAO) e o *Southern Oscillation Index* (SOI), que podem gerar mudanças nos regimes climáticos desta região (LINDEMANN & JUSTINO, 2015).

Assim, como hipótese admite-se que o regime térmico do solo influencia a profundidade da camada ativa e o início da camada do *permafrost* nos quatro sítios localizados na península de Keller, Antártica, no período de 2011 a 2014.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Sítios de Monitoramento

Para monitoramento da camada ativa e *permafrost*, na península de Keller, Ilha de Rei George, Antártica marítima (Figura 1), foram instalados sensores de temperatura do solo e do ar e umidade do solo em quatro sítios que apresentavam características diferentes de solos, altitude e cobertura vegetal. Os sítios de monitoramento foram nomeados de acordo com sua proximidade em relação a localidades (pontos de referência) reconhecidos na Península (Tabela 1), para facilitar sua identificação, sendo eles: Ipanema ( $62^{\circ}05'09,00''\text{S}$ ,  $58^{\circ}24'48,97''\text{W}$ ; 96m de altitude), Refúgio II ( $62^{\circ}04'21,33''\text{S}$ ,  $58^{\circ}24'58,11''\text{W}$ ; 70 m de altitude), Punta Plaza ( $62^{\circ}05'19,14''\text{S}$ ,  $58^{\circ}24'23,98''\text{W}$ ; 65m de altitude) e Solo com padrão ( $62^{\circ}05'20,08''\text{S}$ ,  $58^{\circ}24'30,31''\text{W}$ ; 93m de altitude) (Figura 2). Os sensores de temperatura do solo (modelo L107E - *Temperature Probe*, *Campbell Scientific Inc*, Utah, USA) possuem precisão de  $\pm 0,42$  °C e foram instalados verticalmente com profundidades de 5, 10, 30, 50 e 100 cm ao longo do perfil de solo. O sensor de umidade do solo (modelo CS616-L, *Campbell Scientific Inc.*) com precisão de  $\pm 2,5\%$  (*water content reflectometer*) foi instalado a 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade para determinar o conteúdo volumétrico de água ao longo do perfil. Todos os sensores foram conectados a um sistema de aquisição e armazenamento automático de dados (*datalogger CR 1000 Campbell Scientific Inc*, Utah, USA), com fornecimento de energia por bateria blindada de alta resistência. O sistema foi programado para armazenar os dados de temperatura e umidade do solo a cada hora. O sensor de temperatura do ar foi instalado a 1 m acima da superfície do solo, sendo constituído de um sistema termistor protegido contra radiação, ventilado e com acurácia de  $\pm 0,1$  °C. Os sistemas de aquisição e armazenamento de temperatura e umidade do solo foram acondicionados em compartimentos de 120 L de PVC de alta densidade, as quais estavam parcialmente enterradas (Figura 3).

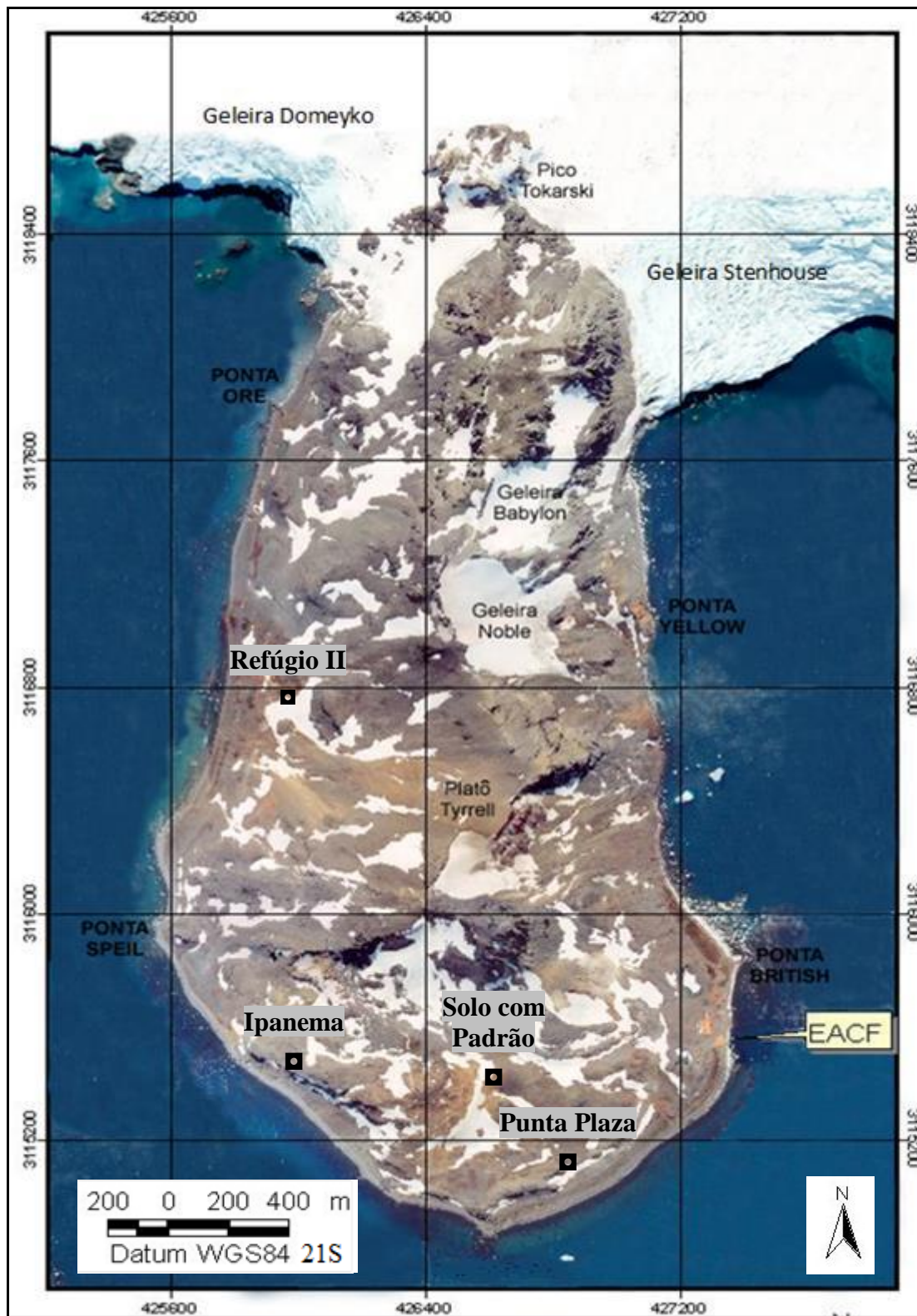


**Figura 1:** Localização da Península Keller, Ilha Rei George, Antártica. Fonte: SALAMENE (2013).

**Tabela 1:** Características gerais dos sítios de monitoramento em Keller.

Sítio	Localização (UTM WGS 84 21S)	Alt. (m)	Características gerais
Ipanema*	426171,8 m W 3115452,9 m S	95,8	Leptosol gelic. Área de basalto andesítico; cobertura mista de <i>Usnea</i> , briófitas e <i>Deschampsia</i> ; área de drenagem moderada, em pequeno platô com moderada influência ornitogênica.
Punta Plaza*	426541,1 m W 3115147,1 m S	64,8	Criossol Skeletic sob andesito fragmentado. A principal cobertura vegetal é a <i>B. austrosalebrosus</i> e <i>S. uncinata</i> em área de felsenmmer com incipiente padrão poligonal.
Refúgio II**	426007,4 m W 3116925,7 m S	69,8	Regosol skeletal-gelic. Área de influência mista, basalto-ácida; manto espesso e bem drenado, com epipedregosidade; colonização acentuada de briófitas, líquens e <i>Deschampsia</i>
Solo com Padrão**	426450,1 m W 3115116,1 m S	93,3	Criossolo Vitric-leptic com características típicas de Crioturbação, com padrão estriado com sentido NO-SE em rampa suave ondulada (< 8°). Presença de <i>permafrost</i> a cerca de 70 cm. Comumente observado material orgânico enterrado nas bordas das estrias.

Nota: Alt.= altitude. Descrição segundo: Albuquerque-Filho (2005)\* Francelino (2004)\*\*



**Figura 2:** Localização dos quatro sítios de monitoramento da península Keller: Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com padrão. EACF = Estação Antártica Comandante Ferraz (Adaptado de Francelino, 2004).





**Figura 3:** Sistema de sensores de temperatura do ar e do solo e umidade do solo no sítio Ipanema (a), Refúgio II (b), Punta Plaza (c) e Solo com Padrão (d), na península de Keller, Ilha de Rei George, Antártica.

## 4.2 Análise dos Dados

As medidas de temperatura (ar e solo) e umidade do solo foram previamente analisadas para avaliar a qualidade dos dados. Os dados de temperaturas que apresentaram falhas superiores a 1/3 do total (por dia ou mês) foram descartadas. Os dados espúrios foram analisados pelo método dos quartis, auxiliado pelo *boxplot* que permitiu identificar os *outliers*, ou seja, aqueles dados observados que apresentaram grande afastamento dos demais. Dessa forma foram calculadas as médias mensais e anuais de temperatura do ar; temperatura do solo nas profundidades de 5, 10, 30, 50 e 100 cm e da umidade do solo nas profundidades de 10, 30, 50 e 100 cm dos sítios de monitoramento Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão entre os anos de 2011 e 2014. Posteriormente, os dados foram plotados, por meio de gráficos, para verificar a sazonalidade.

A temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm foi analisada a cada dia (24h), seguindo as seguintes definições: 1) **dias de congelamento**: durante todo o dia a temperatura é negativa e com pelo menos uma observação menor que - 0,5 °C; 2) **dias de descongelamento**: durante todo o dia a temperatura é positiva e com pelo menos uma observação maior que 0,5 °C; 3) **dias de congelamento e descongelamento**: temperaturas, respectivamente, positivas e negativas com pelo menos uma observação com temperatura maior que +0,5 °C ou -0,5 °C; e 4) **dias isotérmicos**: durante todo o dia as temperaturas devem estar entre -0,5 °C a +0,5 °C, caso tenha uma temperatura fora desse limite não será caracterizado como dia isotérmico e sim uma das opções anteriores (GUGLIELMIN et al., 2008; MICHEL et al., 2014; ALMEIDA et al., 2014).

Para estimar a espessura da camada ativa e o início da camada de *permafrost* de cada sítio, foi realizada uma análise de regressão linear simples empregando as temperaturas do solo médias anuais em diferentes profundidades, assim como as maiores temperaturas máximas e mínimas anuais, seguindo a metodologia proposta por BROWN (1970) e BURN & SMITH (1988).

No software Past 1.34 foi feito o teste de correlação cruzada para verificar a correlação entre as séries de temperatura do ar e solo nas diferentes profundidades. A correlação cruzada serve como medida de semelhança entre duas séries em função do atraso de fases entre um deles. Para essa análise a temperatura do ar foi fixada e as temperaturas do solo foram deslocadas no tempo (*lag*), assim como as temperaturas do solo mais superficiais foram fixadas e as demais deslocadas no tempo (*lag*). Para interpretação foi avaliado os *lags*, o valor da correlação e o valor *p*. Valores com  $p < 0,05$  foram considerados significativos, ou seja, há mais de 95 % de probabilidade das séries estarem correlacionadas. A correlação maior que 50 % foram considerados alto entre as séries. Assim “um valor de *lag* negativo indica que o sinal observado na série deslocada no tempo, ocorreu *n* períodos após ter ocorrido na série fixada enquanto um valor de *lag* positivo indica que o sinal observado na série deslocada no tempo, ocorreu *n* períodos antes de ter ocorrido na série fixada” (SOPPA, 2011).

Para análise dos dados considerou-se a temperatura do ar e do solo mensal (nas profundidades acima mencionadas), normalizadas de janeiro de 2011 a dezembro de 2014 dos sítios Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão. Tais temperaturas foram normalizadas para que as séries de temperaturas do ar e do solo pudessem ser comparadas. A normalização foi obtida subtraindo a temperatura média de determinado mês da média desse mês em todos os anos da série e dividida pelo desvio padrão das temperaturas (Eq. 1). Os dados finais (resultado da normalização) são denominados “anomalias da temperatura (ar ou solo)” e são adimensionais.

$$Z_i = \frac{\bar{X} - X_i}{\sigma}$$

Eq. (1)

em que:

$Z_i$  = valor transformado;

$\bar{X}$  = temperatura média mensal no período;

$X_i$  = valor original da temperatura mensal e;

$\sigma$  = desvio padrão do período.

Posteriormente, as séries normalizadas da temperatura do ar foram relacionadas com os Índices da Oscilação Antártica (*Antarctic Oscillation Index* - AAO) e *Southern Oscillation Index* (SOI). Os dados mensais dos índices da AAO e do SOI foram obtidos por meio do site da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) (NOAA, 2015).

Para o objetivo desse estudo foram considerados apenas os valores de *lag* negativos. Esses valores foram considerados para identificar quanto tempo os fenômenos de grande escala (AAO e SOI) demoraram a influenciar na temperatura do ar e do solo. Tal *lag* indica que determinado sinal da temperatura do ar ou do solo, observado nas diferentes profundidades de um determinado sítio, ocorreu n meses após um pico máximo do índice AAO, SOI ou mesmo da temperatura do ar, no qual representa um episódio forte da série fixada (SOPPA, 2011).

Os histogramas e os gráficos de primeira diferença (primeira diferença horária consecutiva das temperaturas medidas) foram plotados para verificar as frequências de distribuição e a oscilação das temperaturas medidas a cada profundidade, onde as séries temporais foram decompostas em sua sazonalidade.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período de 2011-2014, as **temperaturas do ar médias anuais** (Tabela 2) mostraram os maiores valores (-1,7 e -2,1 °C, em 2014) nos sítios Refúgio II e Punta Plaza, respectivamente, enquanto os menores valores observados foram -4,8 °C (Solo com Padrão, no ano de 2011) e -3,6 °C (Ipanema e Refúgio II). **Na escala mensal** (Figura 4) observou-se que a maior e a menor temperatura média ocorreram no sítio Refúgio II e Ipanema (3,1 °C ± 3,5; 2,7 °C ± 3,2) e Solo com Padrão e Ipanema (-10,8 °C ± 3,1; -10,4 °C ± 3,2), respectivamente. A maior **temperatura do ar máxima e mínima mensal** (Tabela 3) foram 8,7 °C (± 4,8) em Refúgio II e -14,2 °C em Solo com Padrão (± 4,6) em janeiro e julho respectivamente.

Considerando todos os anos, a **temperatura do ar média diária** (Figura 5), foi de -2,8 °C (±4,7), com máxima de 5,8 °C, em março e mínima de -21,1 °C em julho, ambos em 2012, no sítio Ipanema. No sítio Refúgio II e Punta Plaza a temperatura do ar média diária foi de -2,3 °C (± 4,8; ± 3,8, respectivamente), com a máxima de 7,3 °C (02/2013), 5,3 °C (04/2014) e a mínima de -20,2 °C (07/2011), -16,6 °C (09/2013), respectivamente. No Solo com Padrão a temperatura do ar média diária, no período estudado, foi de -3,4 °C (±4,5), com a máxima de 5,7 °C, em março de 2012 e a mínima de -21,5 °C em julho de 2011.

Considerando todos os sítios e todos os anos, a temperatura do ar média anual foi de -2,7 °C. Esse resultado foi similar ao obtido por Michel et al. (2014) na Península de Fildes, Ilha de Rei George, Antártica Marítima, cuja temperatura do ar média diária foi de -2,3 °C, com máxima de 5,7 °C e mínima de -21,2 °C em janeiro e junho, respectivamente (Tabela 4). No sítio Punta Plaza todos os dados da temperatura do ar, em 2012, tiveram falhas nas observações, assim não foi possível mensurar as médias de temperaturas nesse ano.

**No solo** a maior **temperatura média anual** (Tabela 2) foi de -0,3 °C (2013) no sítio Refúgio II e a menor média anual foi -2,8 °C (2011) no sítio Solo com Padrão. A maior e a menor temperatura do **solo média mensal** (Figura 4) foi 5,0 °C e -8,5 °C (±3,7) em Refúgio II a profundidade de 10 cm. A maior temperatura do **solo máxima e mínima mensal** (Tabela 3) foi de 8,4 °C (± 2,8) e de -9,3 °C (± 2,4), observada em Refúgio II a 10 cm de profundidade em janeiro e julho respectivamente.

Já as maiores e menores temperaturas do solo, considerando a **média diária** (Figura 5) foram de 8,0 °C e -14,9 °C (± 3,3) a 5 cm de profundidade no sítio Ipanema; 9,0 °C e -13,5 °C (± 4,0) a 10 cm de profundidade em Refúgio II; 6,7 °C e -11,1 °C (± 2,4) a 5 cm de profundidade em Punta Plaza e; 3,7 °C e -11,3 °C (± 2,2) na borda da estria a 10 cm de profundidade em Solo com Padrão. De maneira geral foi observado que na média mensal a temperatura da borda (TB) foi maior que a temperatura no centro da estria (TC), que tende a ser mais homogêneo em profundidade. Contudo na média anual da temperatura não houve diferença entre elas.

A maior temperatura do **solo máxima absoluta** (Tabela 4) foi de 16,6 °C, enquanto a mínima absoluta foi de -16,2 °C, ambas no sítio Ipanema a 5 cm de profundidade. A temperatura do solo média mensal e sazonal a 10 cm de profundidade no sítio Refúgio II ficaram, em média, 2,0 a 0,4 °C mais altas que as temperaturas na profundidade de 5 cm, respectivamente, considerando todos os anos estudados. Esse sítio possui solo com textura franco-argilo-arenosa de 0-10 cm, franco-argilosa de

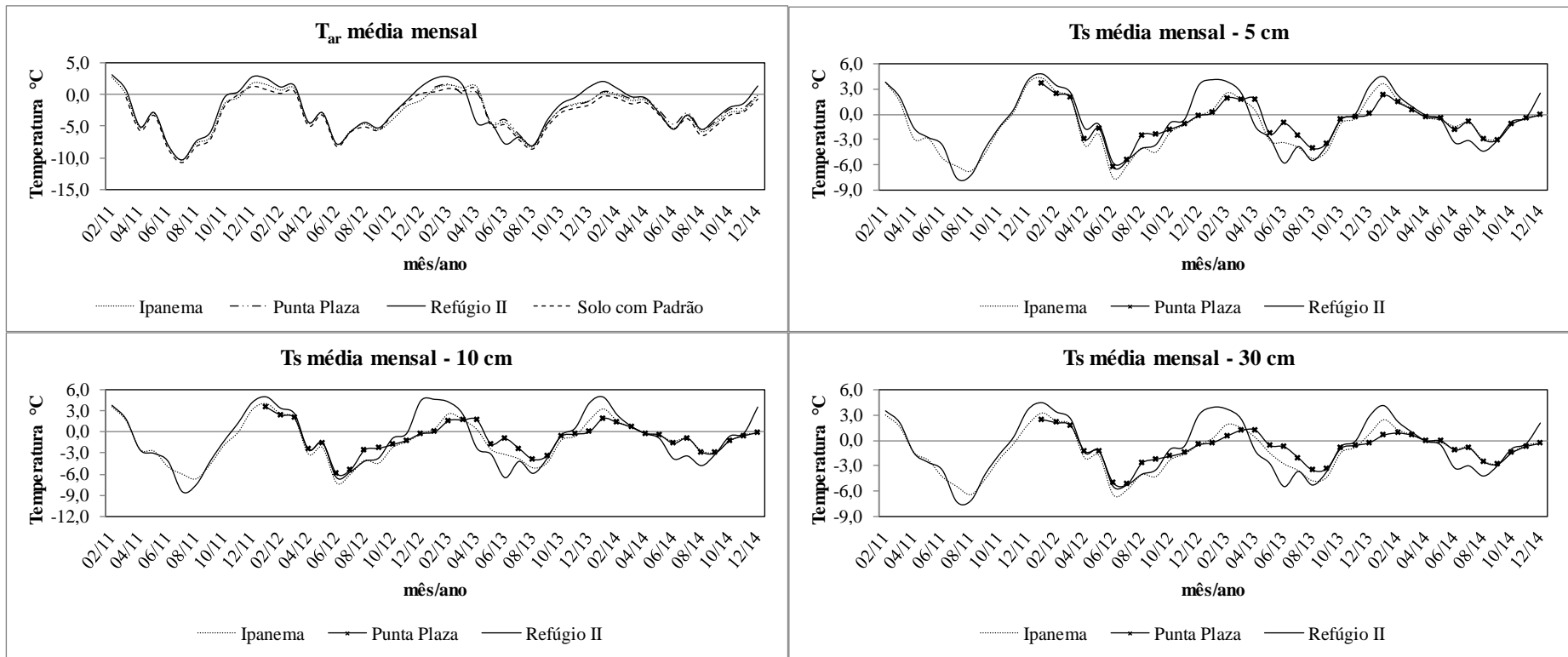
10-30 cm e franco de 30-50 cm de profundidade (SALAMENE, 2013). Um solo com textura argilosa possui maior capacidade térmica, no entanto o aumento da temperatura do solo na camada a 10 cm de profundidade neste sítio deve-se a textura deste (ROMANOVSKY & OSTERKAMP, 1997). Para a temperatura mensal, o aumento na profundidade a 10 cm ocorreu entre os meses de outubro/novembro a fevereiro/março e para médias sazonais esse aumento foi na primavera/verão, que coincidiram com os meses de aumento da temperatura mensal. A temperatura apresentou sazonalidade marcante, com as maiores temperaturas nos meses de outubro a maio e os menores de junho a setembro. As temperaturas do solo ficaram acima de 0 °C entre os meses de dezembro e fevereiro, resultado similar àquele apresentado por Thompson et al. (1971) ao estudar a superfície do solo da Antártica Continental no Dry Valey.

A variabilidade interanual da camada ativa em todos os sítios mostrou-se análoga de ano a ano. Em todos os sítios a temperatura do solo diminuiu de acordo com o aumento da profundidade. De maneira geral, a temperatura do solo acompanhou a temperatura do ar ( $T_{ar}$ ). Contudo o solo, principalmente, em profundidade congela mais lentamente, devido a suas propriedades térmicas, as quais são influenciadas pela textura, estrutura e aspectos do relevo, a baixa eficiência como condutor térmico e a inércia decorrente da propagação da onda de calor no solo (FRANCELINO et al., 2004).

**Tabela 2:** Média anual da temperatura (°C) do ar ( $T_{ar}$ ) e do solo ( $T_s$ ) do sítio Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão entre os anos de 2011 a 2014, na península de Keller, Antártica.

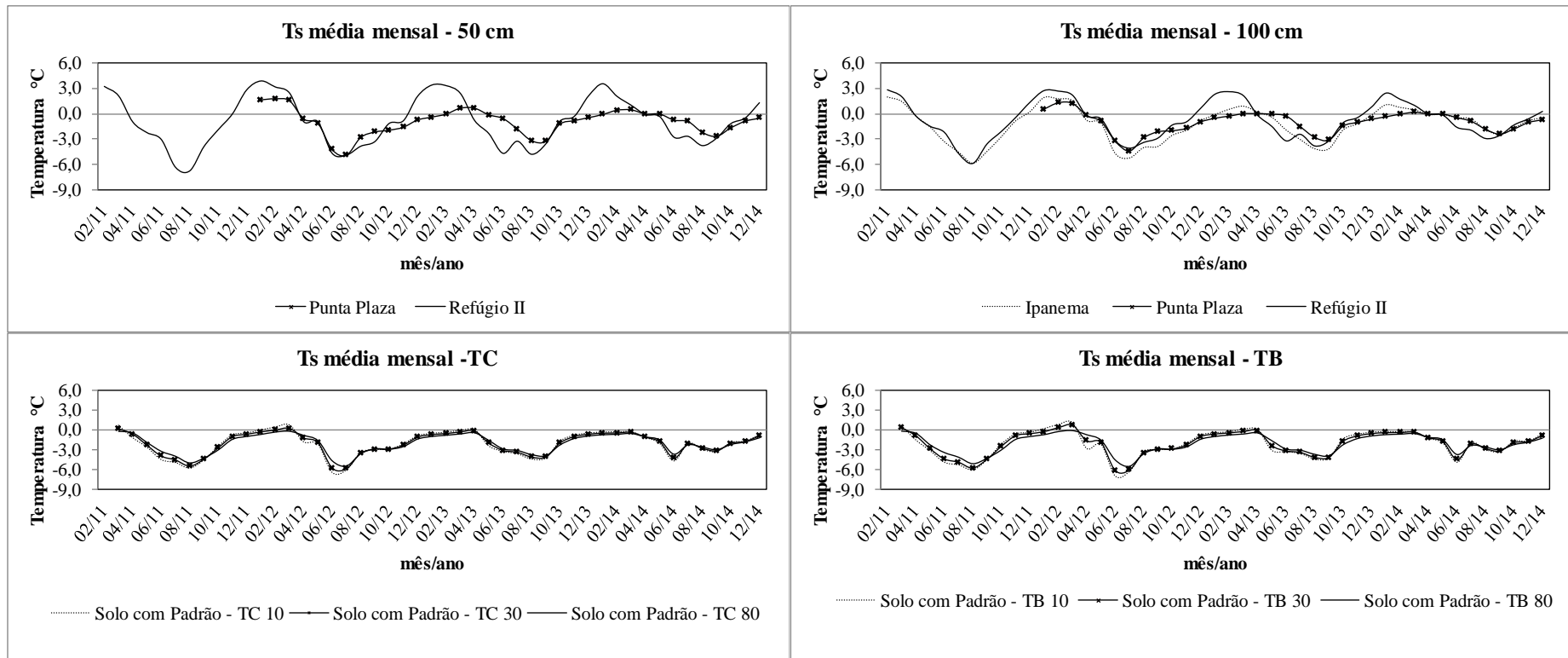
Sítio	Média Anual	Tar	DP	Ts 5	DP	Ts 10	DP	Ts 30	DP	Ts 50	DP	Ts 100	DP		
Ipanema	2011	-3,6	± 5,9	-2,0	± 4,0	-2,0	± 3,7	-1,9	± 3,2	—	—	-1,9	± 2,5		
	2012	-2,9	± 4,5	-1,9	± 4,1	-1,9	± 3,8	-1,8	± 3,3	—	—	-1,7	± 2,5		
	2013	-2,4	± 4,8	-1,2	± 3,1	-1,2	± 2,8	-1,2	± 2,3	—	—	-1,3	± 1,7		
	2014	-2,4	± 3,8	-0,4	± 2,1	-0,4	± 1,9	-0,4	± 1,5	—	—	-0,5	± 1,1		
<b>Média anos</b>		-2,8	± 4,7	-1,4	± 3,3	-1,4	± 3,1	-1,4	± 2,7	—	—	-1,3	± 2,1		
Punta Plaza	2012	—	—	-1,6	± 3,2	-1,5	± 3,0	-1,5	± 2,5	-1,4	± 2,2	-1,4	± 1,8		
	2013	-2,5	± 4,5	-0,9	± 2,1	-0,8	± 1,9	-0,9	± 1,5	-0,9	± 1,2	-1,0	± 1,1		
	2014	-2,1	± 3,7	-0,6	± 1,8	-0,6	± 1,6	-0,7	± 1,2	-0,8	± 1,0	-0,8	± 0,8		
<b>Média anos</b>		-2,3	± 3,8	-1,0	± 2,4	-1,0	± 2,3	-1,0	± 1,9	-1,0	± 1,6	-1,1	± 1,3		
Refúgio II	2011	-3,6	± 6,1	-2,3	± 4,3	-2,1	± 3,9	-2,0	± 3,7	-1,9	± 3,3	-1,6	± 2,6		
	2012	-2,5	± 5,3	-0,9	± 4,4	-0,8	± 3,9	-0,8	± 3,6	-0,8	± 3,2	-0,7	± 2,4		
	2013	-1,8	± 5,4	-0,3	± 3,9	-0,3	± 3,4	-0,3	± 3,2	-0,3	± 2,8	-0,4	± 2,1		
	2014	-1,7	± 4,3	-0,5	± 3,3	-0,5	± 2,8	-0,5	± 2,6	-0,5	± 2,3	-0,5	± 1,7		
<b>Média anos</b>		-2,4	± 4,8	-1,0	± 3,6	-0,9	± 4,0	-0,9	± 3,4	-0,9	± 2,9	-0,8	± 2,3		
Sítio	Média Anual	Tar	DP	TC 10	DP	TC 30	DP	TC 80	DP	TB 10	DP	TB 30	DP	TB 80	DP
Solo com Padrão	2011	-4,8	± 5,8	-2,6	± 2,2	-2,5	± 2,0	-2,4	± 1,7	-2,8	± 2,4	-2,7	± 2,1	-2,5	± 1,7
	2012	-3,2	± 4,6	-2,3	± 2,5	-2,3	± 2,1	-2,2	± 1,7	-2,3	± 2,8	-2,3	± 2,4	-2,2	± 1,8
	2013	-2,9	± 4,8	-1,8	± 1,7	-1,8	± 1,5	-1,9	± 1,3	-1,8	± 1,9	-1,8	± 1,6	-1,9	± 1,2
	2014	-2,9	± 3,8	-1,8	± 1,4	-1,8	± 1,2	-1,8	± 1,0	-1,7	± 1,5	-1,8	± 1,3	-1,8	± 1,0
<b>Média anos</b>		-2,9	± 4,5	-2,1	± 2,0	-2,1	± 1,8	-2,1	± 1,5	-2,2	± 2,2	-2,1	± 1,9	-2,1	± 1,5

Tar = temperatura do ar; Ts = Temperatura do solo; TC= sensores no centro da estria e TB = sensores na borda da estria. DP = Desvio Padrão



$T_{ar}$  = temperatura do ar;  $T_s$  = Temperatura do solo; TC= sensores no centro da estria e TB = sensores na borda da estria.

**Figura 4:** Média mensal de temperaturas (°C) do ar ( $T_{ar}$ ) e do solo ( $T_s$ ) no sítio Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão na Península de Keller, Antártica.



Ts = Temperatura do solo; TC 10, TC 30 e TC 80 = Temperatura do solo no centro da estria a 10, 30 e 80 cm de profundidade, respectivamente e TB 10, TB 30 e TB 80 = Temperatura do solo na borda da estria a 10, 30 e 80 cm de profundidade, respectivamente.

**Figura 4.1:** Continuação



**Tabela 3:** Temperatura (°C) do ar (Tar) e solo (Ts) média máxima (máx) e mínima (mín) mensal do sítio Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão entre os anos de 2011 a 2014, na península de Keller, Antártica.

<b>Ipanema</b>																									
<b>Máx</b>		<b>2011</b>												<b>2012</b>											
<b>Mensal</b>		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
<b>T<sub>ar</sub></b>	—	5,0	1,8	-2,6	-0,4	-5,3	-6,7	-5,0	-3,6	0,4	1,4	3,7	3,7	3,7	2,7	3,1	-2,5	-0,7	-4,7	-3,4	-2,0	-3,1	-1,6	0,6	1,1
<b>Ts 5</b>	—	6,5	2,9	-2,3	-2,4	-4,6	-5,9	-6,5	-4,3	-1,5	1,3	7,3	7,6	5,6	3,9	-2,9	-1,8	-6,4	-5,6	-3,7	-4,1	-2,1	-1,1	-0,1	
<b>Ts 10</b>	—	5,3	2,6	-2,0	-2,3	-4,5	-5,8	-6,4	-4,4	-1,6	0,4	5,4	6,2	4,2	2,9	-2,6	-1,8	-6,3	-5,6	-3,8	-4,1	-2,1	-1,3	-0,2	
<b>Ts 30</b>	—	3,6	2,0	-1,2	-2,1	-4,1	-5,3	-6,3	-4,4	-2,1	-0,4	2,6	4,0	2,9	2,2	-1,8	-1,6	-5,9	-5,6	-3,9	-4,1	-2,3	-1,6	-0,5	
<b>Ts 50</b>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
<b>Ts 100</b>	—	2,0	1,5	-0,2	-1,5	-3,2	-4,5	-5,8	-4,4	-2,6	-0,7	0,4	2,1	1,9	1,6	-0,7	-1,0	-4,6	-5,2	-3,9	-3,8	-2,5	-1,9	-0,7	
<b>Máx</b>		<b>2013</b>												<b>2014</b>											
<b>Mensal</b>		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
<b>T<sub>ar</sub></b>	3,0	3,9	3,3	3,1	-2,0	-1,8	-3,4	-5,7	-2,0	-0,2	0,8	1,0	2,3	1,6	1,0	1,1	-0,5	-2,8	-1,1	-3,2	-1,9	-0,9	-0,7	1,6	
<b>Ts 5</b>	2,0	6,3	3,7	1,0	-2,2	-2,9	-3,8	-5,1	-4,2	-0,9	-0,3	5,7	7,5	4,0	1,7	0,0	-0,5	-1,4	-0,8	-2,7	-2,8	-1,1	-0,3	0,0	
<b>Ts 10</b>	1,1	4,7	2,8	0,6	-2,0	-2,9	-3,7	-5,0	-4,2	-1,0	-0,4	3,6	5,4	2,6	1,2	-0,1	-0,4	-1,3	-0,8	-2,6	-2,8	-1,2	-0,3	0,0	
<b>Ts 30</b>	0,6	2,7	1,8	0,4	-1,3	-2,6	-3,5	-4,7	-4,3	-1,4	-0,7	1,5	3,3	1,6	0,9	0,0	-0,2	-1,0	-0,7	-2,4	-2,7	-1,4	-0,5	-0,2	
<b>Ts 50</b>	0,1	1,1	1,2	0,3	-0,7	-2,2	-3,2	-4,3	-4,2	-1,7	-1,0	0,1	1,7	1,1	0,7	0,0	-0,1	-0,6	-0,6	-2,0	-2,4	-1,5	-0,6	-0,2	
<b>Ts 100</b>	0,0	0,6	1,0	0,2	-0,4	-1,9	-3,0	-4,1	-4,1	-1,9	-1,1	0,1	1,1	0,8	0,5	0,0	-0,1	-0,4	-0,6	-1,9	-2,4	-1,6	-0,8	-0,4	
<b>Ipanema</b>																									
<b>Mín</b>		<b>2011</b>												<b>2012</b>											
<b>Mensal</b>		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
<b>T<sub>ar</sub></b>	—	1,2	-1,4	-7,6	-5,2	-10,5	-13,9	-10,4	-10,1	-3,5	-2,0	0,2	0,1	-1,1	3,1	-6,4	-5,0	-10,8	-8,1	-7,1	-8,2	-6,0	-3,7	-2,9	
<b>Ts 5</b>	—	2,1	0,6	-3,6	-3,5	-5,8	-6,4	-7,0	-4,9	-1,8	-0,2	1,4	1,9	0,8	3,9	-4,6	-3,1	-8,8	-6,5	-4,3	-4,9	-2,2	-1,4	-0,3	
<b>Ts 10</b>	—	2,4	1,0	-3,0	-3,2	-5,4	-6,2	-6,9	-4,8	-2,0	-0,3	1,6	2,4	1,3	2,9	-3,8	-2,7	-8,3	-6,4	-4,3	-4,8	-2,3	-1,5	-0,5	
<b>Ts 30</b>	—	2,6	1,4	-1,7	-2,6	-4,6	-5,6	-6,6	-4,7	-2,3	-0,4	1,4	2,7	1,8	2,2	-2,4	-2,1	-7,1	-6,1	-4,2	-4,5	-2,4	-1,8	-0,7	
<b>Ts 50</b>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
<b>Ts 100</b>	—	1,9	1,3	-0,4	-1,7	-3,4	-4,6	-6,0	-4,6	-2,9	-1,0	0,1	1,8	1,6	1,6	-0,9	-1,2	-4,9	-5,3	-4,1	-4,0	-2,6	-2,0	-0,9	
<b>Mín</b>		<b>2013</b>												<b>2014</b>											
<b>Mensal</b>		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
<b>T<sub>ar</sub></b>	-0,7	-0,4	-0,8	-0,6	-6,9	-6,7	-10,2	-10,7	-7,2	-4,3	-3,4	-2,7	-1,1	-1,6	-3,0	-2,5	-5,4	-7,9	-5,7	-8,4	-6,9	-5,0	-4,3	-1,6	
<b>Ts 5</b>	0,1	1,1	0,6	-0,1	-4,1	-3,9	-4,1	-5,4	-4,6	-1,2	-0,7	0,2	1,2	0,3	0,1	-0,7	-0,9	-1,5	-1,0	-2,9	-3,0	-1,4	-0,4	-0,1	
<b>Ts 10</b>	0,1	1,4	1,0	0,1	-3,1	-3,6	-3,9	-5,2	-4,5	-1,3	-0,7	0,4	1,7	0,7	0,4	-0,3	-0,6	-1,4	-1,0	-2,8	-2,9	-1,4	-0,5	-0,2	
<b>Ts 30</b>	0,0	1,4	1,2	0,2	-1,7	-3,0	-3,6	-4,9	-4,5	-1,5	-1,0	0,3	1,9	0,9	0,5	-0,1	-0,3	-1,1	-0,9	-2,5	-2,8	-1,5	-0,6	-0,4	
<b>Ts 50</b>	-0,2	0,8	1,0	0,2	-0,9	-2,4	-3,3	-4,4	-4,3	-1,8	-1,1	0,0	1,4	0,8	0,5	-0,1	-0,2	-0,7	-0,7	-2,1	-2,6	-1,7	-0,8	-0,2	
<b>Ts 100</b>	-0,2	0,4	0,8	0,1	-0,5	-2,0	-3,1	-4,2	-4,2	-2,0	-1,3	-0,2	0,9	0,7	0,4	-0,1	-0,2	-0,5	-0,7	-1,9	-2,5	-1,7	-0,9	-0,5	

Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente.

Tabela 3.1: Continuação

Refúgio II																								
Máx		2011												2012										
Mensal	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
T <sub>ar</sub>	—	5,2	4,1	-2,4	-0,4	-5,0	-6,9	-2,9	-1,6	2,8	3,9	6,0	6,0	4,3	4,7	-2,1	-0,8	-4,9	-3,6	-1,6	-2,1	1,1	3,1	6,4
Ts 5	—	4,7	2,6	-1,4	-2,4	-3,4	-7,1	-6,7	-3,9	-1,4	1,3	5,5	6,2	4,7	3,3	-1,4	-1,1	-5,2	-5,0	-3,6	-3,0	-0,9	-0,5	5,0
Ts 10	—	5,4	3,1	-2,0	-2,4	-3,6	-7,7	-6,6	-3,8	-1,1	3,1	6,4	7,3	5,7	3,9	-2,0	-1,2	-5,6	-5,0	-3,4	-2,8	-0,7	0,8	7,5
Ts 30	—	3,7	2,4	-1,3	-2,3	-3,3	-6,9	-6,7	-3,8	-1,6	0,7	4,3	5,1	3,9	2,9	-1,2	-1,1	-5,0	-4,9	-3,7	-3,1	-1,0	-0,5	3,7
Ts 50	—	3,3	2,3	-0,9	-2,1	-2,9	-6,1	-6,6	-3,8	-1,8	0,0	3,0	4,1	3,4	2,6	-0,8	-0,9	-4,5	-4,7	-3,6	-3,1	-1,1	-0,8	2,3
Ts 100	—	2,9	2,2	-0,2	-1,4	-2,2	-4,6	-5,8	-3,5	-2,0	-0,4	1,4	2,8	2,8	2,3	-0,2	-0,6	-3,1	-4,0	-3,3	-2,8	-1,3	-0,9	0,7
Máx		2013												2014										
Mensal	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
T <sub>ar</sub>	8,7	8,6	5,0	3,4	-2,1	-2,4	-3,2	-5,0	0,3	2,4	3,8	8,2	7,5	5,1	3,9	2,7	-0,8	-3,0	-1,0	-2,5	0,6	1,5	2,1	6,2
Ts 5	5,4	5,3	3,2	1,2	-1,3	-2,6	-3,7	-5,3	-3,4	-0,5	0,4	4,9	6,2	3,0	1,2	-0,1	-0,5	-3,2	-2,8	-4,0	-2,6	-0,7	-0,3	3,8
Ts 10	7,6	7,0	4,0	1,4	-1,9	-2,8	-3,9	-5,5	-3,3	-0,3	1,6	7,3	8,4	4,1	1,4	0,0	-0,7	-3,4	-2,8	-4,1	-2,3	-0,4	0,0	6,3
Ts 30	4,5	4,3	2,8	1,1	-1,1	-2,6	-3,5	-5,1	-3,5	-0,6	0,1	3,6	4,8	2,6	1,2	-0,1	-0,5	-3,1	-2,7	-3,9	-2,7	-0,9	-0,3	2,7
Ts 50	3,6	3,5	2,5	1,0	-0,7	-2,3	-3,2	-4,7	-3,4	-0,8	-0,3	2,3	3,8	2,2	1,1	-0,1	-0,3	-2,7	-2,5	-3,6	-2,7	-1,1	-0,5	1,5
Ts 100	2,4	2,7	2,2	1,0	-0,1	-1,5	-2,4	-3,7	-3,1	-0,9	-0,3	1,0	2,6	1,8	1,1	0,0	-0,1	-1,6	-1,9	-2,9	-2,5	-1,2	-0,5	0,4
Refúgio II																								
Mín		2011												2012										
Mensal	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
T <sub>ar</sub>	—	1,7	-1,1	-7,4	-5,3	-10,8	-13,7	-10,8	-10,1	-3,0	-1,8	0,8	0,5	-0,9	-0,8	-6,3	-5,0	-10,9	-8,3	-7,4	-8,2	-5,8	-3,3	-2,4
Ts 5	—	2,7	1,7	-1,9	-3,2	-4,0	-8,1	-7,7	-4,2	-1,6	0,2	3,2	3,8	2,6	2,1	-1,9	-1,4	-6,5	-5,8	-4,5	-4,0	-1,1	-0,7	2,5
Ts 10	—	2,8	1,1	-3,1	-3,8	-4,9	-9,3	-8,2	-4,4	-1,4	0,3	2,9	3,2	1,9	1,7	-3,0	-1,8	-7,6	-6,3	-4,8	-4,4	-1,0	-0,6	2,2
Ts 30	—	3,1	1,9	-1,7	-2,9	-3,8	-7,7	-7,5	-4,2	-1,7	0,2	3,2	4,0	3,0	2,3	-1,7	-1,3	-6,1	-5,6	-4,4	-3,8	-1,1	-0,8	2,6
Ts 50	—	3,1	2,0	-1,1	-2,4	-3,2	-6,6	-7,0	-4,0	-2,0	-0,1	2,6	3,7	3,0	2,3	-1,1	-1,0	-5,1	-5,1	-4,1	-3,6	-1,2	-0,9	1,8
Ts 100	—	2,7	1,9	-0,3	-1,6	-2,3	-4,8	-6,0	-3,6	-2,2	-0,5	1,2	2,7	2,6	2,1	-0,3	-0,6	-3,4	-4,2	-3,5	-3,0	-1,4	-1,0	0,6
Mín		2013												2014										
Mensal	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
T <sub>ar</sub>	-0,3	-0,1	-0,9	-0,5	-6,8	-7,5	-10,3	-10,6	-7,4	-4,0	-3,1	-2,5	-0,9	-1,3	-2,8	-2,7	-5,3	-7,9	-5,6	-8,2	-6,8	-4,6	-3,9	-1,6
Ts 5	3,3	3,0	2,0	0,6	-1,8	-3,1	-4,0	-5,7	-3,9	-0,7	-0,2	2,3	3,5	1,7	0,7	-0,2	-0,7	-3,6	-3,5	-4,8	-3,4	-1,0	-0,4	1,6
Ts 10	2,8	2,4	1,5	0,4	-2,9	-3,6	-4,5	-6,2	-4,1	-0,6	-0,1	1,7	2,7	1,3	0,4	-0,4	-1,1	-4,2	-4,1	-5,5	-3,8	-0,8	-0,3	1,4
Ts 30	3,5	3,3	2,2	0,7	-1,5	-3,0	-3,8	-5,5	-3,9	-0,8	-0,2	2,4	3,6	1,9	0,8	-0,2	-0,6	-3,5	-3,3	-4,5	-3,3	-1,1	-0,5	1,6
Ts 50	3,1	3,1	2,3	0,8	-0,9	-2,5	-3,4	-4,9	-3,7	-0,9	-0,4	1,9	3,3	1,9	0,9	-0,1	-0,4	-2,9	-2,9	-4,0	-3,1	-1,2	-0,6	1,1
Ts 100	2,2	2,5	2,1	0,8	-0,2	-1,6	-2,5	-3,9	-3,3	-1,1	-0,6	0,7	2,3	1,6	0,9	-0,1	-0,2	-1,7	-2,0	-3,0	-2,7	-1,4	-0,7	0,2

Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente.

Tabela 3.1: Continuação

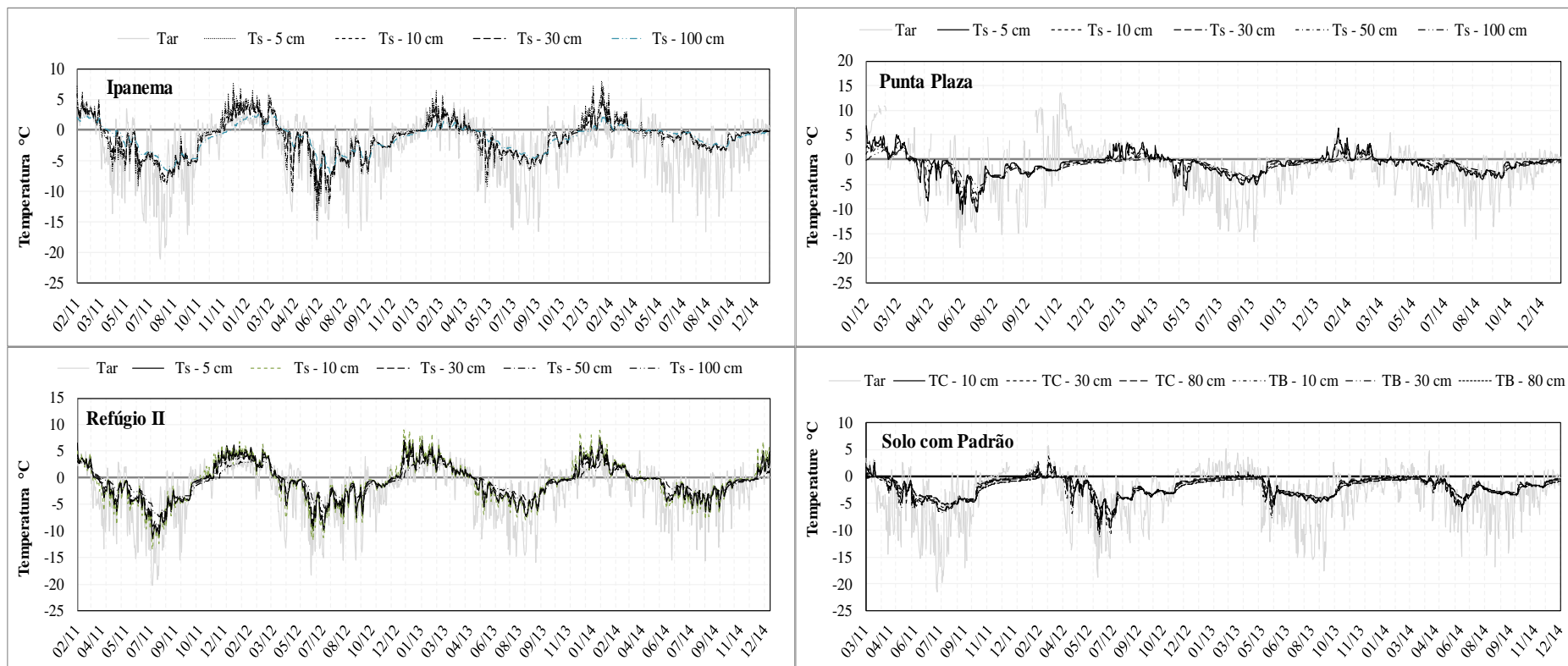
<b>Punta plaza</b>																									
<b>Máx</b>		<b>2012</b>												<b>2013</b>											
<b>Mensal</b>		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
<b>T<sub>ar</sub></b>		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,2	3,7	1,5	2,2	-1,8	-1,8	-2,6	-5,2	-1,9	-0,5	0,3	0,5
<b>Ts 5</b>		5,7	4,3	3,0	-2,3	-1,3	-5,5	-5,1	-2,4	-2,3	-1,7	-1,1	-0,1	0,6	3,8	3,2	1,0	-1,7	-1,0	-2,4	-4,0	-3,3	-0,5	-0,2	0,4
<b>Ts 10</b>		5,3	4,0	2,8	-2,0	-1,2	-5,3	-5,1	-2,5	-2,3	-1,7	-1,2	-0,2	0,2	3,2	2,8	0,9	-1,3	-0,9	-2,3	-3,8	-3,2	-0,5	-0,2	0,2
<b>Ts 30</b>		2,8	2,4	2,0	-1,1	-1,2	-4,8	-5,0	-2,7	-2,2	-1,9	-1,4	-0,5	-0,2	0,8	1,4	0,6	-0,5	-0,7	-2,0	-3,5	-3,3	-0,9	-0,5	-0,2
<b>Ts 50</b>		1,8	1,8	1,6	-0,6	-1,1	-4,1	-4,8	-2,8	-2,1	-1,9	-1,6	-0,7	-0,4	0,0	0,7	0,4	-0,1	-0,6	-1,8	-3,2	-3,2	-1,2	-0,8	-0,4
<b>Ts 100</b>		0,7	1,4	1,3	-0,2	-0,9	-3,2	-4,4	-2,8	-2,1	-2,0	-1,7	-0,9	-0,5	-0,2	0,0	0,2	0,0	-0,3	-1,5	-2,8	-3,1	-1,4	-1,0	-0,6
<b>Máx</b>		<b>2014</b>																							
<b>Mensal</b>		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez												
<b>T<sub>ar</sub></b>		2,2	1,7	1,3	1,2	-0,3	-2,1	-0,6	-2,9	-1,8	-0,3	-0,4	1,7												
<b>Ts 5</b>		4,7	2,9	1,2	-0,2	-0,4	-1,6	-0,8	-2,9	-3,0	-1,1	-0,5	0,0												
<b>Ts 10</b>		3,9	2,4	1,2	-0,1	-0,3	-1,5	-0,8	-2,8	-2,9	-1,1	-0,5	0,0												
<b>Ts 30</b>		0,9	1,1	0,8	0,0	0,0	-1,1	-0,9	-2,5	-2,8	-1,4	-0,7	-0,3												
<b>Ts 50</b>		0,0	0,5	0,5	0,0	0,0	-0,7	-0,9	-2,2	-2,6	-1,6	-0,9	-0,5												
<b>Ts 100</b>		-0,3	0,0	0,2	0,0	0,0	-0,4	-0,9	-1,8	-2,4	-1,8	-1,0	-0,7												
<b>Punta plaza</b>																									
<b>Mín</b>		<b>2012</b>												<b>2013</b>											
<b>Mensal</b>		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
<b>T<sub>ar</sub></b>		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-0,2	0,0	-1,0	-0,8	-6,4	-6,6	-9,9	-10,4	-7,1	-3,9	-3,2	-2,4
<b>Ts 5</b>		1,9	1,3	1,3	-3,5	-2,1	-7,2	-5,8	-2,6	-2,5	-1,8	-1,2	-0,2	0,0	0,8	0,9	0,2	-2,9	-1,2	-2,6	-4,2	-3,6	-0,7	-0,4	-0,2
<b>Ts 10</b>		2,0	1,5	1,4	-2,9	-1,9	-6,7	-5,6	-2,7	-2,4	-1,8	-1,2	-0,3	-0,1	0,8	1,0	0,3	-2,1	-1,0	-2,4	-4,0	-3,6	-0,7	-0,4	-0,1
<b>Ts 30</b>		2,2	1,9	1,6	-1,5	-1,5	-5,5	-5,3	-2,8	-2,3	-1,9	-1,5	-0,6	-0,3	0,4	1,0	0,3	-0,7	-0,8	-2,1	-3,6	-3,5	-1,0	-0,6	-0,3
<b>Ts 50</b>		1,6	1,7	1,4	-0,7	-1,2	-4,5	-5,0	-2,9	-2,2	-2,0	-1,6	-0,8	-0,5	-0,1	0,6	0,3	-0,2	-0,6	-1,9	-3,2	-3,4	-1,3	-0,9	-0,5
<b>Ts 100</b>		0,6	1,2	1,2	-0,3	-1,0	-3,4	-4,5	-2,9	-2,2	-2,1	-1,8	-1,0	-0,6	-0,3	0,0	0,2	-0,1	-0,3	-1,6	-2,8	-3,2	-1,5	-1,1	-0,8
<b>Mín</b>		<b>2014</b>																							
<b>Mensal</b>		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez												
<b>T<sub>ar</sub></b>		-0,8	-1,1	-2,6	-2,2	-5,0	-7,3	-5,2	-7,9	-6,4	-4,4	-3,8	-1,3												
<b>Ts 5</b>		0,8	1,0	0,0	-0,5	-0,7	-2,0	-1,0	-3,1	-3,2	-1,3	-0,6	-0,2												
<b>Ts 10</b>		0,8	0,7	0,3	-0,3	-0,5	-1,8	-1,0	-3,0	-3,1	-1,4	-0,6	-0,2												
<b>Ts 30</b>		0,4	0,7	0,5	-0,1	-0,1	-1,2	-1,0	-2,6	-2,9	-1,6	-0,8	-0,4												
<b>Ts 50</b>		-0,2	0,3	0,4	-0,1	-0,1	-0,8	-1,0	-2,3	-2,7	-1,8	-1,0	-0,6												
<b>Ts 100</b>		-0,5	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,5	-0,9	-1,9	-2,5	-1,9	-1,1	-0,8												

Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente.

Tabela 3.1: Continuação

Solo com Padrão																								
Máx		2011											2012											
Mensal	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
T <sub>ar</sub>	—	—	1,2	-3,1	-1,1	-5,7	-6,0	-4,7	-2,6	-0,1	0,5	—	—	2,1	2,6	-3,0	-1,3	-5,2	-3,6	-4,1	-4,4	-1,8	0,1	1,3
TC 10 cm	—	—	1,3	-1,0	-2,3	-4,3	-4,9	-5,7	-4,4	-2,4	-0,7	-0,4	0,2	0,9	1,1	-1,5	-1,9	-5,9	-5,8	-3,4	-2,9	-2,9	-2,1	-0,8
TC 30 cm	—	—	0,3	-0,6	-2,2	-3,8	-4,5	-5,4	-4,4	-2,6	-1,0	-0,6	-0,2	0,1	0,4	-1,0	-1,8	-5,5	-5,7	-3,5	-2,9	-2,9	-2,2	-1,0
TC 80 cm	—	—	-0,2	-0,4	-1,8	-3,2	-3,9	-4,9	-4,2	-3,0	-1,4	-0,9	-0,6	-0,3	-0,1	-0,7	-1,5	-4,5	-5,4	-3,6	-2,8	-2,9	-2,5	-1,3
TB 10 cm	—	—	1,3	-1,2	-2,7	-4,6	-5,2	-6,0	-4,4	-2,1	-0,6	-0,3	0,7	1,6	1,8	-2,3	-1,8	-6,2	-6,0	-3,2	-2,9	-2,8	-2,0	-0,7
TB 30 cm	—	—	0,6	-0,7	-2,4	-4,2	-4,8	-5,7	-4,4	-2,4	-0,8	-0,5	-0,2	0,6	1,0	-1,5	-1,7	-5,7	-5,9	-3,4	-2,9	-2,8	-2,2	-1,0
TB 80 cm	—	—	-0,1	-0,5	-2,1	-3,3	-4,1	-5,1	-4,2	-3,0	-1,4	-1,0	-0,7	-0,2	0,0	-0,6	-1,5	-4,4	-5,4	-3,5	-2,8	-2,9	-2,5	-1,4
Máx		2013											2014											
Mensal	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
T <sub>ar</sub>	3,0	3,4	2,6	2,7	-2,4	-2,5	-3,5	-5,8	-2,6	-0,8	0,0	0,5	1,8	1,2	0,4	0,7	-0,9	-2,9	-1,5	-3,8	-2,3	-1,1	-1,1	1,1
TC 10 cm	-0,5	-0,2	0,0	0,2	-2,1	-3,1	-3,5	-4,3	-4,2	-1,6	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-1,0	-1,8	-4,5	-1,9	-2,9	-3,2	-1,8	-1,6	-0,7
TC 30 cm	-0,7	-0,4	-0,2	-0,1	-1,8	-3,0	-3,3	-4,0	-4,0	-1,9	-1,0	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-1,0	-1,7	-4,2	-2,0	-2,8	-3,1	-2,0	-1,7	-0,9
TC 80 cm	-0,9	-0,7	-0,5	-0,4	-1,5	-2,8	-3,1	-3,7	-3,9	-2,2	-1,3	-0,9	-0,7	-0,6	-0,5	-1,0	-1,4	-3,6	-2,2	-2,6	-3,0	-2,1	-1,8	-1,2
TB 10 cm	-0,4	-0,2	0,4	0,2	-2,6	-3,1	-3,5	-4,3	-4,2	-1,2	-0,6	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-1,0	-1,7	-4,7	-1,8	-2,9	-3,2	-1,6	-1,6	-0,6
TB 30 cm	-0,6	-0,4	-0,2	-0,1	-2,1	-3,1	-3,4	-4,1	-4,1	-1,6	-0,9	-0,5	-0,4	-0,3	-0,3	-1,1	-1,6	-4,4	-2,0	-2,8	-3,1	-1,8	-1,7	-0,8
TB 80 cm	-0,9	-0,7	-0,6	-0,4	-1,5	-2,8	-3,0	-3,6	-3,9	-2,2	-1,3	-0,9	-0,7	-0,6	-0,5	-1,0	-1,4	-3,6	-2,3	-2,6	-3,0	-2,2	-1,8	-1,2
Solo com Padrão																								
Mín		2011											2012											
Mensal	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
T <sub>ar</sub>	—	—	-1,8	-7,9	-5,6	-11,2	<b>-14,2</b>	-11,1	-10,6	-3,5	-0,3	—	—	-1,5	-1,3	-6,6	-5,3	-11,1	-8,1	-6,1	-7,1	-4,4	-2,1	-0,6
TC 10 cm	—	—	0,4	-1,3	-2,8	-4,7	-5,0	-5,8	-4,5	-2,5	-0,7	-0,5	-0,1	0,2	0,5	-2,0	-2,3	-6,9	-6,2	-3,5	-3,0	-2,9	-2,1	-0,9
TC 30 cm	—	—	0,1	-0,7	-2,4	-4,0	-4,6	-5,5	-4,4	-2,7	-1,0	-0,7	-0,4	-0,1	0,1	-1,3	-2,0	-6,0	-6,0	-3,6	-2,9	-2,9	-2,3	-1,1
TC 80 cm	—	—	-0,2	-0,5	-1,9	-3,3	-4,0	-5,0	-4,3	-3,0	-1,4	-1,0	-0,7	-0,4	-0,3	-0,9	-1,7	-4,8	-5,5	-3,6	-2,9	-2,9	-2,5	-1,4
TB 10 cm	—	—	0,3	-1,7	-3,5	-5,2	-5,3	-6,1	-4,6	-2,2	-0,6	-0,4	-0,1	0,3	0,7	-3,2	-2,4	-7,6	-6,5	-3,4	-3,0	-2,9	-2,1	-0,8
TB 30 cm	—	—	0,2	-0,9	-3,0	-4,5	-4,9	-5,8	-4,5	-2,5	-0,9	-0,6	-0,3	0,2	0,6	-1,8	-2,0	-6,5	-6,2	-3,5	-2,9	-2,9	-2,3	-1,0
TB 80 cm	—	—	-0,2	-0,5	-2,3	-3,4	-4,1	-5,1	-4,3	-3,1	-1,4	-1,0	-0,7	-0,3	-0,1	-0,8	-1,6	-4,6	-5,6	-3,6	-2,9	-2,9	-2,6	-1,4
Mín		2013											2014											
Mensal	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
T <sub>ar</sub>	-1,2	-0,8	-1,2	-1,0	-7,2	-7,5	-10,7	-11,0	-7,8	-4,8	-4,1	-3,3	-1,7	-1,9	-3,5	-2,9	-5,6	-7,9	-6,1	-8,9	-7,4	-5,6	-4,5	-2,3
TC 10 cm	-0,5	-0,4	-0,1	0,0	-2,7	-3,3	-3,6	-4,4	-4,3	-1,8	-0,8	-0,5	-0,3	-0,3	-0,3	-1,2	-2,2	-4,8	-2,1	-2,9	-3,3	-1,9	-1,7	-0,7
TC 30 cm	-0,7	-0,7	-0,4	-0,2	-2,2	-3,2	-3,4	-4,1	-4,1	-2,0	-1,0	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-1,2	-1,9	-4,4	-2,2	-2,8	-3,2	-2,1	-1,7	-0,9
TC 80 cm	-1,0	-0,9	-0,7	-0,4	-1,7	-2,9	-3,1	-3,7	-3,9	-2,3	-1,3	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-1,1	-1,5	-3,7	-2,3	-2,6	-3,0	-2,2	-1,8	-1,2
TB 10 cm	-0,4	-0,3	0,0	0,0	-3,5	-3,4	-3,6	-4,4	-4,3	-1,4	-0,7	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-1,4	-2,1	-5,0	-2,0	-3,0	-3,3	-1,7	-1,7	-0,6
TB 30 cm	-0,6	-0,5	-0,3	-0,1	-2,6	-3,2	-3,4	-4,2	-4,2	-1,8	-0,9	-0,6	-0,4	-0,4	-0,3	-1,3	-1,8	-4,6	-2,2	-2,8	-3,2	-2,0	-1,8	-0,8
TB 80 cm	-1,0	-0,8	-0,6	-0,5	-1,7	-2,9	-3,1	-3,7	-3,9	-2,3	-1,3	-0,9	-0,7	-0,7	-0,6	-1,1	-1,5	-3,7	-2,4	-2,6	-3,0	-2,2	-1,9	-1,2

TC 10, TC 30, TC 80 = Temperatura do solo no centro da estria; TB 10, TB 30, TB 80 = Temperatura do solo na borda da estria, ambos a 10, 30 e 80 cm de profundidade.



Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente.

TC 10, TC 30, TC 80 = Temperatura do solo no centro da estria; TB 10, TB 30, TB 80 = Temperatura do solo na borda da estria, ambos a 10, 30 e 80 cm de profundidade.

**Figura 5:** Médias diárias de temperaturas (°C) do ar ( $T_{ar}$ ) e do solo ( $T_s$ ) no sítio Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão na Península de Keller, Antártica.

**Tabela 4:** Temperatura (°C) do ar e do solo mínima e máxima absoluta do sítio Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão entre os anos de 2011 a 2014, na península de Keller, Antártica.

Ipanema	Tar	Data	Temperatura do solo									
			5 cm	Data	10 cm	Data	30 cm	Data	50 cm	Data	100 cm	Data
Máx_absoluta/2011	9,0	02/11	14,6	12/11	11,2	12/11	5,3	02/11	3,1	02/11	2,4	02/11
Mín_absoluta/2011	-23,6	08/11	-10,6	06/11	-9,1	06/11	-7,9	08/11	-7,0	08/11	-6,6	08/11
Máx_absoluta/2012	8,1	03/12	12,9	01/12	10,0	01/12	5,4	01/12	—	—	2,7	03/12
Mín_absoluta/2012	-19,8	06/12	-16,2	06/12	-14,6	06/12	-11,0	06/12	—	—	-7,2	07/12
Máx_absoluta/2013	11,8	02/13	12,8	05/13	9,2	02/13	4,7	02/13	—	—	1,4	02/13
Mín_absoluta/2013	-20,3	07/13	-10,2	12/13	-8,6	05/13	-5,8	05/13	—	—	-4,8	08/13
Máx_absoluta/2014	8,8	04/14	16,5	01/14	11,5	01/14	6,0	01/14	3,3	01/14	2,3	01/14
Mín_absoluta/2014	-20,0	08/14	-3,8	09/14	-3,7	09/14	-3,4	09/14	-2,9	09/14	-2,7	09/14
Desvio padrão	16,3	—	13,5	—	10,8	—	7,0	—	5,0	—	4,3	—
<b>Refúgio II</b>												
Máx_absoluta/2011	13,0	03/11	7,6	07/11	8,4	07/11	5,9	07/11	4,4	08/11	3,5	02/11
Mín_absoluta/2011	-24,2	08/11	-11,7	12/11	-13,8	11/11	-11,0	12/11	-9,7	12/11	-7,4	08/11
Máx_absoluta/2012	15,6	06/12	8,8	06/12	13,9	06/12	6,6	06/12	4,8	07/12	4,0	02/12
Mín_absoluta/2012	-19,5	12/12	-10,4	12/12	-12,7	12/12	-9,5	12/12	-8,1	12/12	-5,8	07/12
Máx_absoluta/2013	17,8	01/13	8,9	01/13	13,3	01/13	7,0	01/13	5,2	01/13	3,3	02/13
Mín_absoluta/2013	-19,9	07/13	-7,3	08/13	-8,1	08/13	-7,0	08/13	-6,2	08/13	-4,8	08/13
Máx_absoluta/2014	13,4	01/14	9,2	01/14	13,6	01/14	7,3	01/14	5,6	01/14	3,7	01/14
Mín_absoluta/2014	-19,2	08/14	-7,1	08/14	-8,8	08/14	-6,4	08/14	-5,4	08/14	-3,9	09/14
Desvio padrão	19,2	—	9,6	—	12,6	—	8,3	—	6,7	—	5,0	—
<b>Punta Plaza</b>												
Máx_absoluta/2012	—	—	9,5	01/12	8,3	01/12	4,1	02/12	2,9	02/12	2,3	02/12
Mín_absoluta/2012	—	—	-11,9	06/12	-10,8	06/12	-8,7	07/12	-7,3	07/12	-5,7	07/12
Máx_absoluta/2013	10,2	02/13	9,3	02/13	7,4	02/13	2,4	03/13	1,4	03/13	0,5	04/13
Mín_absoluta/2013	-19,5	07/13	-7,0	05/13	-5,8	05/13	-4,4	09/13	-4,0	09/13	-3,6	09/13
Máx_absoluta/2014	9,4	04/14	11,5	01/14	9,2	01/14	2,7	02/14	1,5	03/14	0,7	03/14
Mín_absoluta/2014	-19,4	08/14	-4,2	09/14	-4,0	09/14	-3,5	09/14	-3,2	09/14	-2,8	09/14
Desvio padrão	16,9	—	10,1	—	8,6	—	5,1	—	4,0	—	3,1	—

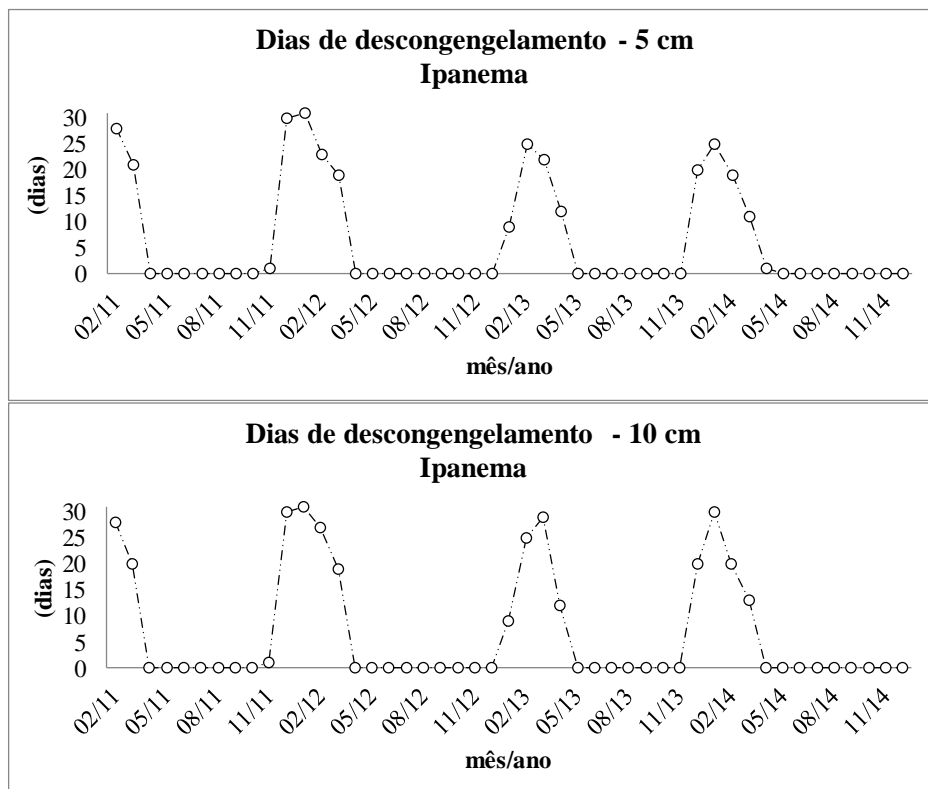
Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente.

**Tabela 4.1:** Continuação

Solo com Padrão	Tar	Data	Temperatura do solo na Borda (TB) e no Centro (TC) da estria											
			TB 10 cm	Data	TB 30 cm	Data	TB 80 cm	Data	TC 10 cm	Data	TC 30 cm	Data	TC 80 cm	Data
Máx_absoluta/2011	7,34	03/11	5,46	03/11	2,16	03/11	-0,04	03/11	4,12	03/11	1,43	03/11	-0,08	03/11
Mín_absoluta/2011	-23,26	08/11	-7,27	06/11	-6,33	08/11	-5,33	08/11	-6,41	08/11	-5,92	08/11	-5,21	08/11
Máx_absoluta/2012	8,64	03/12	5,10	03/12	2,47	03/12	0,02	03/12	2,95	03/12	0,97	03/12	-0,08	03/12
Mín_absoluta/2012	-19,93	06/12	-11,92	06/12	-9,56	06/12	-7,22	07/12	-10,21	06/12	-8,74	07/12	-7,12	07/12
Máx_absoluta/2013	10,49	02/13	1,38	03/13	0,03	04/13	-0,33	04/13	0,92	04/13	0,02	04/13	-0,33	04/13
Mín_absoluta/2013	-20,61	07/13	-8,39	05/13	-6,56	05/13	-4,04	09/13	-6,32	05/13	-5,17	05/13	-4,09	08/13
Máx_absoluta/2014	8,84	04/14	0,81	03/14	-0,13	03/14	-0,44	03/14	0,05	02/14	0,14	02/14	-0,14	02/14
Mín_absoluta/2014	-20,16	08/14	-6,51	06/14	-5,53	06/14	-4,27	06/14	-6,58	06/14	-5,55	06/14	-4,33	06/14
Desvio padrão	16,0	–	6,6	–	4,6	–	2,8	–	5,3	–	3,9	–	2,8	–

C 10, TC 30, TC 80 = Temperatura do solo no centro da estria; TB 10, TB 30, TB 80 = Temperatura do solo na borda da estria, ambos a 10, 30 e 80 cm de profundidade.

Os dias de congelamento, descongelamento, isotérmicos e congelamento e descongelamento foram agrupados para facilitar a comparação entre os diferentes períodos. Ipanema e Refúgio II foram os sítios em que o solo apresentou mais tempo sob o regime de camada ativa, ou seja, quando o solo se mantém a temperaturas acima de 0 °C. O sítio Ipanema, em janeiro, apresentou 31 dias de descongelamento, em todas as profundidades e em todos os anos estudados, com somatório de graus dias de 133,7; 125,1; 51,0; 26,8 e 19,8 a profundidades de 5, 10, 30, 50 e 100 cm, respectivamente. O sítio Refúgio II apresentou 31 dias de descongelamento do solo, em todas as profundidades estudadas, em janeiro de 2012, 2013 e 2014, com maior somatório de graus dias de 148,8; 154,6; 138,7; 120,1; 84,7 a profundidades de 5, 10, 30, 50 e 100, respectivamente. O sítio Solo com Padrão apresentou o menor tempo sob o regime de camada ativa, sendo observado apenas 18 dias de descongelamento (TB<sub>10</sub> e TC<sub>10</sub>) em março de 2011 e 16 dias de descongelamento (TC<sub>10</sub>) e 18 dias de descongelamento (TB<sub>10</sub>) em março de 2012, nos demais anos e profundidades o solo permaneceu mais tempo congelado ou em isotermia, o que confirma a presença do *permafrost* nesse sítio a profundidades maiores. Em fevereiro de 2012 o solo permaneceu descongelado 11 dias em TB<sub>10</sub>, 13 dias em TB<sub>30</sub> e 14 dias em TC<sub>10</sub>, nos demais anos o solo manteve-se congelado ou em isotermia neste mesmo período (Figura 6). O maior somatório de graus dias de descongelamento foi em março de 2012 com soma de 37,3 a TB<sub>10</sub>.



**Figura 6:** Dias de descongelamento do solo no sítio Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão na Península de Keller, Antártica.



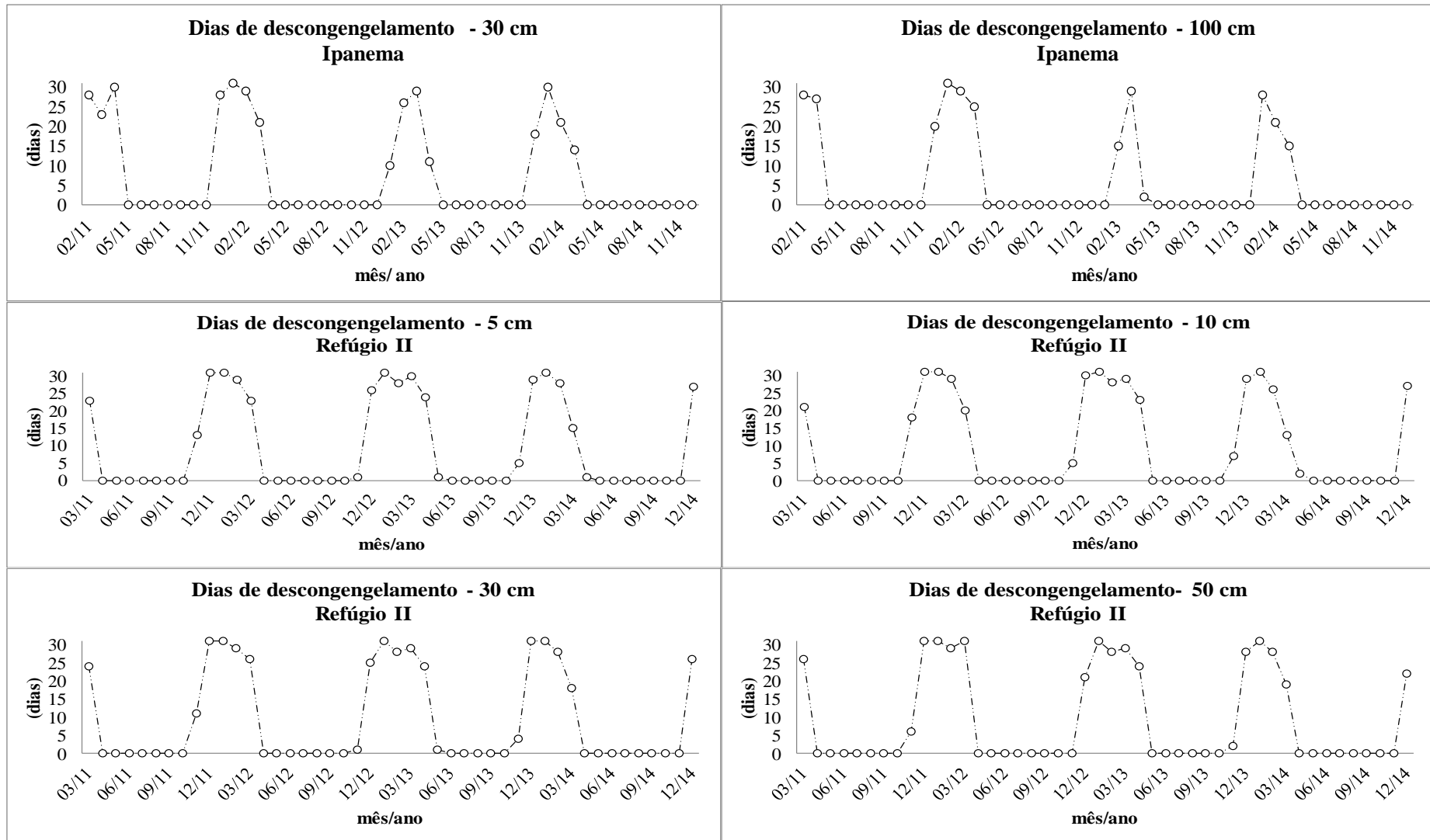


Figura 6.1: Continuação.

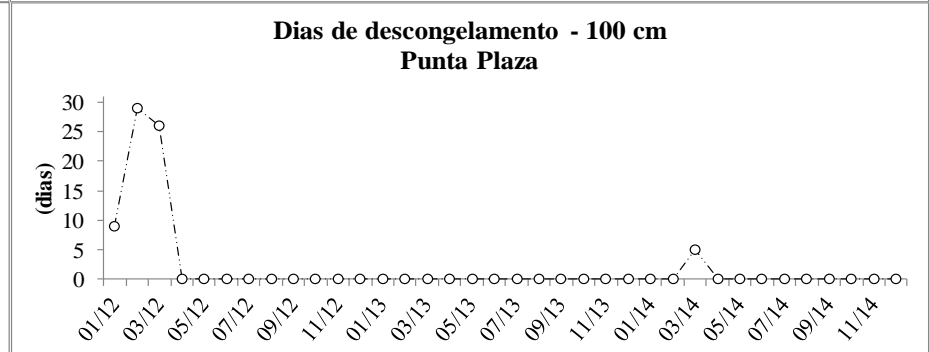
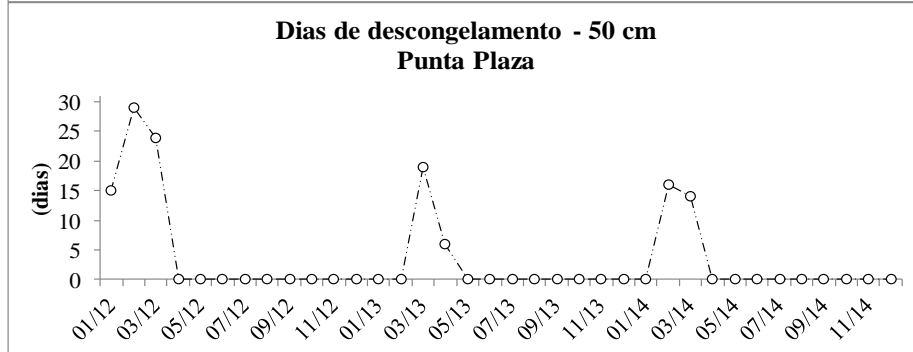
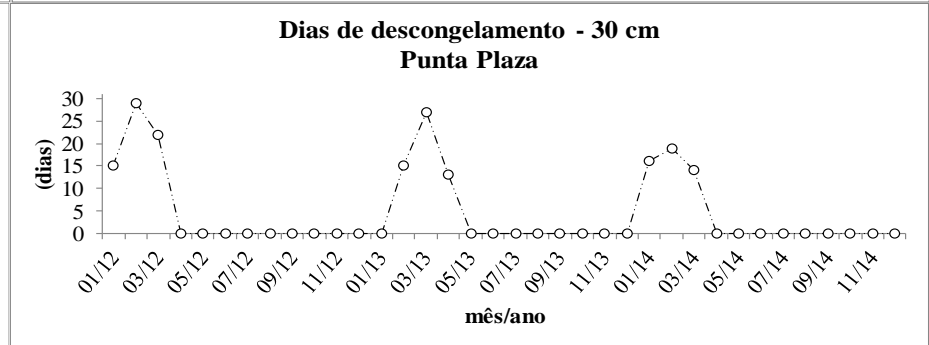
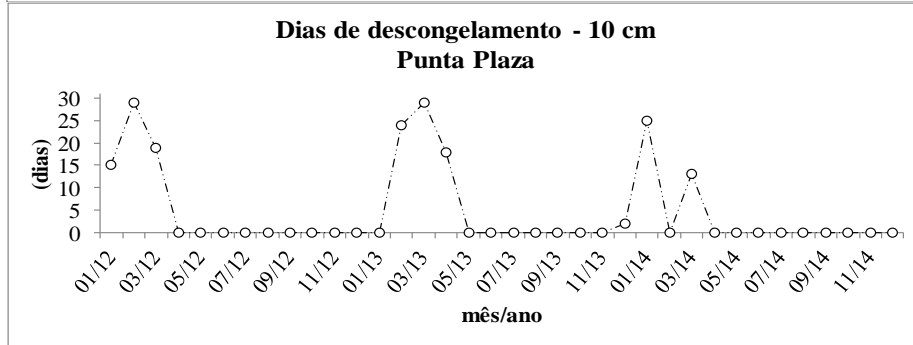
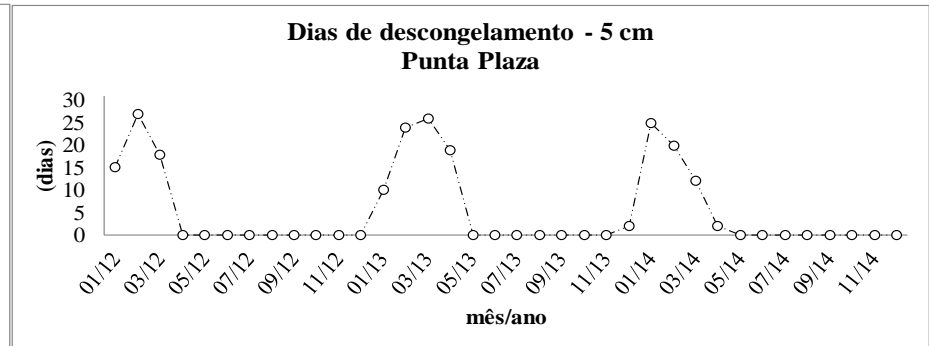
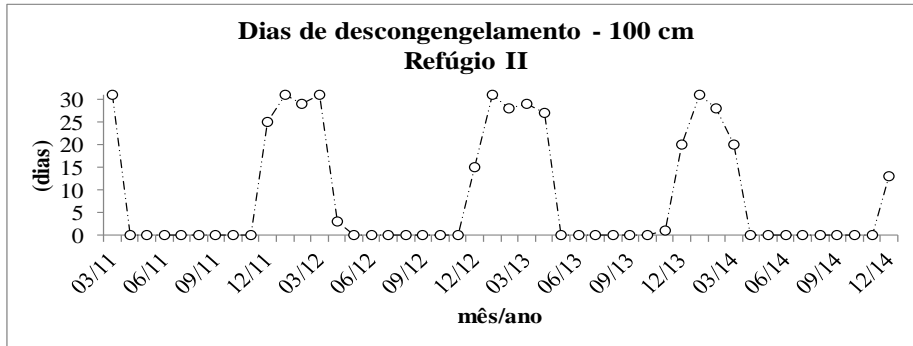


Figura 6.2: Continuação.

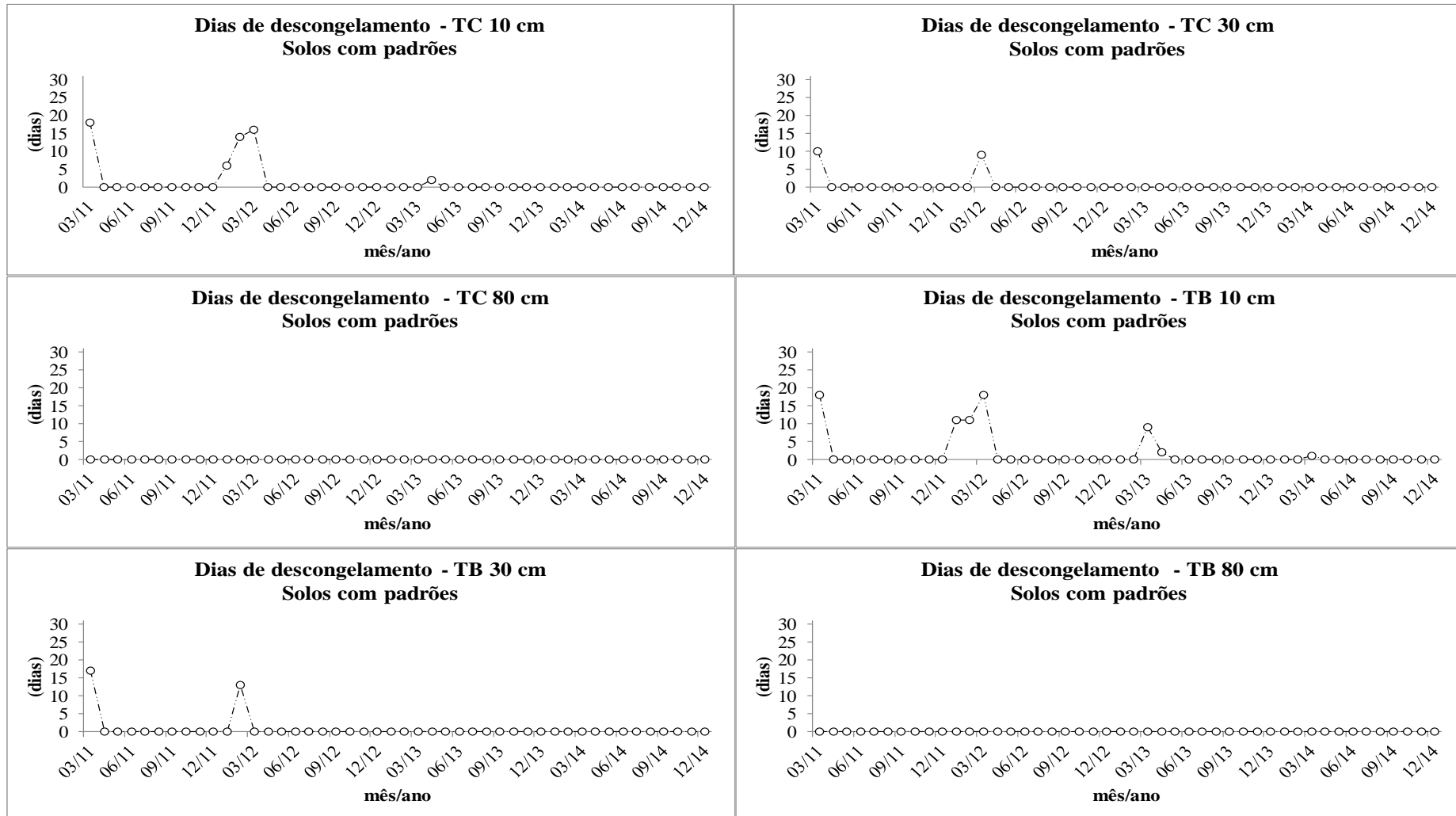
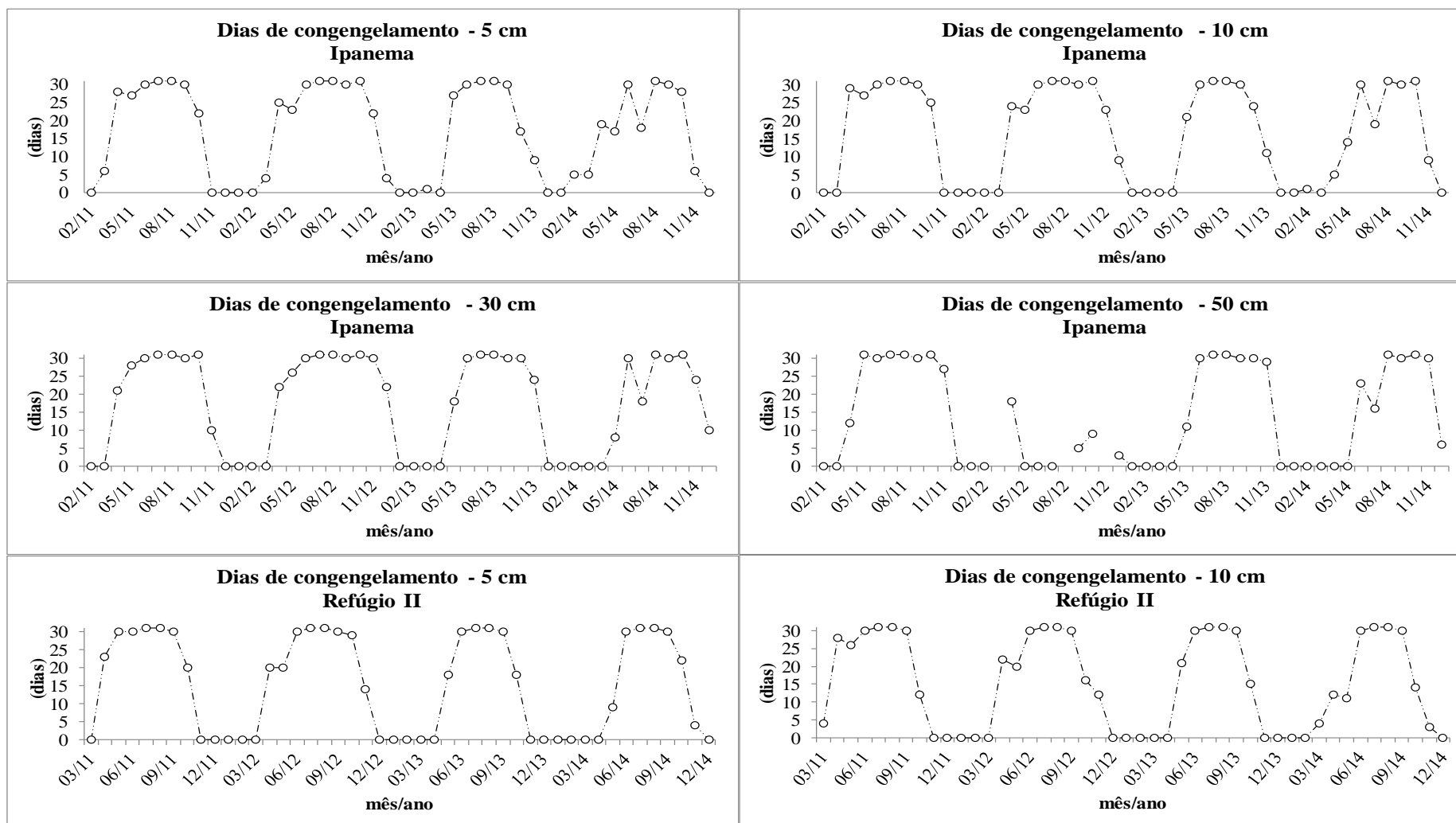


Figura 6.3: Continuação.

Quando se compara os diferentes anos e os diferentes sítios, Solo com padrão foi o que manteve por mais tempo (junho a novembro) o solo congelado em todas as profundidades estudadas. Refúgio II apresentou o maior somatório de graus dias de congelamento com  $-263 \text{ g.d}^{-1}$  a 10 cm de profundidade em 07/2011, seguido de  $-236 \text{ g.d}^{-1}$  de congelamento a 5 cm de profundidade em 08/2011 (Figura 7). Mesmo com o solo congelado, observou-se que a 100 cm a temperatura do solo, embora abaixo de  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , permanece mais alta que as profundidades superficiais. Isso acontece porque o equilíbrio térmico leva mais tempo para ser alcançado em profundidades maiores (RAMOS & VIEIRA, 2003).

O período do regime cortina zero variou entre os anos estudados em todos os sítios. Em Ipanema o solo manteve-se em isoterminia em todos os dias no período de 01/2013 a 12/2013 e 04/2014 e 05/2014 a 100 cm de profundidade. No Refúgio II, o solo apresentou isoterminia, todos os dias a 30, 50 e 100 cm de profundidade em abril de 2014. Em Punta Plaza, o solo apresentou isoterminia todos os dias em abril e maio a 30, 50 e 100 cm de profundidade e em dezembro a 5 e 10 cm de profundidade, ambos em 2014. No sítio Solo com Padrão o regime cortina zero teve maior ocorrência (todos os dias de isoterminia) em abril de 2013 em  $TB_{30}$ ,  $TB_{80}$  e  $TC_{30}$ ,  $TC_{80}$  (Figura 8).

Considerando todos os anos estudados e a camada de 10 cm de profundidade do solo, o sítio que apresentou maior número de dias de isoterminia e congelamento foi Solo com Padrão com 345 dias e 996 dias respectivamente, seguido por Punta Plaza (324 dias de isoterminia e 576 dias de congelamento), Ipanema (313 dias de isoterminia e 783 dias de congelamento) e Refúgio II (243 dias de isoterminia e 708 dias de congelamento).



**Figura 7:** Dias de congelamento do solo no sítio Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão na Península de Keller, Antártica.

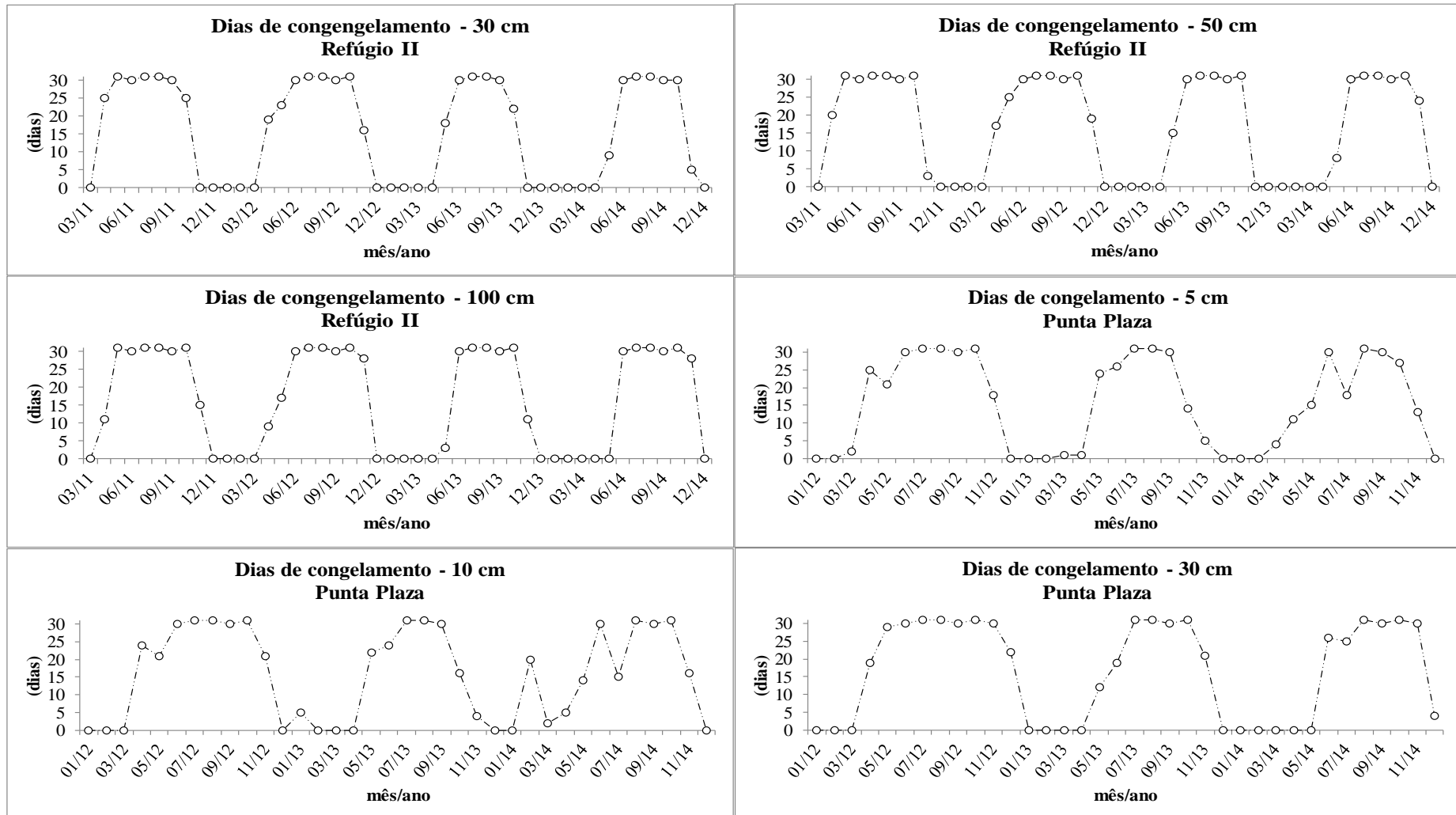


Figura 7.1: Continuação.

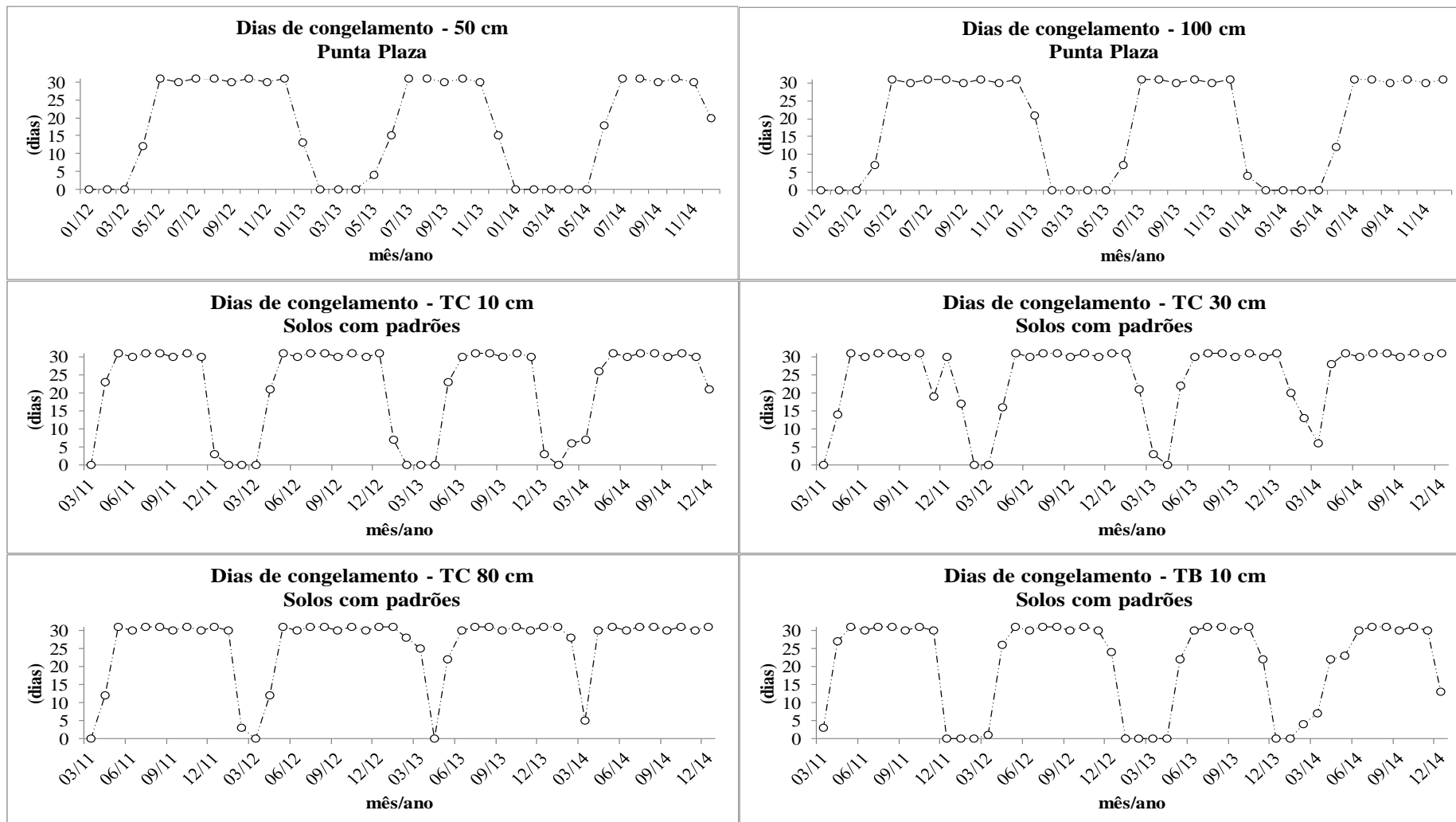


Figura 7.2: Continuação.

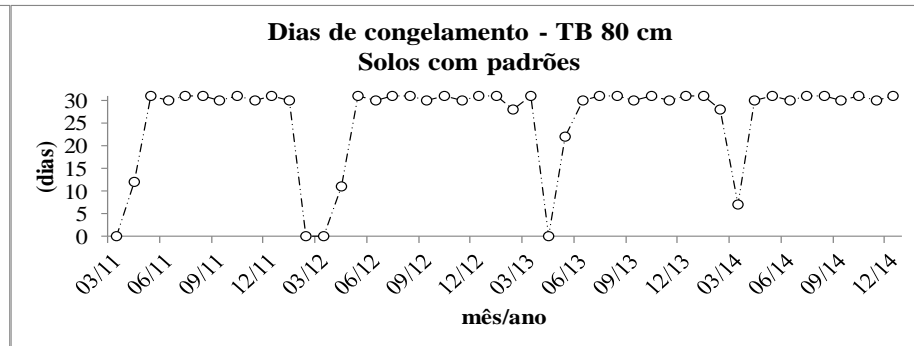
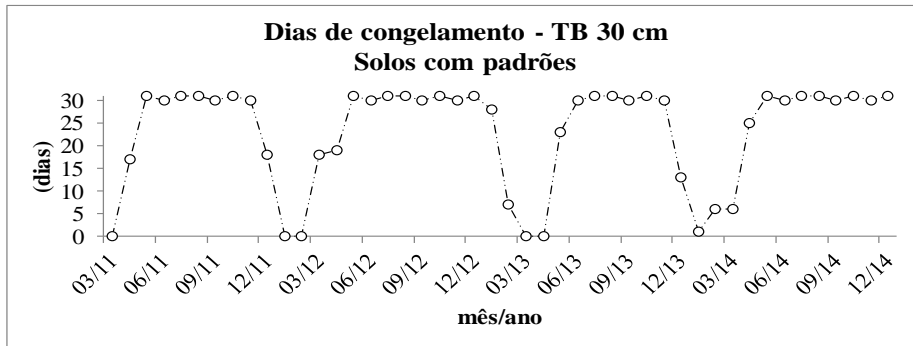


figura 7.3: Continuação.

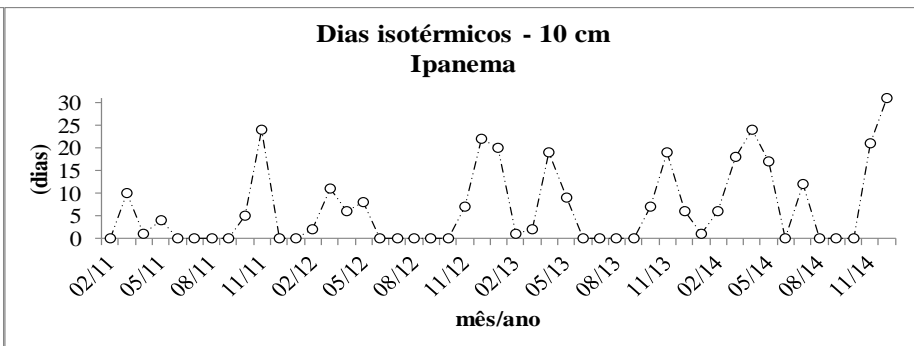
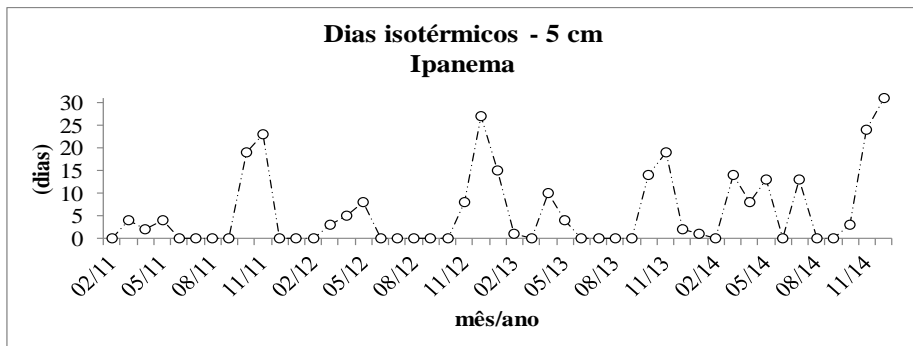


Figura 8: Dias isotérmicos do solo no sítio Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão nas profundidades de 5 cm, 10 cm, 30 cm, 50 cm e 100 cm na Península de Keller, Antártica.



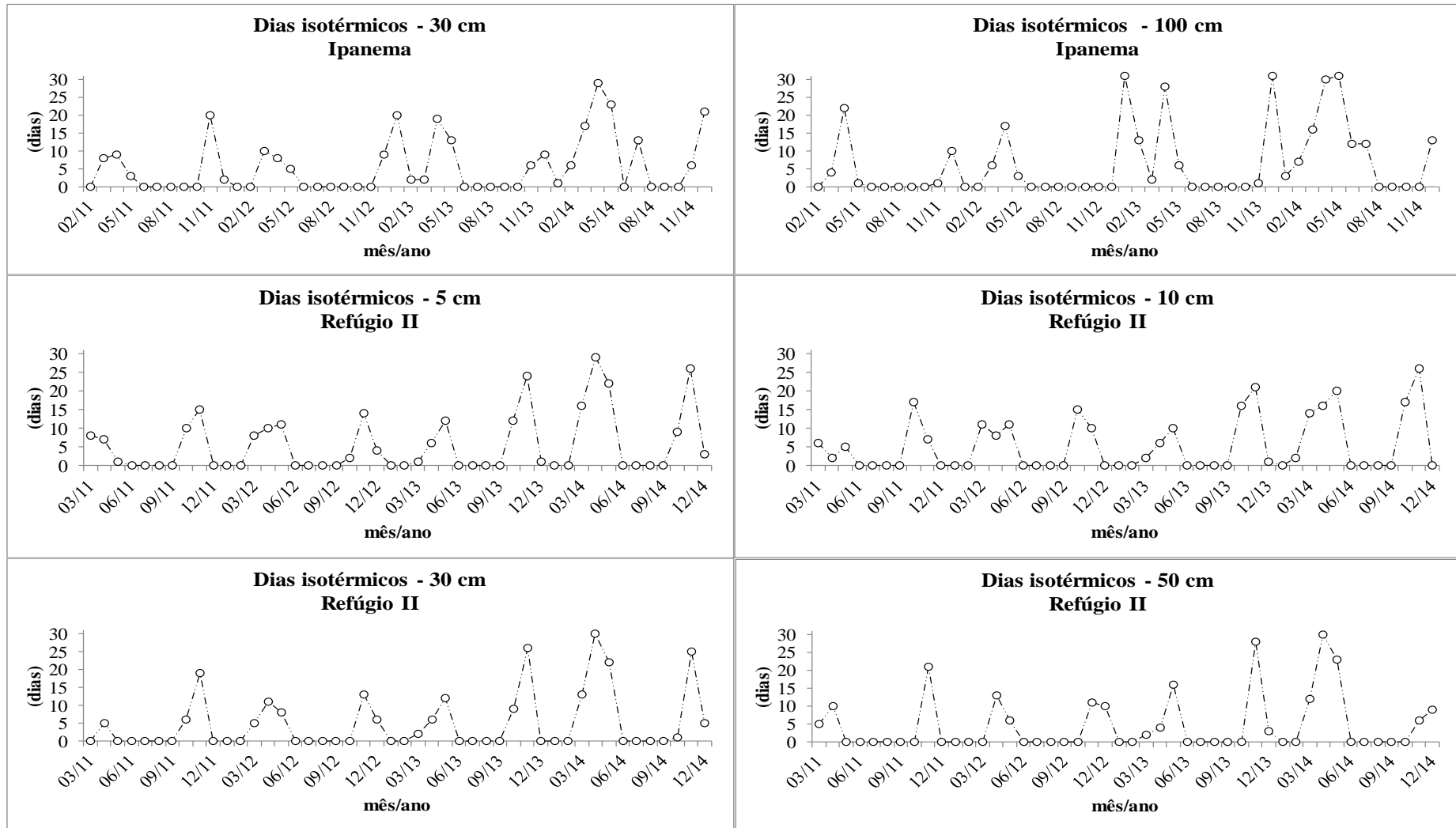


Figura 8.1: Continuação.

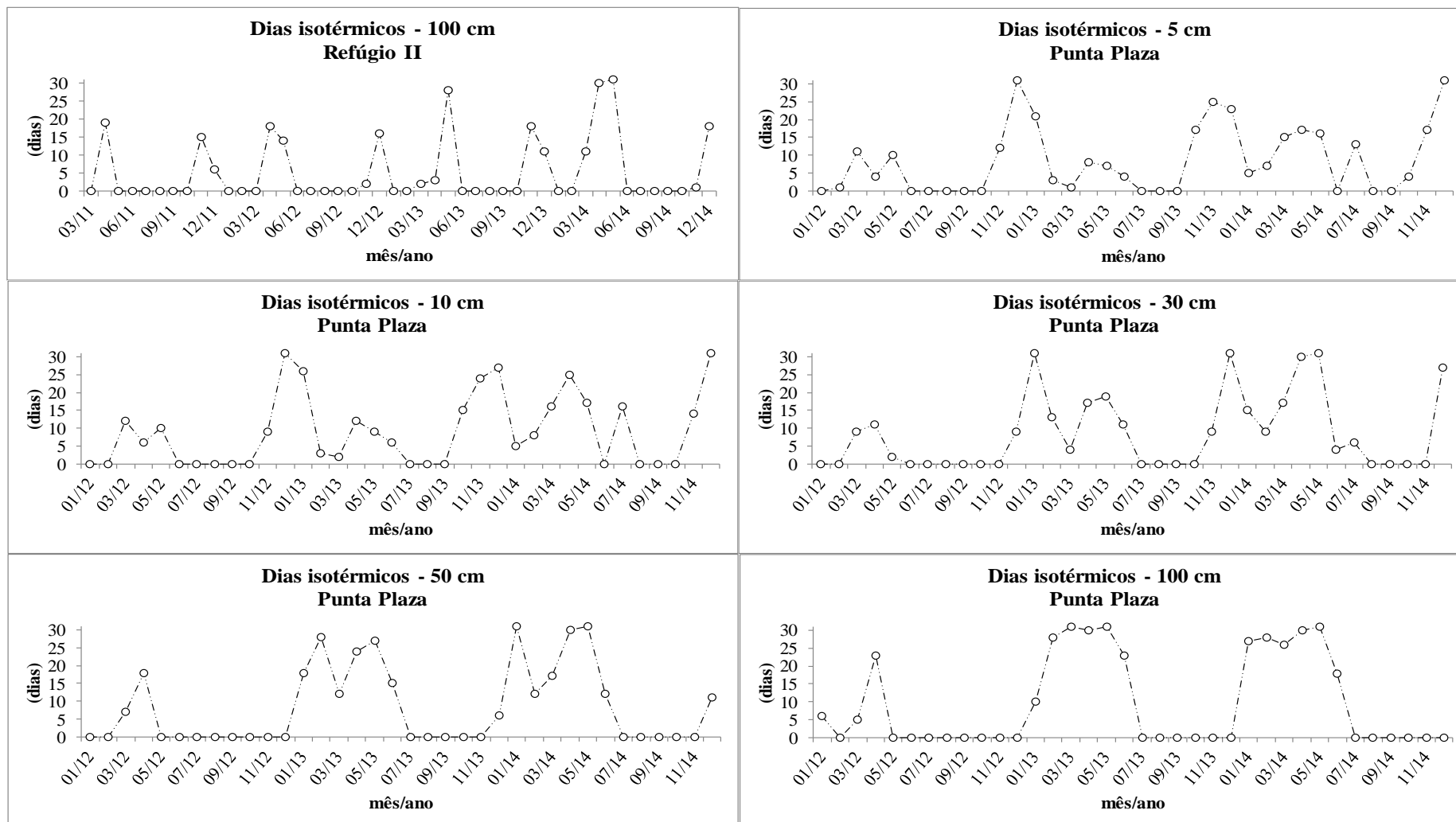


Figura 8.2: Continuação.

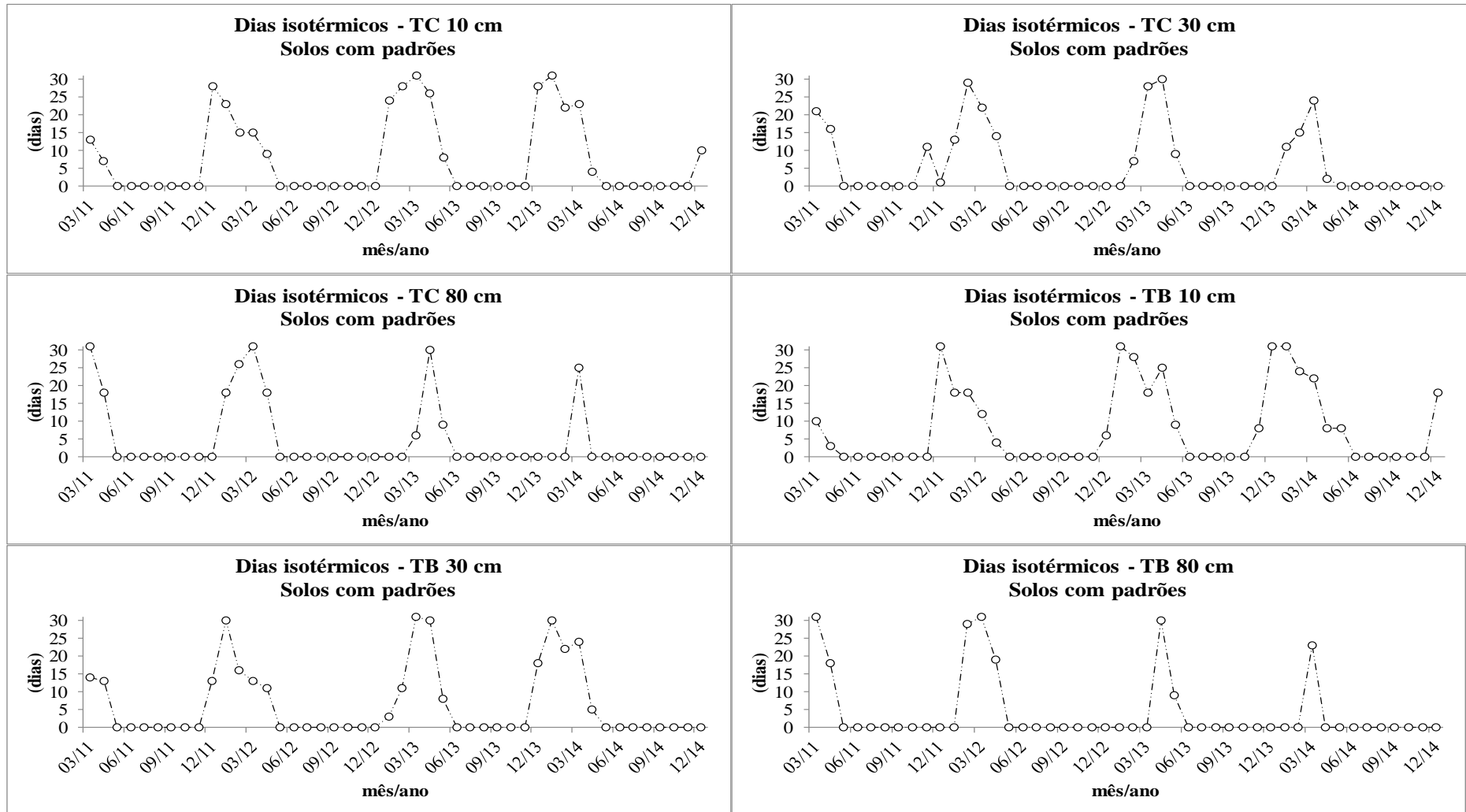
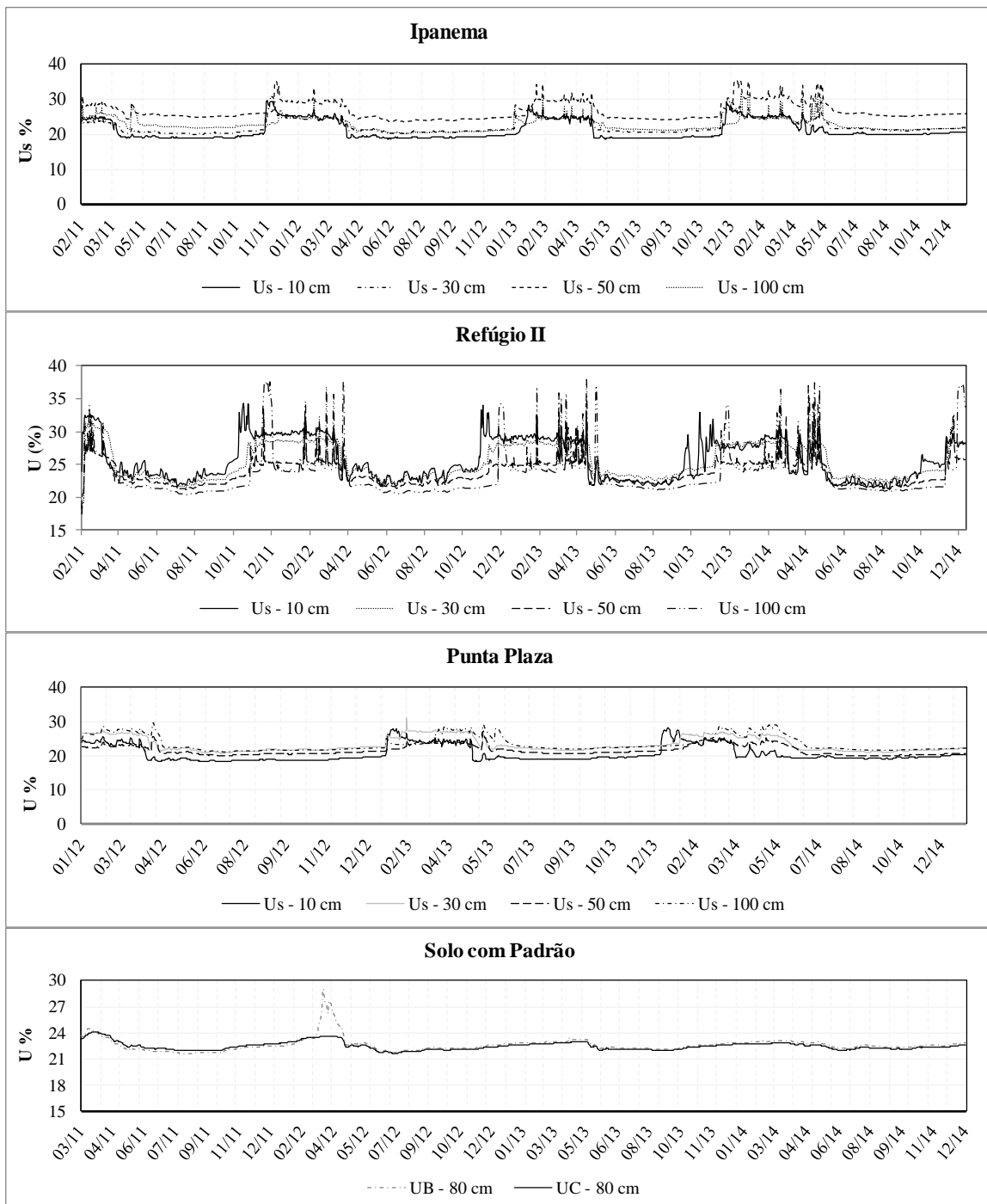


Figura 8.3: Continuação.

Em Ipanema, o degelo (Figura 9), aconteceu nos meses de novembro de 2011 e 2014 e em dezembro de 2012 e 2013. Em Refúgio II, o degelo foi maior nos meses de outubro e novembro de todos os anos. Em ambos os sítios esse aumento permaneceu com tendência até abril, mas com picos de congelamento e descongelamento em maio, no sítio Ipanema. No Solo com Padrão, o degelo foi maior em março de 2012 e permaneceu homogêneo durante todos os outros períodos. Nesse ano foi observado maior soma de graus dias ( $\text{g.d}^{-1}$ ) de descongelamento ( $37,3 \text{ g.d}^{-1}$ ) quando comparado ao mesmo período de outros anos estudados, sendo  $24,4 \text{ g.d}^{-1}$  (2011),  $5,2 \text{ g.d}^{-1}$  (2013) e  $0,5 \text{ g.d}^{-1}$  (2014).

A camada com maior umidade sazonal foi a de 50 cm no sítio Ipanema, 10 e 30 cm de profundidade em Refúgio II e a 100 cm de profundidade no sítio Punta Plaza. No sítio Solo com Padrão a umidade sazonal na borda da estria mostrou-se em média 0,1 % maior do que a umidade no centro da estria, considerando todos os anos estudados. Contudo a água no solo flui lentamente entre as camadas durante o início do aumento de umidade. Em março de 2012, neste sítio foi observado aumento da umidade em comparação com os outros anos, o que coincidiu com o mês mais quente. A soma de graus dias de descongelamento, neste período foi de  $37,3 \text{ g.d}^{-1}$  ( $\text{TB}_{10}$ ) e  $23,8 \text{ g.d}^{-1}$  ( $\text{TB}_{30}$ ), enquanto que nos outros anos a soma de graus dias de descongelamento foi de  $24,4 \text{ g.d}^{-1}$  ( $\text{TB}_{10}$ ) e  $11,8 \text{ g.d}^{-1}$  ( $\text{TB}_{30}$ ) em 2011;  $5,2 \text{ g.d}^{-1}$  ( $\text{TB}_{10}$ ) e  $0,0 \text{ g.d}^{-1}$  ( $\text{TB}_{30}$ ) em 2013 e;  $0,5 \text{ g.d}^{-1}$  ( $\text{TB}_{10}$ ) e  $0,0 \text{ g.d}^{-1}$  ( $\text{TB}_{30}$ ) em 2014. O aumento do teor de água no solo faz aumentar o fluxo de energia através da percolação de água no perfil do solo e também emite e transmite energia através dos processos de congelamento e descongelamento (MICHEL et al., 2014).



**Figura 9:** Umidade média diária do solo ( $U_s$ ), nas profundidades de 10, 30, 50 e 100 cm nos sítio Ipanema, Refúgio II e Punta Plaza; e profundidade de 80 cm em Solo com Padrão na península de Keller, Antártica.

A soma de graus dias das médias diárias do sítio Ipanema e Refúgio II alcançou seu máximo, respectivamente, em 02/2011 e 01/2012 e seu mínimo em 08/2011 para todas as camadas. Os meses mais quentes foram janeiro e fevereiro e os mais frios, junho, julho e agosto.

No sítio Punta Plaza e Solo com Padrão, a soma de graus dias das médias diárias alcançou seu máximo em fevereiro e março de 2012, respectivamente; e seu mínimo em

julho 2012 para todas as camadas. Os meses mais quentes foram janeiro/fevereiro/março (Punta Plaza) e março/2012 (Solo com Padrão) e o mais frio junho de 2012 (ambos os sítios) e setembro de 2013 e 2014 (Punta Plaza).

O sítio que obteve o maior somatório de graus dias de descongelamento e congelamento foi o Refúgio II com 154,6 g.d<sup>-1</sup> (01/2012) e -263,3 g.d<sup>-1</sup> (07/2011), respectivamente, ambos a 10 cm de profundidade. Seguido pelo sítio Ipanema 133,7 g.d<sup>-1</sup> (01/2012), -228,1 g.d<sup>-1</sup> (07/2012), ambos a 5 cm de profundidade, Punta Plaza com 70,3 g.d<sup>-1</sup> (02/2012) a 5 cm de profundidade e Solo com Padrão -208,2 g.d<sup>-1</sup> (06/2012) a TB<sub>10</sub>.

As diferenças podem ser notadas quando se comparam os diferentes anos (Tabela 5). Na península Keller, considerando o período estudado, o inverno mais ameno ocorreu em 2014, onde no sítio de Ipanema foram registrados 31 dias de congelamento e -59,1 graus-dias de congelamento a 100 cm em agosto, que contrastou com o inverno em 2011, onde no mesmo sítio registrou os mesmos 31 dias de congelamento, porém com -181,2 graus-dias a 100 cm em agosto. O verão de 2012 foi consideravelmente mais quente (31 dias descongelamento e 133,7 graus-dias de descongelamento a 5 cm em janeiro) em comparação com o verão de 2013 (31 dias de descongelamento e 25,5 graus-dias de descongelamento 5 cm em janeiro). No Refúgio II o inverno mais ameno também ocorreu em 2014 (31 dias de congelamento e -61,1 graus-dias de congelamento a 100 cm em julho), enquanto no inverno em 2011 observaram-se 31 dias de congelamento e -146,3 graus-dias a 100 cm no mês de julho. O verão de 2014 foi consideravelmente mais quente (31 dias descongelamento e 124,7 graus-dias de descongelamento a 5 cm em dezembro) em comparação com o verão de 2011 (31 dias de descongelamento e 78,5 graus-dias de descongelamento 5 cm em dezembro). Em Punta Plaza, o inverno mais ameno ocorreu em 2014 (31 dias de congelamento e -28,3 g.d<sup>-1</sup> de congelamento a 100 cm em julho), que contrastou com inverno em 2012 (31 dias de congelamento e -137,1 g.d<sup>-1</sup> a 100 cm em julho). No verão de 2012 foi mais quente (31 dias descongelamento e 58,6 g.d<sup>-1</sup> de descongelamento a 5 cm em janeiro) em comparação com o verão de 2013 (31 dias de descongelamento e 6,5 g.d<sup>-1</sup> de descongelamento 5 cm em janeiro). No sítio Solo com Padrão, o inverno em 2014 foi mais ameno (31 dias de congelamento e -71,8 g.d<sup>-1</sup> (TB80); -69,0 g.d<sup>-1</sup> (TC80) de congelamento em julho), contrastando com inverno rigoroso em 2012 (31 dias de congelamento e -169,7 g.d<sup>-1</sup> (TB80); -168,3 g.d<sup>-1</sup> (TC80) em julho). No verão de 2012 foi consideravelmente mais quente (18 dias descongelamento e 37,3 g.d<sup>-1</sup> (TB10); 16 dias de descongelamento e 27,7 g.d<sup>-1</sup> (TC10) de descongelamento em março) em comparação com o verão de 2014, mais quente (1 dia descongelamento e 0,5 g.d<sup>-1</sup> (TB10); 0 dia de descongelamento e 0 g.d<sup>-1</sup> de descongelamento em março (TC10)).

**Tabela 5:** Comparação de inverno e verão mais quente ou frio na Península de Keller, Antártica.

Sítio	Inverno mais quente		Inverno mais frio		Verão mais frio		Verão mais quente	
	ano	g.d <sup>-1</sup>	ano	g.d <sup>-1</sup>	ano	g.d <sup>-1</sup>	ano	g.d <sup>-1</sup>
<b>Ipanema</b>	2014	-59,1	2011	-181,2	2013	25,5	2012	133,7
<b>Refúgio II</b>	2014	-61,1	2011	-146,3	2011	78,5	2014	124,7
<b>Punta Plaza</b>	2014	-28,3	2012	-137,1	2013	6,5	2012	58,6
<b>Solo com Padrão</b>	2014	-71,8	2012	-169,7	2012	37,3	2014	0,5

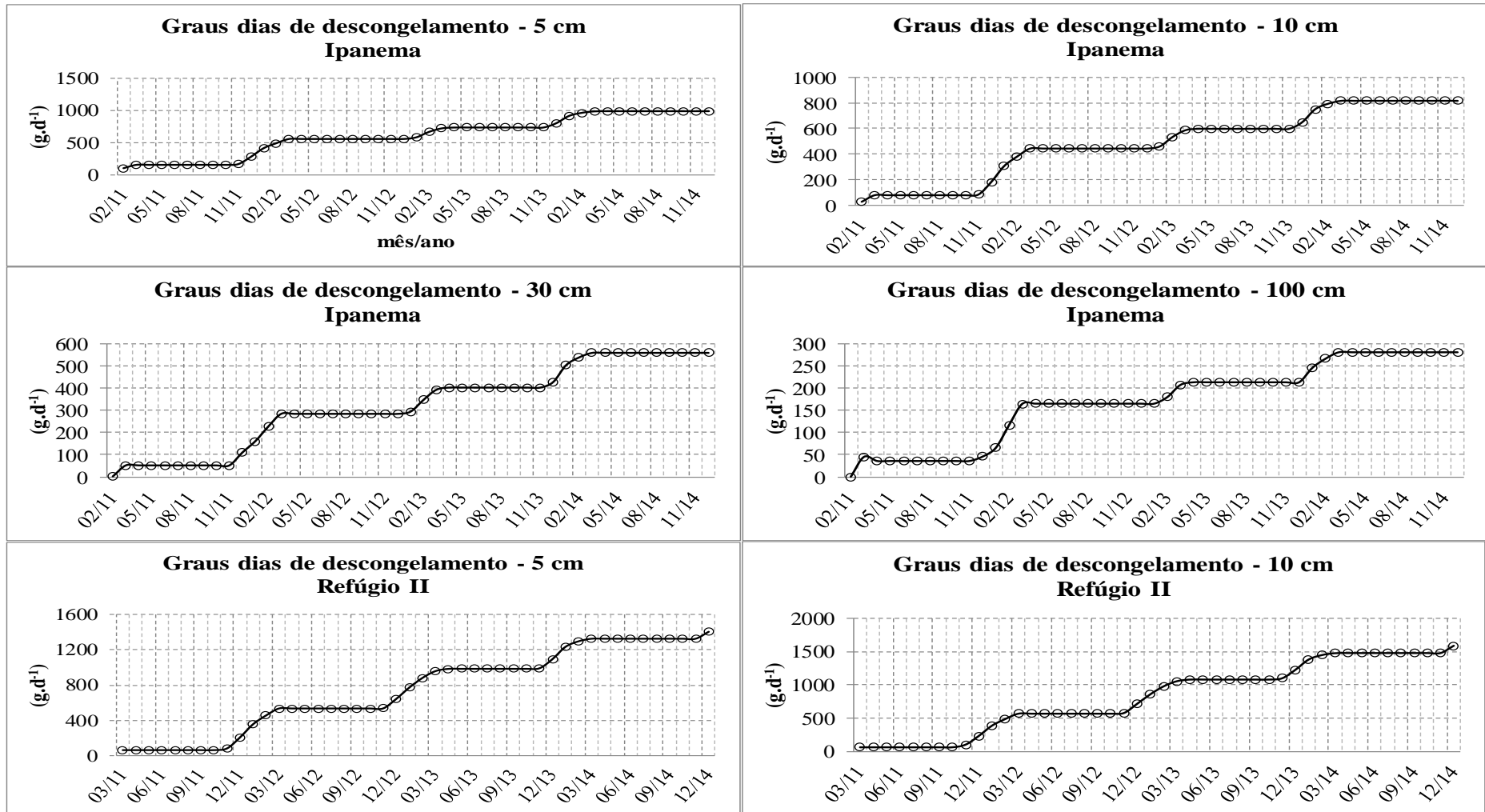
g.d<sup>-1</sup> = graus dias

O sítio Refúgio II obteve a maior soma acumulada de graus dias de descongelamento (Figura 10) com 1588,0 g.d<sup>-1</sup> (10 cm), seguido pelo sítio pelo Sítio Ipanema (989,8 g.d<sup>-1</sup> a 5 cm), Punta Plaza (456,2 g.d<sup>-1</sup> a 5 cm) e Solo com Padrão 104,2

$\text{g.d}^{-1}$  ( $\text{TB}_{10}$ ). O sítio Solo com Padrão foi o que obteve a maior soma acumulada de congelamento com  $-3079,8 \text{ g.d}^{-1}$  a  $\text{TB}_{10}$ , seguido pelo sítio Ipanema ( $-2918,6 \text{ g.d}^{-1}$  a 5 cm), Refúgio II ( $-2877,8 \text{ g.d}^{-1}$  a 10 cm) e Punta Plaza ( $-1552,2 \text{ g.d}^{-1}$  a 5 cm) (Figura 11). No sítio padrão a 80 cm não ocorreu nenhum graus dias de descongelamento, confirmando mais uma vez a presença do *permafrost* nessa profundidade. De maneira geral, o congelamento sazonal dos sítios estudados aconteceu entre o final de março a início de maio com variação entre os anos. O descongelamento sazonal aconteceu em épocas distintas, porém próximas, nos diferentes sítios. Em Ipanema, o descongelamento sazonal aconteceu no final de 11/2011 e meados de 01/2013, similar ao Refúgio II, cujo descongelamento sazonal ocorreu no final de novembro e início de dezembro para todos os anos estudados. Em Punta Plaza, o descongelamento sazonal aconteceu no início janeiro para todos os anos estudados análogos ao sítio Solo com Padrão, cujo descongelamento sazonal aconteceu no início janeiro em 2012, em março de 2013 e 2014, porém o período de descongelamento foi curto e nas menores profundidades. A temperatura do solo do sítio Solo com Padrão ficou próxima a  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  nos meses considerados mais quentes e abaixo de  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  quase todo ano. Resultado similar ao encontrado por Michel et al. (2014) cuja temporada de congelamento foi no final de maio e a de descongelamento em meados de dezembro, com pequena variação entre os anos.

Observou-se que os anos se dividem em um período quente, com temperaturas médias do solo acima de  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (em grande maioria dos sítios o descongelamento do solo começa em outubro e vai até fevereiro/março), um período frio com temperaturas abaixo de  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (entre junho a setembro/outubro), e um período isotérmico ou de transição de aproximadamente um a dois meses (abril/maio), com temperaturas entre  $-0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Salamene (2013) e Davis et al. (1992) obtiveram resultado similar encontrando três períodos de temperatura anual. O primeiro período ocorre na primavera/verão (novembro a março), com elevadas temperaturas duante o dia e muita variação entre os dias. Nessa época as temperaturas raramente diminuem muito abaixo de  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  durante a noite. O segundo período, o outono (março-maio), quando as temperaturas são estáveis em torno de  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . E um terceiro período, o inverno (maio a novembro), quando as temperaturas diminuem abaixo de  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

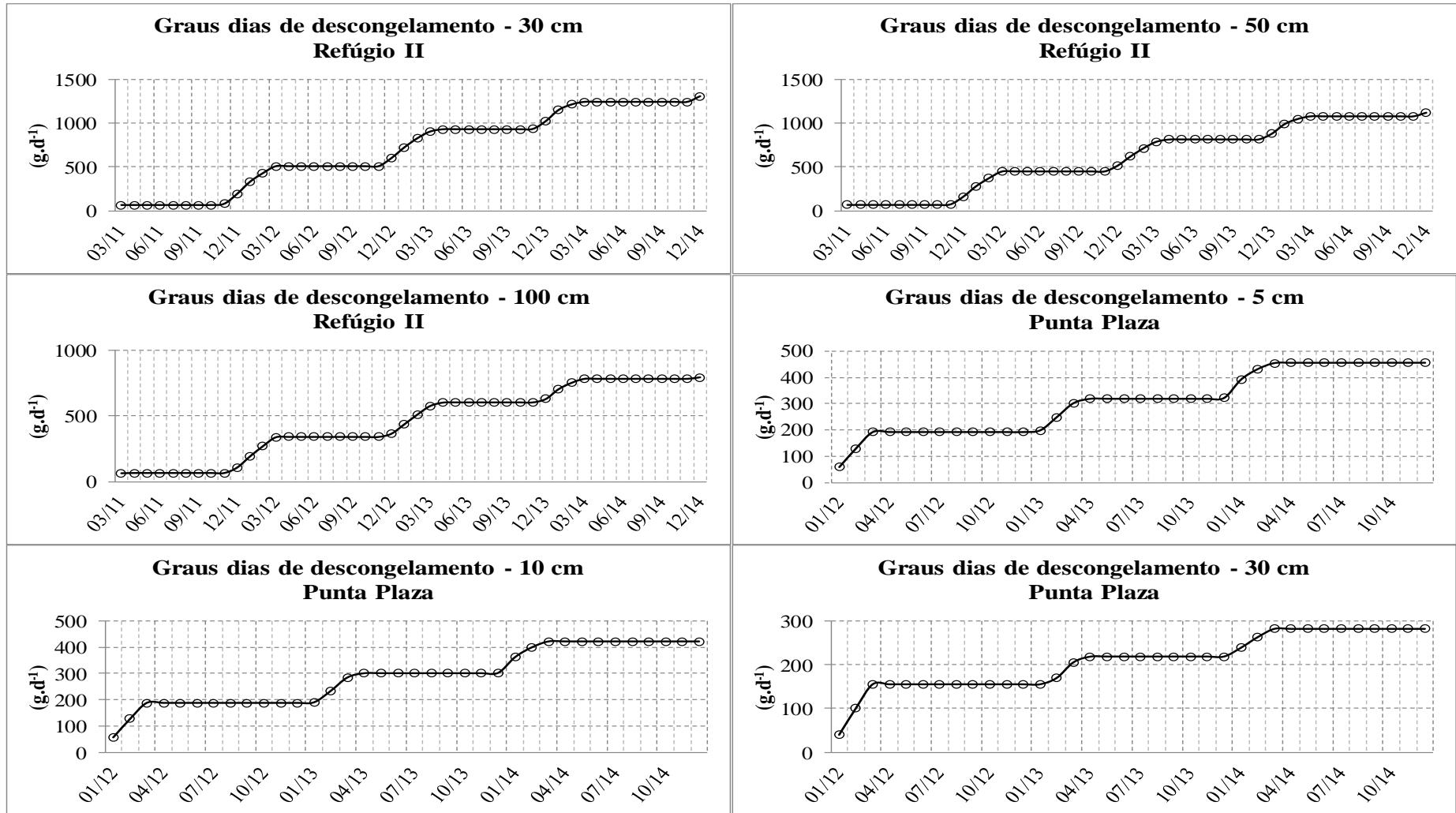
Na região estudada, ocorreram poucos ciclos de congelamento/descongelamento, sendo limitado apenas na primavera/verão e; em alguns anos, no outono, sempre em profundidades superficiais. Considerando todos os anos, observou-se 65 e 16 dias de congelamento/descongelamento no sítio Ipanema e Punta Plaza a 5 cm de profundidade, respectivamente; 20 e 9 dias de congelamento/descongelamento no sítio Refúgio II (10 cm de profundidade) e Solo com Padrão (na borda da estria a 10 cm de profundidade), respectivamente. Resultado similar encontrou Davis et al. (1992) e Michel et al. (2014), cuja ocorrência desse ciclo foi de novembro a maio, que coincidiu com o resultado deste trabalho.



g.d<sup>-1</sup> = graus dias

**Figura 10:** Soma acumulada de graus dias de descongelamento do sítio Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão na Península de Keller, Antártica.

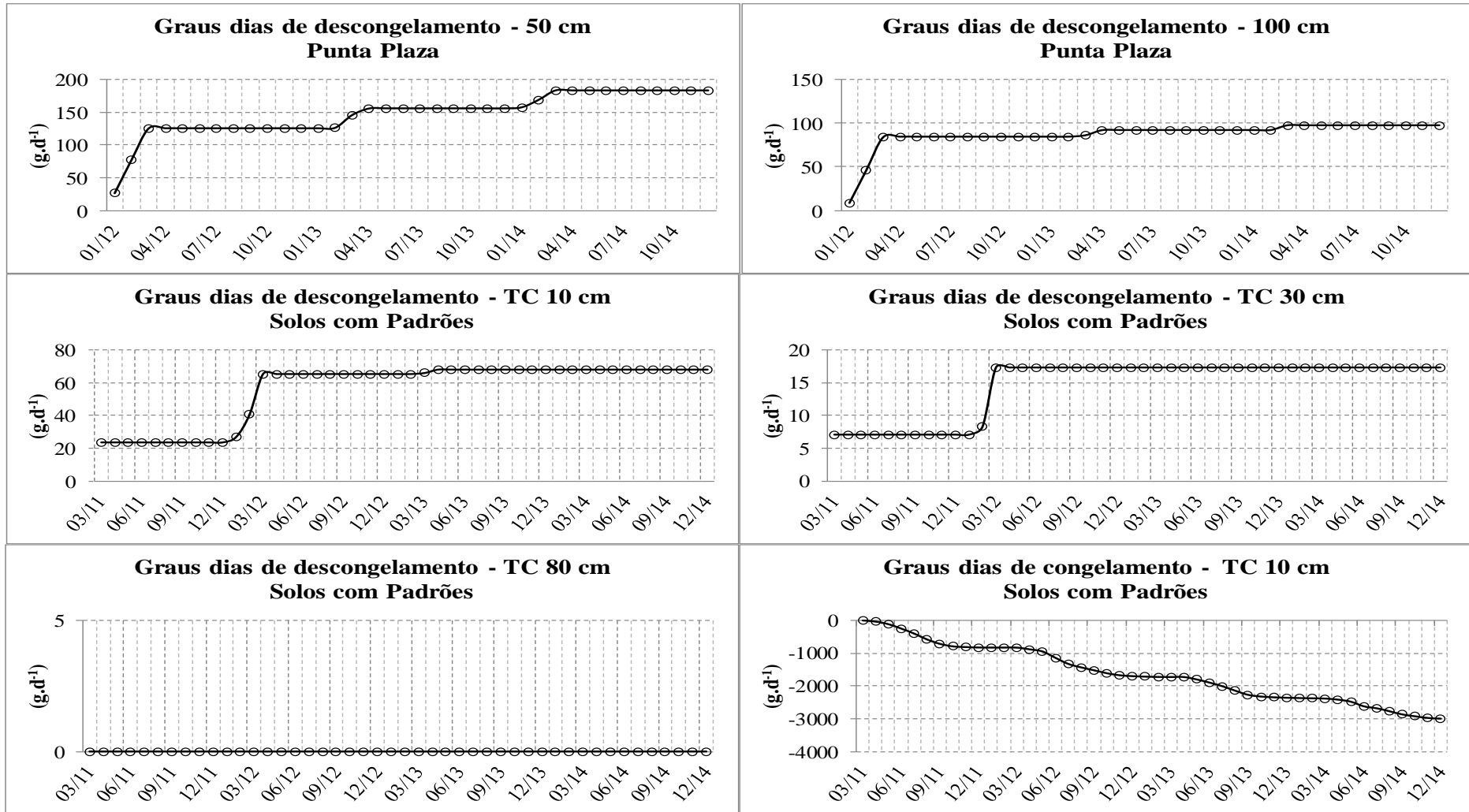




g.d

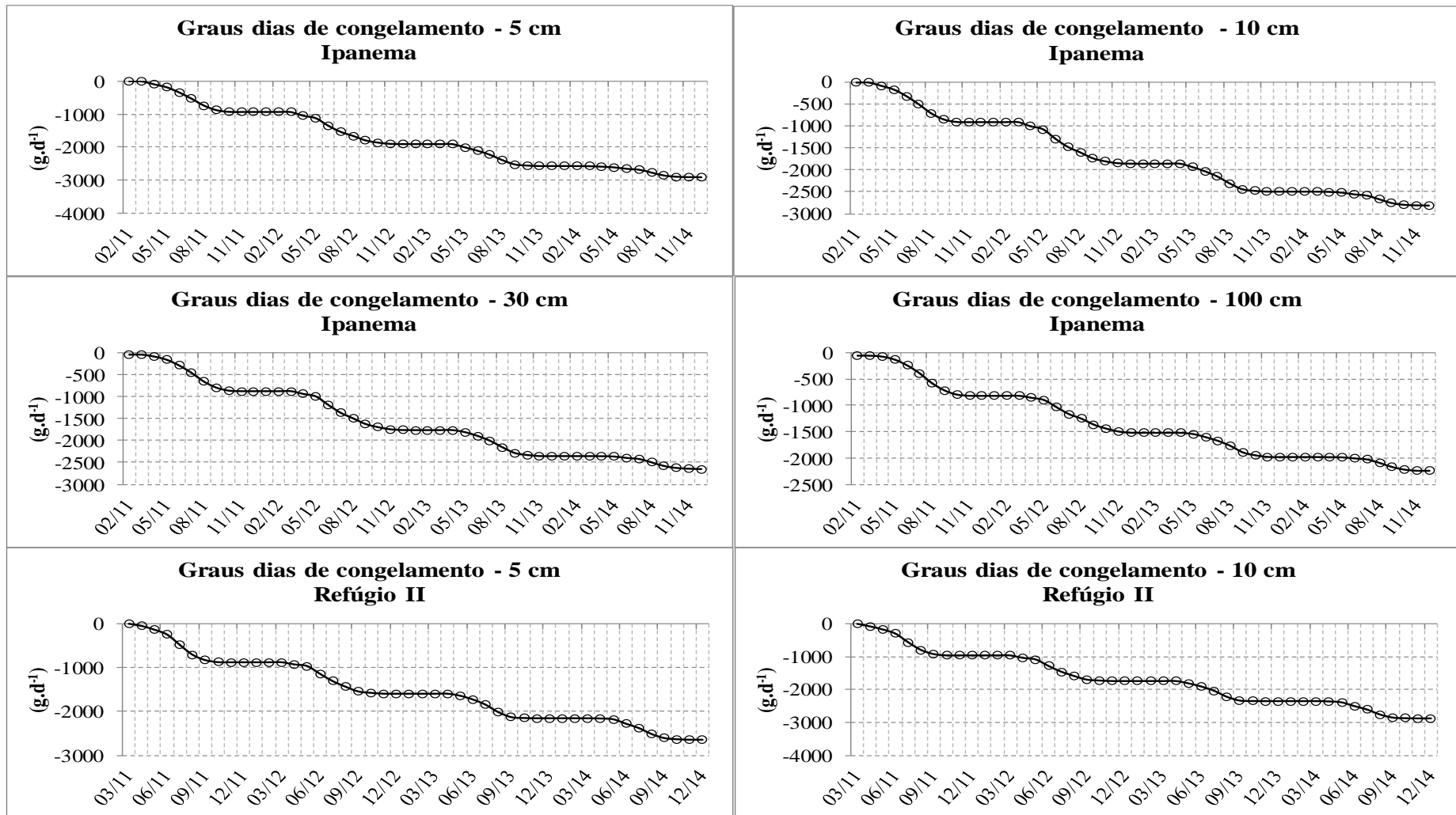
<sup>-1</sup> = graus dias

**Figura 10.1:** Continuação.



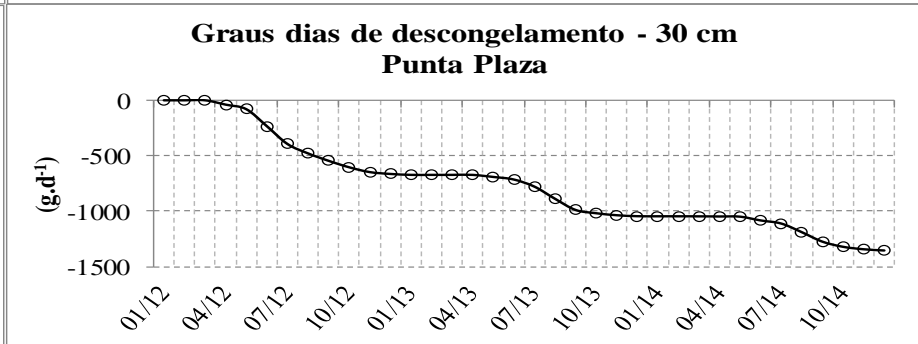
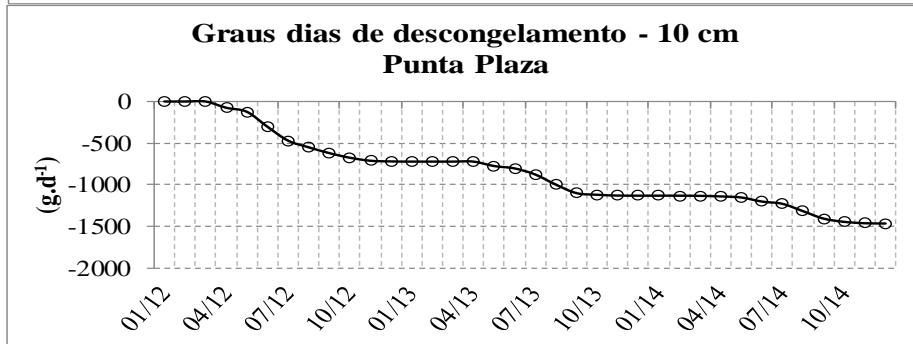
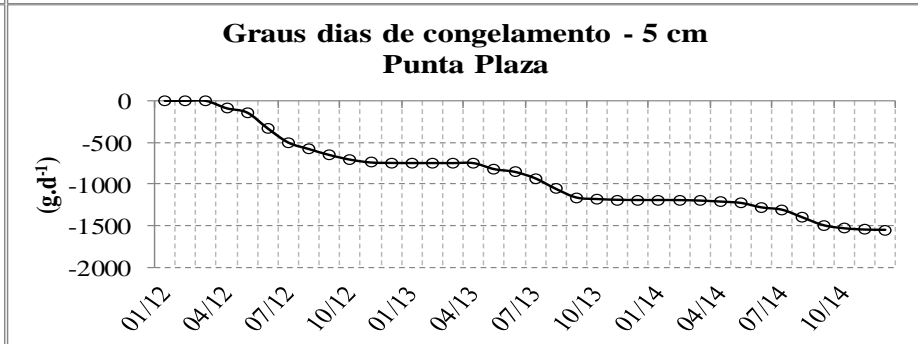
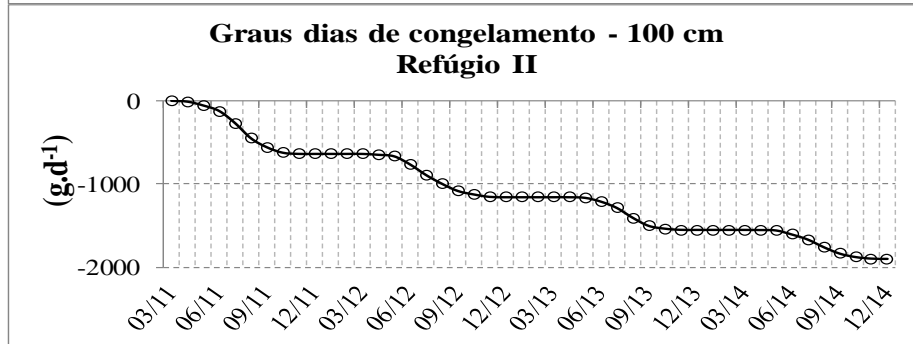
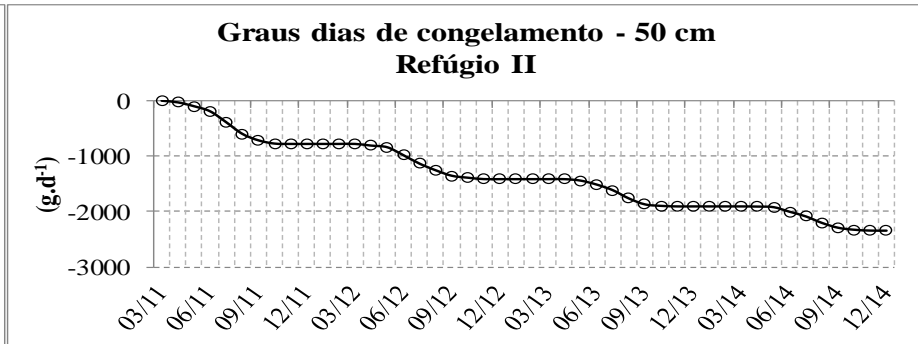
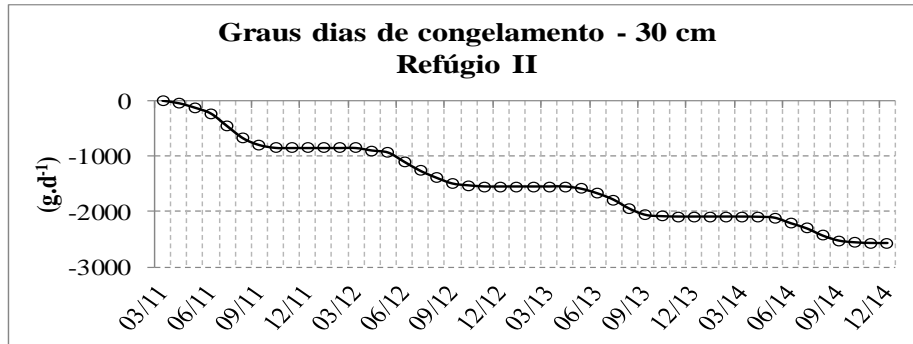
g.d<sup>-1</sup> = graus dias

Figura 10.2: Continuação.



<sup>-1</sup> = graus dias

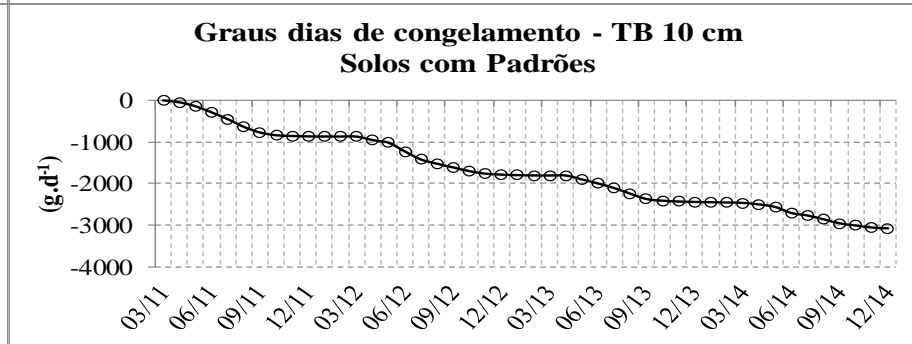
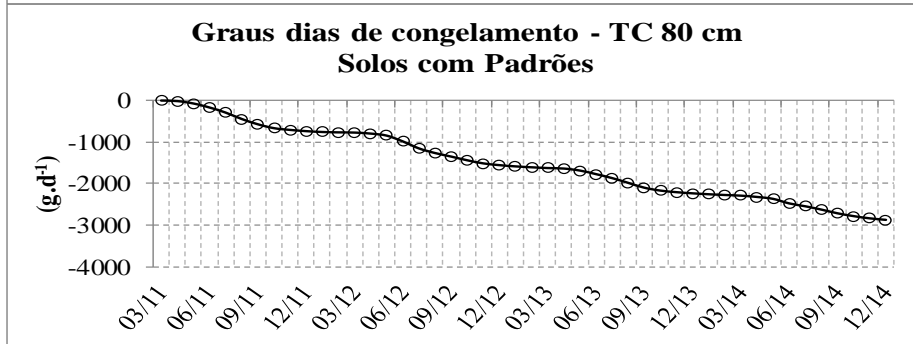
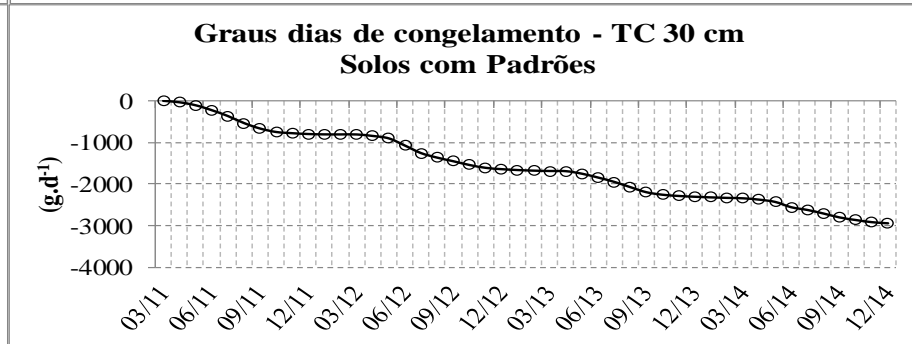
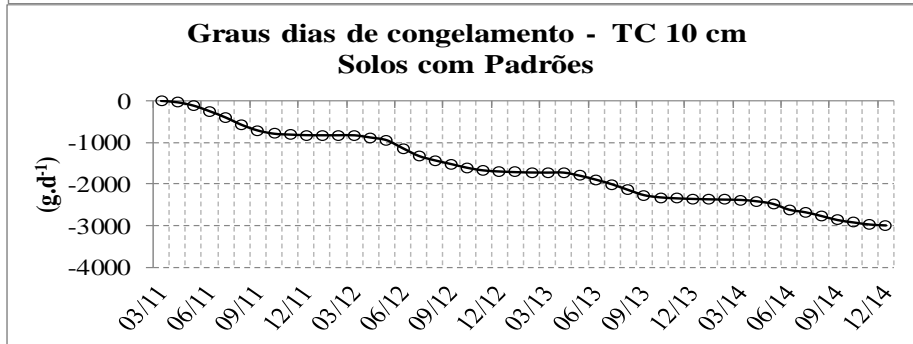
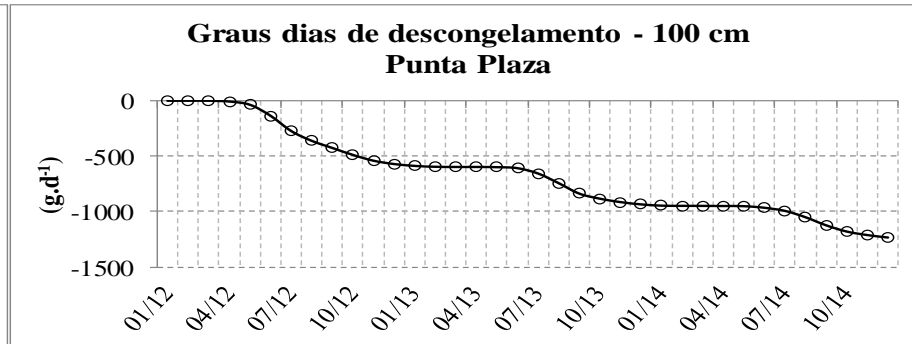
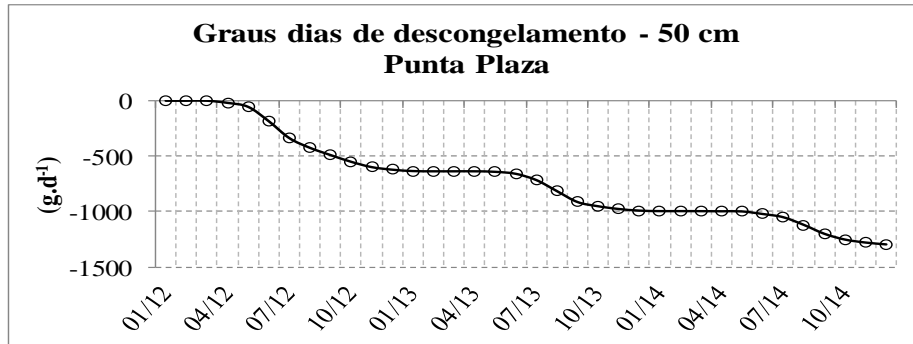
**Figura 11:** Soma acumulada de graus dias de congelamento do sítio Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão na Península de Keller, Antártica.



g.d<sup>-1</sup> = graus dias

**Figura 11.1:** Continuação

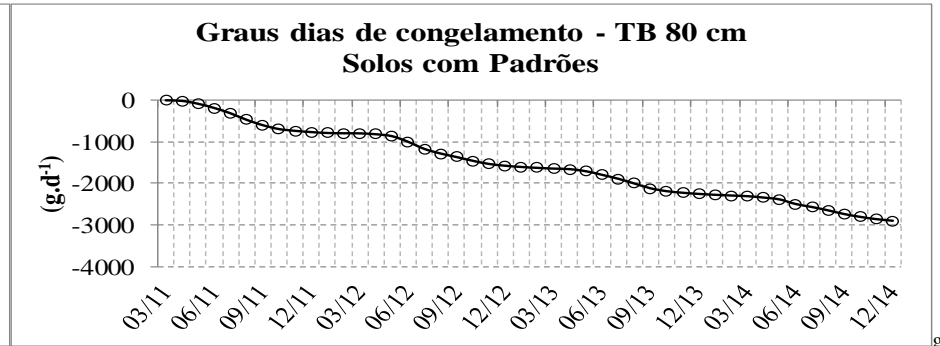
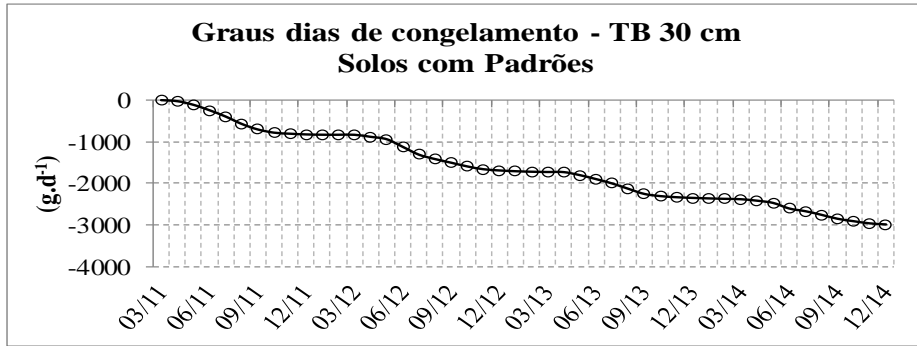
g.d



<sup>-1</sup> = graus dias

**Figura 11.2:** Continuação

g.d



d<sup>-1</sup> = graus dias

**Figura 11.3:** Continuação

A temperatura sazonal do solo média diária foi de -1,2 °C (Ipanema), -0,7 °C (Refúgio II), -0,9 °C (Punta Plaza) e de -2,1 °C para Solo com Padrão, tanto na borda como no centro, considerando todas as camadas em todos os anos, com a máxima e a mínima ocorrendo na camada mais superficial do solo, exceto para Refúgio II, cuja máxima e a mínima ocorreram a 10 cm de profundidade (Tabela 6). As temperaturas do solo sazonais máximas e mínimas, respectivamente, foram 6,9 °C e -6,5 °C, para Ipanema; 3,8 °C e -11,5 °C para Refúgio II; 3,3 °C e -5,2 °C para Punta Plaza e 0,6 °C e -5,8 °C a TB<sub>10</sub> para Solo com Padrão (Tabela 7).

**Tabela 6:** Médias sazonais da temperatura (°C) do ar (T<sub>ar</sub>) e solo (Ts) no sítio Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão, na Península de Keller, Antártica.

Estação do ano	Ipanema						Refúgio II						
	Temperatura média sazonal do solo						Temperatura média sazonal do solo						
	T <sub>ar</sub>	Ts 5	Ts 10	Ts 30	Ts 50	Ts 100	T <sub>ar</sub>	Ts 5	Ts 10	Ts 30	Ts 50	Ts 100	
Verão_2011	2,4	3,3	3,2	2,7	—	1,9	-4,9	-2,2	-2,8	-2,1	-1,6	-0,9	
Outono_2011	-5,1	-3,2	-2,9	-2,2	—	-1,2	-8,0	-6,3	-6,7	-6,1	-5,6	-4,6	
Inverno_2011	-8,3	-5,8	-5,7	-5,4	—	-4,8	0,0	0,0	0,4	-0,2	-0,6	-1,1	
Primavera_2011	-0,9	-0,3	-0,6	-1,2	—	-1,8	2,8	3,2	3,2	3,1	2,9	2,6	
Verão_2012	1,4	3,6	3,4	2,8	—	1,8	-4,3	-2,3	-2,8	-2,1	-1,6	-0,8	
Outono_2012	-4,4	-3,9	-3,5	-2,8	—	-1,6	-5,6	-4,5	-4,7	-4,4	-4,1	-3,5	
Inverno_2012	-5,7	-5,0	-5,0	-4,8	—	-4,4	-1,6	-0,4	0,1	-0,5	-0,8	-1,1	
Primavera_2012	-2,6	-1,7	-1,8	-2,0	—	-2,2	2,2	4,1	4,2	3,9	3,5	2,6	
Verão_2013	1,1	1,7	1,4	1,0	—	0,3	-1,9	-0,5	-0,9	-0,4	-0,2	0,2	
Outono_2013	-2,0	-1,5	-1,2	-0,8	—	-0,3	-6,8	-4,5	-4,9	-4,4	-4,0	-3,1	
Inverno_2013	-6,9	-4,6	-4,5	-4,2	—	-3,7	-0,6	0,2	0,7	0,0	-0,3	-0,7	
Primavera_2013	-1,8	-0,6	-0,7	-1,1	—	-1,5	2,4	3,9	4,3	3,7	3,2	2,3	
Verão_2014	0,0	2,4	2,2	1,6	—	0,7	-2,7	-1,1	-1,4	-1,0	-0,8	-0,4	
Outono_2014	-2,8	-0,7	-0,5	-0,3	—	-0,2	-4,2	-3,5	-3,8	-3,4	-3,1	-2,4	
Inverno_2014	-4,6	-2,0	-1,9	-1,8	—	-1,4	-1,3	-0,3	0,1	-0,4	-0,7	-1,0	
Primavera_2014	-2,4	-0,9	-1,0	-1,1	—	-1,3	1,3	3,0	3,3	2,9	2,5	1,9	
<b>Média</b>	-2,7	-1,2	-1,2	-1,2	—	-1,2	-2,1	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	
<b>Desvio Padrão</b>	3,1	2,9	2,8	2,4	—	2,0	3,3	3,1	3,4	3,0	2,7	2,2	
Estação do ano	Punta Plaza						Solo com Padrão						
	Temperatura média sazonal do solo						Temperatura média sazonal do solo						
	T <sub>ar</sub>	Ts 5	Ts 10	Ts 30	Ts 50	Ts 100	T <sub>ar</sub>	TB <sub>10</sub>	TB <sub>30</sub>	TB <sub>80</sub>	TC <sub>10</sub>	TC <sub>30</sub>	TC <sub>80</sub>
Verão_2011	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Outono_2011	—	—	—	—	—	—	-5,5	-2,6	-2,2	-1,6	-2,2	-1,8	-1,4
Inverno_2011	—	—	—	—	—	—	-8,8	-5,2	-5,0	-4,4	-5,0	-4,8	-4,3
Primavera_2011	—	—	—	—	—	—	—	-1,5	-1,8	-2,2	-1,7	-1,9	-2,2
Verão_2012	—	2,9	2,9	2,3	1,8	1,2	0,8	0,7	0,2	-0,4	0,4	-0,1	-0,5
Outono_2012	—	-3,0	-2,7	-2,0	-1,5	-1,0	-4,8	-3,3	-2,6	-1,7	-2,8	-2,3	-1,8
Inverno_2012	—	-3,7	-3,7	-3,6	-3,5	-3,3	-5,8	-4,4	-4,4	-4,1	-4,4	-4,3	-4,1
Primavera_2012	—	-1,4	-1,4	-1,6	-1,7	-1,8	-2,1	-2,2	-2,3	-2,5	-2,3	-2,4	-2,5
Verão_2013	1,2	1,0	0,9	0,3	-0,1	-0,4	0,8	-0,3	-0,5	-0,9	-0,4	-0,6	-0,9
Outono_2013	-2,3	-0,6	-0,4	0,0	0,1	0,0	-2,4	-1,7	-1,5	-1,4	-1,5	-1,4	-1,3
Inverno_2013	-6,6	-3,3	-3,1	-2,8	-2,6	-2,3	-7,3	-4,0	-3,8	-3,4	-4,0	-3,8	-3,5
Primavera_2013	-1,9	-0,6	-0,6	-0,9	-1,1	-1,3	-2,4	-1,1	-1,4	-1,8	-1,3	-1,5	-1,8
Verão_2014	0,2	1,5	1,3	0,7	0,2	-0,2	-0,5	-0,2	-0,3	-0,6	-0,2	-0,4	-0,6
Outono_2014	-2,5	-0,8	-0,6	-0,3	-0,1	-0,1	-3,1	-2,3	-2,1	-1,7	-2,2	-2,0	-1,7
Inverno_2014	-4,2	-2,1	-2,0	-1,9	-1,8	-1,5	-5,1	-2,8	-2,8	-2,7	-2,8	-2,7	-2,6
Primavera_2014	-2,0	-1,0	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-2,8	-1,6	-1,8	-2,0	-1,7	-1,8	-2,0
<b>Média</b>	-2,3	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0	-1,0	-3,5	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
<b>Desvio Padrão</b>	2,4	2,0	1,9	1,6	1,4	1,2	2,9	1,6	1,4	1,2	1,5	1,4	1,2

Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente. TC 10, TC 30, TC 80 = Temperatura do solo no centro da estria; TB 10, TB 30, TB 80 = Temperatura do solo na borda da estria, ambos a 10, 30 e 80 cm de profundidade.

**Tabela 7:** Médias sazonais máximas e mínimas da temperatura (°C) do ar ( $T_{ar}$ ) e solo ( $T_s$ ) no sítio Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão, na Península de Keller, Antártica.

Estação do ano	Ipanema											
	Temperatura sazonal média máxima						Temperatura sazonal média mínima					
	$T_{ar}$	Ts 5	Ts 10	Ts 30	Ts 50	Ts 100	Tar	Ts 5	Ts 10	Ts 30	Ts 50	Ts 100
Verão-2011	5,0	6,5	5,3	3,6	2,4	2,0	1,2	2,1	2,4	2,6	2,2	1,9
Outono-2011	-0,4	-0,6	-0,6	-0,4	-0,2	0,0	-4,7	-2,2	-1,7	-1,0	-0,4	-0,2
Inverno-2011	-5,6	-5,7	-5,6	-5,2	-4,8	-4,5	-11,6	-6,4	-6,2	-5,6	-5,0	-4,7
Primavera-2011	-0,6	-1,5	-1,9	-2,3	-2,5	-2,6	-5,2	-2,3	-2,4	-2,5	-2,7	-2,8
Verão-2012	3,4	6,9	5,3	3,1	—	1,4	-0,3	1,4	1,8	2,0	1,6	1,2
Outono-2012	0,0	-0,3	-0,5	-0,4	—	0,0	-2,8	-1,3	-1,2	-0,8	-0,4	-0,2
Inverno-2012	-3,4	-5,2	-5,2	-5,1	—	-4,6	-8,7	-6,5	-6,3	-5,8	-4,0	-4,8
Primavera-2012	-1,4	-2,4	-2,5	-2,6	—	-2,7	-6,0	-2,8	-2,9	-2,9	-2,8	-2,9
Verão-2013	2,6	2,7	1,9	0,9	—	-0,1	-1,3	0,3	0,3	0,2	-0,1	-0,2
Outono-2013	1,5	0,8	0,5	0,3	—	0,3	-2,7	-1,2	-0,6	-0,1	0,1	0,2
Inverno-2013	-3,6	-4,0	-3,9	-3,6	—	-3,0	-9,2	-4,5	-4,3	-3,8	-3,4	-3,1
Primavera-2013	-0,5	-1,8	-1,9	-2,1	—	-2,4	-5,0	-2,2	-2,2	-2,3	-2,4	-2,5
Verão-2014	1,6	5,7	3,9	2,1	1,0	0,6	-1,8	0,5	0,9	1,0	0,7	0,5
Outono-2014	0,5	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	-3,6	-0,5	-0,2	0,0	0,1	0,0
Inverno-2014	-2,4	-1,6	-1,6	-1,4	-1,1	-1,0	-7,3	-1,8	-1,7	-1,5	-1,2	-1,0
Primavera-2014	-1,1	-1,4	-1,4	-1,5	-1,5	-1,6	-5,4	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,7
Estação do ano	Refúgio II											
	Temperatura sazonal média máxima						Temperatura sazonal média mínima					
	$T_{ar}$	Ts 5	Ts 10	Ts 30	Ts 50	Ts 100	Tar	Ts 5	Ts 10	Ts 30	Ts 50	Ts 100
Verão-2011	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Outono-2011	3,6	2,4	2,8	1,9	1,7	1,5	-0,2	1,4	1,2	1,5	1,5	1,3
Inverno-2011	-2,6	-2,4	-2,7	-2,3	-1,9	-1,3	-7,8	-3,0	-3,9	-2,8	-2,2	-1,4
Primavera-2011	-3,8	-5,9	-6,0	-5,8	-5,5	-4,6	-11,5	-6,7	-7,3	-6,4	-5,9	-4,8
Verão-2012	4,3	1,8	2,8	1,2	0,4	-0,3	-1,3	0,6	0,6	0,6	0,2	-0,5
Outono-2012	3,0	2,2	2,8	1,7	1,4	1,2	-2,6	0,8	0,2	1,0	1,1	1,0
Inverno-2012	-2,6	-2,6	-2,9	-2,4	-2,0	-1,3	-7,4	-3,3	-4,1	-3,0	-2,4	-1,4
Primavera-2012	-2,4	-3,9	-3,7	-3,9	-3,8	-3,4	-8,0	-4,7	-5,1	-4,6	-4,3	-3,6
Verão-2013	3,5	1,2	2,5	0,7	0,1	-0,5	-3,8	0,2	0,2	0,2	-0,1	-0,6
Outono-2013	4,8	2,8	3,8	2,2	1,8	1,4	-2,0	1,3	0,8	1,5	1,5	1,3
Inverno-2013	-0,4	-0,9	-1,1	-0,9	-0,7	-0,2	-4,9	-1,4	-2,0	-1,2	-0,9	-0,3
Primavera-2013	-2,7	-4,1	-4,2	-4,0	-3,8	-3,1	-9,4	-4,6	-4,9	-4,4	-4,0	-3,2
Verão-2014	4,8	1,6	2,9	1,0	0,4	-0,1	-3,2	0,5	0,3	0,5	0,2	-0,3
Outono-2014	3,8	1,5	2,1	1,2	1,0	0,9	-2,9	0,6	0,2	0,7	0,8	0,7
Inverno-2014	-0,4	-1,3	-1,4	-1,2	-1,0	-0,6	-5,3	-1,5	-1,9	-1,4	-1,1	-0,7
Primavera-2014	-1,0	-3,1	-3,1	-3,1	-2,9	-2,4	-6,8	-3,9	-4,4	-3,7	-3,3	-2,6

Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente.

TC 10, TC 30, TC 80 = Temperatura do solo no centro da estria; TB 10, TB 30, TB 80 = Temperatura do solo na borda da estria, ambos a 10, 30 e 80 cm de profundidade.



Tabela 7.1: Continuação.

Estação do ano	Punta Plaza													
	Temperatura sazonal média máxima						Temperatura sazonal média mínima							
	T <sub>ar</sub>	Ts 5	Ts 10	Ts 30	Ts 50	Ts 100	T <sub>ar</sub>	Ts 5	Ts 10	Ts 30	Ts 50	Ts 100		
Verão-2012	—	3,3	3,1	1,7	1,1	0,5	—	1,0	1,1	1,2	1,0	0,4		
Outono-2012	—	-0,2	-0,1	-0,1	0,0	0,1	—	-1,4	-1,1	-0,5	-0,2	0,0		
Inverno-2012	—	-4,4	-4,3	-4,2	-3,9	-3,5	—	-5,2	-5,0	-4,5	-4,1	-3,6		
Primavera-2012	—	-1,7	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	—	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-2,0		
Verão-2013	3,5	1,5	1,1	0,0	-0,4	-0,6	-0,1	0,2	0,1	-0,2	-0,4	-0,6		
Outono-2013	0,6	0,8	0,8	0,5	0,3	0,1	-2,7	-0,6	-0,3	0,2	0,2	0,0		
Inverno-2013	-3,2	-2,5	-2,3	-2,1	-1,8	-1,5	-9,0	-2,7	-2,5	-2,2	-1,9	-1,6		
Primavera-2013	-0,7	-1,3	-1,3	-1,6	-1,7	-1,8	-4,7	-1,6	-1,6	-1,7	-1,8	-2,0		
Verão-2014	1,5	2,7	2,2	0,6	0,0	-0,3	-1,5	0,5	0,4	0,2	-0,1	-0,4		
Outono-2014	0,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	-3,3	-0,4	-0,2	0,1	0,1	0,0		
Inverno-2014	-1,9	-1,8	-1,7	-1,5	-1,3	-1,1	-6,8	-2,0	-1,9	-1,6	-1,4	-1,1		
Primavera-2014	-0,8	-1,5	-1,5	-1,6	-1,7	-1,7	-4,9	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,8		
Estação do ano	Solo com Padrão							Solo com Padrão						
	Temperatura sazonal média máxima							Temperatura sazonal média mínima						
	T <sub>ar</sub>	TB <sub>10</sub>	TB <sub>30</sub>	TB <sub>80</sub>	TC <sub>10</sub>	TC <sub>30</sub>	TC <sub>80</sub>	T <sub>ar</sub>	TB <sub>10</sub>	TB <sub>30</sub>	TB <sub>80</sub>	TC <sub>10</sub>	TC <sub>30</sub>	TC <sub>80</sub>
Outono_2011	-1,0	-0,7	-0,8	-0,8	-0,9	-0,9	-0,9	-5,1	-1,2	-1,0	-0,9	-1,6	-1,3	-1,0
Inverno_2011	-5,5	-4,9	-4,6	-4,0	-5,3	-4,9	-4,2	-12,2	-5,1	-4,7	-4,1	-5,5	-5,1	-4,2
Primavera_2011	-0,7	-2,5	-2,7	-2,8	-2,3	-2,5	-2,9	-4,8	-2,6	-2,7	-2,9	-2,5	-2,6	-2,9
Verão_2012	1,6	0,2	-0,2	-0,6	0,6	0,0	-0,6	-0,5	-0,1	-0,4	-0,7	0,0	-0,2	-0,7
Outono_2012	-0,6	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-4,4	-1,3	-1,1	-0,9	-1,6	-1,1	-0,8
Inverno_2012	-4,3	-5,0	-4,9	-4,5	-5,1	-5,0	-4,4	-8,4	-5,5	-5,2	-4,6	-5,8	-5,4	-4,6
Primavera_2012	-2,0	-2,6	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,7	-4,5	-2,7	-2,7	-2,8	-2,7	-2,7	-2,8
Verão_2013	2,6	-0,5	-0,7	-1,0	-0,4	-0,6	-1,0	-0,9	-0,6	-0,8	-1,1	-0,5	-0,7	-1,1
Outono_2013	1,0	-0,6	-0,7	-0,8	-0,7	-0,8	-0,8	-3,1	-0,9	-0,9	-0,9	-1,2	-1,0	-0,9
Inverno_2013	-3,9	-3,6	-3,5	-3,2	-3,6	-3,5	-3,2	-9,7	-3,8	-3,6	-3,2	-3,8	-3,6	-3,2
Primavera_2013	-1,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,0	-2,2	-2,4	-5,5	-2,3	-2,4	-2,5	-2,1	-2,3	-2,5
Verão_2014	1,2	-0,3	-0,4	-0,7	-0,2	-0,4	-0,7	-2,3	-0,4	-0,6	-0,8	-0,3	-0,5	-0,8
Outono_2014	0,1	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-4,0	-1,2	-1,1	-1,1	-1,3	-1,2	-1,1
Inverno_2014	-2,8	-3,1	-3,0	-2,8	-3,1	-3,1	-2,8	-7,7	-3,3	-3,1	-2,9	-3,3	-3,2	-2,9
Primavera_2014	-1,5	-2,2	-2,3	-2,3	-2,2	-2,2	-2,3	-5,9	-2,3	-2,3	-2,3	-2,2	-2,3	-2,4

Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente.

TC 10, TC 30, TC 80 = Temperatura do solo no centro da estria; TB 10, TB 30, TB 80 = Temperatura do solo na borda da estria, ambos a 10, 30 e 80 cm de profundidade.

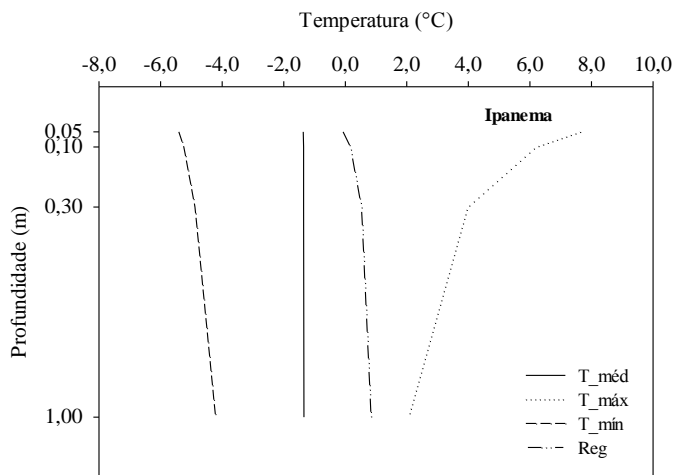
A umidade média sazonal em Ipanema foi maior à 50 cm ( $U_{50}$ ), em Refúgio II foi maior à 30 cm ( $U_{30}$ ) no outono/inverno e à 10 cm ( $U_{10}$ ) nas demais estações do ano. No sítio Punta Plaza, de maneira geral, foi observado que a umidade média sazonal foi maior na profundidade de 30 cm ( $U_{30}$ ) e menor à 10 cm ( $U_{10}$ ). Resultado similar descreveu Seybold et al. (2009), cujo conteúdo médio de água na camada ativa tende a aumentar em profundidade. No sítio Solo com Padrão os valores da umidade média sazonal foram maiores a borda da estria (UB) e menores ao centro da estria (UC) (Tabela 8), o que permite o desenvolvimento de briófitas nessa seção do padrão.

**Tabela 8:** Médias sazonais da umidade do solo (U%) nos sítios Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão na Península de Keller, Antártica.

Estação do ano	Ipanema				Refúgio II				Punta Plaza				Solo com Padrão		
	Umidade sazonal do solo												UB <sub>20</sub> %	UC <sub>80</sub> %	
	U% <sub>10</sub>	U% <sub>30</sub>	U% <sub>50</sub>	U% <sub>100</sub>	U% <sub>10</sub>	U% <sub>30</sub>	U% <sub>50</sub>	U% <sub>100</sub>	U% <sub>10</sub>	U% <sub>30</sub>	U% <sub>50</sub>	U% <sub>100</sub>			
Verão_2011	19,7	21,0	26,1	23,5	31,9	29,5	26,5	27,5	—	—	—	—	—	—	
Outono_2011	19,1	20,3	25,2	22,0	24,6	24,8	23,4	23,1	—	—	—	—	—	22,7	23,0
Inverno_2011	21,9	22,7	26,7	22,8	24,6	23,3	22,4	20,9	—	—	—	—	—	21,8	22,1
Primavera_2011	24,5	23,6	28,5	25,5	27,9	25,6	23,9	24,6	—	—	—	—	—	22,2	22,4
Verão_2012	19,9	21,6	25,5	21,9	29,9	28,8	25,6	25,3	24,0	26,6	22,8	27,1	23,4	23,1	23,1
Outono_2012	19,1	20,7	24,1	20,6	24,5	24,9	23,5	23,2	19,4	22,7	21,5	23,9	23,7	22,7	22,7
Inverno_2012	19,4	21,2	24,5	20,9	23,1	23,0	22,1	20,9	18,6	21,4	20,4	21,5	22,1	21,9	21,9
Primavera_2012	25,1	24,8	29,4	24,9	26,4	24,9	23,3	22,1	18,9	21,9	20,7	21,8	22,4	22,2	22,2
Verão_2013	22,0	23,1	27,8	23,7	29,1	28,2	25,1	25,3	23,2	25,2	22,4	23,1	22,8	22,7	22,7
Outono_2013	19,0	20,7	24,4	21,4	26,0	26,7	24,9	25,9	21,7	25,3	23,2	26,9	22,8	22,8	22,6
Inverno_2013	20,8	22,6	25,5	22,0	22,3	23,1	22,4	21,5	19,0	22,0	20,9	22,4	22,2	22,1	22,1
Primavera_2013	23,9	24,7	28,5	24,1	26,4	25,3	23,8	23,4	19,6	22,5	21,1	22,5	22,5	22,4	22,4
Verão_2014	21,4	23,5	28,9	24,5	28,5	28,4	25,6	25,4	24,7	25,4	23,2	24,7	23,0	22,8	22,8
Outono_2014	20,0	21,4	25,7	21,6	24,8	26,7	24,8	25,3	20,2	24,8	23,2	26,5	22,8	22,5	22,5
Inverno_2014	20,2	21,5	25,6	21,6	22,2	22,8	21,7	21,2	19,4	21,4	20,2	22,0	22,4	22,2	22,2
Primavera_2014	25,4	25,3	31,4	25,2	26,4	25,3	23,8	22,6	19,6	21,6	20,3	21,9	22,6	22,2	22,3
<b>Média</b>	21,3	22,4	26,7	22,9	26,1	25,7	23,9	23,6	20,7	23,4	21,7	23,7	22,6	22,5	22,5
<b>Desvio Padrão</b>	2,2	1,6	2,1	1,6	2,8	2,2	1,4	2,0	2,1	1,9	1,2	2,1	0,5	0,4	0,4

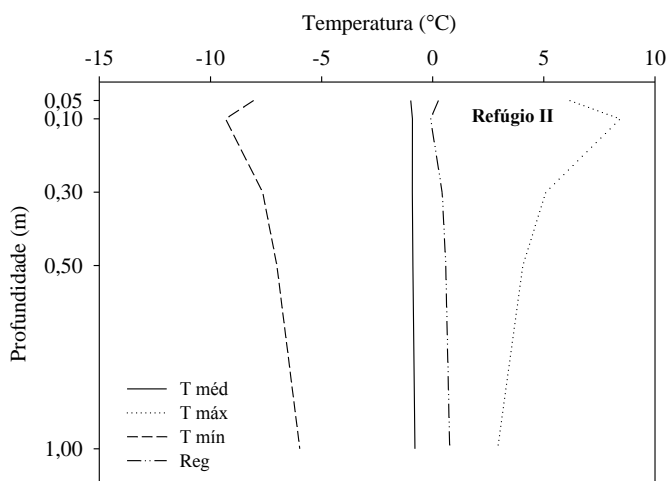
O regime térmico do solo de todos os sítios estudados mostrou que a média da temperatura do solo foi inferior a 0 °C. A profundidade estimada da camada ativa em Ipanema foi de 1,17 m e em Refúgio II de 1,22 m. Nestes sítios o regime térmico apresentado se restringe à camada ativa, pois nenhuma das profundidades de medida estava a profundidades do *permafrost*.

A profundidade estimada da camada ativa do sítio Solo com Padrão foi de 0,75 m na borda da estria e de 0,64 m no centro da estria e em Punta Plaza foi de 0,97 m. Esses resultados indicaram que o regime térmico apresentado alcançou o *permafrost* antes da camada de 0,8 m de profundidade (tanto na borda quanto no centro da estria) no sítio Solo com Padrão e antes de 1,0 m em Punta Plaza. Em Solo com Padrão verificou-se que na temperatura horária na borda da estria o solo ainda se manteve com temperaturas acima de 0 °C, não caracterizando *permafrost*, assim como em Punta Plaza que também não caracterizou presença de *permafrost* até próximo de 1 m, porém indicou que este se encontra a profundidade superior a 0,97 m. Contudo, no centro da estria à mesma profundidade (80 cm), as temperaturas se mantiveram abaixo de 0 °C, porém quando o solo não estava congelado ele se encontrava em estado de isoterminia. Diante disso pode-se concluir que o *permafrost* está presente no sítio Solo com Padrão em profundidade superior a 0,75 m (Figura 12). A profundidade da camada ativa, na região estudada variou um pouco mais daquela encontrada por Michel et al (2014), na península Fildes, cuja variação ocorreu entre 89,0 cm e 105,8 cm, com média 101,0 cm.



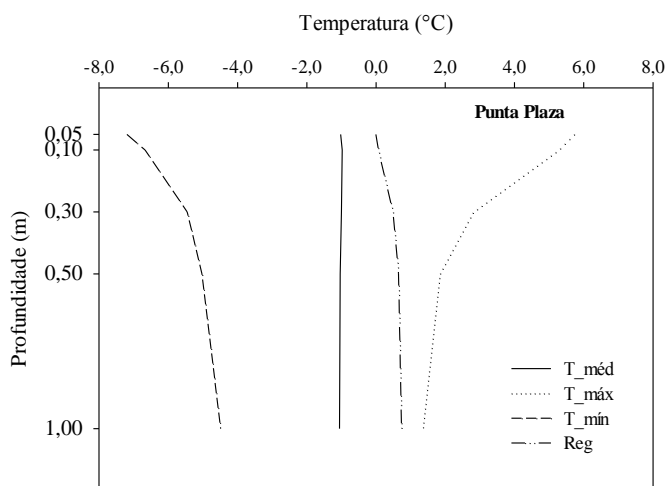
$$\text{Prof} = 1,173 - (0,163 * T \text{ máx})$$

$$p = 0,087 \quad r^2 = 0,913$$



$$\text{Prof} = 1,220 - (0,156 * T \text{ máx})$$

$$p = 0,066 \quad r^2 = 0,854$$

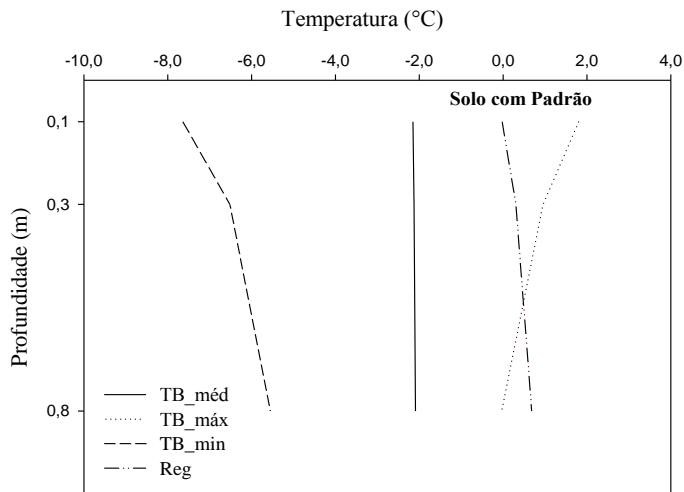


$$\text{Prof} = 0,969 - (0,170 * T \text{ máx})$$

$$p = 0,048 \quad r^2 = 0,881$$

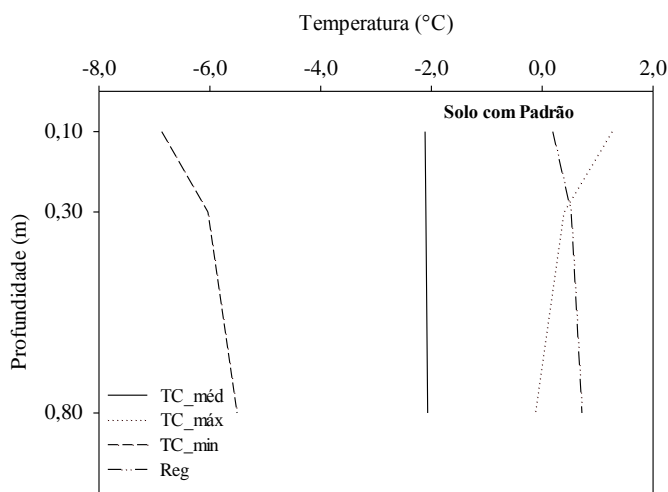
T\_méd = Temperatura média anual no período; T\_máx = Maior temperatura média máx no período; T\_mín = Maior temperatura média mín no período; TC = Temperatura no centro da estria; TB = Temperatura na borda da estria; Reg = tendência da temperatura máxima (regressão linear).

**Figura 12:** Regime térmico da camada ativa (2011-2014) do sítio Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão na Península de Keller, Antártica.



$$\text{Prof} = 0,748 - (0,384 * \text{TB\_máx})$$

$$p = 0,127 \quad r^2 = 0,980$$



$$\text{Prof} = 0,639 - (0,478 * \text{TC\_máx})$$

$$p = 0,248 \quad r^2 = 0,925$$

T<sub>méd</sub> = Temperatura média anual no período; T<sub>máx</sub> = Maior temperatura média máx no período; T<sub>mín</sub> = Maior temperatura média mín no período; TC = Temperatura no centro da estria; TB = Temperatura na borda da estria; Reg = tendência da temperatura máxima (regressão linear).

**Figura 12.1:** Continuação.

Na análise de correlação cruzada (Tabela 10) observou-se que no sítio Solo com Padrão a correlação entre a AAO x T<sub>ar</sub> e SOI x T<sub>ar</sub> ocorreu, respectivamente, com 1 e 5 meses de atraso entre as fases. Esse resultado foi maior quando comparado ao sítio Ipanema e Refúgio II, onde o atraso de fase, entre as séries foi menor que 1 mês, em ambos sítios. Para a correlação entre a temperatura do ar e as temperaturas do solo a várias profundidades, observou que, como o esperado, o atraso de fase (*lag*) entre as profundidades mais próximas foi inferior a um mês, e conforme a profundidade se distanciava da série fixada o atraso chegou a um mês ou mais. As profundidades mais próximas apresentaram maior coeficiente de correlação, na maioria sem defasagem no tempo, quando comparadas duas a duas entre si.

Com base no resultado apresentado na Tabela 9, observou que a AAO possuiu maior correlação com a T<sub>ar</sub> do que o evento SOI (ENOS), porém a defasagem no tempo em ambos os eventos foi próxima. Lindemann & Justino (2015) encontraram resultado semelhante, ou seja, alta correlação entre a Oscilação Antártica e a T<sub>ar</sub> durante todas as estações do ano. Não foi realizada a análise de correlação cruzada entre a T<sub>ar</sub> e as demais séries no sítio Punta Plaza devido à falha nos dados de T<sub>ar</sub> nos anos estudados.

**Tabela 9:** Coeficiente de correlação cruzada ( $r^2$ ) e defasagem de tempo (lag, em meses) das séries de AAO, SOI,  $T_{ar}$  e Ts nos sítios Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão na Península de Keller, Antártica.

		Coeficiente de Correlação Cruzada ( $r^2$ )							Defasagem (lag) - Meses								
		AAO*	SOI*	Tar*	5 cm*	10 cm*	30 cm*	50 cm*	AAO*	SOI*	Tar*	5 cm*	10 cm*	30 cm*	50 cm*		
<b>Ipanema</b>	Tar**	0,42	0,21	—	—	—	—	—	0	0	—	—	—	—	—		
	Ts 5 cm**	—	—	0,70	—	—	—	—	—	—	0	—	—	—	—		
	Ts 10 cm**	—	—	0,67	0,99	—	—	—	—	—	0	0	—	—	—		
	Ts 30 cm**	—	—	0,58	0,97	0,98	—	—	—	—	0	0	0	—	—		
	Ts 100 cm**	—	—	0,60	0,99	0,90	0,96	—	—	—	-1	0	0	0	—		
<b>Refúgio II</b>	Tar**	0,41	0,16	—	—	—	—	—	0	0	—	—	—	—	—		
	Ts 5 cm**	—	—	0,63	—	—	—	—	—	—	0	—	—	—	—		
	Ts 10 cm**	—	—	0,59	0,97	—	—	—	—	—	0	0	—	—	—		
	Ts 30 cm**	—	—	0,64	1,00	0,96	—	—	—	—	-1	0	0	—	—		
	Ts 50 cm**	—	—	0,66	0,99	0,94	1,00	—	—	—	-1	0	0	0	—		
	Ts 100 cm**	—	—	0,67	0,96	0,89	0,97	0,98	—	—	-1	0	0	0	0		
<b>Punta Plaza</b>	Tar**	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	Ts 5 cm**	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	Ts 10 cm**	—	—	—	0,99	—	—	—	—	—	—	0	—	—	—		
	Ts 30 cm**	—	—	—	0,91	0,96	—	—	—	—	—	0	0	—	—		
	Ts 50 cm**	—	—	—	0,83	0,89	0,98	—	—	—	—	0	0	0	—		
Ts 100 cm**	—	—	—	0,77	0,83	0,93	0,98	—	—	—	0	0	0	0			
<b>Solo com Padrão</b>		Coeficiente de Correlação Cruzada ( $r^2$ )							Defasagem (lag) - Meses								
		AAO*	SOI*	Tar*	TB_10*	TB_30*	TB_80*	TC_10*	TC_30*	AAO*	SOI*	Tar*	TB_10*	TB_30*	TB_80*	TC_10*	TC_30*
Tar**		0,34	-0,27	—	—	—	—	—	—	-1	-5	—	—	—	—	—	—
TB_10**		—	—	0,44	—	—	—	—	—	—	—	0	—	—	—	—	—
TB_30**		—	—	0,42	0,98	—	—	—	—	—	—	-1	0	—	—	—	—
TB_80**		—	—	0,44	0,86	0,93	—	—	—	—	—	-1	0	0	—	—	—
TC_10**		—	—	0,44	0,99	—	—	—	—	—	—	-1	0	—	—	—	—
TC_30**		—	—	0,47	0,96	0,99	—	0,98	—	—	—	-1	0	0	—	0	—
TC_80**		—	—	0,45	0,86	0,93	0,99	0,91	0,97	—	—	-1	0	0	0	0	0

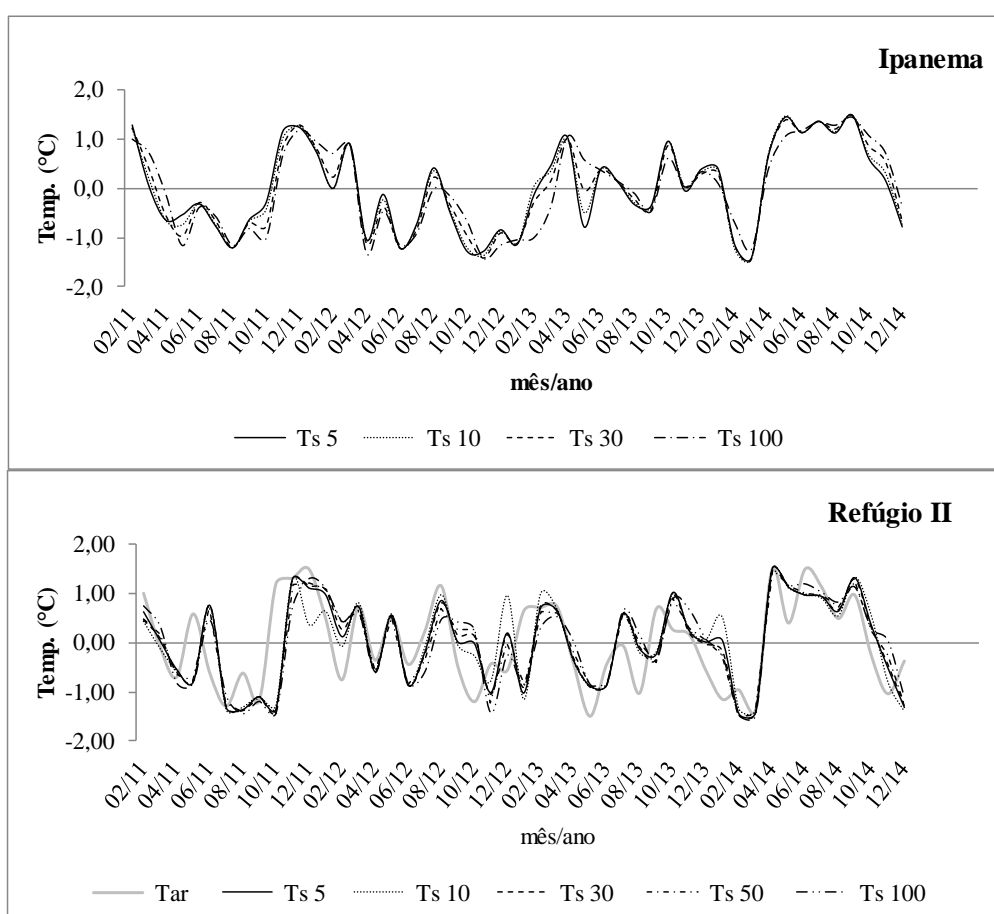
Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente.

TC 10, TC 30, TC 80 = Temperatura do solo no centro da estria; TB 10, TB 30, TB 80 = Temperatura do solo na borda da estria, ambos a 10, 30 e 80 cm de profundidade.

$r^2$  = Coeficiente de correlação cruzada

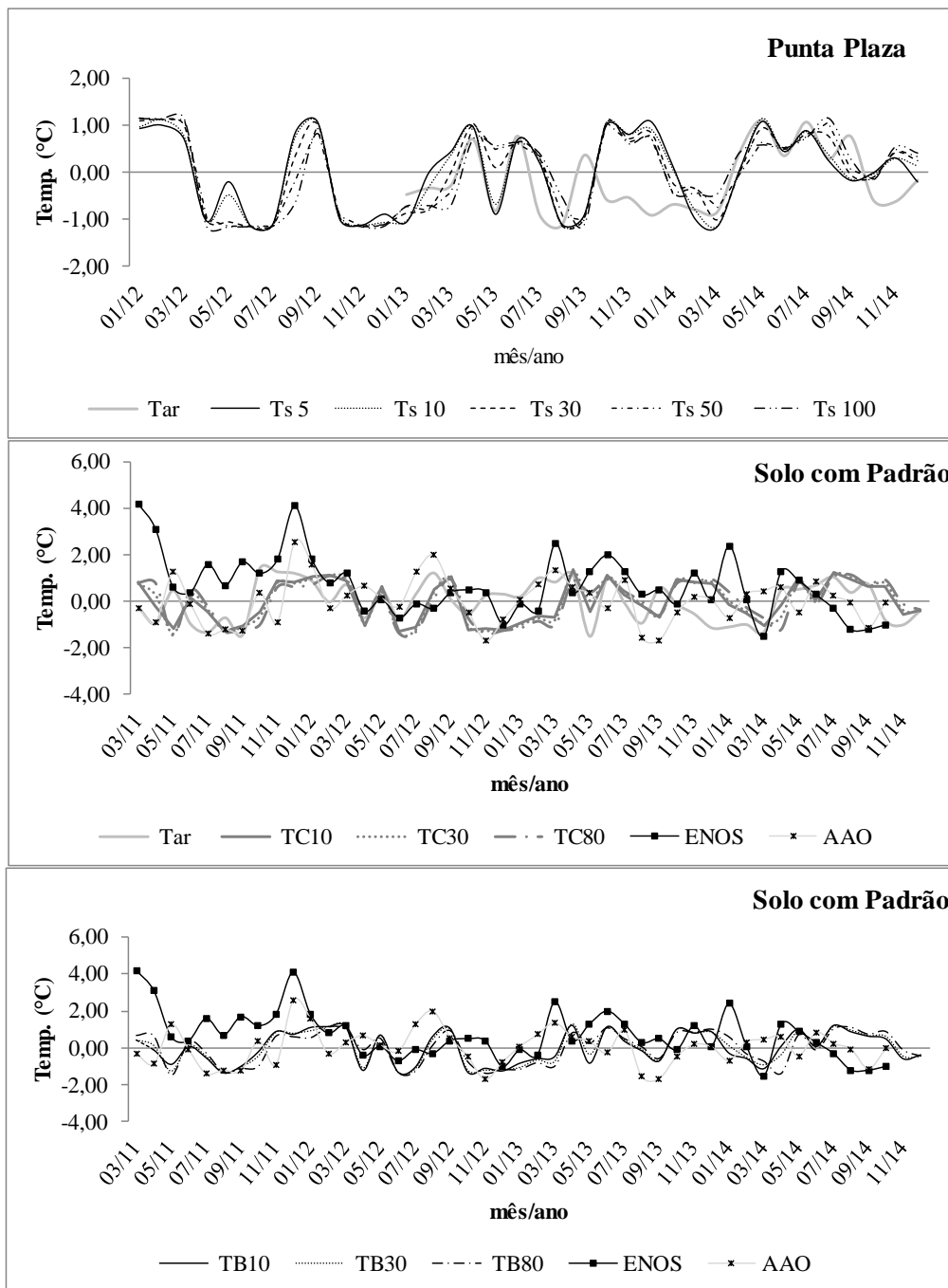
\*Série fixada; \*\*Série deslocada no tempo.

De acordo Figura 13, as anomalias da temperatura do solo em 2011 em todos os sítios foram negativas na maior parte do ano (abril/maio a out/nov), enquanto que no ano de 2014 as anomalias da temperatura do solo foram positivas nesse mesmo período. Nesse mesmo período o sinal do ENOS foi positivo em todos os meses de 2011, com valores menores de junho a agosto; e em 2014 o sinal foi negativo de julho a dezembro, o que indicou padrão inverso entre as anomalias da temperatura do solo e do ENOS nesses anos. No ano de 2011, a temperatura média anual da anomalia do ENOS (2,31 °C) foi superior às demais temperatura média anual dos anos posteriores, sendo 0,23 °C (2012), 0,75 °C (2013) e -0,22 °C (2014). Em Ipanema e Refúgio II, em 2012 e 2013, tiveram muitas variações, ou seja, um ou dois meses com anomalias positivas e logo em seguida com anomalias negativas, variando assim ao longo desses anos. Nesses mesmos anos (2012 e 2013) no sítio Solo com Padrão, a anomalia foi mais definida, sendo positiva de out/nov de 2011 a mar/abr de 2012 e negativa em out/nov de 2012 a mar/abr de 2013.



Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente.  
 TC 10, TC 30, TC 80 = Temperatura do solo no centro da estria; TB 10, TB 30, TB 80 = Temperatura do solo na borda da estria, ambos a 10, 30 e 80 cm de profundidade.

**Figura 13:** Anomalias das séries de temperatura do ar e do solo dos sítios Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão, na Península de Keller, Antártica.



Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente. TC 10, TC 30, TC 80 = Temperatura do solo no centro da estria; TB 10, TB 30, TB 80 = Temperatura do solo na borda da estria, ambos a 10, 30 e 80 cm de profundidade.

**Figura 13.1:** Continuação

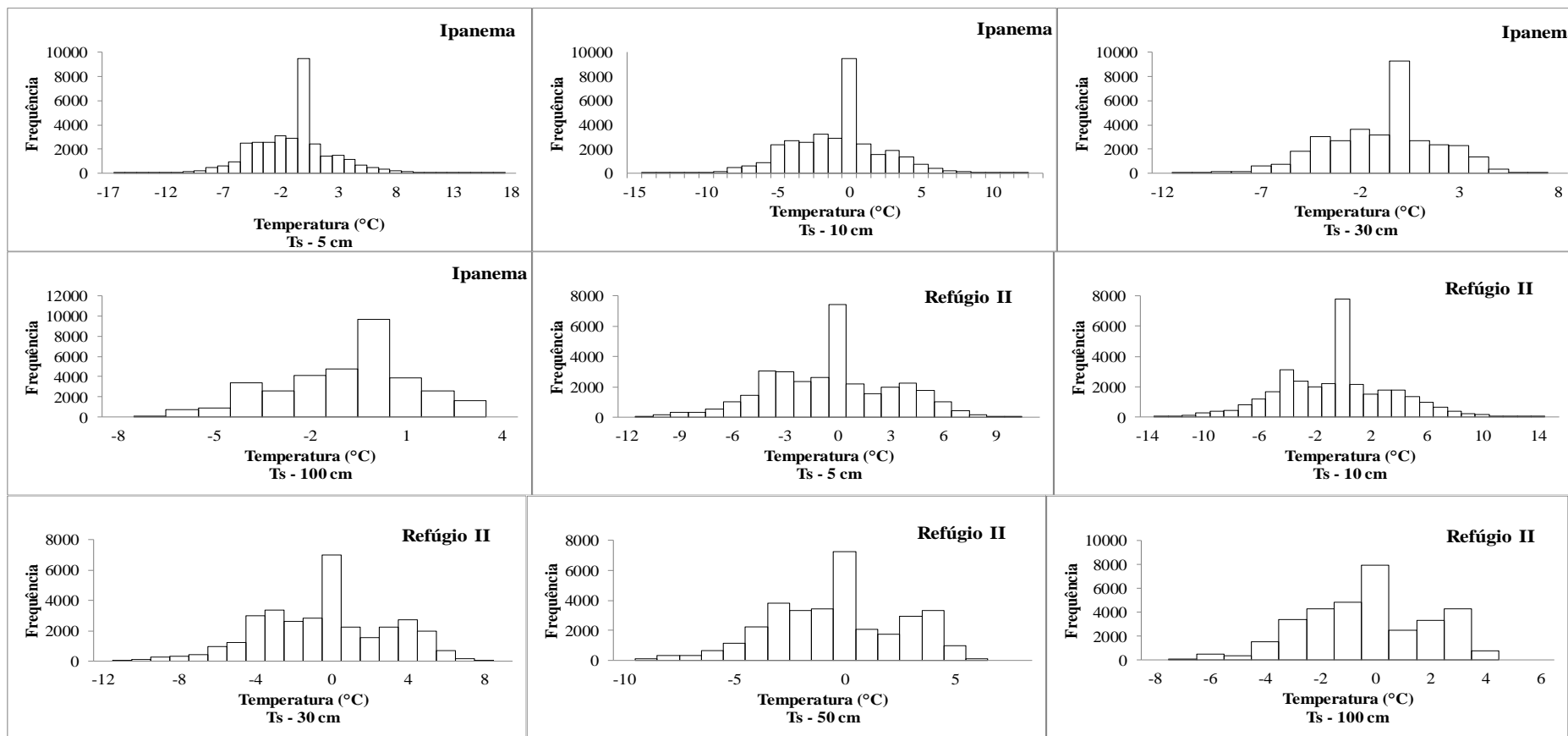
Os histogramas de frequência foram plotados para as camadas estudadas e apresentaram predominância de temperaturas em torno de 0 °C em todas as camadas e em todos os sítios. A última camada apresentou período maior de frequência de temperatura em torno de 0 °C em todos os sítios (Figura 14), resultado que Michel et al. (2014) encontrou a profundidade de 67,5cm, para Península Fildes, Ilha de Rei George, Antártica Marítima.

Para observar períodos de grandes oscilações de temperatura foram feitos gráficos de primeira diferença, a maioria das variações foram mais fortes no verão para todos os sítios. Contudo as variações ocorreram nas profundidades de 5 e 10 cm para

Ipanema e Refúgio II, sendo mais uniforme a 100 cm para sítio Ipanema e 30, 50 e 100 cm para o sítio Refúgio II. No sítio Punta Plaza as variações ocorreram em todas as profundidades, sendo em 2012 e 2013 houveram mais variações quando comparado aos mesmos períodos de 2014. Para o sítio Solo com Padrão as variações ocorreram tanto na borda como no centro da estria para as profundidades de 10 e 30 cm, sendo mais homogênea na profundidade de 80 cm, tanto na borda como no centro da estria (Figura 15).

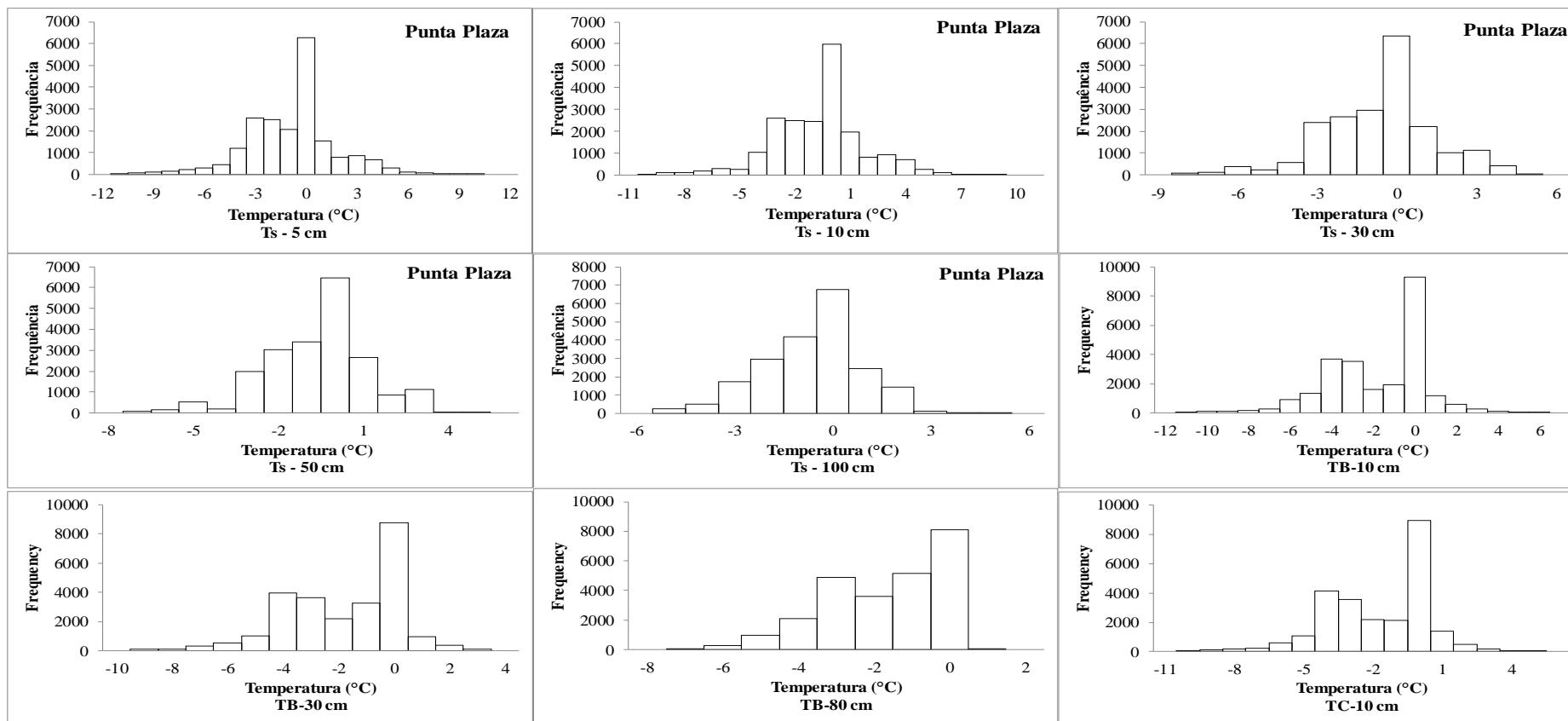
A maior amplitude de temperatura do solo foi encontrada no sítio Ipanema (15,5 °C em 01/2014, na profundidade de 5 cm), resultado análogo com Michel et al. (2014) que encontrou amplitude de 15 °C a uma profundidade de 10,5 cm. A segunda maior amplitude foi no sítio Refúgio II (11,1 °C em 12/2012, na profundidade de 10 cm), seguida pelo Sítio Punta Plaza (10,9 °C 01/2014), a 5 cm de profundidade e Solo com Padrão com 5,1 °C em 05/2011, na borda da estria a 30 cm de profundidade.





Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente.

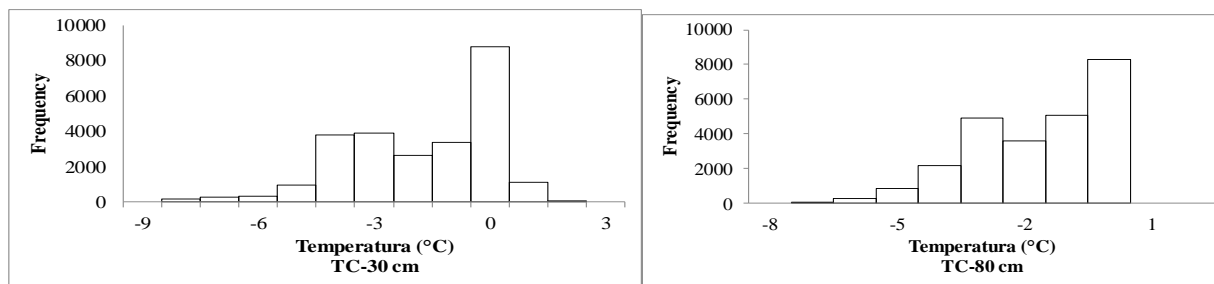
**Figura 14:** Frequência da temperatura do solo nos sítios Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão na Península de Keller, Antártica.



Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente.

TC 10, TC 30, TC 80 = Temperatura do solo no centro da estria; TB 10, TB 30, TB 80 = Temperatura do solo na borda da estria, ambos a 10, 30 e 80 cm de profundidade.

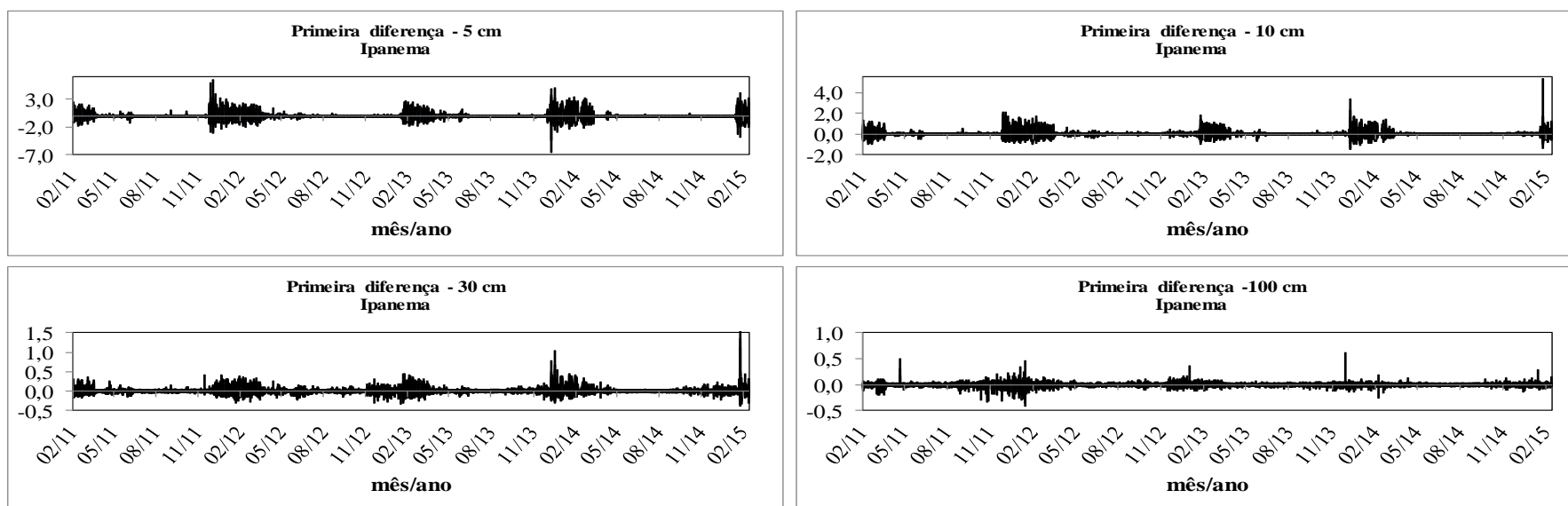
**Figura 14.1:** Continuação



Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente.

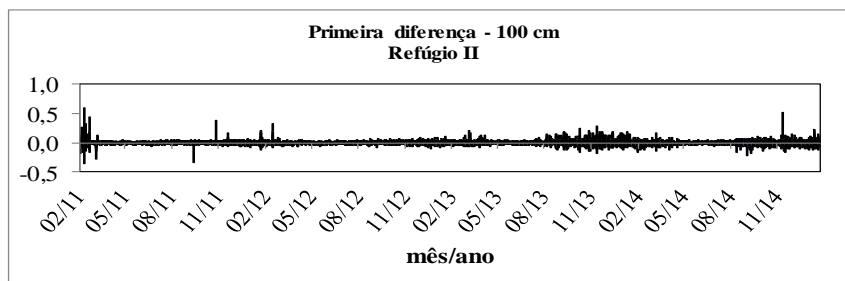
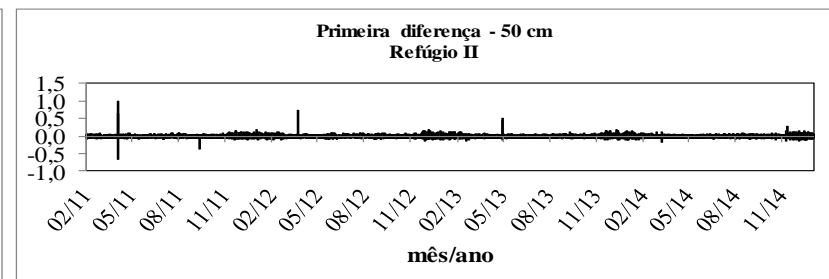
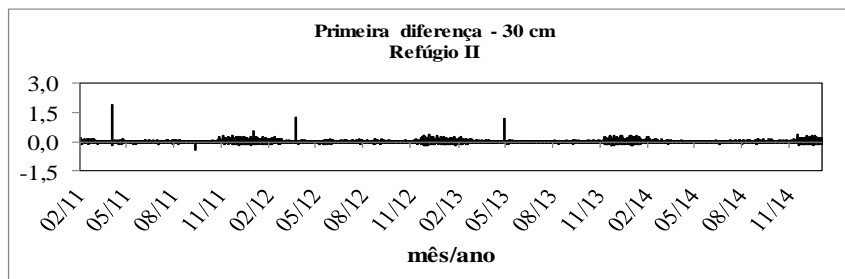
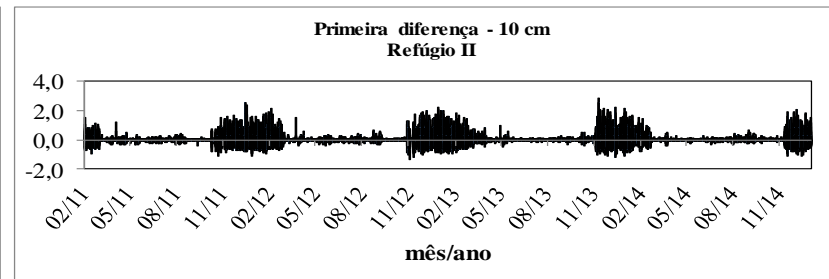
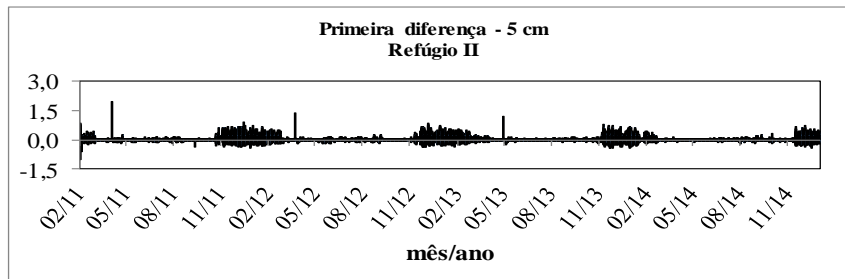
TC 10, TC 30, TC 80 = Temperatura do solo no centro da estria; TB 10, TB 30, TB 80 = Temperatura do solo na borda da estria, ambos a 10, 30 e 80 cm de profundidade.

**Figura 14.2:** Continuação



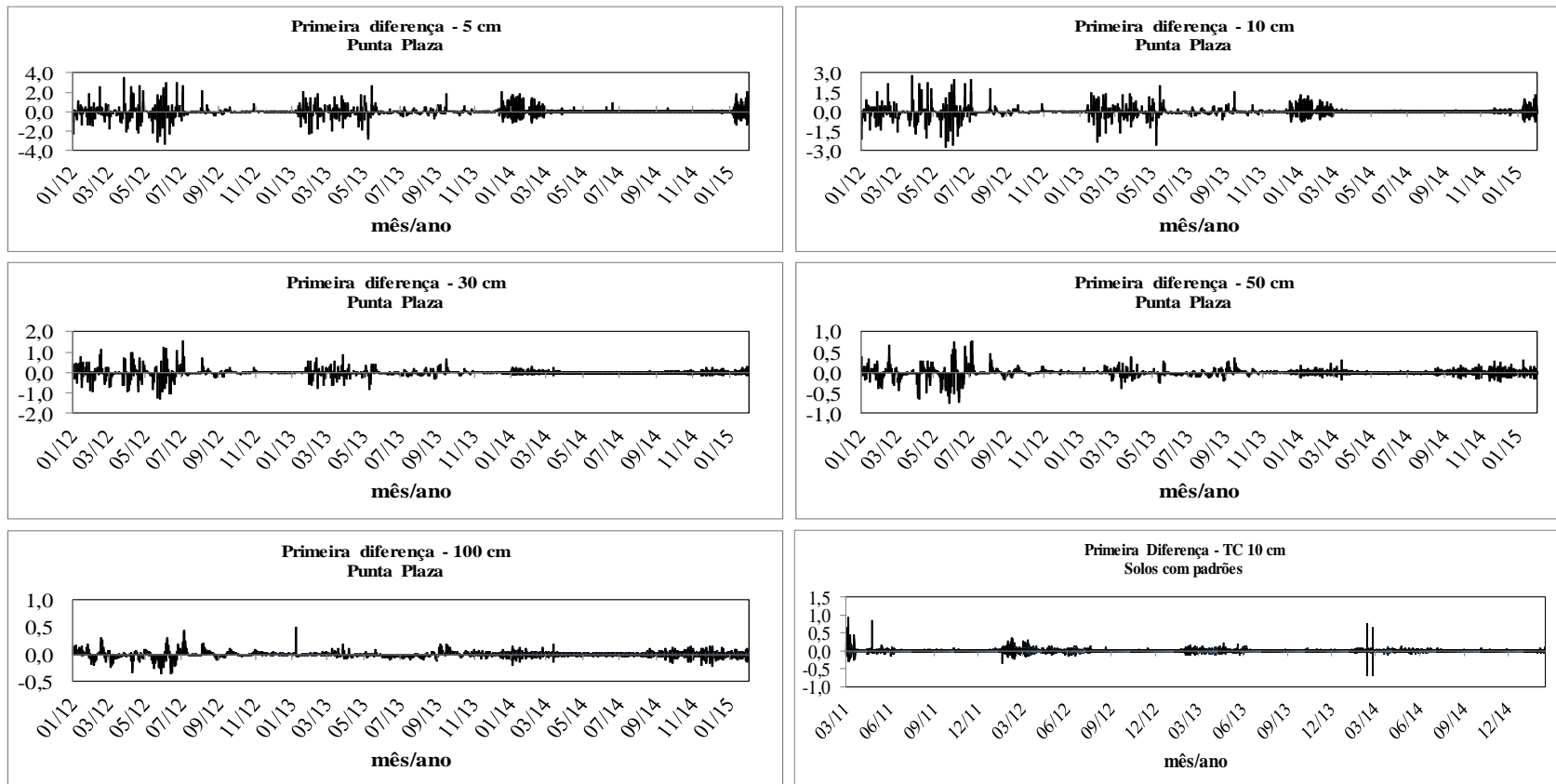
Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente.

**Figura 15:** Primeira diferença horária nas profundidades de 10, 30, 50 e 100 cm do sítio Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão na Península de Keller, Antártica.



Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente.

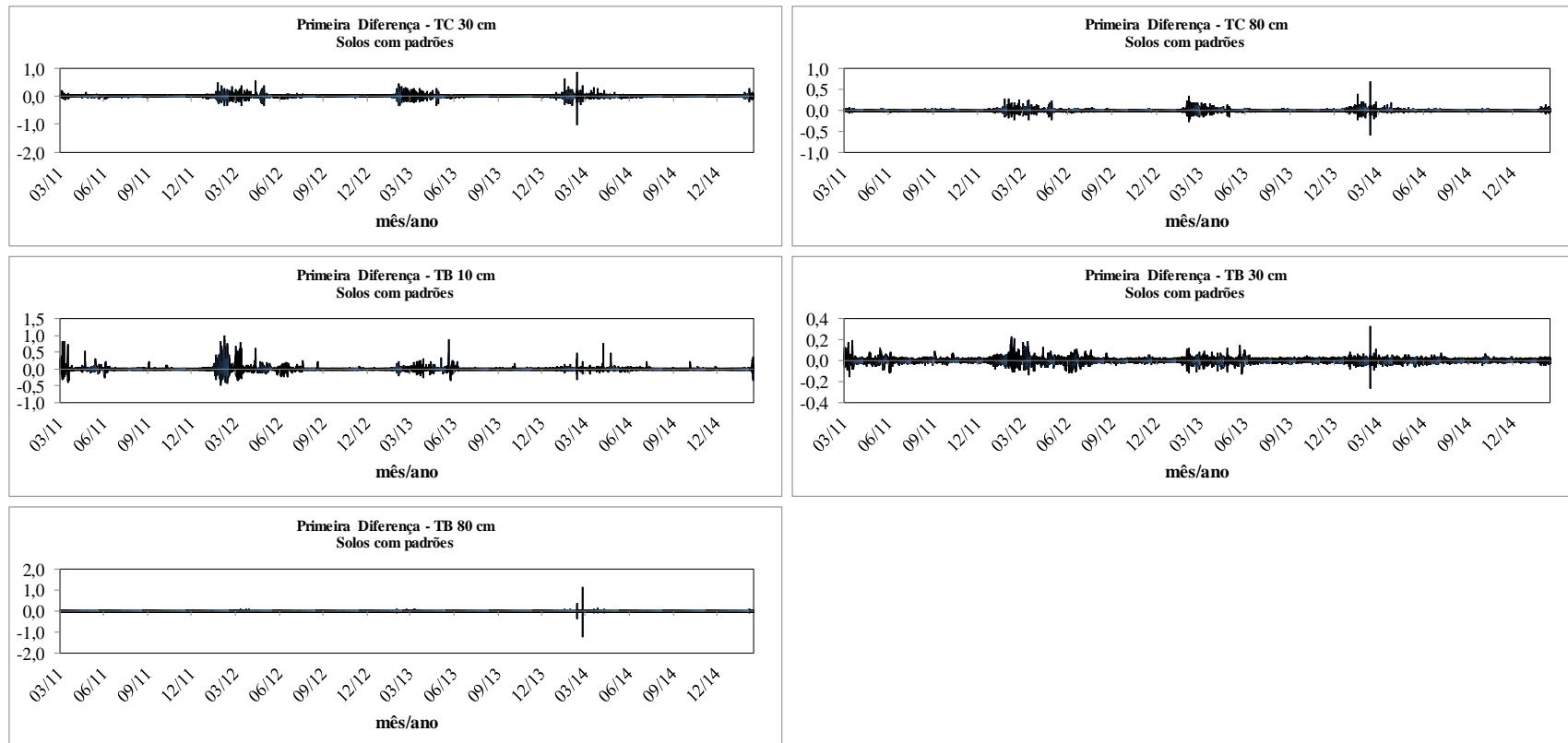
**Figura 15.1:** Continuação.



Ts 5, Ts 10, Ts 30, Ts 50 e Ts100 = Temperatura do solo a 5, 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade, respectivamente.

TC 10, TC 30, TC 80 = Temperatura do solo no centro da estria; TB 10, TB 30, TB 80 = Temperatura do solo na borda da estria, ambos a 10, 30 e 80 cm de profundidade.

**Figura 15.2:** Continuação.



TC 10, TC 30, TC 80 = Temperatura do solo no centro da estria; TB 10, TB 30, TB 80 = Temperatura do solo na borda da estria, ambos a 10, 30 e 80 cm de profundidade.

**Figura 1.3:** Continuação.

6.

## 6. CONCLUSÕES

Em síntese, o sítio que apresenta as menores temperaturas é o Solo com Padrão e o sítio com as maiores temperaturas é Refúgio II cuja temperatura do ar média anual é de  $-4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Os dados de temperatura do ar indicam tendência de aumento nas temperaturas médias anuais em todos os sítios. Todos os sítios estudados apresentaram temperatura do solo média anual abaixo de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

A profundidade de medida dos solos estudados não alcança o *permafrost* nos sítios Ipanema e Refúgio II, o que indica que o regime térmico do solo se restringe a camada ativa nesses sítios. No sítio Solo com Padrão e Punta Plaza, onde o regime térmico do solo apresenta condições mais frias o que permitiu o desenvolvimento do *permafrost* em profundidades superiores a 0,75 e 1,0 m respectivamente.

A análise de correlação mostrou que o evento AAO possui maior correlação com a  $T_{\text{ar}}$  do que o evento SOI (ENOS), porém a defasagem no tempo em ambos os eventos é próxima. Dessa forma, o regime térmico do solo variou entre os sítios e entre os anos, contudo os sítios que apresentaram mais tempo sob o regime de cortina zero apresentam *permafrost* mais próximo à superfície.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE FILHO, M. R. Geoquímica de solos da Península Keller, Ilha Rei George, Antártica, como subsídio ao monitoramento ambiental. Viçosa. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa. 103 p. 2005.

ALMEIDA, I. C. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, R. B. A.; PEREIRA, T. T. C.; NIEUWENDAM, A.; PEREIRA, A. B.. Active layer thermal regime at different vegetation covers at Lions Rump, King George Island, Maritime Antarctica: In *Permafrost and periglacial research in Antarctica: New results and perspectives*, *Geomorphology* 11-15 225:36-46. 2014.

ANDRADE, A. M.; ARIGONY NETO, J.; POELKING, E. L.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BREMER, U. F.; FERNANDES-FILHO, E. I. Avaliação da influência da Radiação Solar na distribuição superficial da vegetação na Península Potter, Antártica Marítima. *Revista Brasileira de Cartografia Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto* ISSN: 1808-0936N0 66/1, p. 14-26. 2014.

ANGELOCCI, L. R; SENTELHAS, P. C. Variabilidade, anomalia e mudança climática. In: Material didático da disciplina LCE306. Meteorologia Agrícola. Departamento. de Ciências Exatas, setor de Agrometeorologia. ESAL/USP, 6p. 2007. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/variabilidade.pdf>>. Acessado em: 28/03/2016.

ANISIMOV, O.; ARNALDS, Ö.; ARNOLDUSEN, A.; BOCKHEIM, J.; BREUNING-MADSEN, H.; BROLL, G.; BROWN, J.; DESYATKIN, R.; GORYACHKIN, S.; JAKOBSEN, B.H.; JONES, A.; KONYUSHKOV, D.; MAZHITOVA, G.; MCCALLUM, I.; MONTANARELLA, L.; NAUMOV, E.; OVERDUIN, P. P.; NILSSON, S.; SOLBAKKEN, E.; PING, C.L.; RITZ, K.; SPAARGAREN, O.; STOLBOVOY, V.; TARNOCAI, C. Soil Atlas of the Northern Circumpolar Region , Soil Atlas of the Northern Circumpolar Region : an initiative of the European Union to support the International Polar YearJRC European Commission. Institute for Environment. [Principal ed. Arwyn Jones ...] Luxembourg : Publ. Office of the European Union, 144 p. 2010.

ARIGONY-NETO, J.; SIMÕES, J.C.; BREMER, U.F.; AQUINO, F.E. Detecção de mudanças ambientais na Antártica através de técnicas de sensoriamento remoto e SIG. *Pesquisas em Geociências*, v.28, n.2, p.337–342. 2001.

AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY. Record-breaking La Nina events: An analysis of the La Nina life cycle and the impacts and significance of the 2010–11 and 2011–12 La Nina events in Australia. Disponível em: <http://www.bom.gov.au/climate/enso/history/La-Nina-2010-12.pdf>. Acessado em: Janeiro de 2016. 28p. 2012.

BISCHOFF, V. ANTÁRTICA. Disponível em: <http://profmoraes.files.wordpress.com/2012/02/monografia-sobre-tratado-antartico.pdf>. (Acesso em: 08 março 2014). Washington, District of Columbia. 30p. 1996.

BLATTER, H.; HUTTER, K. Polythermal conditions in Arctic glaciers. *Journal of Glaciology*, Vol. 37. No. 126. pp. 261-269. 1991.

- BOCKHEIM, J.G.;TARNOCAI, C. Recognition of cryoturbation for classifying *permafrost*-affected soils. *Geoderma*, v.81, p. 281-293. 1998.
- BÖLTER, M.; BLUME, H.P.; SCHNEIDER, D.; BEYER, L. Soil properties and distributions of invertebrates and bacteria from King George Island (Arctowski Station), maritime Antarctic. *Polar Biology*, v.18, p.295-304, 1997.
- BRAUN, M. Ablation on the ice cap of King George Island (Antarctica). Doctoral Thesis. Albert–Ludwigs–Universität Freiburg. Freiburg: 165p. 2001.
- BREMER, U. F. Solos e geomorfologia da borda leste da Península Warszawa, Ilha Rei Jorge, Antártica Marítima. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Departamento de Solos, Universidade Federal de Vicosa, MG. 136 f. 2008.
- BROWN, R.J.E. *Permafrost* in Canada. University of Toronto Press, Toronto. 234 p. 1970.
- BURN, C. R.; SMITH, C. A. S. Observations of the “ Thermal Offset ” in Near-Surface Mean Annual Ground Temperatures at Several Sites near Mayo , Yukon Territory , Canada. *Arctic*, 41(2), 99–104, 1988.
- CAMPBELL, J.B.; CLARIDGE, G.G.C. Antarctica: soils, weathering processes and environment. New York: Elsevier Science, v. 16, 368p. 1987.
- CASSETI, V. Geomorfologia. Estrutura superficial. Capítulo 3. Disponível em: < [http://www.funape.org.br/geomorfologia/pdf/estrutura\\_superficial.pdf](http://www.funape.org.br/geomorfologia/pdf/estrutura_superficial.pdf)>. (Acesso em 22/01/2014). 35p. 2005.
- ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. Transferência de calor e massa: uma abordagem prática. 4. ed. São Paulo: McGraw Hill. 902 p. 2011.
- CORREIA, J.M. Impacto dos Principais Modos de Variabilidade Climática na Potência Eólica em Portugal. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente). Universidade de Lisboa. Faculdade de Ciências. Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia. 63p. 2015.
- DAVIS, M.C.; PICKUP J.; BLOCK W. Temperature variation and its biological significance in fellfield habitats on a maritime Antarctic island. *Antarctic Science* 4 (4): 383-388. 1992.
- DREW, J.V.; TEDROW, J.C.F. Arctic soil classification and patterned ground. *Arctic. Journal Series*, Nebraska Agricultural Experiment Station. Vol.15. pp.109-116. 1962.
- DUARTE, A.P.L. Avaliação de propriedades termo-hidráulicas de solos requeridas na aplicação da técnica de dessorção térmica. TESE (Doutorado em Engenharia civil). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-RIO. Rio de Janeiro. 290p. 2004.
- FERREIRA, F.R.G.O sistema do tratado da Antártica: evolução do regime e seu impacto na política externa brasileira, Brasília, FUNAG. 248p. 2009.
- FRANCELINO M.R.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES-FILHO, E.I. Temperatura do solo em áreas livres de gelo da Baía do Almirantado, Ilha Rei George: relações pedogenéticas. In ‘Proceedings of the V Simposio Argentino y I Latino americano sobre Investigaciones Antárticas’ (Instituto Antártico Argentino). Buenos Aires, Argentina. Disponível em: <http://www.dna.gov.ar/ciencia/santar04/cd/pdf/104gh.pdf>. (Acessado em: 08 de março de 2014) pp. 104-107. 2004.

- FRANCELINO, M. R. Geoprocessamento aplicado ao monitoramento ambiental da antártica marítima: solos, geomorfologia e cobertura vegetal da Península Keller. Tese: Universidade Federal de Viçosa. Viçosa MG. 100p. 2004.
- FRANCELINO, M.R.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B.; FERNANDES-FILHO, E. I.; SOUZA, J. J. L. L.; COSTA, L. M. Geomorphology and soils distribution under periglacial conditions in an ice-free area of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Catena*, p. 45-52, 2011.
- FRENCH, H.M. *The Periglacial Environment*. The University of Ottawa. 3° ed. Londres: Longman. 471 p. 2007.
- GLANDZ, M.H. *Currents of Change: Impacts of El Niño and La Niña on climate and society*. Second Edition. Cambridge, University Press, 252p. 2001.
- GONÇALO, V.T.; MORA, C.; RAMOS, M. Registradores automáticos de baixo-custo para a monitorização de temperaturas do ar, da rocha e do solo. En: Finisterra. Revista Portuguesa de Geografia. Vol. 35, no. 69. Lisboa (Portugal): Centro de Estudos Geográficos. Faculdade de Letras. Universidade de Lisboa. p. 139-148. 2000.
- GUGLIELMIN, M. Ground Surface Temperature (GST), Active Layer and *Permafrost* Monitoring in Continental Antarctica. *PERMAFROST AND PERIGLACIAL PROCESSES Permafrost and Periglac. Process*. Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/ppp.553. 17: 133–143 2006.
- GUGLIELMIN, M.; EVANS, C.J.E.; CANNONE, N. Active layer thermal regime under different vegetation conditions in *permafrost* areas, a case study at Signy Island (Maritime Antarctica), *Geoderma*, 144, 73–85, 2008.
- HAMBREY, M.J.; GLASSER, N.F. Discriminating glacier thermal and dynamic regimes in the sedimentary record. Centre for Glaciology, Institute of Geography and Earth Sciences, Aberystwyth University, Aberystwyth, Ceredigion SY23 3DB, Wales, UK. 2012.
- HARRIS, S.A.; FRENCH, H.M.; HEGINBOTTOM, J.A.; JOHNSTON, G.H.; LADANYI, B.; SEGO, D.C.; VAN EVERDINGEN, R.O. *Glossary of Permafrost and Related Ground-Ice Terms*. National Research Council Canada. Ottawa, Canada. 154 p. 1988.
- HAUBER, E.; REISS, D.; ULRICH, M.; PREUSKER, F.; TRAUTHAN, F.; ZANETTI M.; HIESINGER, H.; JAUMANN, R.; JOHANSSON, L.; JOHANSSON, A.; OLVMO, M.; CARLSSON, E. ; JOHANSSON, H.A.B.; MCDANIEL, S. Periglacial landscapes on Svalbard: terrestrial analogs for cold - climate landforms on Mars. Geological Society of America. Special Paper 483. pp. 177 - 201. 2011.
- HINKEL, K.M., OUTCALT, S.I., AND NELSON, F.E.: Temperature variation and apparent thermal diffusivity in the refreezing active layer, Toolik Lake, Alaska, *Permafrost Periglac.*, 14, 265–274, 1990.
- HINKEL, K.M.: Estimating seasonal values of thermal diffusivity in thawed and frozen soils using temperature time series, *Cold Reg. Sci. Technol.*, 26, 1–15, 1997.
- INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P.; BERGMAN, T.L.; LAVINE, A.S. *Fundamentos de transferência de calor e de massa*. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- KEJNA, M. Trends of air temperature of the Antarctic during the period 1958 – 2000. *Polish Polar Research*, v. 24, n.2, 99–126, 2003.

- KRANTZ, W.B. Self-organization manifest as patterned ground in recurrently frozen soils. *Earth-Sci. Rev.*, 29: 117-130. 1990.
- LACHENBRUCH, A.H. Contraction Theory of Ice-Wedge Polygons: A Qualitative Discussion, Permafrost International Conference, Publication N° 1287, pp. 63-70. 1963.
- LINDEMANN, D.S. Variações de temperatura no continente Antártico: Observações e reanálises. Dissertação: Mestrado em Meteorologia Agrícola. Viçosa, MG. 105f. 2012.
- LINDEMANN, D.S., JUSTINO, F.B. A Influência dos modos de variabilidade climática na temperatura em superfície na Antártica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.30, n.2, 214 - 222, 2015.
- LOPES, F.Z.; DINIZ, G.B., MARQUES, J.R. Relação entre o Multivariate Enso Index (MEI) e a TSM das Regiões dos Niños com a Precipitação em Regiões homogêneas do Estado do Rio Grande do Sul. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*. ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908 - Vol. 30 -2. p. 11-22. 2007
- LOUSADA, M.F.S. Análise Geométrica e Topológica de Redes Poligonais de Contração Térmica em Adventdalen, Svalbard, Noruega. Dissertação (Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território). Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia. Universidade de Lisboa. 126p. 2012.
- MALIN SPACE SCIENCE SYSTEMS (MSSS). "Southern Hemisphere Polygonal Patterned Ground". MGS [http://www.msss.com/mars\\_images/moc/polygons\\_5\\_02/](http://www.msss.com/mars_images/moc/polygons_5_02/). MOC Release No. MOC2-315, 29 May. Acessado em 24/01/2014. 2002.
- MALIN SPACE SCIENCE SYSTEMS (MSSS). "Southern Hemisphere Polygonal Patterned Ground". MGS [http://www.msss.com/mars\\_images/moc/polygons\\_5\\_02/](http://www.msss.com/mars_images/moc/polygons_5_02/). MOC Release No. MOC2-315, 29 May. Acessado em 24/01/2014. 2002.
- MAZZARELLA, A.; GIULIACCI, A.; SCAFETTA, N. Quantifying the Multivariate ENSO Index (MEI) coupling to CO<sub>2</sub> concentration and to the length of day variations. *Theoretical and Applied Climatology* 111: 601-607. 2013.
- MEDRI, W. Análise exploratória de dados centro de ciências exatas. Departamento de estatística. Curso de Especialização “Lato Sensu” em Estatística. Londrina. 82p. 2011. Disponível em: [http://www.uel.br/pos/estatisticaeducacao/textos\\_didaticos/especializacao\\_estatistica.pdf](http://www.uel.br/pos/estatisticaeducacao/textos_didaticos/especializacao_estatistica.pdf). Acessado em: 08 de março de 2014.
- MICHEL, R.F.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.M.B.; FRANCELINO, M.R.; FERNANDES-FILHO, E.I.; LYRA, G.B. AND BOCKHEIM, J.G. Active-layer thermal monitoring on the Fildes Peninsula, King George Island, maritime Antarctica. *Solid Earth Discuss.*, 6, 1–26, 2014.
- MICHEL, R.F.M. Solos Criogênicos e Ornitogênicos da Área de Entorno da Ponta LLano, Antártica Marítima. (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG. 162f. 2005.
- MOURA, P.A. Solos Criogênicos da Porção Norte da Península Byers, Ilha Livingston, Antártica Marítima: Contribuições ao Monitoramento Ambiental. Dissertação: Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais. UFRRJ. Seropédica. 168p. 2010.
- NELSON, F.E.; OUTCALT, S.I.; GOODWIN, C.W.; AND HINKEL, K.M.: Diurnal thermal regime in a peat-covered palsa, Toolik Lake, Alaska, Arctic, 38, 310–315, 1985.

NOAA/National Weather Service. NOAA: Center for Weather and Climate Prediction Climate Prediction Center. University Research Court College Park, Maryland 20740. Page Author: Climate Prediction Center Internet Team <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>. Acessado em Junho de 2015.

OLIVA, F.G. Relações entre o Índice de Oscilação Antártica e as vazões na bacia hidrográfica do rio Uruguai, região Sul do Brasil/ Fábio Guimarães Oliva. - Rio de Janeiro: Dissertação (Mestrado). UFRJ/PPGM/IGEO/CCMN. 68p. 2011.

OUTCALT, S.I., HINKEL, K.M.: Night frost modulation of near-surface soil–ater ion concentration and thermal fields, *Phys. Geogr.*, 10, 336–346, 1989.

PEREIRA, T.T.C. Solos de Hope Bay, Península Antártica. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Viçosa, Minas Gerais. 134p. 2012.

PHILANDER, S.G. El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation. New York, Academic Press, 1990. p. 293.

PREVEDELLO, C.L. Física do solo com problemas resolvidos. Salesward-Discovery, Curitiba. 446p. 1996.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. King George Island – South Shetland Islands, Maritime Antarctic. In: BEYER, L., BÖLTER, M. (eds.). *Geocology of Antarctic Ice-free coastal landscapes*. Berlin: Springer, 2002. 427p.

RAO, T.V.R.; SILVA, B.B.; MOREIRA, A.A. Características térmicas do solo em Salvador, BA. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, Campina Grande, PB. p.554-559. 2005.

ROMANOVSKY, V.E.; OSTERKAMP, T.E. Thawing of the Active Layer on the Coastal Plain of the Alaskan Arctic. *Permafrost and Periglacial Process*, 8, 1–22, 1997.

ROSA, K.K.; VIEIRA, R.; SIMÕES, J.C. Dinâmica glacial e características sedimentares resultantes na zona proglacial da geleira Ecology - Baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 7(2): 51-60. 2006.

ROSA, K.K.; VIEIRA, R.; FERNANDEZ, G.; MENDES Jr, C.W.; VELHO, L.F.; SIMÕES, J.C. Recent changes in the Wanda Glacier, King George Island, Antarctica. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 42 (2): 187-196, maio./ago. 2015

SALAMENE, S. Regime térmico da camada ativa na Península Keller, Ilha Rei George, Antártica (2008-2011): contribuição ao monitoramento de ambientes periglaciais. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais). UFRJ. Seropédica. 77p. 2013.

SANTOS, I.A., FRANCO, N.J.N. Uso do Índice Mensal da Oscilação Antártica para Avaliação de Algumas Interações com a Circulação Troposférica na América do Sul e Oceanos Próximos. 2010. XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém.

SEYBOLD, C.A.; HARMS, D.S.; PAETZOLD, R.F.; KIMBLE, J.; BALKS, M.; AISLABIE, J.; SLETTEN, R. Soil climate monitoring project in the Ross Island region of Antarctica. *Soil Survey Horizons*, 50, 52–57. 2009.

SIMAS, F.N.B.; SCHAEFER, C.E.G.R.; ALBUQUERQUE-FILHO, M.R.D.E; MICHEL, R.F.M; DIAS, L.E.; BORGES JR., M.; PRATES, L. Atributos químicos de criossolos ornitogênicos da Bahia do Almirantado, Antártica. In: SCHAEFER, C.E; FRANCELINO, M.R; SIMAS, F.N.B; ALBUQUERQUE-FILHO, M.R. (Orgs.),

Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica Marítima: Bahia do Almirantado, Ilha Rei George. Viçosa: NEPUT/DPS, 192 p., 2004.

SIMÕES, J.C.; VIANA, A.R.; RESENDE, E.; CORREIA, E.; EVANGELISTA, H.; WAINER, I.; MATA, M.M.; PELLIZARI, V.H.; VALENTIN, Y.Y. Ciência Antártica para o Brasil: Um plano de ação para o período 2013–2022. Plano de Programa de Pesquisa. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2013.

SINGH, G. Landforms after ice: in Earth Science Today. Editora: Discovery Publishing House. 1ª edição. 308p. 2009.

SOPPA, M.A.; SOUZA, R.B.; PEZZI, L.P. Variabilidade das anomalias de temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico Sudoeste e sua relação com o fenômeno El Niño-Oscilação Sul. Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso), v. 26, p. 347-363, 2011.

THOMPSON, D.C.; ROMLEY, A.M.; CRAIG, R.M.F. Ground temperatures in na Antarctic dry valley. New Zeulund Journul of Science, 14, 477-483. 1971.

TOSTES, J.O. Solos e Paisagens do Setor Oeste da Ilha Deception, Antartica Maritima. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 102f. 2011.

TRATADO DA ANTÁRTICA. Washington, DC, 1959.

VACONCELLOS, F.C. A oscilação Antártica-mecanismos físicos e a relação com características atmosféricas sobre a América do Sul/oceanos adjacentes. Tese (Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais São José dos Campos: INPE. 164 p. 2012.

VAN EVERDINGEN, R. Multi-language glossary of permafrost and related ground-ice terms. Boulder, CO: National Snow and Ice Data enter/World Data Center for Glaciology, 306p. 2005.

VICTORIA, F.C. Composição e distribuição das formações de musgos das áreas de degelo adjacentes à Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica. (Dissertação Mestrado em Botânica) Escola Nacional de Botânica Tropical – ENBT/IPJBRJ. Rio de Janeiro, 95p. 2005.

VIEIRA, F.O. Tratado da Antártica: Perspectivas territorialista e Internacionalista. Cadernos PROLAM/USP, v. 5, n. 2, p 42-82, 2006.

WASHBURN, A.L. Classification of patterned ground and review of suggested origins. Bulletin of the Geological Society of America. Vol. 67. pp. 823–865. 1956.

## **CAPÍTULO II**

### **DIFUSIVIDADE TÉRMICA APARENTE DO SOLO NA ESTIMATIVA DE TROCAS DE CALOR NO SOLO NA PENÍNSULA KELLER, ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA MARÍTIMA**

## 1. RESUMO

A compreensão dos processos de transferência de calor na camada ativa do solo é importante para o conhecimento das suas propriedades térmicas, como por exemplo, a condutividade e difusividade térmica. Este capítulo tem como objetivo analisar o fluxo de energia no perfil do solo, com base na sua difusividade térmica aparente e sua relação com a umidade do solo. Para avaliar o fluxo de energia no perfil do solo foi estimada a difusividade térmica aparente do solo (DTA) em função das temperaturas nas profundidades intermediárias e calculada de hora em hora. Posteriormente foi determinado a média sazonal de DTA. O N\_fator de congelamento avaliou a influência da espessura da neve na DTA e foi calculado relacionando os graus dias de congelamento da temperatura do ar (FDDa) com os graus dias de congelamento da temperatura do solo a 5 cm (FDD). De acordo com resultados apresentados a DTA variou sazonalmente e apresentou valores negativos no inverno a DTA<sub>10</sub> e positivos a DTA<sub>30</sub> e DTA<sub>50</sub> em todos os sítios. No verão, os valores apresentaram tendência positiva em quase todos os sítios. Os valores de difusividade tiveram menor variabilidade em condições mais frias, essencialmente a camadas mais profundas. De maneira geral, os valores da DTA foram menores a profundidade mais superficial e aumentaram com a diminuição da profundidade. A difusividade média aparente do solo, considerando todos os anos, foi de  $9,2 \times 10^{-07} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>10</sub>) e  $5,5 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>30</sub>) em Ipanema;  $9,6 \times 10^{-08} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>10</sub>),  $1,5 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>30</sub>) e  $2,3 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>50</sub>) em Punta Plaza;  $2,5 \times 10^{-07} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>10</sub>),  $1,9 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>30</sub>) e  $2,3 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>50</sub>) em Refúgio II; e  $6,4 \times 10^{-07} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>TB 30</sub>) e  $1,1 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>TC 30</sub>). Na análise de regressão linear múltipla pode-se concluir que há mais de 70 e 63 % de probabilidade da umidade influenciar na DTA no sítio Ipanema e Punta Plaza, respectivamente. Nos demais sítios, Refúgio II e Solo com Padrão, a umidade pode influenciar na DTA ( $p > 0,05$ ), contudo o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) não explicou os valores observados. O N\_fator foi similar nos sítios Ipanema ( $r^2 = 0,96$  DTA<sub>10</sub>;  $r^2 = 0,98$  DTA<sub>30</sub>) e Refúgio II ( $r^2 = 0,96$  DTA<sub>10</sub>;  $r^2 = 0,96$  DTA<sub>30</sub>;  $r^2 = 0,98$  DTA<sub>50</sub>), porém se diferenciou dos sítios Solo com Padrão ( $r^2 = 0,88$  DTA<sub>TC-30</sub>;  $r^2 = 0,92$  DTA<sub>TB-30</sub>) e Punta Plaza ( $r^2 = 0,12$  DTA<sub>10</sub>;  $r^2 = 0,84$  DTA<sub>30</sub>;  $r^2 = 0,59$  DTA<sub>50</sub>). A relação entre o N\_fator de congelamento acumulado com a DTA acumulada foi inversamente proporcional quando comparada com a difusividade acumulada calculada próxima a superfície (DTA<sub>10</sub>), porém quando se compara o N\_fator com a DTA em profundidade, essa relação fica próxima. Contudo, os sítios Solo com Padrão e Punta Plaza tiveram os menores índices N\_fator, o que indicou maior cobertura de neve e *permafrost* mais próximo à superfície quando comparado com os sítios Ipanema e Refúgio II. Dessa forma, no verão onde há descongelamento da água no solo, o que induz ao aumento da umidade em superfície, e assim, a DTA apresentou valores positivos, enquanto no inverno os valores de DTA foram negativos a superfície. A espessura da cobertura da neve e a precipitação em forma líquida no inverno contribuíram para esse resultado.

**Palavras-chave:** Fluxo de calor. Condutividade térmica. Índice de congelamento.



## 2. ABSTRACT

Understanding the heat transfer processes in the active layer of soil is important for the knowledge of the thermal properties of the soil as conductivity and thermal diffusivity. This chapter aims to analyze the flow of energy in the soil profile, studying the apparent thermal diffusivity of the soil and its relationship with soil moisture. To evaluate the energy flow in the soil profile was estimated apparent thermal diffusivity of the soil (DTA) in which the temperatures used in intermediate depths and calculated in hourly and seasonal subsequently computed average. The freezing N\_factor evaluated the influence of the thickness of snow on the apparent soil thermal diffusivity (DTA) and was calculated by relating the degree days freezing air temperature (FddA) with the degree days of the soil temperature of the freezing 5cm (FDD). According to results presented DTA varies seasonally with negative values in winter to DTA<sub>10</sub> and the positive DTA<sub>30</sub> and DTA<sub>50</sub> at all sites. In the summer values showed a positive trend in almost all sites. The diffusivity values were less variation in colder conditions, essentially deeper layers, with lower values more shallow depth increasing with decreasing depth. The mean apparent diffusivity of the soil, whereas every year was  $9.2 \times 10^{-07} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>10</sub>) and  $5.5 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>30</sub>) Ipanema;  $9.6 \times 10^{-08} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>10</sub>),  $1.5 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>30</sub>) and  $2.3 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>50</sub>) Punta Plaza;  $2.5 \times 10^{-07} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>10</sub>),  $1.9 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>30</sub>) and  $2.3 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>50</sub>) in Refúgio II; and  $6.4 \times 10^{-07} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>TB-30</sub>) and  $1.1 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (DTA<sub>TC-30</sub>). Linear in multiple regression analysis can be concluded that more than 70.0% and 63.0% probability of moisture influence the DTA on the site Ipanema and Punta Plaza respectively. In the other sites, Refúgio II and Patterned Ground, moisture can influence the DTA ( $p > 0.05$ ), but the coefficient of determination ( $r^2$ ) did not explain the observed values. The N-Factor Index were fairly similar in Ipanema sites ( $r^2 = 0.96$  DTA<sub>10</sub>;  $r^2 = 0.98$  DTA<sub>30</sub>) and Refúgio II ( $r^2 = 0.96$  DTA<sub>10</sub>;  $r^2 = 0.96$  DTA<sub>30</sub>,  $r^2 = 0.98$  DTA<sub>50</sub>), but differed from Patterned Ground ( $r^2 = 0.88$  DTA<sub>TC-30</sub>;  $r^2 = 0.92$  DTA<sub>TB-30</sub>) and Punta Plaza ( $r^2 = 0.12$  DTA<sub>10</sub>;  $r^2 = 0.84$  DTA<sub>30</sub>;  $r^2 = 0.59$  DTA<sub>50</sub>). The relationship between the accumulated freezing N-factor with the accumulated DTA was inversely proportional compared with the next estimated accumulated thermal diffusivity surface (DTA<sub>10</sub>), but when comparing the N-Factor with DTA in depth, this relationship is very close. However, the soil sites with Standard and Punta Plaza had the lowest rates N\_factor indicating greater snow cover and *permafrost* closer to the surface when compared to the Ipanema and Refúgio II sites. Thus, in the summer where there is the thawing of water in the soil, increasing the moisture in the surface, the DTA showed positive values while in winter the DTA values were negative surface. The thickness of snow cover and rainfall in the winter contributed to this result.

**Keywords:** Heat flow. Thermal conductivity. Freezing index.

### 3. INTRODUÇÃO

As investigações sobre mudança climática têm sido cada vez mais exploradas a fim de obter informações sobre a origem e tendência dessas mudanças. A camada ativa e *permafrost*, sensíveis a mudanças climáticas, são importantes para regulação do fluxo de energia, o qual é foco de muitas investigações e é reconhecido como componente principal para compreensão da variabilidade climática a nível local. Contudo, a compreensão do estado térmico e evolução do *permafrost* é pouco conhecida na região Antártica, quando comparado a outras regiões do globo (BOCKHEIM, 1995; BOCKHEIM et al, 2008; MICHEL, 2014).

Diversos fatores influenciam os processos de transferência de calor na camada ativa do solo e as propriedades térmicas do solo, tais como a temperatura e umidade do solo, a textura (granulometria), além da cobertura de neve e vegetação, as quais funcionam como isolantes, que depende da estrutura, densidade e espessura dessas coberturas no solo, ou como tampão, que é a resistência a variações de temperatura. Contudo, os processos de transferência de energia entre o solo e o ar são mais efetivos em ambientes com ausência tanto da neve como da vegetação (SALAMENE, 2013). A cobertura sazonal da neve durante a estação fria pode resultar em aumento da temperatura média anual da superfície do solo e do *permafrost* em regiões com ocorrência de *permafrost* contínuo e ainda sua ausência pode ser fator chave para o desenvolvimento do *permafrost* em regiões de *permafrost* descontínuo ou esporádico (ZHANG, 2005).

O descongelamento do *permafrost* é mais afetado pela transferência de calor por convecção, devido à diferença de potencial, como o gradiente de pressão, do que por diferença de temperatura (LUNARDINI, 1998). Esse autor ao estudar os efeitos da transferência de calor por convecção no descongelamento de solos congelados mostrou que a convecção pode ser mais significativa quando o fluxo de massa é grande. Assim um fluxo vertical da água não é tão importante, quando a taxa de infiltração é proporcional a taxa de degelo, mas quando a taxa de percolação da água for maior que taxa de infiltração o efeito da convecção é significativo.

Quando a transferência de energia se dá entre uma superfície sólida e um líquido ou gás, o mecanismo que mais explica o transporte de transferência de calor é a convecção (KREITH & BOHN, 2003). Dentre os processos de transferência de energia por convecção, a difusividade térmica aparente (DTA) é a que melhor esclarece as relações entre solo e clima (SALAMENE, 2013).

Para estimar a difusividade térmica de séries temporais de temperatura do solo, vários modelos têm sido desenvolvidos, contudo nenhum deles considera as variáveis de umidade do solo, visto que um solo orgânico ou mineral possui composição química e teores de umidades diferentes, o que leva a uma alteração no regime térmico. Sabe-se ainda que a quantidade de solutos (moléculas ou íons) dispersos na solução pode diminuir o ponto de congelamento de um líquido não-volátil (Crioscopia). Contudo em ambientes periglaciais é fundamental a análise da temperatura considerando a umidade do solo, visto que nesse ambiente, parte da água do solo se solidifica sazonalmente (SALAMENE, 2013).

Dessa forma, como hipótese tem-se que o fluxo de energia no perfil do solo, compreendido através do estudo da difusividade térmica aparente do solo, é

influenciado pela a umidade do solo, visto que a maior quantidade de água líquida no solo pode acelerar o aquecimento do solo, o que resulta em alta condutividade térmica e reduzidos valores da DTA.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

Os sítios de monitoramento foram Ipanema (62°05'09,00"S, 58°24'48,97"W; 96m), Refúgio II (62°04'21,33"S, 58°24'58,11"W; 70 m), Punta Plaza (62° 05' 19,14"S, 58°24'23,98"W; 65m) e Solo com padrão (62°05'20,08"S, 58°24'30,31"W; 93m). Os sensores de temperatura do solo (modelo L107E - *Temperature Probe*, *Campbell Scientific Inc*, Utah, USA) possuem precisão de  $\pm 0,42$  °C e foram instalados verticalmente com profundidades de 5, 10, 30, 50 e 100 cm ao longo do perfil de solo. O sensor de umidade do solo (modelo CS616-L, *Campbell Scientific Inc.*, Utah, USA) com precisão de  $\pm 2,5\%$  (*water content reflectometer*) foi instalado a 10, 30, 50 e 100 cm de profundidade para determinar o conteúdo volumétrico de água ao longo do perfil. Todos os sensores foram conectados a um sistema de aquisição e armazenamento automático de dados (*datalogger CR 1000 Campbell Scientific Inc*, Utah, USA), com fornecimento de energia por bateria blindada de alta resistência. O sistema foi programado para armazenar os dados de temperatura e umidade do solo a cada hora. O sensor de temperatura do ar foi instalado a 1 m acima da superfície do solo, sendo constituído de um sistema termistor protegido contra radiação, ventilado e com acurácia de  $\pm 0,1$  °C. Os sistemas de aquisição e armazenamento de temperatura e umidade do solo foram acondicionados em compartimentos de 120 L de PVC de alta densidade, as quais estavam parcialmente enterradas.

A difusividade térmica aparente do solo (DTA) foi estimada para as diferentes estações do ano, através da equação (Eq.1) de McGaw et al. (1978):

$$DTA = \left[ \frac{\Delta z^2}{2\Delta t} * (T^{i,j+1} - T^{i,j-1}) / (T^{i,j-1} - 2T^{i,j} + T^{i,j+1}) \right]$$

Eq. (1)

em que:

DTA = difusividade térmica aparente do solo ( $m^2 s^{-1}$ );

$\Delta Z$  = incremento da profundidade (m);

$\Delta T$  = incremento do tempo (s);

T = Temperatura;

i = Posição de profundidade; e

j = posição de tempo.

Para avaliar a resistência ao fluxo de energia no perfil, diversos autores (NELSON et al., 1985; OUTCALT & HINKEL, 1989; HINKEL et al.;2001; MICHEL et al., 2014; ALMEIDA et al., 2014) utilizaram essa equação. Para todos os sítios a difusividade térmica aparente (DTA) do solo foi estimada utilizando as temperaturas nas profundidades intermediárias e calculada de hora em hora. Posteriormente foi computada sua média sazonal, considerando o início das estações do ano e os valores médios foram calculados e plotados para cada dia.

No software Past 1.34 foram realizados o teste de regressão linear múltipla, que foi usado para verificar se a umidade está correlacionada aos valores da difusividade. Os valores da variável dependente (DTA) foram gerados em leituras horárias, posteriormente foi realizada a média mensal considerando todos os anos e comparados, também pelas médias mensais de todos os anos, com as variáveis independentes (umidade do solo nas diferentes profundidades). Para tanto foi determinada a  $DTA_{10}$  (valores de difusividade entre as temperaturas de 5 cm, 10 cm e 30 cm de profundidade no solo),  $DTA_{30}$  (valores de difusividade entre as temperaturas de 10 cm, 30 cm e 50 cm de profundidade no solo) e  $DTA_{50}$  (valores de difusividade entre as temperaturas de 30 cm, 50 cm e 100 cm de profundidade no solo) para os sítios Refúgio II e Punta Plaza. Para o sítio Ipanema, por apresentar falhas na temperatura a 50 cm, foi feito  $DTA_{10}$  (valores de difusividade entre as temperaturas de 5 cm, 10 cm e 30 cm de profundidade no solo) e  $DTA_{30}$  (valores de difusividade entre as temperaturas de 10 cm, 30 cm e 100 cm de profundidade no solo). Para o sítio Solo com Padrão, foi feito  $DTA_{TB-30}$   $DTA_{TC-30}$  (valores de difusividade entre as temperaturas de 10 cm, 30 cm e 80 cm de profundidade no solo, na borda da estria (TB) e no centro da estria (TC)).

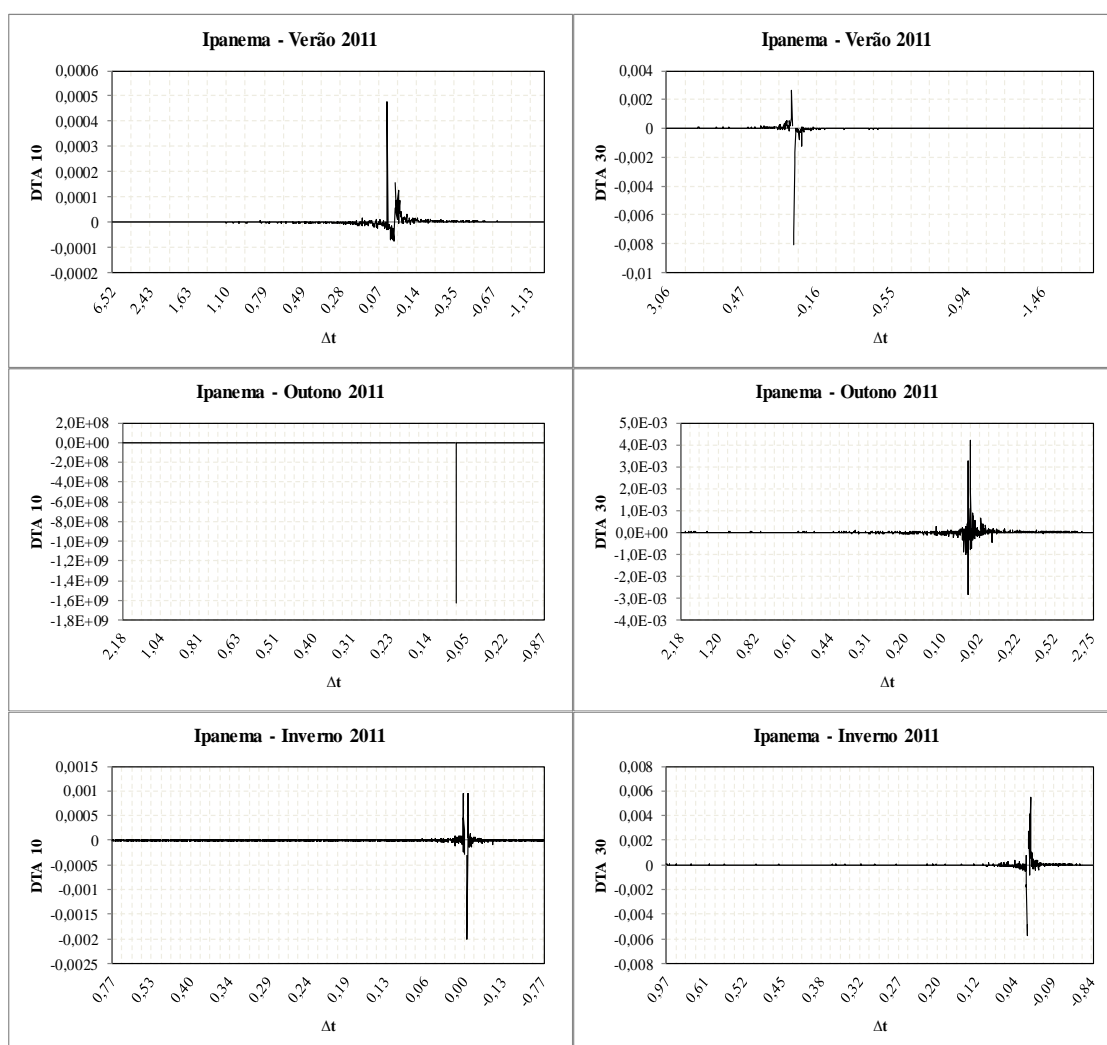
O índice  $N\_fator$  foi analisado para avaliar a influência da espessura da neve na difusividade térmica aparente do solo (DTA). O índice  $N\_fator$  relaciona a temperatura do ar com a temperatura do solo, empregando os valores de graus dias de congelamento do solo. Para estimar o índice  $N\_fator$  ( $n\_F$ ) foi relacionado os graus dias de congelamento da temperatura do ar (FDDa) com os graus dias de congelamento da temperatura do solo a 5 cm (FDD), calculado pela eq. 2:

$$n-F = FDD/FDDa \quad \text{Eq. (2)}$$

A temperatura à 5 cm foi escolhida por estar mais próxima a superfície o que permite ter maior relação com a cobertura de neve no solo; ressalta-se que nenhuma medição direta da espessura da neve foi feito *in loco*.

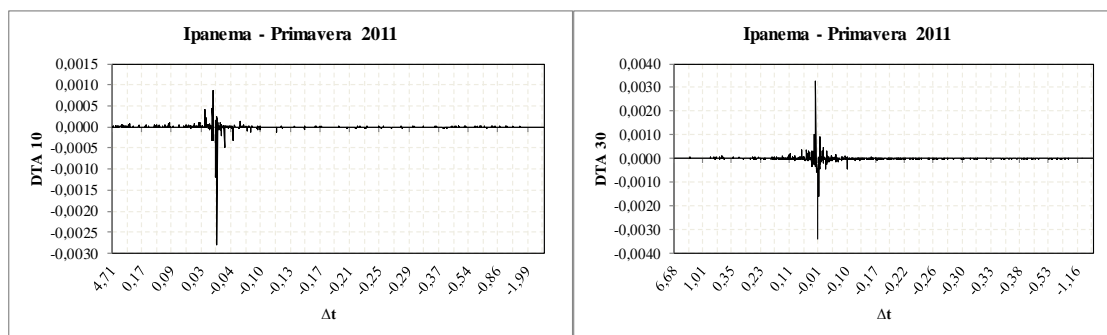
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o cálculo da média sazonal da difusividade térmica aparente observou-se que quando a variação da média da temperatura do solo se aproximava de  $\pm 0,03 \text{ }^\circ\text{C}$  a difusividade estimada pela eq. 1 apresentava valores até três ordens de grandeza maiores que nas outras condições térmicas (Figura 1). Quando os valores das temperaturas nas diferentes profundidades do solo consideradas na determinação da difusividade estão próximos ou na isotermia, o denominador da eq. 1 se aproximava de zero e com isso a difusividade tende a infinito. Com base nessa restrição e na precisão dos sensores optou-se por desconsiderar os valores da variação da temperatura entre  $-0,04 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $+0,04 \text{ }^\circ\text{C}$ . A porcentagem de dados desconsiderados é apresentada na Tabela 1.



DTA10 = difusividade aparente do solo a temperatura de 5, 10 e 30 cm de profundidade e DTA 30 = difusividade aparente do solo a temperatura de 10, 30 e 100 cm de profundidade.

**Figura 1:** Exemplos dos dados descartados da variação da temperatura do solo ( $\Delta t$ ) e sua relação com a DTA, na Península de Keller, Antártica.



DTA<sub>10</sub> = difusividade aparente do solo a temperatura de 5, 10 e 30 cm de profundidade e DTA<sub>30</sub> = difusividade aparente do solo a temperatura de 10, 30 e 100 cm de profundidade.

**Figura 1.1:** Continuação.

**Tabela 1:** Porcentagem de dados descartados da variação da temperatura ( $\Delta t$ ), para cálculo da difusividade térmica aparente do solo (DTA), nos diferentes sítios na Península de Keller, Antártica.

% dados descartados	Ipanema		Punta Plaza			Refúgio II			Solo com Padrão	
	*DTA <sub>10</sub>	*DTA <sub>30</sub>	*DTA <sub>10</sub>	*DTA <sub>30</sub>	*DTA <sub>50</sub>	*DTA <sub>10</sub>	*DTA <sub>30</sub>	*DTA <sub>50</sub>	*DTA <sub>TC-30</sub>	*DTA <sub>TC-30</sub>
Verão_2011	6,4	2,6	—	—	—	3,7	3,3	11,0	—	—
Outono_2011	4,4	6,4	—	—	—	0,8	10,1	6,2	3,2	9,1
Inverno_2011	9,5	5,9	—	—	—	1,3	10,8	4,5	0,7	9,7
Primavera_2011	8,1	3,8	—	—	—	7,0	19,0	11,7	0,3	0,9
Verão_2012	4,1	1,4	4,0	2,9	7,8	3,1	5,2	7,0	4,3	8,1
Outono_2012	6,1	8,5	6,0	18,5	16,4	2,2	6,5	11,3	10,3	8,5
Inverno_2012	9,0	2,6	6,6	33,0	33,2	1,9	5,2	8,2	5,4	16,1
Primavera_2012	21,6	10,8	21,1	39,5	<b>72,2</b>	3,9	7,0	15,6	10,9	<b>38,8</b>
Verão_2013	24,2	7,3	6,7	17,2	<b>50,3</b>	1,4	2,0	5,0	4,0	8,1
Outono_2013	14,1	15,0	19,3	15,1	18,4	3,3	7,0	14,7	5,5	11,2
Inverno_2013	13,5	4,8	14,9	17,0	38,2	1,7	7,0	2,2	0,0	34,2
Primavera_2013	13,4	9,3	8,1	28,6	<b>65,4</b>	2,7	10,0	17,9	4,2	16,2
Verão_2014	9,5	7,2	8,7	12,2	30,1	1,3	2,3	10,0	3,4	16,3
Outono_2014	15,0	<b>26,1</b>	20,0	23,7	31,1	19,1	25,3	<b>33,2</b>	10,2	15,6
Inverno_2014	22,4	7,2	8,4	25,0	15,2	1,8	7,7	4,9	6,7	21,0
Primavera_2014	23,6	10,3	9,8	24,3	<b>57,8</b>	1,1	8,6	20,8	12,1	26,5
<b>Média</b>	12,8	8,1	11,1	21,4	36,3	3,5	8,6	11,5	5,4	16,0
<b>Desvio Padrão</b>	6,9	5,9	6,0	9,8	21,0	4,4	6,0	7,8	3,9	10,4

\*DTA<sub>10</sub> = difusividade aparente do solo a temperatura de 5, 10 e 30 cm de profundidade e DTA<sub>30</sub> = difusividade aparente do solo a temperatura de 10, 30 e 100 cm de profundidade (Sítio Ipanema); DTA<sub>10</sub> = difusividade aparente do solo a temperatura de 5, 10 e 30 cm de profundidade; DTA<sub>30</sub> = difusividade aparente do solo a temperatura de 10, 30 e 50 cm de profundidade e DTA<sub>50</sub> = difusividade aparente do solo a temperatura de 30, 50 e 100 cm de profundidade (Sítio Refúgio II e Punta Plaza). DTA<sub>TC/TB-30</sub> = difusividade aparente do solo a temperatura de 10, 30 e 80 cm de profundidade no centro e borda da estria.

Como se pode observar o sítio Punta Plaza obteve o maior número de dados desconsiderados quando se compara todos os sítios. Esse valor elevado de dados descartados possivelmente está associado à baixa variação da temperatura do solo entre as profundidades, o que indicou baixa transferência de calor. Os maiores valores descartados, quando comparados todos os sítios, foi nas camadas mais profundas, observados na primavera de 2012, para os sítios Punta Plaza e Solo com Padrão; e no outono de 2014, no sítio Ipanema e Refúgio II.

De acordo com a Tabela 2, a DTA variou sazonalmente, o que indicou que o teor de água no solo pode aumentar o fluxo de energia através de percolação, mas também pode absorver e emitir energia nos processos de congelamento e descongelamento. A DTA foi calculada em 47 meses para Ipanema e Refúgio II, 36 meses para Punta Plaza e 45 meses para Solo com Padrão.

A maior quantidade de água no solo faz com a DTA apresente valores negativos, o que indica que os efeitos não condutores se opõem ou superam a tendência condutora

(ALMEIDA et al. 2014). Contudo o que foi observado é que para o sítio Ipanema e Punta Plaza os valores positivos (negativos) de DTA estão associados aos maiores (menores) valores de umidade, respectivamente. Em Refúgio II, foi observado o oposto, ou seja, os valores positivos (negativos) de DTA estão associados aos menores (maiores) valores de umidade. Para as profundidades mais superficiais a DTA variou entre  $-5,5 \times 10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  ( $DTA_{TB10}$ ) no sítio Solo com Padrão no inverno de 2013 e  $4,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  ( $DTA_{10}$ ) no sítio Ipanema no verão de 2012. Michel et al. (2014) apresenta valores maiores, sendo eles:  $6,3 \times 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (2011) e  $6,8 \times 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (2012) para o inverno e  $3,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (2009),  $2,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (2010) e  $2,9 \times 10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  (2011) para o verão, todos para profundidades de entre 10,5 cm e 32,5 cm na península de Fildes, ilha Rei George, Antártica Marítima.

De maneira geral, os valores da difusividade apresentaram tendência negativa a  $DTA_{10}$  e positiva a  $DTA_{30}$  e  $DTA_{50}$  no inverno em quase todos os sítios. Em Solo com Padrão, no inverno, a  $DTA_{TB30}$  foi positiva (exceto em 2013). No verão os valores apresentaram tendência positiva em quase todos os sítios, a exceção foi o sítio Refúgio II, que apresentaram valores de difusividade negativos a  $DTA_{10}$  nesse período. Isso permite inferir que no inverno pode ter ocorrido precipitação de água na forma líquida (chuva) na maioria dos sítios, e assim, ocorre maior infiltração de água em superfície, o que contribui para os valores negativos da DTA no inverno a profundidades mais superficiais. Apesar das precipitações na forma líquida serem mais frequentes no verão, associado com temperaturas do ar acima de  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  (ROSA et al. 2015), essas precipitações também ocorrem no inverno, porém em menor porcentagem de ocorrência com 26% das precipitações líquidas no inverno e 59,1% no verão (dados calculados em função da Climatologia da Baía do Almirantado (PROANTAR/CPTEC/INPE) com base na série de 1986 a 2010). Assim como Almeida et al. (2014), os valores de difusividade tiveram menor variabilidade em condições mais frias, essencialmente a camadas mais profundas. Este autor também relata que a média da DTA foi positiva no inverno ( $1,7 \times 10^{-07} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ ) a 30 cm de profundidade, que corrobora com o encontrado neste estudo, cujos valores de DTA foram positivos em profundidade.

Os valores da DTA foram menores a profundidade mais superficial, com tendência de aumento com o aumento da profundidade. Valores mais elevados de DTA foram observados no verão e outono, provavelmente no verão, com maiores áreas descobertas pela neve. No inverno a superfície do solo já está coberta pela neve, o que resulta em diminuição da umidade no solo, sendo grande parte desta convertida em gelo. Dessa forma a transferência de calor no solo é dominada por condução. Na primavera, dado pelo descongelamento, a infiltração da água da água no solo produz um pulso térmico na camada ativa que pode acelerar significativamente o aquecimento do solo (ALMEIDA et al. 2014). A difusividade média aparente do solo, considerando todos os anos, foi de  $9,2 \times 10^{-07} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  ( $DTA_{10}$ ) e  $5,5 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  ( $DTA_{30}$ ) em Ipanema;  $9,6 \times 10^{-08} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  ( $DTA_{10}$ ),  $1,5 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  ( $DTA_{30}$ ) e  $2,3 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  ( $DTA_{50}$ ) em Punta Plaza;  $-2,5 \times 10^{-07} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  ( $DTA_{10}$ ),  $1,9 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  ( $DTA_{30}$ ) e  $2,3 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  ( $DTA_{50}$ ) em Refúgio II; e  $6,4 \times 10^{-07} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  ( $DTA_{TB 30}$ ) e  $1,1 \times 10^{-06} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  ( $DTA_{TC 30}$ ).

Quando o solo apresenta baixa difusividade significa que esse material tem baixa capacidade de conduzir energia e alta capacidade de armazená-la e vice-versa. Entre os sítios, Refúgio II e Ipanema foram os que apresentaram com maior frequência, menores e maiores valores de DTA (próximo à superfície), respectivamente. Isso permitiu inferir que o sítio mais sensível à mudança de temperatura foi Refúgio II, ou seja, leva mais tempo para atingir uma nova condição de equilíbrio e Ipanema foi o sítio que responde mais rapidamente às mudanças de temperatura.

**Tabela 2:** Médias sazonais da temperatura do ar (Tar) e solo (Ts) em cinco profundidades; difusividade térmica sazonal (DTA<sub>10</sub>, DTA<sub>30</sub>) e umidade sazonal do solo (U%) no sítio Ipanema, Refúgio II, Punta Plaza e Solo com Padrão na Península de Keller, Antártica.

Ipanema	T <sub>ar</sub>	Temperatura média sazonal do solo					Difusividade média sazonal do solo			Umidade sazonal do solo			
		5 cm	10 cm	30 cm	50 cm	100 cm	*DTA <sub>10</sub>	*DTA <sub>30</sub>	U% <sub>10</sub>	U% <sub>30</sub>	U% <sub>50</sub>	U% <sub>100</sub>	
Verão_2011	2,4	3,3	3,2	2,7	2,2	1,9	1,0E-06	1,3E-05	24,5	23,6	28,5	25,6	
Outono_2011	-5,1	-3,2	-2,9	-2,2	-1,5	-1,2	-1,6E-08	1,9E-06	19,7	21,0	26,1	23,5	
Inverno_2011	-8,3	-5,8	-5,7	-5,4	-5,0	-4,8	-2,0E-07	1,9E-07	19,1	20,3	25,2	22,0	
Primavera_2011	-0,9	-0,3	-0,6	-1,2	-1,6	-1,8	4,5E-07	1,7E-06	21,9	22,7	26,7	22,8	
Verão_2012	1,4	3,6	3,4	2,8	—	1,8	4,5E-06	1,1E-05	25,1	24,8	29,4	24,9	
Outono_2012	-4,4	-3,9	-3,5	-2,8	—	-1,6	1,0E-07	4,7E-06	25,1	24,8	25,5	21,9	
Inverno_2012	-5,7	-5,0	-5,0	-4,8	—	-4,4	-4,2E-07	2,9E-06	19,1	20,7	24,1	20,6	
Primavera_2012	-2,6	-1,7	-1,8	-2,0	—	-2,2	1,6E-07	5,9E-06	19,4	21,2	24,5	20,9	
Verão_2013	1,1	1,7	1,4	1,0	—	0,3	3,3E-06	1,2E-05	23,9	24,7	28,5	24,1	
Outono_2013	-2,0	-1,5	-1,2	-0,8	-0,4	-0,3	5,9E-07	7,6E-06	22,0	23,1	27,8	23,7	
Inverno_2013	-6,9	-4,6	-4,5	-4,2	-3,9	-3,7	-2,0E-07	-1,7E-06	19,0	20,9	24,4	21,4	
Primavera_2013	-1,8	-0,6	-0,7	-1,1	-1,4	-1,5	1,1E-06	9,0E-06	20,8	22,6	25,5	22,0	
Verão_2014	0,0	2,4	2,2	1,6	1,0	0,7	4,2E-06	1,5E-05	25,4	25,3	31,4	25,2	
Outono_2014	-2,8	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	1,7E-07	3,3E-06	21,4	23,5	28,9	24,5	
Inverno_2014	-4,6	-2,0	-1,9	-1,8	-1,6	-1,4	-6,1E-08	-9,4E-07	20,5	21,8	25,7	21,6	
Primavera_2014	-2,4	-0,9	-1,0	-1,1	-1,3	-1,3	5,7E-08	2,17E-06	20,7	21,8	25,6	21,6	
<b>Média</b>	-2,7	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	9,2E-07	5,5E-06	21,7	22,7	26,7	22,9	
<b>Desvio Padrão</b>	3,1	2,9	2,8	2,4	2,0	2,0	1,6E-06	5,2E-06	2,4	1,6	2,1	1,6	

Refúgio II	T <sub>ar</sub>	Temperatura média sazonal do solo					Difusividade média sazonal do solo			Umidade sazonal do solo			
		5 cm	10 cm	30 cm	50 cm	100 cm	*DTA <sub>10</sub>	*DTA <sub>30</sub>	*DTA <sub>50</sub>	U% <sub>10</sub>	U% <sub>30</sub>	U% <sub>50</sub>	U% <sub>100</sub>
Verão/11	2,8	3,2	3,2	3,1	2,9	2,6	-1,1E-06	2,4E-06	6,5E-06	31,9	29,5	26,5	27,5
Outono/11	-4,9	-2,2	-2,8	-2,1	-1,6	-0,9	7,7E-08	1,9E-06	1,5E-06	24,6	24,8	23,4	23,1
Inverno/11	-8,0	-6,3	-6,7	-6,1	-5,6	-4,6	-1,2E-07	3,2E-06	8,0E-09	24,6	23,3	22,4	20,9
Primavera/11	0,0	0,0	0,4	-0,2	-0,6	-1,1	-1,1E-07	1,4E-06	-8,9E-08	27,9	25,6	23,9	24,6
Verão/12	2,2	4,1	4,2	3,9	3,5	2,6	-5,4E-07	2,4E-06	2,9E-06	29,9	28,8	25,6	25,3
Outono/12	-4,3	-2,3	-2,8	-2,1	-1,6	-0,8	1,6E-07	2,1E-06	2,9E-06	24,5	24,9	23,5	23,2
Inverno/12	-5,6	-4,5	-4,7	-4,4	-4,1	-3,5	-3,5E-07	2,6E-06	2,5E-06	23,1	23,0	22,1	20,9
Primavera/12	-1,6	-0,4	0,1	-0,5	-0,8	-1,1	-8,3E-08	1,1E-06	1,8E-06	26,4	24,9	23,3	22,1
Verão/13	2,4	3,9	4,3	3,7	3,2	2,3	-8,0E-07	2,2E-06	3,5E-06	29,1	28,2	25,1	25,3
Outono/13	-1,9	-0,5	-0,9	-0,4	-0,2	0,2	-1,6E-07	1,9E-06	3,5E-06	26,0	26,7	24,9	25,9
Inverno/13	-6,8	-4,5	-4,9	-4,4	-4,0	-3,1	-2,6E-07	1,9E-06	-5,4E-07	22,3	23,1	22,4	21,5
Primavera/13	-0,6	0,2	0,7	0,0	-0,3	-0,7	-2,6E-07	9,6E-07	7,4E-07	26,4	25,3	23,8	23,4
Verão/14	1,3	3,0	3,3	2,9	2,5	1,9	-2,7E-08	2,2E-06	4,2E-06	28,5	28,4	25,6	25,4
Outono/14	-2,7	-1,1	-1,4	-1,0	-0,8	-0,4	1,2E-07	7,5E-07	4,2E-06	24,8	26,7	24,8	25,3
Inverno/14	-4,2	-3,5	-3,8	-3,4	-3,1	-2,4	-3,3E-07	2,8E-06	1,1E-06	22,2	22,8	21,7	21,2
Primavera/14	-1,3	-0,3	0,1	-0,4	-0,7	-1,0	-2,8E-07	7,2E-07	2,7E-06	26,4	25,3	23,8	22,6
<b>Média</b>	-2,1	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-2,5E-07	1,9E-06	2,3E-06	26,1	25,7	23,9	23,6
<b>Desvio Padrão</b>	3,3	3,1	3,4	3,0	2,7	2,2	3,3E-07	7,4E-07	1,9E-06	2,75	2,17	1,40	2,04

Punta Plaza	T <sub>ar</sub>	Temperatura média sazonal do solo					Difusividade média sazonal do solo			Umidade sazonal do solo			
		5 cm	10 cm	30 cm	50 cm	100 cm	*DTA <sub>10</sub>	*DTA <sub>30</sub>	*DTA <sub>50</sub>	U% <sub>10</sub>	U% <sub>30</sub>	U% <sub>50</sub>	U% <sub>100</sub>
Verão/12	—	2,9	2,8	2,3	1,9	1,2	1,1E-06	2,2E-06	3,5E-06	24,0	26,6	22,8	27,1
Outono/12	—	-3,0	-2,7	-2,0	-1,5	-1,0	-2,8E-08	1,8E-06	3,0E-06	19,4	22,7	21,5	23,9
Inverno/12	—	-3,7	-3,7	-3,6	-3,5	-3,3	-1,4E-07	2,4E-06	3,0E-06	18,6	21,4	20,4	21,5
Primavera/12	—	-1,4	-1,4	-1,6	-1,7	-1,8	-2,5E-07	1,3E-06	5,8E-06	18,9	21,9	20,7	21,8
Verão/13	1,26	1,1	0,9	0,3	-0,1	-0,4	6,7E-07	1,1E-06	-4,5E-08	23,2	25,2	22,4	23,1
Outono/13	-2,32	-0,7	-0,4	-0,1	0,1	0,0	6,8E-08	1,4E-06	2,1E-06	21,7	25,3	23,2	26,9
Inverno/13	-6,60	-3,3	-3,1	-2,8	-2,6	-2,3	-3,5E-07	1,9E-06	1,1E-06	19,0	22,0	20,9	22,4
Primavera/13	-1,94	-0,6	-0,6	-0,9	-1,1	-1,3	-4,0E-08	7,9E-07	5,1E-06	19,6	22,5	21,1	22,5
Verão/14	0,19	1,5	1,3	0,7	0,2	-0,2	1,6E-07	1,5E-06	1,6E-06	24,7	25,4	23,2	24,7
Outono/14	-2,45	-0,8	-0,6	-0,3	-0,1	-0,1	1,3E-07	4,1E-07	4,3E-07	20,2	24,8	23,2	26,5
Inverno/14	-4,16	-2,1	-2,0	-1,9	-1,8	-1,5	-1,3E-07	1,9E-06	5,1E-07	19,4	21,4	20,2	22,0
Primavera/14	-1,99	-1,0	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	-6,9E-08	1,2E-06	1,2E-06	19,6	21,6	20,3	21,9
<b>Média</b>	-2,3	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0	-1,0	9,6E-08	1,5E-06	2,3E-06	20,7	23,4	21,7	23,7
<b>Desvio padrão</b>	2,4	2,0	1,9	1,6	1,4	1,2	4,1E-07	5,7E-07	1,9E-06	2,1	1,9	1,2	2,1

\*DTA<sub>10</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 5cm, 10 cm e 30 cm; \*DTA<sub>30</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 10cm, 30 cm e 100 cm.



**Tabela 2.1:** Continuação.

Solos com padrões	T <sub>ar</sub>	Temperatura média sazonal do solo						Difusividade média sazonal do solo		Umidade sazonal do solo	
		TB <sub>10</sub>	TB <sub>30</sub>	TB <sub>80</sub>	TC <sub>10</sub>	TC <sub>30</sub>	TC <sub>80</sub>	*DTA <sub>m</sub>	*DTA <sub>TC</sub>	UB <sub>80</sub> %	UC <sub>80</sub> %
Outono_2011	-5,5	-2,6	-2,2	-1,6	-2,2	-1,8	-1,4	7,8E-07	2,8E-06	22,7	23,0
Inverno_2011	-8,8	-5,2	-5,0	-4,4	-5,0	-4,8	-4,3	6,2E-07	-7,5E-08	21,8	22,1
Primavera_2011	—	-1,5	-1,8	-2,2	-1,7	-1,9	-2,2	-3,1E-07	-8,1E-07	22,2	22,4
Verão_2012	0,8	0,7	0,2	-0,4	0,4	-0,1	-0,5	1,8E-06	2,7E-06	23,4	23,1
Outono_2012	-4,8	-3,3	-2,6	-1,7	-2,8	-2,3	-1,8	1,4E-06	2,5E-06	23,7	22,7
Inverno_2012	-5,8	-4,4	-4,4	-4,1	-4,4	-4,3	-4,1	1,5E-06	9,8E-07	22,1	21,9
Primavera_2012	-2,1	-2,2	-2,3	-2,5	-2,3	-2,4	-2,5	1,8E-07	-3,4E-07	22,4	22,2
Verão_2013	0,8	-0,3	-0,5	-0,9	-0,4	-0,6	-0,9	-1,3E-08	1,9E-06	22,8	22,7
Outono_2013	-2,4	-1,7	-1,5	-1,4	-1,5	-1,4	-1,3	1,0E-06	1,7E-06	22,8	22,6
Inverno_2013	-7,3	-4,0	-3,8	-3,4	-4,0	-3,8	-3,5	-5,5E-07	-4,7E-07	22,2	22,1
Primavera_2013	-2,4	-1,1	-1,4	-1,8	-1,3	-1,5	-1,8	3,8E-07	3,2E-07	22,5	22,4
Verão_2014	-0,5	-0,2	-0,3	-0,6	-0,2	-0,4	-0,6	3,3E-07	2,0E-06	23,0	22,8
Outono_2014	-3,1	-2,3	-2,1	-1,7	-2,2	-2,0	-1,7	1,6E-06	3,2E-06	22,8	22,5
Inverno_2014	-5,1	-2,8	-2,8	-2,7	-2,8	-2,7	-2,6	4,8E-07	4,1E-07	22,4	22,2
Primavera_2014	-2,8	-1,6	-1,8	-2,0	-1,7	-1,8	-2,0	3,1E-07	2,1E-07	22,6	22,3
<b>Média</b>	-3,5	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1	6,4E-07	1,1E-06	22,6	22,5
<b>Desvio Padrão</b>	2,9	1,6	1,4	1,2	1,5	1,4	1,2	7,1E-07	1,3E-06	0,5	0,4

\*DTA<sub>10</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 5cm, 10 cm e 30 cm; \*DTA<sub>30</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 10cm, 30 cm e 50 cm; \*DTA<sub>50</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 30cm, 50 cm e 100 cm. \* DTA<sub>TB 30</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 10, 30 e 80 cm na borda da estria; \* DTA<sub>TC 30</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 10, 30 e 80 cm no centro da estria.

De acordo com os resultados da Tabela 6 pode-se concluir que há mais de 70,0 e 63,0 % de probabilidade da umidade influenciar na DTA no sítio Ipanema e Punta Plaza, respectivamente. Em quase todos os casos a DTA é influenciada pela umidade ( $p > 0,05$ ) exceto para Ipanema a DTA<sub>10</sub> e U<sub>10</sub> ( $p < 0,05$ ) e o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) também explicou a maior parte da variabilidade dos valores observados, a exceção foi Punta Plaza a DTA<sub>50</sub>, que apresentou correlação negativa com a umidade.

Nos demais sítios, Refúgio II e Solo com Padrão, a umidade influenciou na DTA ( $p > 0,05$ ), contudo o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) não explicou os valores observados.

**Tabela 3:** Regressão linear múltipla entre a difusividade térmica aparente do solo (DTA) e a Umidade do solo (U) na Península de Keller, Antártica.

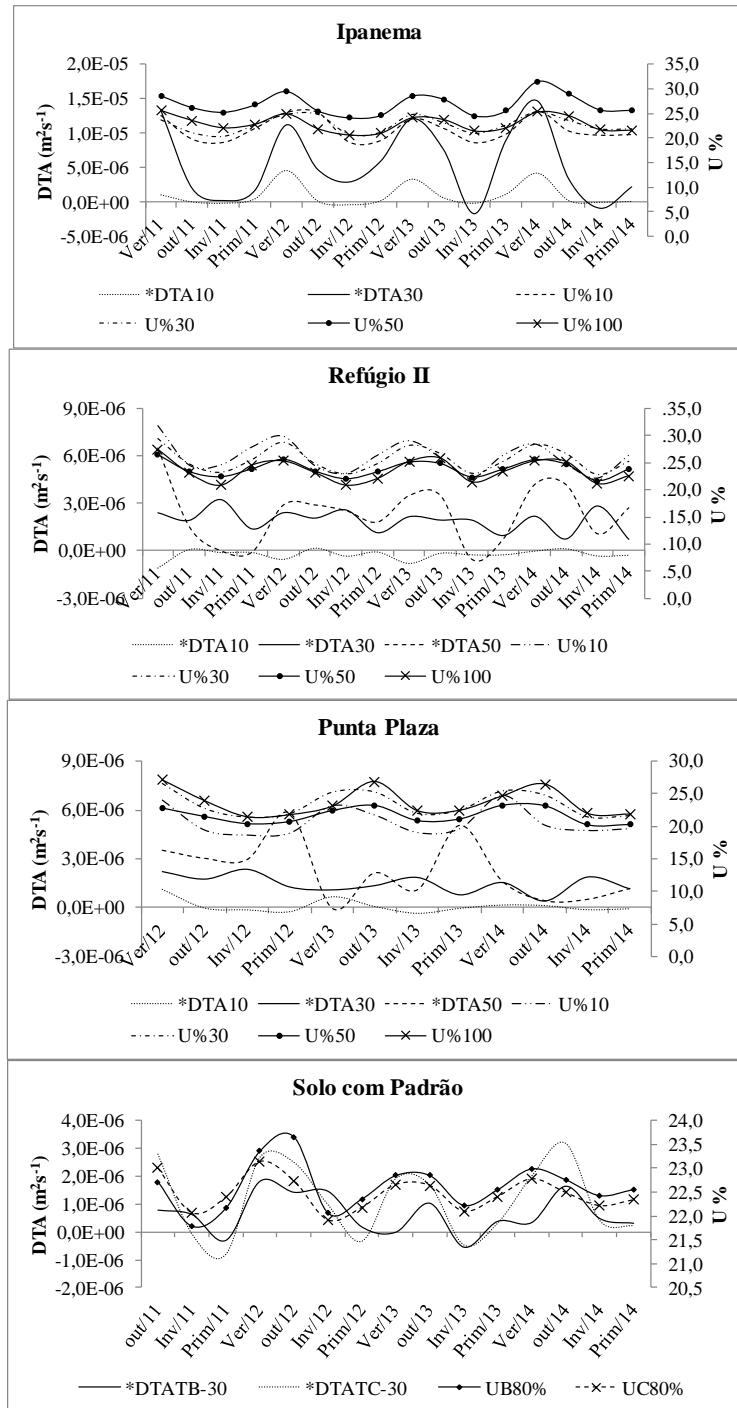
			Coeff.	Std.terr.	t	p	r <sup>2</sup>	
<b>Ipanema</b>	DTA <sub>10</sub>	Constant	-1,0E-05	2,0E-06	-4,91	0,00	0,00	
		U <sub>10</sub>	1,1E-06	2,0E-07	5,44	<b>0,00</b>	<b>0,95</b>	
		U <sub>30</sub>	-5,2E-07	2,6E-07	-1,97	0,08	<b>0,86</b>	
	DTA <sub>30</sub>	Constant	9,0E-06	1,1E-06	8,11	0,00	0,00	
		U <sub>10</sub>	1,9E-05	1,0E-05	1,92	0,09	<b>0,79</b>	
		U <sub>30</sub>	-3,1E-05	1,8E-05	-1,76	0,12	<b>0,77</b>	
		U <sub>100</sub>	1,4E-05	8,0E-06	1,78	0,11	<b>0,71</b>	
<b>Refúgio II</b>	DTA <sub>10</sub>	Constant	-2,3E-06	3,4E-06	-0,67	0,52	0,00	
		U <sub>10</sub>	-4,2E-09	8,4E-08	-0,05	0,96	0,19	
		U <sub>30</sub>	-3,3E-07	3,2E-07	-1,04	0,33	0,19	
		U <sub>50</sub>	4,4E-07	4,5E-07	0,99	0,35	0,16	
	DTA <sub>30</sub>	Constant	2,2E-05	9,8E-06	2,28	0,05	0,00	
		U <sub>10</sub>	-5,5E-07	2,4E-07	-2,34	0,05	0,14	
		U <sub>30</sub>	2,1E-06	8,9E-07	2,36	0,05	0,05	
		U <sub>50</sub>	-2,5E-06	1,3E-06	-1,99	0,08	0,07	
	DTA <sub>50</sub>	Constant	-3,3E-05	2,8E-05	-1,18	0,27	0,00	
		U <sub>30</sub>	-6,6E-07	1,9E-06	-0,34	0,74	0,46	
		U <sub>50</sub>	2,8E-06	3,6E-06	0,77	0,47	0,45	
		U <sub>100</sub>	-6,1E-07	6,3E-07	-0,98	0,36	0,30	
	<b>Punta Plaza</b>	DTA <sub>10</sub>	Constant	-2,3E-06	3,0E-06	-0,77	0,47	0,00
			U <sub>10</sub>	1,7E-08	1,6E-07	0,10	0,92	<b>0,74</b>
U <sub>30</sub>			2,2E-07	4,2E-07	0,53	0,61	<b>0,75</b>	
U <sub>50</sub>			-1,5E-07	4,4E-07	-0,33	0,75	<b>0,63</b>	
DTA <sub>30</sub>		Constant	-1,2E-05	1,9E-05	-0,62	0,55	0,00	
		U <sub>10</sub>	-6,6E-07	9,9E-07	-0,67	0,52	<b>0,68</b>	
		U <sub>30</sub>	3,0E-06	2,6E-06	1,14	0,29	<b>0,83</b>	
		U <sub>50</sub>	-1,9E-06	2,7E-06	-0,71	0,50	<b>0,76</b>	
DTA <sub>50</sub>		Constant	8,9E-05	1,0E-04	0,88	0,41	0,00	
		U <sub>30</sub>	4,6E-06	5,4E-06	0,85	0,42	0,02	
	U <sub>50</sub>	-1,6E-05	1,6E-05	-1,00	0,34	0,03		
	U <sub>100</sub>	6,4E-06	5,6E-06	1,15	0,28	0,05		
<b>Solo com Padrão</b>	DTA <sub>TB-30</sub>	Constant	-2,1E-05	2,0E-05	-1,02	0,33	0,00	
		UC80	-3,1E-07	2,6E-06	-0,12	0,91	0,35	
		UB80	1,3E-06	1,9E-06	0,68	0,52	0,38	
	DTA <sub>TC-30</sub>	Constant	-6,3E-05	3,1E-05	-2,06	0,07	0,00	
		UC80	3,6E-06	3,9E-06	0,93	0,38	0,46	
		UB80	-7,5E-07	2,8E-06	-0,27	0,79	0,42	

p = p\_valor; t = estatística tau; r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; Stat err = Erro padrão.

\*DTA<sub>10</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 5cm, 10 cm e 30 cm; \*DTA<sub>30</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 10cm, 30 cm e 50 cm; \*DTA<sub>50</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 30cm, 50 cm e 100 cm. \*DTA<sub>TB-30</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 10, 30 e 80 cm na borda da estria; \*DTA<sub>TC-30</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 10, 30 e 80 cm no centro da estria. U = Umidade do solo à profundidade de 10, 30, 50, 80 e 100 cm. UC = Umidade do solo no centro da estria; UB = Umidade do solo na borda da estria.

A umidade média sazonal foi maior a 50 cm (U<sub>50</sub>) em Ipanema; a 10 cm (U<sub>10</sub>) no verão e a 100 cm (U<sub>100</sub>) nas demais estações do ano em Punta Plaza; a 10 cm (U<sub>10</sub>) e 30 cm (U<sub>30</sub>) em Refúgio II; e em Solo com Padrão a umidade sazonal entre a borda e o centro da estria foi similar, com diferenças inferiores a 0,9 % (Figura 2). O menor conteúdo de água no solo resulta em baixa condutividade térmica e difusividades térmicas relativamente elevadas (SEYBOLD et al. 2009). Contudo, no início do descongelamento do solo (primavera-verão), com a umidade mais alta, a DTA apresentou maiores valores, isso porque a água preenche os espaços vazios e proporciona maior contato entre as partículas do solo, o que acarreta no aumento da propagação de calor e consequentemente na difusividade térmica (CALABONE, 2002). Dessa forma, no verão na maioria dos sítios, a DTA foi positiva, a exceção foi Refúgio

II que obteve o maior número de dias de descongelamento (431 dias), considerando todos os anos e a profundidade de 10 cm. Isso fez com que a umidade do solo aumentasse em superfície, o que resultou em difusividades negativas em superfície e positivas em profundidades. No inverno, a difusividade negativa em superfície pode estar relacionada a precipitação líquida no inverno como descrito anteriormente.

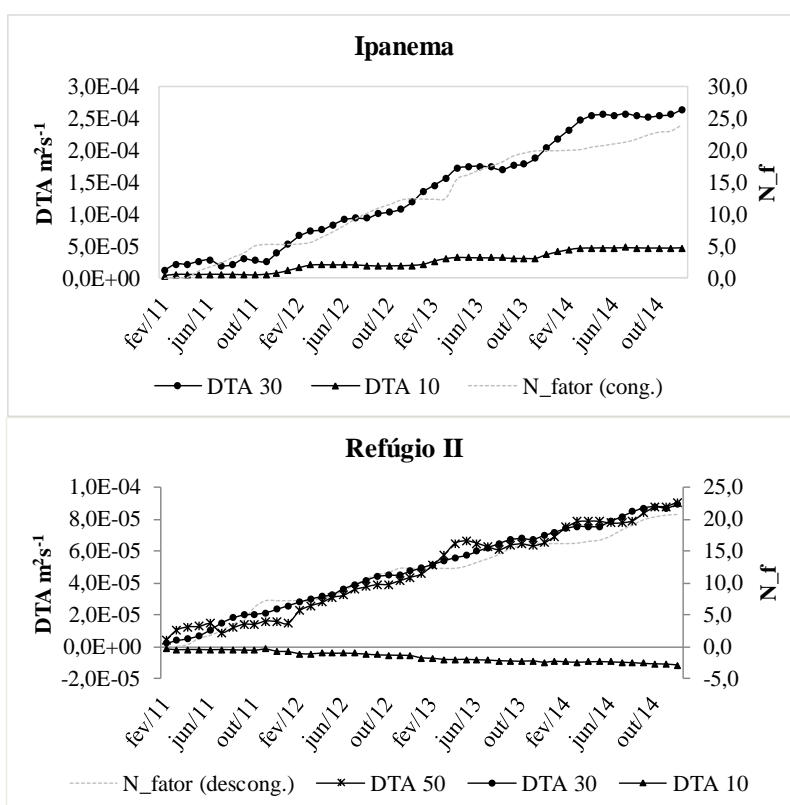


\*DTA<sub>10</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 5cm, 10 cm e 30 cm; \*DTA<sub>30</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 10cm, 30 cm e 50 cm; \*DTA<sub>50</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 30cm, 50 cm e 100 cm. \*DTA<sub>TB 30</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 10, 30 e 80 cm na borda da estria; \*DTA<sub>TC 30</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 10, 30 e 80 cm no centro da estria. U = Umidade do solo à profundidade de 10, 30, 50, 80 e 100 cm. UC = Umidade do solo no centro da estria; UB = Umidade do solo na borda da estria.

**Figura 2:** Relação entre difusividade térmica sazonal aparente do solo e umidade sazonal do solo na Península de Keller, Antártica.

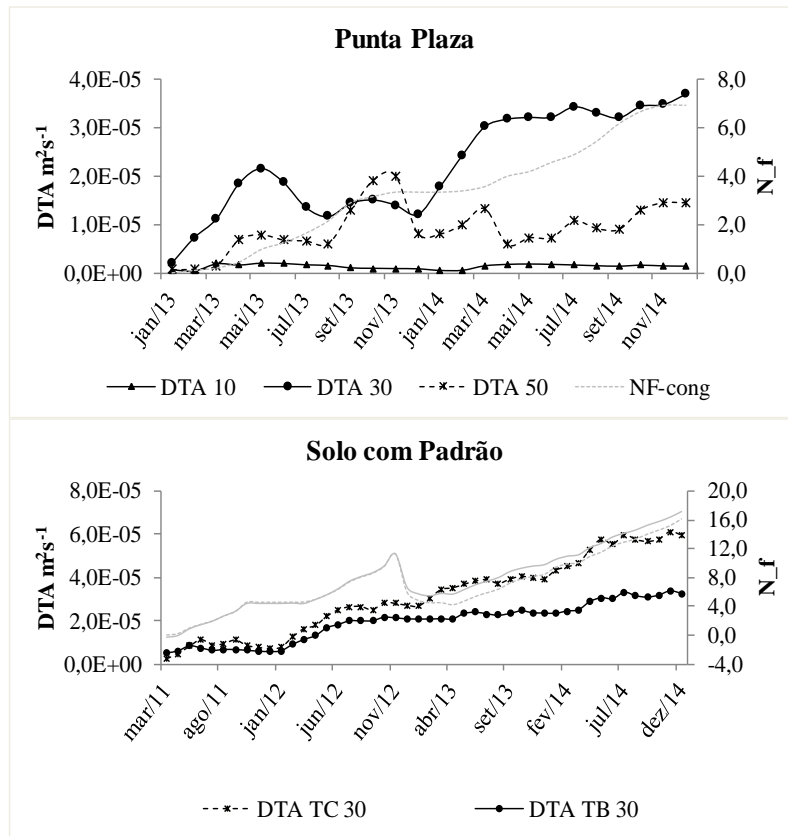
Os valores do índice  $N_{fator}$  são influenciados pela profundidade e pelas propriedades térmicas do solo, assim como os processos dominantes da camada ativa estão relacionados com as fases de congelamento e descongelamento do solo (RISEBOROUGH, 2003). Dessa forma relacionou-se o índice  $N_{fator}$  de congelamento com a DTA para avaliar a influência da espessura da neve sobre a superfície do solo (Figura 3). Para melhor visualizar os resultados foi feito a soma acumulada dos dados de DTA e do  $N_{fator}$ .

A relação entre o  $N_{fator}$  de congelamento acumulado com a DTA acumulada foi inversamente proporcional quando comparada com a difusividade acumulada calculada próxima a superfície ( $DTA_{10}$ ), porém quando se compara o  $N_{fator}$  com a DTA em profundidade, essa relação se aproxima. O  $N_{fator}$  mostrou que a espessura da neve resfria o solo mais rapidamente próximo a superfície, e assim mantém os valores da DTA (próximo à superfície) menores do que nas demais profundidades. Contudo, quando a cobertura da neve é relativamente fina e com alto albedo, a superfície do solo torna-se mais fria. Quando a espessura da neve aumenta (maior que 40 cm), o efeito isolante da cobertura de neve aumenta e resulta num aquecimento da superfície do solo. Se a neve for espessa, esta pode durar até o final da primavera ou no verão o que resulta em resfriamento do solo em profundidade. Isso ocorre porque há bloqueio da frente de congelamento, o que retarda o fluxo de calor em profundidade e também menor absorção de energia solar com consequentemente diminuição da temperatura do solo em superfície (ZHANG, 2005; HINKEL et al., 2001).



\* $DTA_{10}$  = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 5cm, 10 cm e 30 cm; \* $DTA_{30}$  = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 10cm, 30 cm e 50 cm; \* $DTA_{50}$  = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 30cm, 50 cm e 100 cm. \*  $DTA_{TB\ 30}$  = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 10, 30 e 80 cm na borda da estria; \*  $DTA_{TC\ 30}$  = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 10, 30 e 80 cm no centro da estria.

**Figura 3:** Relação entre o  $N_{fator}$  acumulado e DTA acumulada na Península de Keller, Antártica.

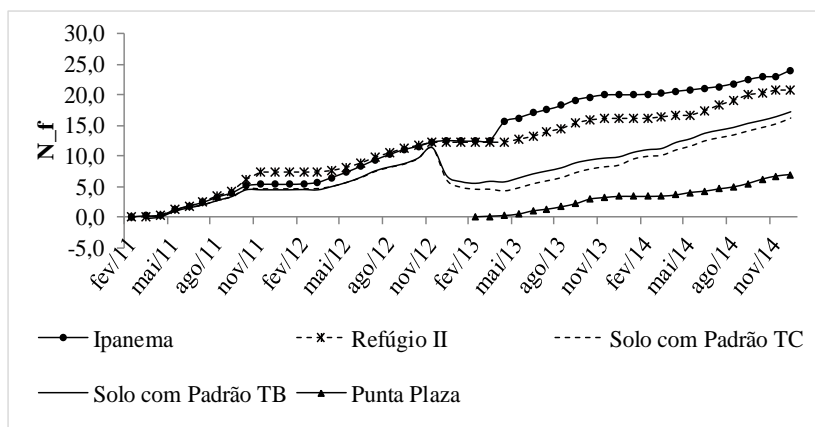


\*DTA<sub>10</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 5cm, 10 cm e 30 cm; \*DTA<sub>30</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 10cm, 30 cm e 50 cm; \*DTA<sub>50</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 30cm, 50 cm e 100 cm. \* DTA<sub>TB 30</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 10, 30 e 80 cm na borda da estria; \* DTA<sub>TC 30</sub> = difusividade aparente do solo entre as profundidades de 10, 30 e 80 cm no centro da estria.

**Figura 3.1:** Continuação.

Com os resultados pode-se observar que o N\_fator foi similar nos sítios Ipanema ( $r^2 = 0,96$  DTA<sub>10</sub>;  $r^2 = 0,98$  DTA<sub>30</sub>) e Refúgio II ( $r^2 = 0,96$  DTA<sub>10</sub>;  $r^2 = 0,96$  DTA<sub>30</sub>;  $r^2 = 0,98$  DTA<sub>50</sub>). Esses dois sítios apresentam a mesma cobertura vegetal de *Usnea*, briófitas e *Deschampsia*; e também apresentaram mais tempo sob o regime de camada ativa (Capítulo I). O sítio Solo com Padrão ( $r^2 = 0,88$  DTA<sub>TC-30</sub>;  $r^2 = 0,92$  DTA<sub>TB-30</sub>) é o sítio que apresentou mais tempo com o solo congelado com maior soma acumulada de graus dias de congelamento e apresentou N\_fator intermediário entre os Ipanema/Refúgio II e Punta Plaza. O sítio Punta Plaza apresentou a menor correlação entre o índice N\_fator e a DTA ( $r^2 = 0,12$  DTA<sub>10</sub>;  $r^2 = 0,84$  DTA<sub>30</sub>;  $r^2 = 0,59$  DTA<sub>50</sub>) com menor soma acumulada e menor índice N\_fator entre os sítios. De acordo com o N\_fator, o início da época de congelamento foi de junho a setembro, e permaneceu estável de novembro a março em Ipanema, Refúgio II e Punta Plaza (Figura 4). Solo com Padrão teve diminuição acentuada entre 11/2012 e 01/2013, neste período o sinal do ENOS foi negativo e nos demais anos foi positivo. Esse fenômeno pode ter influenciado a espessura da cobertura de neve nesses meses no sítio Solo com Padrão, porém essa mesma diminuição não foi verificada nos outros sítios.

O sítio Punta Plaza apresentou cobertura de neve mais espessa (menor índice N\_fator entre os sítios) seguido pelo Solo com Padrão, Refúgio II e Ipanema. Isso demonstra a influência da T<sub>ar</sub> sobre a temperatura do solo, devido a cobertura de neve mais ou menos espessa (ALMEIDA et al. 2014).



**Figura 4:** Índice N\_fator acumulado nos diferentes sítios na Península de Keller, Antártica.

O índice N\_fator varia entre anos e entre sítios. Essas diferenças podem ser dominadas por variações nas características da neve (tamanho de grão e forma, rugosidade da superfície, o teor de água no estado líquido, e outras impurezas), por sua espessura e sua duração, assim como sua distribuição e sua taxa de desenvolvimento, que podem influenciar significativamente o regime térmico do solo (ZHANG, 2005; ALMEIDA et al. 2014).

Segundo Zhang (2005) a cobertura sazonal da neve é um dos principais fatores que influencia o regime térmico do solo, e pode ser explicado por fatores como albedo, emissão e absorção de energia, baixa condutividade térmica e calor latente.

## 6. CONCLUSÕES

O modelo da difusividade térmica aparente do solo (DTA) apresenta boa relação para inferir em dados da difusividade. Contudo, há a necessidade de desconsiderar os valores da variação da média da temperatura do solo que se aproximam de  $\pm 0,03$  °C. Isso acontece devido à tendência do modelo ao se aproximar da isotermia (variação da temperatura do solo com a profundidade igual zero) a difusividade tender ao infinito.

Os sítios apresentam tendência negativa a  $DTA_{10}$  e positiva a  $DTA_{30}$  e  $50$ , no inverno, em todos os sítios. No verão os valores apresentaram tendência positiva em quase todos os sítios, com valores mais elevados de DTA. Isso permite inferir que no inverno pode ter ocorrido precipitação na forma líquida na maioria dos sítios. A difusividade aumentou com a diminuição da profundidade do solo. A umidade do solo influencia na DTA no sítio Ipanema e Punta Plaza com mais de 70,0 e 63,0 % de probabilidade, respectivamente. Nos demais sítios, Refúgio II e Solo com Padrão, a umidade pode influenciar na DTA ( $p > 0,05$ ), contudo o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) não explicou a maior parte da variabilidade dos valores observados.

Os índices  $N_{\text{fator}}$  variam entre anos e entre sítios e a relação entre o  $N_{\text{fator}}$  de congelamento acumulado e a DTA acumulada foi inversamente proporcional quando comparada com a difusividade acumulada calculada próxima a superfície ( $DTA_{10}$ ), porém quando se compara o  $N_{\text{fator}}$  com a DTA em profundidade, essa relação se aproxima.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, I. C. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, R. B. A.; PEREIRA, T. T. C.; NIEUWENDAM, A.; PEREIRA, A. B. Active layer thermal regime at different vegetation covers at Lions Rump, King George Island, Maritime Antarctica: In *Permafrost and periglacial research in Antarctica: New results and perspectives*, Geomorphology 11-15 225:36-46. 2014.
- BOCKHEIM, J.G. *Permafrost* distribution in the Southern Circumpolar region and its Relation to the Environment: a Review and Recommendations for Further Research. *Permafrost and Periglacial Processes*. 6, 27–45. 1995.
- BOCKHEIM, J.G.; CAMPBELL, I.B.; MCLEOD, M. Use of soil chronosequences for testing the existence of high-water-level lakes in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *Catena*,74, 144–152. 2008.
- COLABONE, R.O. Determinação da difusividade térmica de um solo incorporado com resíduo de E.T.A. Universidade Estadual Paulista Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Dissertação: mestrado em Física. Rio Claro. 64 f. 2002.
- FRANCELINO M. R., SCHAEFER, C. E. G. R., FERNANDES-FILHO, E. I. Temperatura do solo em áreas livres de gelo da Baía do Almirantado, Ilha Rei George: relações pedogenéticas. In ‘Proceedings of the V Simposio Argentino y I Latino americano sobre Investigaciones Antárticas’ (Instituto Antártico Argentino). Buenos Aires, Argentina. Disponível em: <http://www.dna.gov.ar/ciencia/santar04/cd/pdf/104gh.pdf>. (Acessado em: 08 de março de 2014) p. 104-107. 2004.
- HINKEL, K. M., OUTCALT, S. I., AND NELSON, F. E.: Temperature variation and apparent thermal diffusivity in the refreezing active layer, Toolik Lake, Alaska, *Permafrost Periglac.*, 14, 265–274, 1990.
- HINKEL, K. M., PAETZOLD, F., NELSON, F. E., BOCKHEIM, J. G., Patterns of soil temperature and moisture in the active layer and upper *permafrost* at Barrow, Alaska: 1993–1999. *Glob. Planet. Chang.* 29, 293–309. 2001.
- KREITH, F.; BOHN, M. Princípios de Transferência de Calor. São Paulo. Editora: Thomson Pioneira. 6ª edição. 720p. 2003.
- LUNARDINI, V. J. Effect of Convective Heat Transfer on Thawing Frozen Soil. *Permafrost*, Seventh International Conference, Proceedings, Yellowknife, Canada. pp. 23–27.. Université Laval: 689–695. 1998.
- MCGAW, R. W., OUTCALT, S. I., AND NG, E.: Thermal properties and regime of wet tundra soils at Barrow, Alaska, in: Third International Conference on *Permafrost*, National Research Council of Canada, 1978, Ottawa, Canada, 47–53, 1978.
- MICHEL, R. F. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. M. B.; FRANCELINO, M. R.; FERNANDES-FILHO, E. I.; LYRA, G. B. and BOCKHEIM, J. G. Active-layer thermal monitoring on the Fildes Peninsula, King George Island, maritime Antarctica. *Solid Earth Discuss.* 6, 1–26, 2014.
- NELSON, F. E., OUTCALT, S. I., GOODWIN, C. W., HINKEL, K. M. Diurnal thermal regime in a peat-covered tundra, Toolik Lake, Alaska. *Arctic* 38, 310–315. 1985.



OUTCALT, S. I. AND HINKEL, K. M.: Night frost modulation of near-surface soil-water ion concentration and thermal fields, *Phys. Geogr.*, 10, 336–346, 1989.

PROANTAR/CPTEC/INPE. Projeto de Meteorologia Antártica (CNPq/Proantar). Disponível em: <<http://antartica.cptec.inpe.br>>. Acessado em: 26 de janeiro de 2016.

RAO, T. V. R., SILVA, B. B.; MOREIRA, A. A. Características térmicas do solo em Salvador, BA. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, Campina Grande, PB. p.554-559. 2005.

ROSA, K.K.; VIEIRA, R.; FERNANDEZ, G.; MENDES Jr, C.W.; VELHO, L.F.; SIMÕES, J.C. Recent changes in the Wanda Glacier, King George Island, Antarctica. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 42 (2): 187-196, maio./ago. 2015

RISEBOROUGH, D. Thawing and freezing indices in the active layer. First results from 2000 to 2001. In: Phillips, M., Springman, S.M., Arenson, L. (Eds.), *Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost*. Balkema, Lisse, Zurich, pp. 953–958. 2003.

SALAMENE, S. Regime térmico da camada ativa na Península Keller, Ilha Rei George, Antártica (2008-2011): contribuição ao monitoramento de ambientes periglaciais. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais). UFRJ. Seropédica. 77p. 2013.

SEYBOLD, C. A., HARMS, D. S., PAETZOLD, R. F., KIMBLE, J., BALKS, M., AISLABIE, J.; SLETTEN, R. Soil climate monitoring project in the Ross Island region of Antarctica. *Soil Survey Horizons*, 50, 52–57. 2009.

VOGT, S.; BRAUN, M. Influence of glaciers and snow cover on terrestrial and marine ecosystems as revealed by remotely-sensed data. *Pesquisa Antártica Brasileira*, 4: 105-118. 2004.

ZHANG, T. Influence of the seasonal snow cover on the ground thermal regime: An overview. AA(National Snow and Ice Data Center, Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences University of Colorado, Boulder, Colorado, USA). *Reviews of Geophysics*, Volume 43, Issue 4, CiteID RG4002. 2005.



## **CAPÍTULO III**

### **SÉRIES TEMPORAIS APLICADAS AO REGIME TÉRMICO DA CAMADA ATIVA NA PENÍNSULA KELLER, ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA MARÍTIMA – UM ESTUDO DE 2011-2014.**

## 1. RESUMO

As análises de séries temporais são importantes para a compreensão da variabilidade do clima. Neste trabalho, as séries estudadas mostram as diferenças nos regimes térmicos da temperatura do solo em diferentes condições de paisagem da Península de Keller, Antártica e sua variabilidade mensal no período de 01/2011 a 12/2014. Neste capítulo foi feita uma descrição da série, avaliando as características mais relevantes e as possíveis relações com as séries AAO (*Antarctic Oscillation Index*), SOI (*Southern Oscillation Index*) e MEI (*Multivariate ENSO Index*). Para tal foi realizado a normalização da temperatura do ar e do solo através da transformação Z, posteriormente fez-se do teste de *Box-Pierce* e *Augmented Dickey-Fuller*, por meio do software livre *GRETL*. As análises harmônicas e espectrais foram geradas no software *STATISTICA*<sup>®</sup>. O teste de *Box-Pierce* e *Augmented Dickey-Fuller* confirmou, respectivamente, a estacionariedade e distribuição independente da série. A análise harmônica permitiu descrever a frequência de domínio que se repetiram em intervalos regulares de tempo. Foram verificados através dessa análise que houve um período repetitivo de aproximadamente 7,7 meses na  $T_{ar}$  e  $T_s$ , nos sítios Ipanema, Refúgio II e Solo com Padrão, que corresponderam ao mesmo período harmônico (soma dos três harmônicos) da AAO e do SOI. Esse padrão foi explicado através do gráfico de dispersão, cujo coeficiente de determinação ( $r^2$ ) foi superior a 60 % para o sítio Ipanema, 30 % para Refúgio II e 50 % para Solo com Padrão. Para Punta Plaza foi observado um período repetido de 7,2 meses em todas as profundidades, sendo mais de 70 % deste padrão explicado pela soma dos três harmônicos de maior potência no espectro da série. Quando foram plotados os harmônicos mais dominantes dos índices AAO e SOI com a  $T_{ar}$  foi verificado estes se encontram em fase. Dessa forma é possível afirmar que os modos de variabilidade climática que influenciaram a  $T_{ar}$  nesses sítios, entre os anos de 2011 a 2014, na Antártica foram os índices AAO e SOI. De forma similar, quando se plotou os harmônicos da  $T_{ar}$  com os da  $T_s$  observou-se um período de quatro meses com fase negativa e quatro meses de fase positiva, que alternam durante os anos. Esse período se divide em positivo (temperaturas médias do solo acima de 0 °C), negativo (com temperaturas médias do solo abaixo de 0 °C) e isotérmico ou de transição (com temperaturas entre -0,5 °C e 0,5 °C). Dessa forma, a análise harmônica e espectral produziu resultados satisfatórios quando usada com a finalidade de comparar o regime térmico do solo da camada ativa com variáveis meteorológicas e poderão contribuir para um monitoramento ambiental da região Antártica.

**Palavras-chave:** Análise harmônica. Índice AAO e SOI. Variações sazonais.

## 2. ABSTRACT

Time series analyzes are important for the understanding of climate variability. In this work, the series studied show differences in thermal regimes of soil temperature in different landscape conditions of Keller Peninsula, Antarctica and their monthly variability in the period from 01/2011 to 12/2014. In this chapter a description of the series was done by evaluating the most relevant features and possible relationships with the AAO series (*Antarctic Oscillation Index*), SOI (*Southern Oscillation Index*) and MEI (*Multivariate ENSO Index*). To this was carried out normalization temperature of the air and soil by transforming  $Z$  subsequently became the Box-Pierce test and Augmented Dickey Fuller, through free software Gretl. Harmonic and spectral analysis were generated in the Statistica<sup>®</sup> software. The Box-Pierce test and Augmented Dickey Fuller confirmed respectively to stationary and independent distribution of serial. The harmonic analysis allowed describing the frequency domain that is repeated at regular intervals. Were verified by this analysis that there was a repetitive period of approximately 7.7 months in  $T_{ar}$  and  $T_s$ , the sites Ipanema, Refúgio II and Patterned Ground, that corresponded to the same harmonic period (sum of the three harmonics) of the AAO and the SOI. This pattern was explained by the scatter plot, whose coefficient of determination ( $r^2$ ) was over 60% for Ipanema site, 30% for Refúgio II and 50% for Patterned Ground. For Punta Plaza was observed a repeating period of 7.2 months at all depths, with over 70% of standard explained by the sum of the three higher harmonics of the power spectrum of the series. When were plotted the most dominant harmonic indices AAO and SOI with the  $T_{ar}$  it was verified these are in phase. Thus it can be said that the climate variability in ways that influenced the  $T_{ar}$  these sites between the years 2011-2014 in Antarctica were the AAO and SOI indices. Similarly, when plotting up harmonics of  $T_{ar}$  with  $T_s$  observed a period of four months with a negative phase and positive phase four months, alternating over the years. This period is divided into positive (average soil temperatures above 0 °C), negative (with average soil temperatures below 0 °C) and isothermal or transition (with temperatures between 0.5 °C and 0.5 °C). Thus, the harmonic and spectral analysis yielded satisfactory results when used for the purpose of comparing the soil thermal regime of the active layer with meteorological variables and may contribute to environmental monitoring of the Antarctic region.

**Keywords:** Harmonic analysis. AAO and SOI index. Seasonal variations.

### 3. INTRODUÇÃO

Os modos de variabilidade climática afetam o sistema climático global que exerce grande influência sob a região Antártica. O padrão dominante de variabilidade climática no Hemisfério Sul é a *Antarctic Oscillation* (AAO), responsável por 35 % do total da variabilidade climática nesse Hemisfério. O ENOS (*El Niño-Oscilação Sul*) é o padrão dominante de variabilidade climática da região equatorial, este pode mover-se em direção aos pólos e assim induzir uma teleconexão entre o ENOS e o clima de altas e médias latitudes. (LINDEMANN & JUSTINO, 2015).

A tendência da temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), em determinado período, na Antártica pode ser influenciada por esses dois modos de variabilidade e, pode mudar os regimes climáticos desta região (LINDEMANN & JUSTINO, 2015).

A análise do clima por meio de séries temporais é uma abordagem para entender a evolução temporal do clima. A quantidade de dados é limitada e é influenciada por diferentes fontes de erro (ruído). As fontes de erro ajudam a estimar os resultados e permitem melhorar o conhecimento sobre o clima (MUDELSEE, 2010).

As séries temporais são importantes para analisar se existem correlações nas observações sucessivas de dados coletados num determinado intervalo de tempo (BROCKWELL & DAVIS, 1991). Dentre os objetivos de uma análise de séries temporais pode-se citar a descrição das "propriedades da série, a tendência, a existência de variações sazonais ou cíclicas, de observações discrepantes (*outliers*) e alterações estruturais, como por exemplo, mudanças na tendência ou da sazonalidade" (EHLERS, 2009).

As séries estudadas neste trabalho são observações que mostram as diferenças nos regimes de temperatura do solo em diferentes condições de paisagem da ilha de Rei George e sua variação anual. Assim a série pode apresentar padrão que tende a se repetir a cada período de tempo (sazonalidade) e tendência de acréscimo ou decréscimo ao longo dos anos.

Essas séries servem para descrever as alterações das temperaturas e umidades de um ano para outro e fornecem parâmetros para avaliar alterações na espessura da camada ativa e do *permafrost*. Essas feições dos solos periglaciais, quando mais espessos deveriam apresentar combinação de temperaturas baixas na superfície do solo, alta condutividade térmica e baixo fluxo de calor. A observação desses dados em perfis mais profundos pode indicar se o *permafrost* está em equilíbrio ou desequilíbrio com a superfície, ou se ele é relicto<sup>2</sup> (THROOP, 2010).

A maioria da área na ilha de Rei Geoge na Antártica é inacessível, devido ao seu relevo bastante movimentado (FRANCELINO et al., 2004; VOGT & BRAUN, 2004). Segundo Gruber & Haeberli (2009) a existência e evolução dos *permafrost*, que são também encontrados em áreas de alta montana, podem ser organizados dentro de escalas e processos dominantes de clima, topografia e condições de solo. A forte influência das condições microclimáticas, devido à diferença de temperatura do ar, diferenças na incidência da radiação solar, condicionada pela forma do terreno, transporte da neve, do vento ou avalanches, afetam a temperatura do solo e são modificadas pela topografia. Localmente, a topografia a influencia nas condições

---

<sup>2</sup> *Permafrost* relicto reflete as condições climáticas do passado, geralmente temperaturas mais frias, que diferem das condições atuais.

climáticas e na temperatura do solo e altera mais a propriedades do solo e a transferência de calor. Com isto a degradação do *permafrost* em profundidade e em áreas montanhosas pode ser retardada quando se tem materiais grosseiros e uma camada espessa de gelo.

Normalmente esses processos são medidos a partir de observações da temperatura do solo ao longo do tempo. Contudo uma investigação sobre essas observações é essencial para se entender a resposta do *permafrost* frente às mudanças climáticas.

Neste capítulo, a hipótese foi confirmar que o modo de variabilidade climática que influencia na temperatura do ar na Ilha de Rei George, Antártica é a Oscilação Antártica. Além disso, conhecer qual a frequência de repetição deste evento na região.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

A análise harmônica é a representação de uma série obtida pela combinação entre funções senos e cossenos, enquanto a análise espectral caracteriza os domínios das frequências. Na normalização das séries aplicou-se a transformação Z. As séries normalizadas, de  $T_{ar}$  e  $T_s$  foram testadas para confirmar a estacionariedade e distribuição independente da série histórica. Para tal fez-se uso do teste de *Box-Pierce* e *Augmented Dickey-Fuller*, por meio do software livre *GRET*L. As análises harmônicas e espectrais foram geradas no software *STATISTICA*®.

O teste ADF (*Dickey-Fuller Aumentado*), permite confirmar a estacionariedade da série normalizada, em que a hipótese nula  $\delta = 0$  confirma a existência de uma raiz unitária, ou seja, a série é dita não estacionária, caso contrário ela será estacionária. Esse teste consiste em estimar a regressão:

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + \sum_{k=1}^m \alpha_k \Delta Y_{t-k} + \varepsilon_t$$

Eq.:1

em que:

$\beta$  = coeficiente de tendência;

$m$  = graus de liberdade;

$\alpha$  = intercepto;

$Y_t$  = observação no tempo  $t$  da variável  $Y$ ;

$Y_{t-1}$  = observação um período atrás, ou com defasagem (lag) temporal;

$\varepsilon_t$  = ruído branco; e

$k$  = número de defasagem de acordo com o critério de Akaike (AIC) ou de Schwarz (BIC).

O teste de ADF considerou três tipos de processos:

- 1) com constante: é um passeio aleatório; um processo estacionário com média zero;
- 2) sem constante: é um passeio aleatório com deslocamento; um processo estacionário com média; e
- 3) com constante e tendência: é um passeio aleatório com deslocamento em torno de uma tendência determinística; um processo estacionário em torno de uma tendência determinística (GUJARATI & PORTER, 2006).

O teste de Dickey Fuller aumentado foi realizado com base na variância estimada do critério de AIC (*Akaike's Information Criterion*):  $AIC = T \ln(SQR) + 2n$  em que:  $T$  é o tamanho da amostra;  $SQR$  é a soma dos quadrados dos resíduos e  $n$  é o número de parâmetros (FELIPE, 2012).

A análise de dados com padrões periódicos pode ser estudada através da análise harmônica ou análise de Fourier, que decompõe uma série de dados em componentes independentes, cujos modelos resultantes são funções senoidais e cosenoidais. Essa análise permite descrever a frequência de domínio de uma série de dados ordenados no tempo, que se repetem a intervalos regulares de tempo ou de espaço (JOAO, 2009).

A modelagem da temperatura do solo e do ar por meio da análise harmônica e espectral é dada por uma série de dados com  $n$  amostras e representada pela combinação



de senos e cossenos, que oscilam em torno de um valor médio ( $\bar{y}$ ), ajustados a  $n/2$  funções harmônicas, como segue (SALAMENE, 2013):

$$y_i = \bar{y} + \sum_{k=1}^{n/2} \left\{ C_k \cos \left[ \frac{2\pi Kt}{n} - \theta_k \right] \right\} = \bar{y} + \sum_{k=1}^{n/2} \left\{ A_k \cos \left[ \frac{2\pi Kt}{n} \right] + B_k \text{sen} \left[ \frac{2\pi Kt}{n} \right] \right\} \quad (\text{Eq.: 2})$$

em que:

$K$  = um inteiro que varia até  $n/2$ ;

$C_k = \left[ (A_k^2 + B_k^2)^{1/2} \right]$  é a amplitude;

$\theta_k = [\arctan (B_k/A_k)]$  é o ângulo de fase do harmônico;

$t$  = tempo; e

$A_k = [C_k \cos (\theta_k)]$  e  $B_k = [C_k \sin (\theta_k)]$  = ajustados às séries mensais de temperatura do solo e do ar, normalizada pelo método dos mínimos quadrados, considerando a função harmônica como uma regressão não linear múltipla.

Como a utilização de todos os harmônicos possíveis ( $n/2$ ) para representar a série não é prático, é necessário então definir as frequências nas quais os harmônicos representam a maior parte da variabilidade da série. As relações entre as variáveis estimadoras dos harmônicos e a série de dados  $y_t$  (invariável) independem das demais funções harmônicas, e podem ser usadas para representar a série.

Como aplicado em análises de regressão, o  $r^2$  para o harmônico será o  $r_{k\text{-ésimo}}^2$ , assim:

$$r_k^2 = \frac{\frac{n}{2} C_k^2}{(n-1) S_y^2} \quad (\text{Eq.: 3})$$

em que:

$\frac{n}{2} C_k^2$  = a soma dos quadrados da regressão para o  $k$ -ésimo harmônico;

$S_y^2$  = a variância da amostra; e

$(n-1) S_y^2$  = a soma dos quadrados total.

A fundamentação deste trabalho para a análise espectral foi na variação do  $r_k^2$  em função da frequência, sendo considerado o primeiro (maior periodograma), segundo (segundo maior periodograma) e terceiro (terceiro maior periodograma) harmônico das séries mensais de temperatura do solo e ar em diferentes profundidades em quatro sítios da península de Keller entre 2011 a 2014. Os maiores periodograma são aqueles que melhor explicam o padrão dos dados na série (maiores  $r_k^2$ ). O primeiro harmônico indica tendência geral; o segundo e o terceiro harmônico são variações dentro da tendência geral a diferença é que o terceiro harmônico é mais detalhado.

A anomalia da temperatura ar nos sítios foi comparada com o índice da AAO (*Antarctic Oscillation Index*), índice SOI (*Southern Oscillation Index*) e o índice MEI (*Multivariate ENSO Index*) para verificar qual(is) o(s) modo(s) de variabilidade climática incide(em) sobre os sítios estudados. Para tanto foi plotado o harmônico cujo espectro foi mais dominante em cada sítio.

As análises de séries temporais foram normalizadas pela média e desvio padrão para identificação das frequências (periodograma). A normalização dos dados permite que estes tendam a uma distribuição normal, ou seja, as variáveis apresentam uma

distribuição simétrica. Após a normalização dos dados estes foram submetidos aos testes de estacionariedade (*Box-Pierce* e *Augmented Dickey-Fuller*), na qual confirmou a estacionariedade e a independência da série histórica.

Para saber se a série é ou não estacionária, pelo método de *Box-Pierce*, faz-se a autocorrelação (AC) da série e compara seus valores com o intervalo de confiança da fórmula:

$$IC (95\%) = \frac{1}{\sqrt{n}} * 1,96$$

(Eq.: 4)

em que:

$IC$  = Intervalo de confiança (95%); e

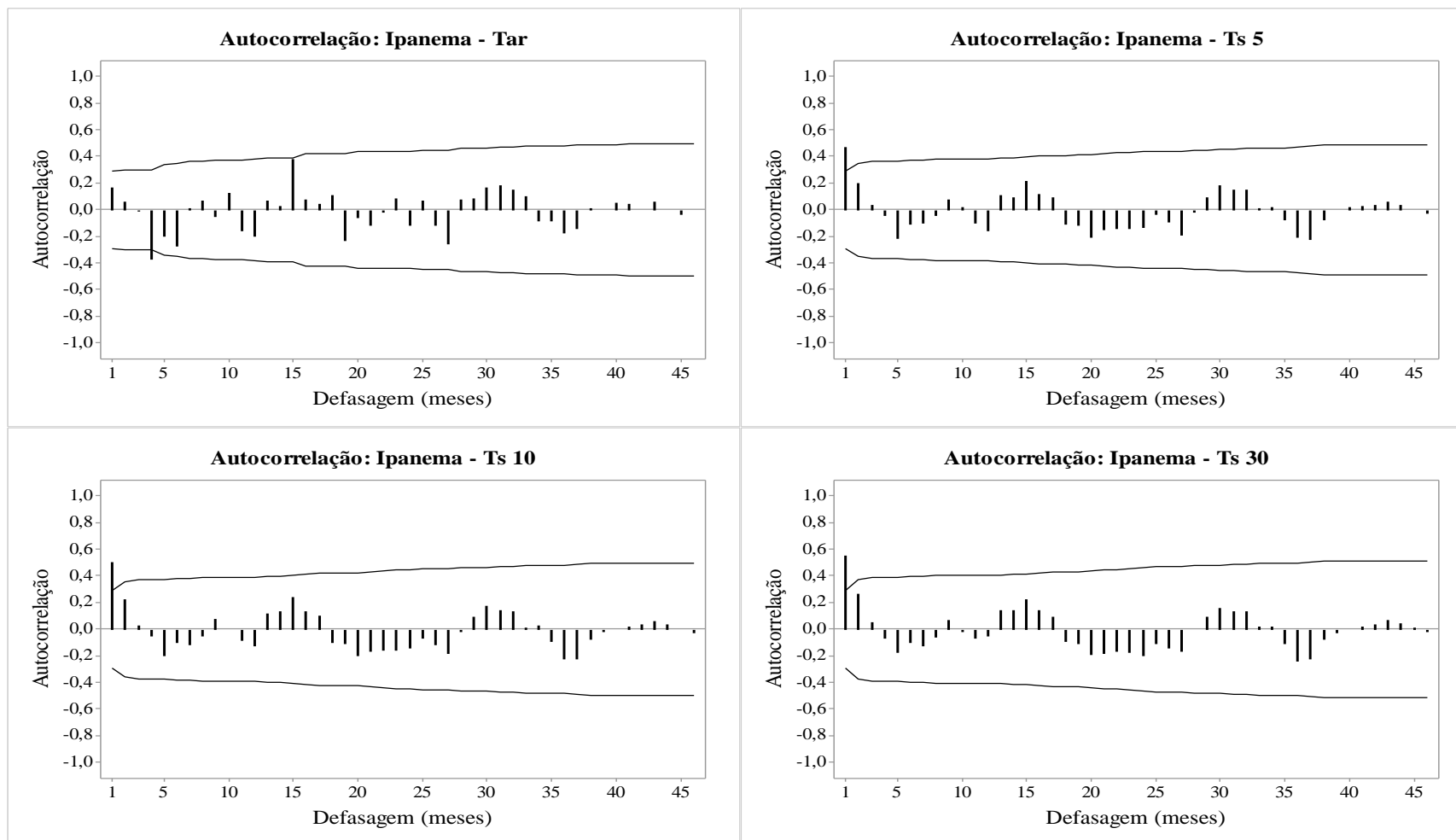
$n$  = tamanho da amostra.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

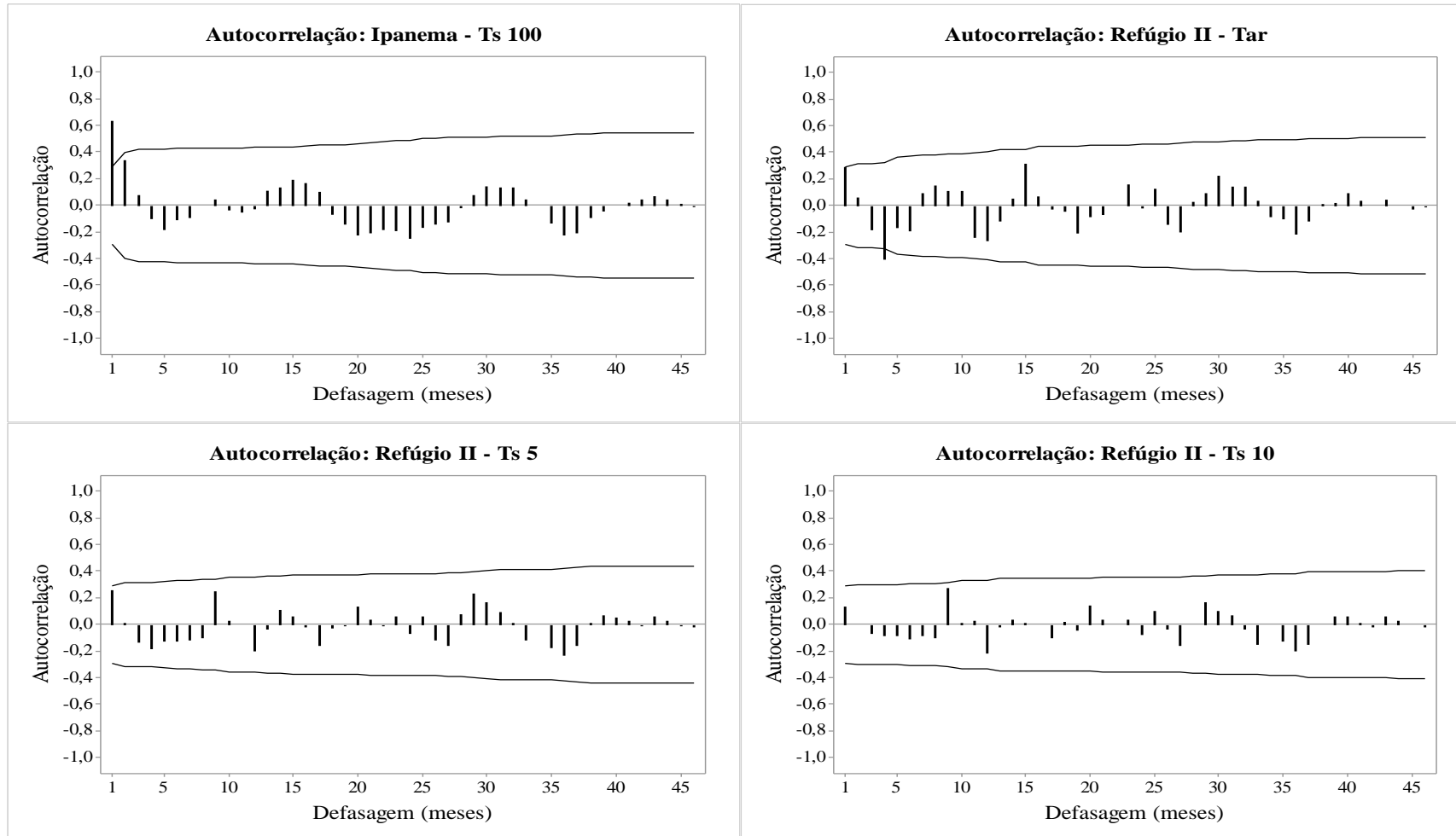
Para a série ser considerada estacionária o coeficiente de AC (autocorrelação) deverá estar abaixo do valor “IC” (Intervalo de Confiança), exceto para a defasagem um, ou se a série não voltar a aumentar seus valores a partir do ponto no qual foi extrapolado. Se os coeficientes estiverem acima desse valor (IC), significa que os dados são estatisticamente diferentes de zero, assim a série é não estacionária (FELIPE, 2012).

De acordo com a Figura 1, observou-se que para as funções de autocorrelações dos resíduos (teste de *Box-Pierce*), a série é estacionária, o que indicou que a média e a variância da amostra não variam com o tempo, ou seja, são constantes. Dessa forma os resíduos podem ser considerados como ruído branco, e assim são independentes e identicamente distribuídos.

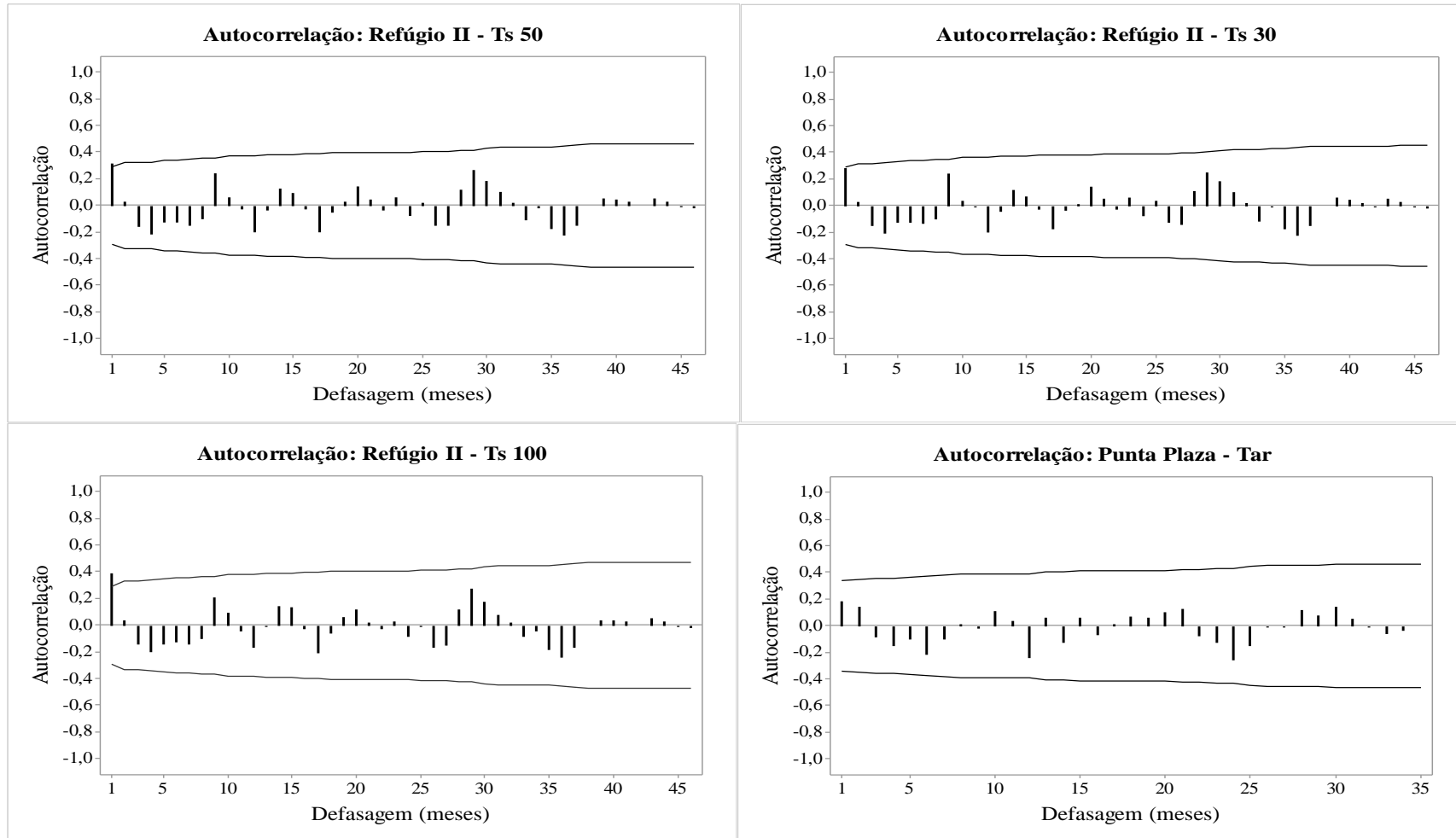
A série estacionária é importante porque a função amostral do processo é o mesmo em todos os instantes de tempo, o que faz com que sua forma geral e suas futuras observações sejam similares, o que facilita e proporciona previsões mais acuradas com esse tipo de processo (FISCHER, 1982).



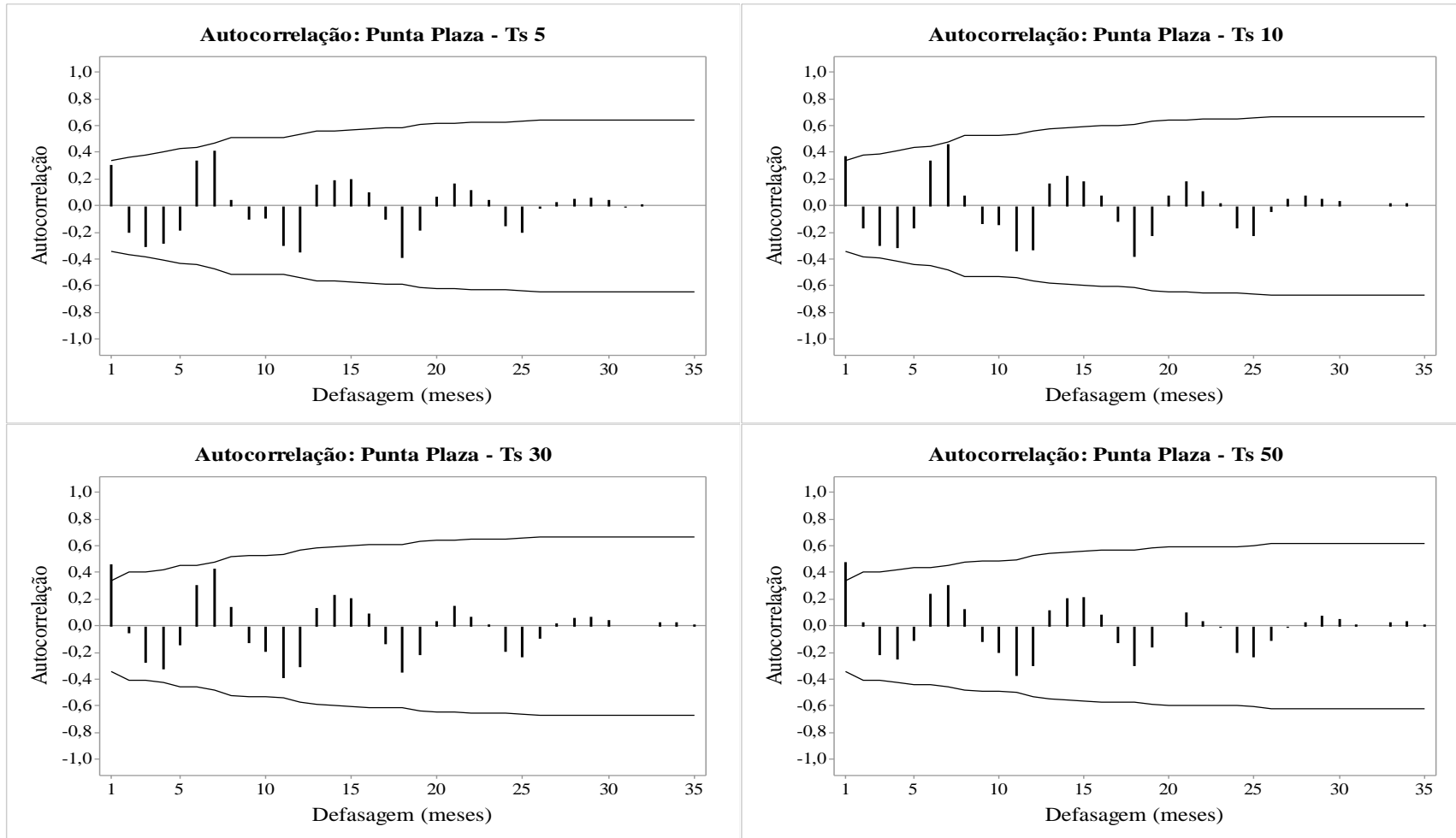
**Figura 1:** Função de autocorrelação com limites de significância de 5 %, para a  $T_{ar}$  e  $T_s$ , em diferentes sítios e profundidades na península de Keller, Antártica.



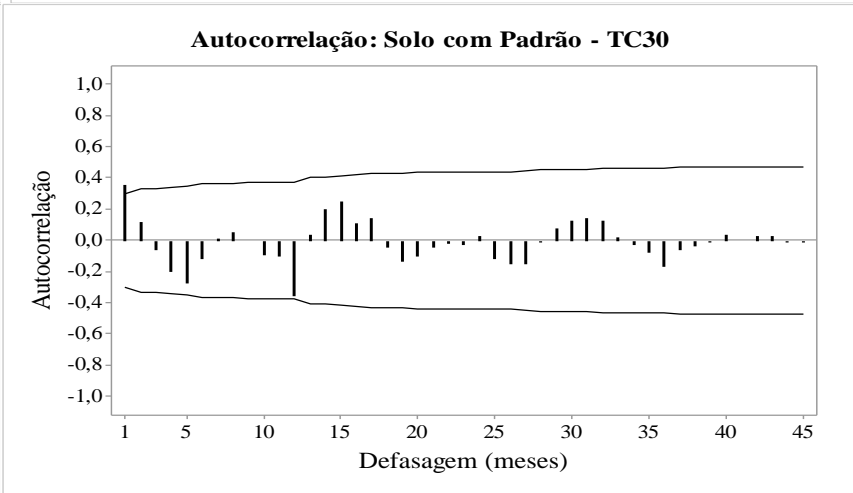
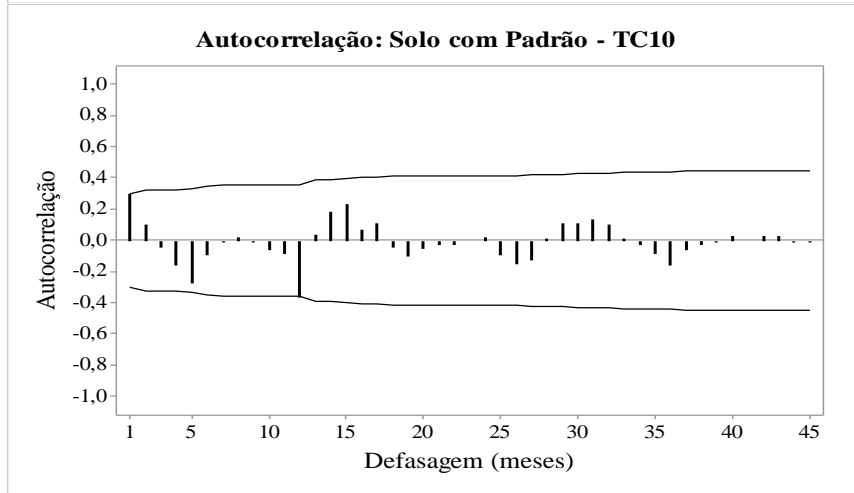
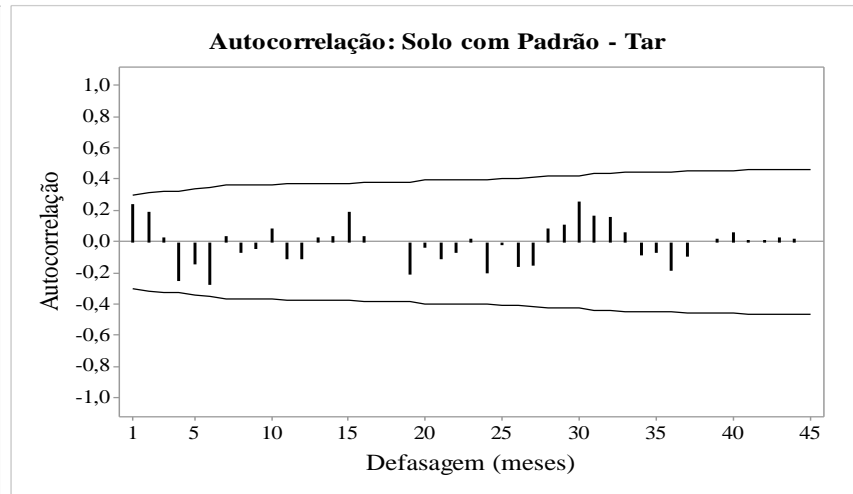
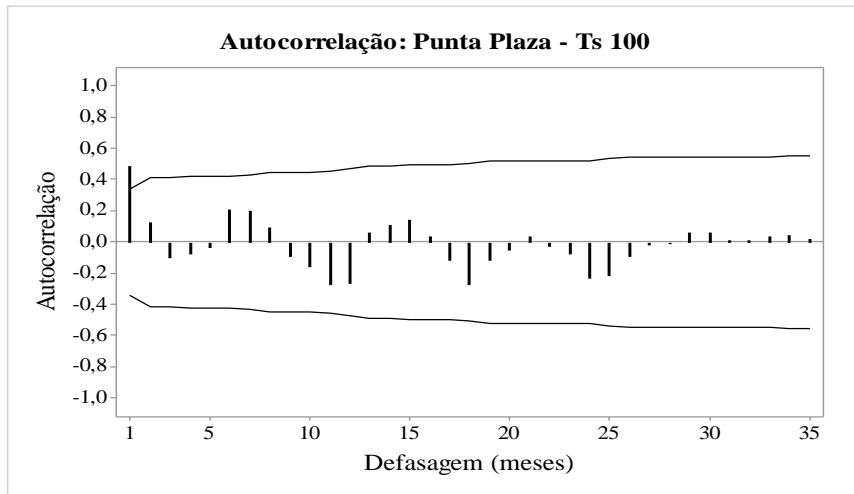
**Figura 1.1:** Continuação.



**Figura 1.2:** Continuação.

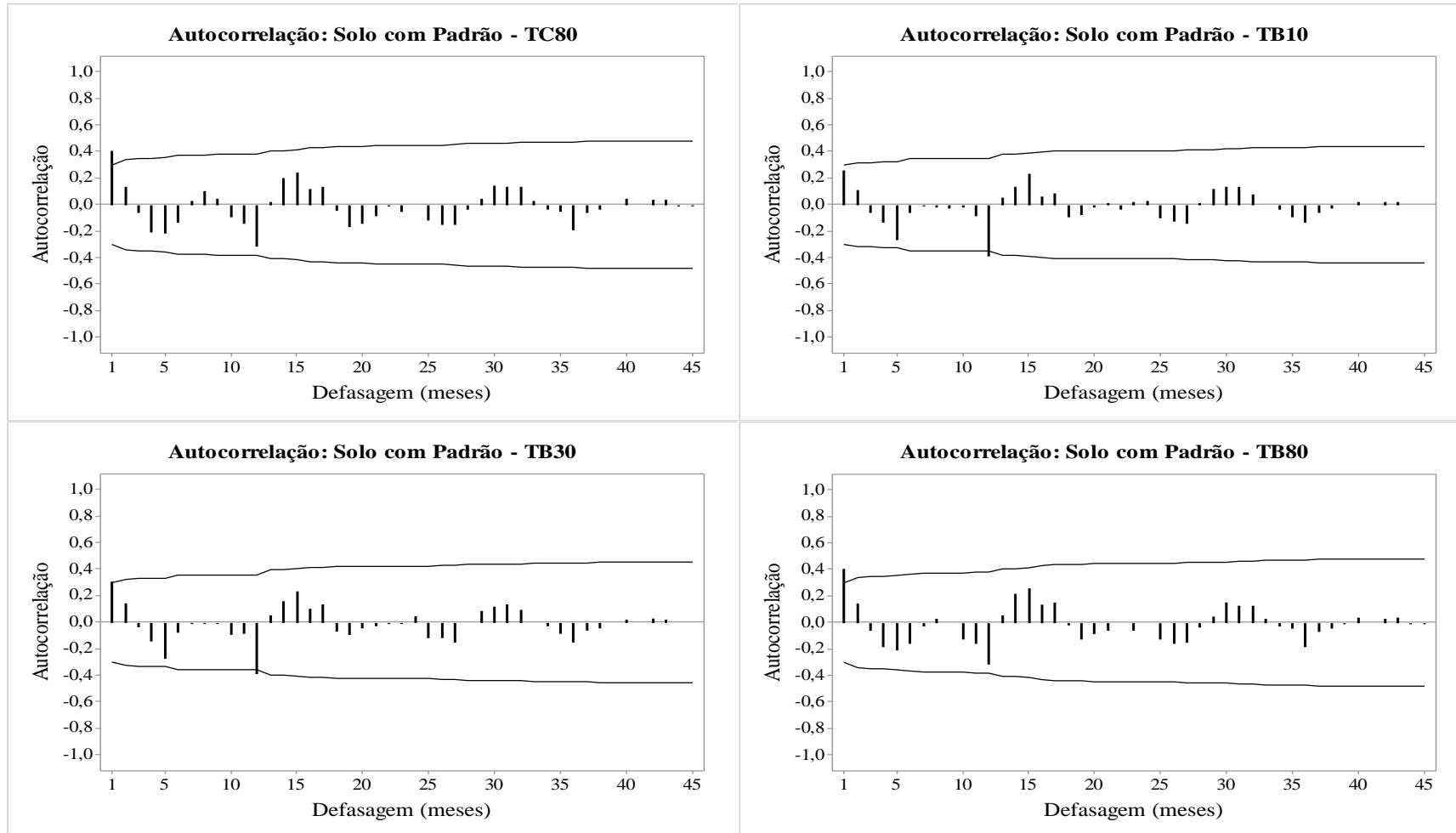


**Figura 1.3:** Continuação.



**Figura 1.4:** Continuação.





**Figura 1.5:** Continuação.

De acordo com a Tabela 1, verificou-se que o valor  $p$  da série, em todos os casos, foi menor que 0,05 %, e a estatística  $\tau$  (tau) foi menor que o valor crítico a 1 % (-2,64 sem constante; -3,58 com constante e -4,15 com constante e tendência) e o valor crítico a 5 % (-1,95 sem constante; -2,93% com constante e -3,50% com constante e tendência). Dessa forma pode-se inferir que todas as séries normalizadas foram estacionárias nos três tipos de processos.

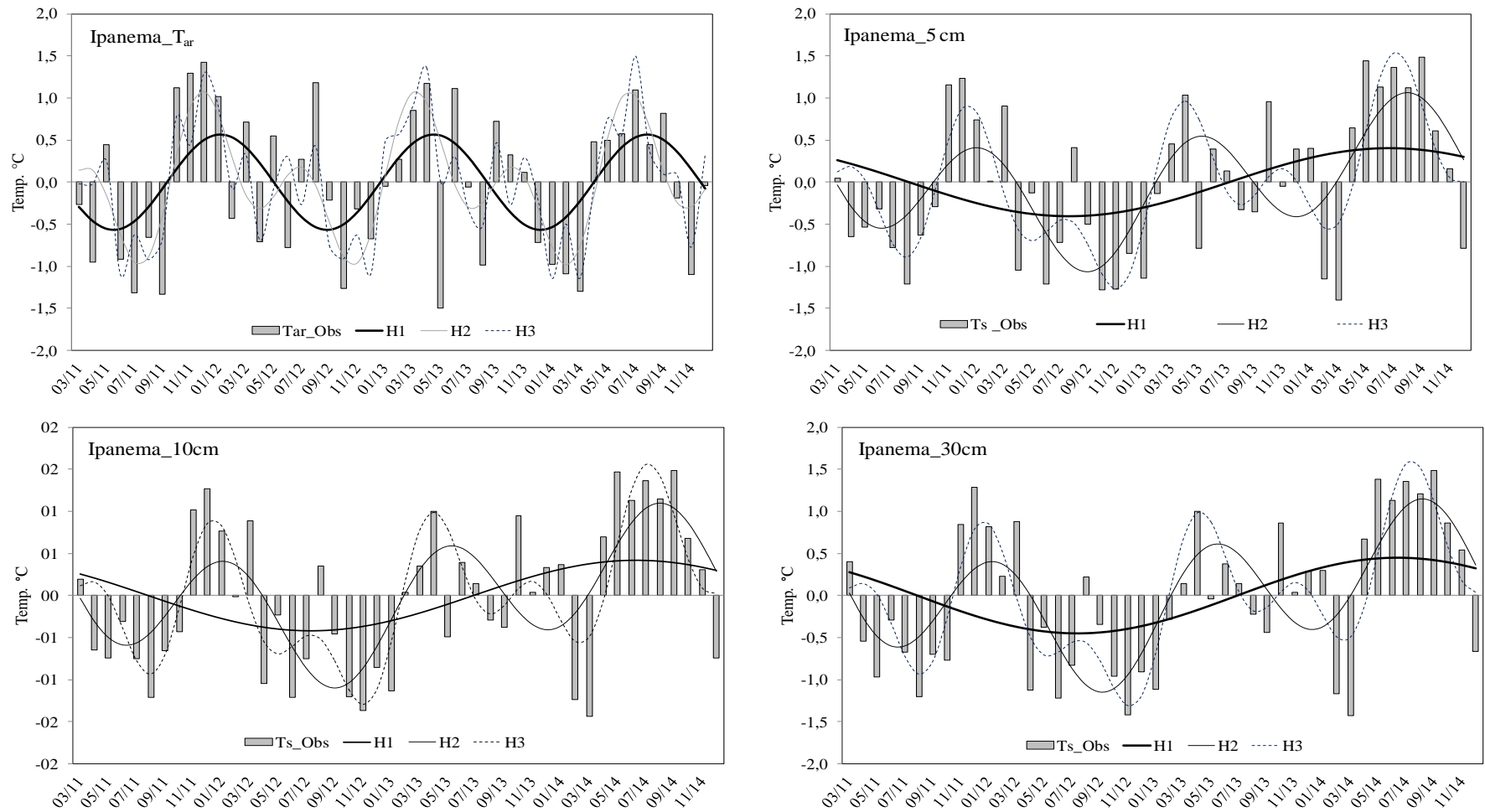
De acordo com a análise espectral, observou-se que a frequência aproximada (+/-) de 0,1 apresentou pico nos periodogramas da  $T_{ar}$ , do índice AAO e do índice SOI próximos. Esses picos correspondem ao 2° e 3° harmônico dos índices AAO e SOI, respectivamente, e a período de aproximadamente 7,7 meses nesses índices e na  $T_{ar}$  nos sítios Ipanema, Refúgio II e Solos com Padrão; e ao período de 7,2 meses no sítio Punta Plaza. Esse período, de 7,7 e 7,2 meses, correspondem ao mesmo período da  $T_s$  em todos os sítios estudados.

Para os sítios Ipanema, Refúgio II e Solo com Padrão, na análise harmônica (Figura 2) observou-se que o período de aproximadamente 7,7 meses apresentou maior repetição em todas as profundidades do solo e na temperatura do ar. Esse padrão foi observado com a soma de três harmônicos para o 1° e 2° sítio e também para o sítio Solo Padrão à profundidade de  $TB_{10}$ . Este último sítio, nas demais profundidades, apresentou este padrão (7,7 meses, no 3° harmônico) na soma de dois harmônicos. Através do gráfico de dispersão (Figura 3) esse resultado foi o que mais explicou a variabilidade dos dados ( $r^2$ ), ou seja, mais de 60, 50 e 30 %, da temperatura do solo foram explicados pela soma dos harmônicos, no caso do sítio Ipanema, Solo com Padrão e Refúgio II, respectivamente. Para Punta Plaza foi observado um período repetido de 7,2 meses em todas as profundidades, sendo mais de 70 % deste padrão explicado pela soma de três harmônicos da temperatura do solo.

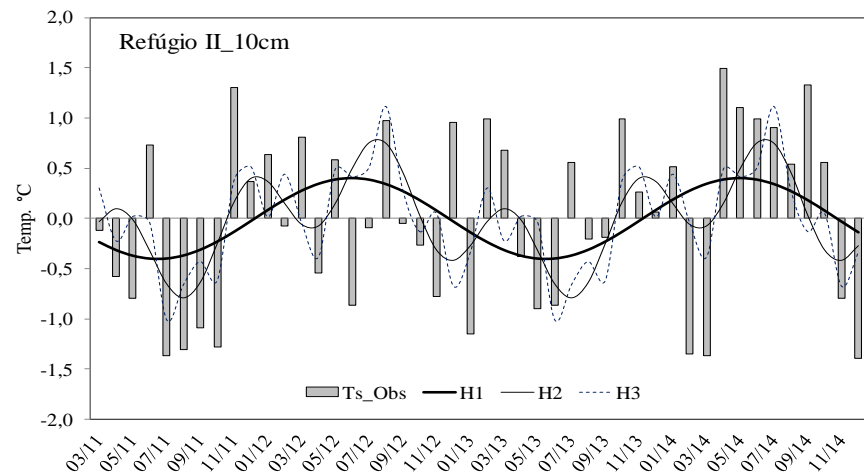
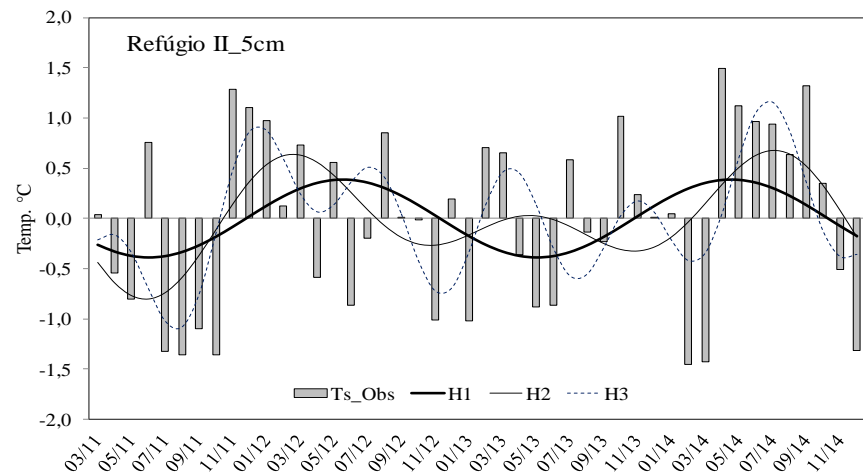
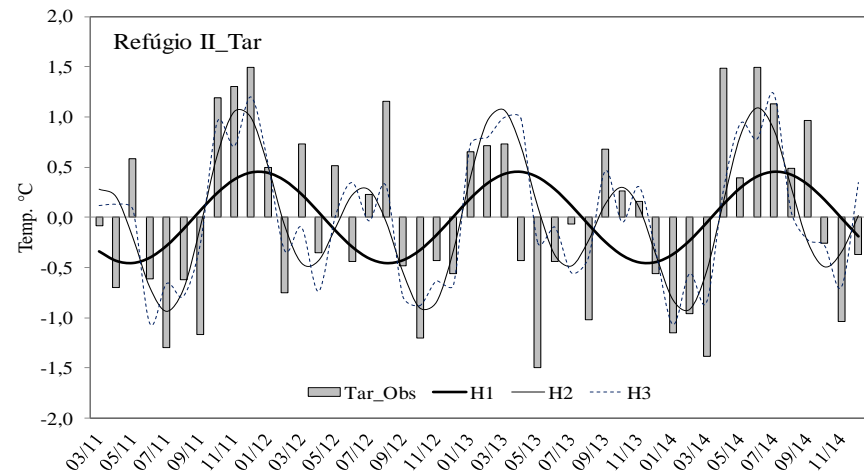
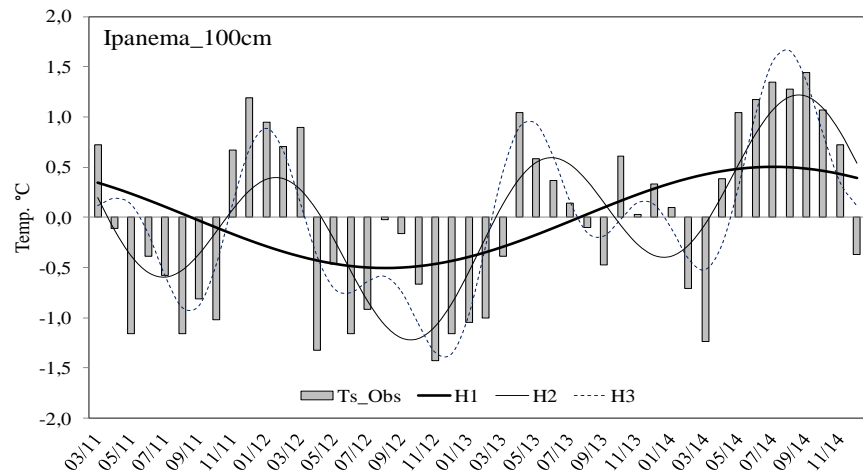
**Tabela 1:** Teste de Dickey Fuller aumentado para as séries de temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) e temperatura do solo (Ts) na Península de Keller, Antártica.

Teste Aumentado de Dickey-Fuller : Critério		S/constante		C/constante		C/constante e tendência	
Sítios		<i>p_valor</i>	<i>Estatística t (tau)</i>	<i>p_valor</i>	<i>Estatística t (tau)</i>	<i>p_valor</i>	<i>Estatística t (tau)</i>
Ipanema	Tar	1,1E-07	-5,8	8,9E-07	-5,0	8,7E-06	-5,0
	Ts 5	1,3E-04	-4,1	4,6E-06	-5,0	1,2E-06	-4,9
	Ts 10	1,0E-04	-3,9	2,3E-07	-5,6	1,6E-06	-4,8
	Ts 30	5,3E-04	-3,6	8,4E-06	-4,8	1,2E-05	-4,4
	Ts 50	—	—	1,5E-05	-4,7	7,7E-04	-3,6
	Ts 100	1,9E-03	-3,2	5,7E-05	-4,3	9,3E-04	-3,5
Refúgio II	Tar	1,0E-04	-4,5	3,3E-05	-4,9	3,2E-04	-4,9
	Ts 5	3,0E-03	-4,0	1,0E-04	-4,9	4,2E-05	-4,8
	Ts 10	5,0E-03	-3,8	2,5E-05	-5,6	5,6E-05	-4,8
	Ts 30	9,6E-03	-3,6	1,0E-04	-4,8	1,1E-02	-3,6
	Ts 50	—	—	5,0E-04	-4,6	1,3E-02	-3,5
	Ts 100	2,8E-02	-3,2	1,5E-03	-4,3	1,6E-02	-3,5
Punta Plaza	Tar	—	—	—	—	—	—
	Ts 5	7,0E-03	-4,3	1,1E-03	-5,0	1,9E-07	-6,3
	Ts 10	1,1E-02	-4,2	1,1E-04	-5,7	1,7E-06	-5,9
	Ts 30	1,8E-02	-3,9	1,8E-03	-4,8	1,0E-04	-5,0
	Ts 50	—	—	2,6E-03	-4,7	6,8E-04	-4,7
	Ts 100	5,0E-02	-3,5	5,7E-03	-4,4	3,4E-06	-5,8
Solo com Padrão	Tar	2,4E-06	-5,1	1,2E-04	-5,1	9,0E-04	-5,0
	TB 10	3,3E-06	-5,1	1,0E-04	-5,0	7,8E-04	-5,1
	TB 30	9,5E-06	-4,8	3,4E-04	-4,8	1,5E-03	-4,9
	TB 80	6,1E-05	-4,3	1,5E-03	-4,3	5,9E-03	-4,4
	TC10	6,4E-06	-4,9	1,0E-04	-4,9	1,1E-03	-5,0
	TC 30	2,1E-05	-4,6	6,5E-04	-4,5	2,7E-03	-4,7
	TC80	5,3E-05	-4,3	1,4E-03	-4,3	5,0E-03	-4,4

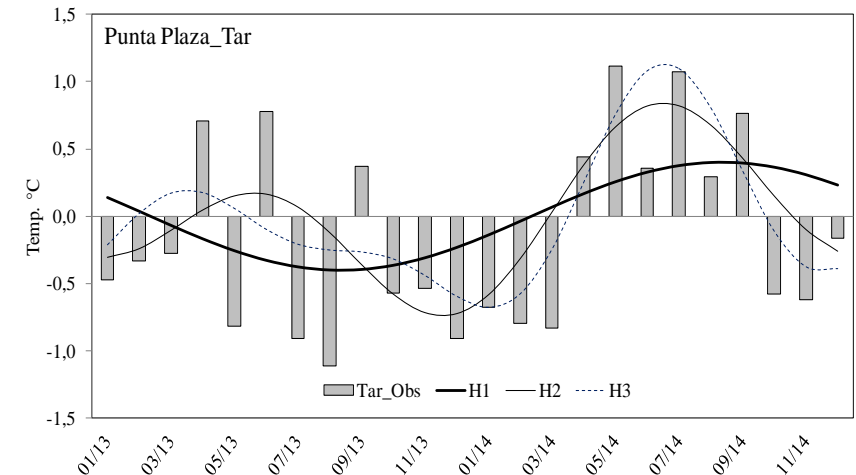
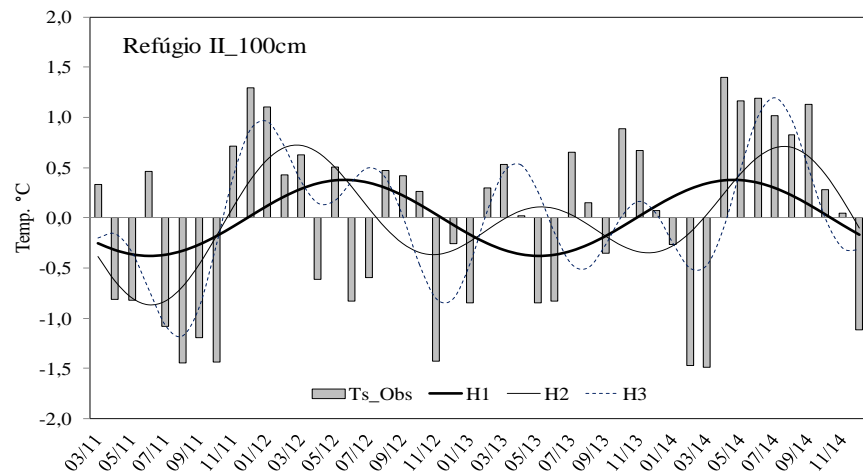
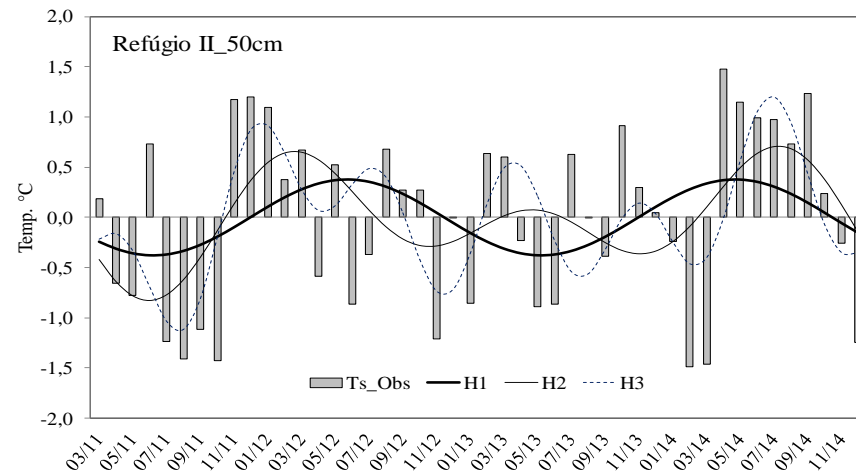
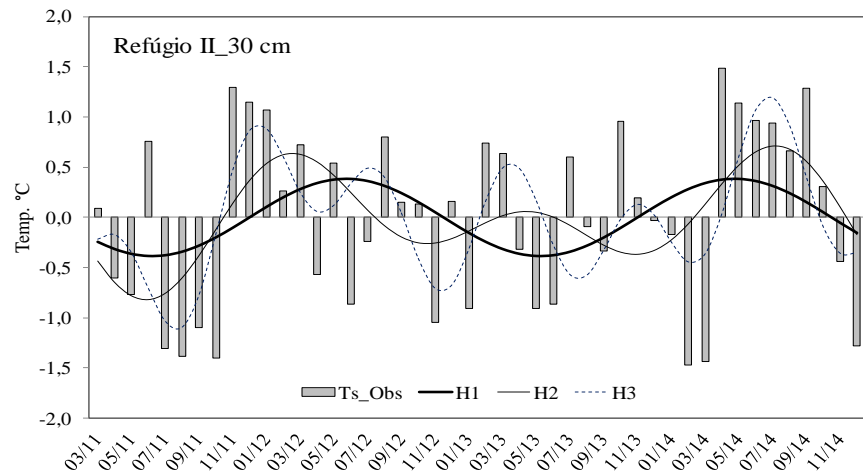
Ts = Temperatura do solo à profundidade de 10, 30, 50 e 100 cm e TC/TB = temperatura do solo a 10, 30 e 80 cm de profundidade; s/constante = sem constante; c/constante = com constante.



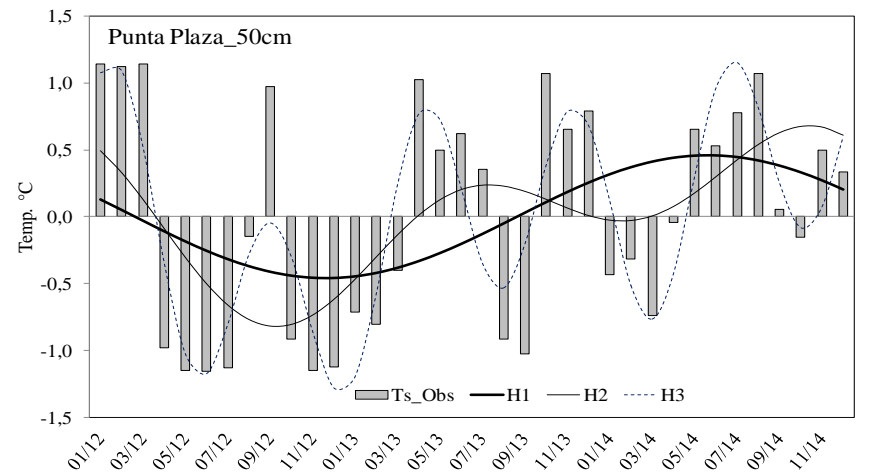
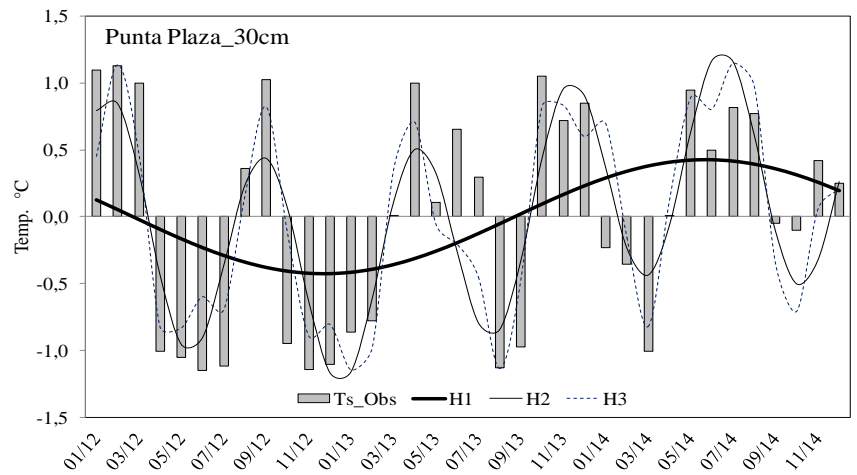
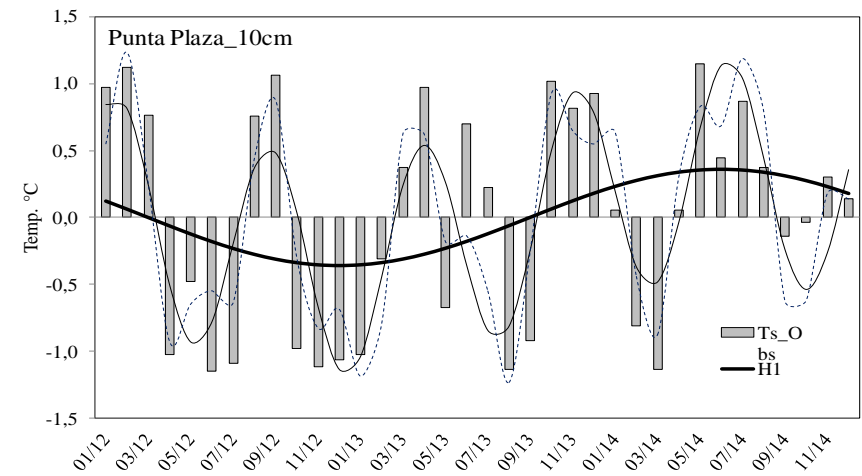
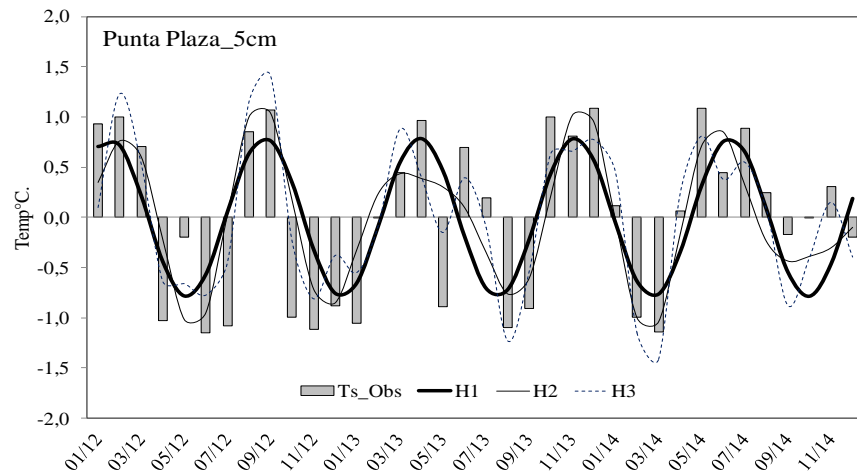
**Figura 2:** Análise harmônica da temperatura do ar (Tar) e do solo (Ts) em diferentes sítios e profundidades e índice MEI (*Multivariate ENSO Index*), SOI (*Southern Oscillation Index*) e AAO (*Antarctic Oscillation Index*) na Península de Keller, Antártica.



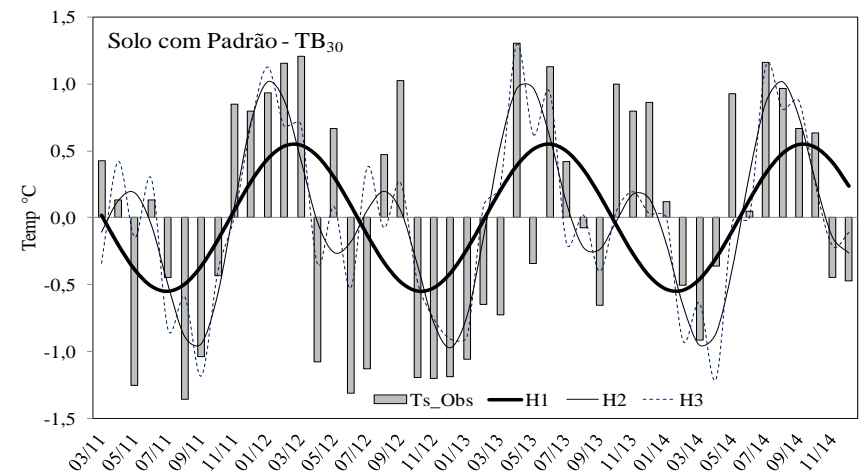
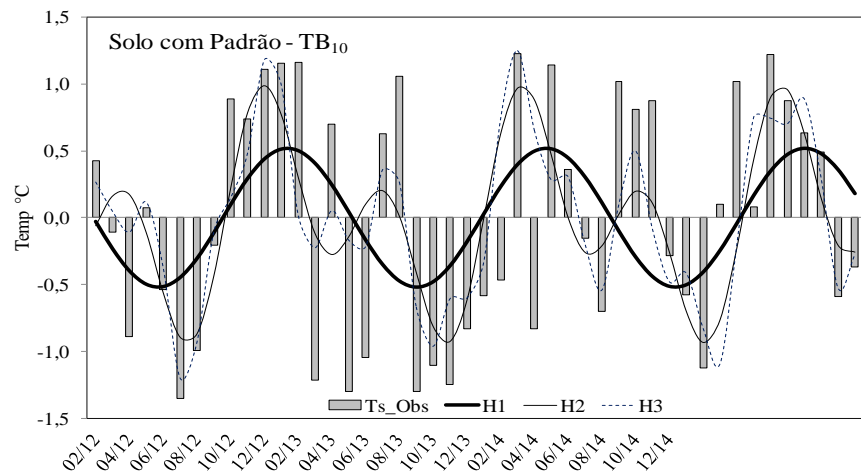
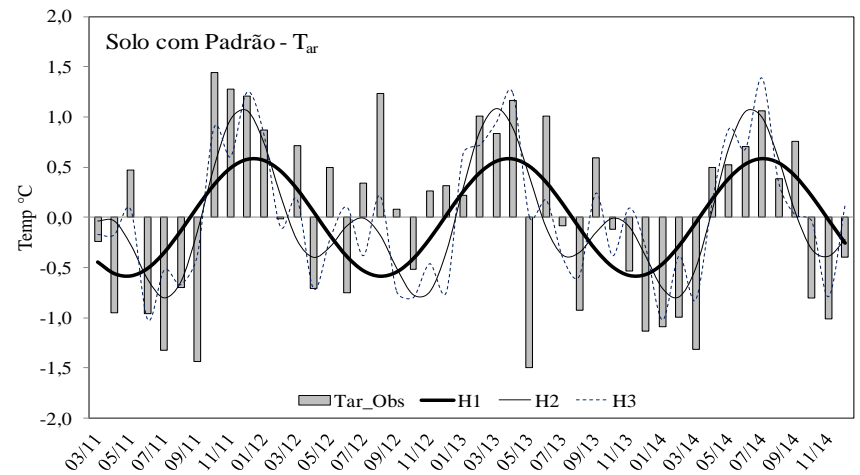
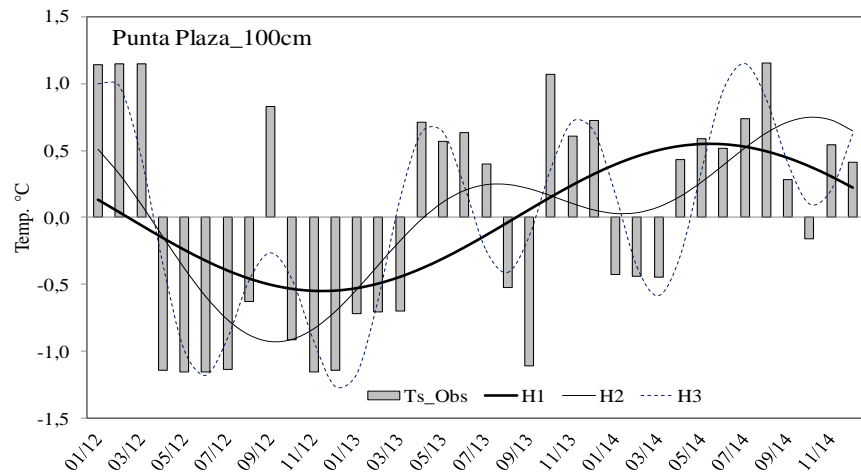
**Figura 2.1:** Continuação.



**Figura 2.2:** Continuação.



**Figura 2.3:** Continuação.



**Figura 2.4:** Continuação.



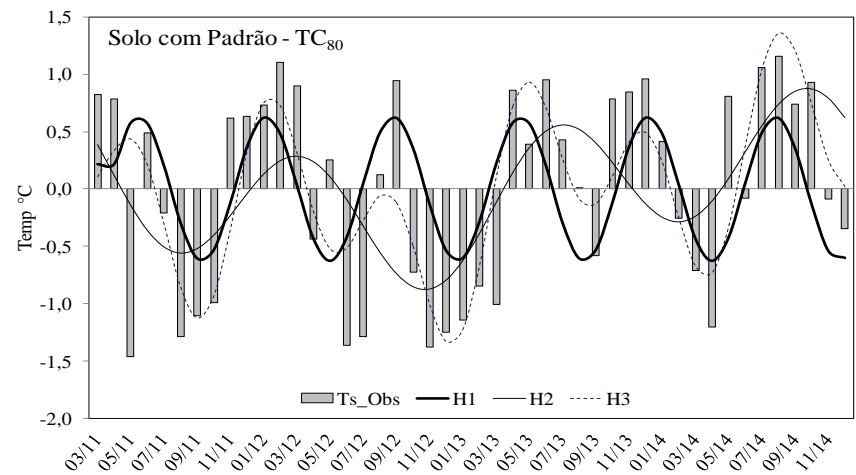
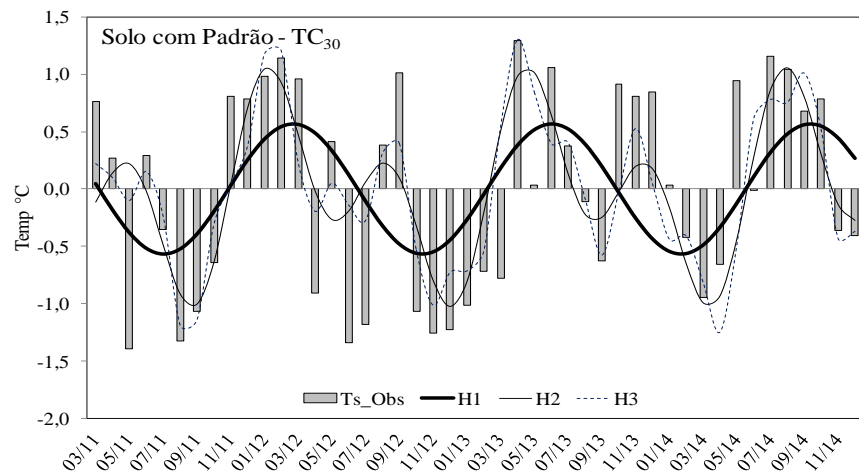
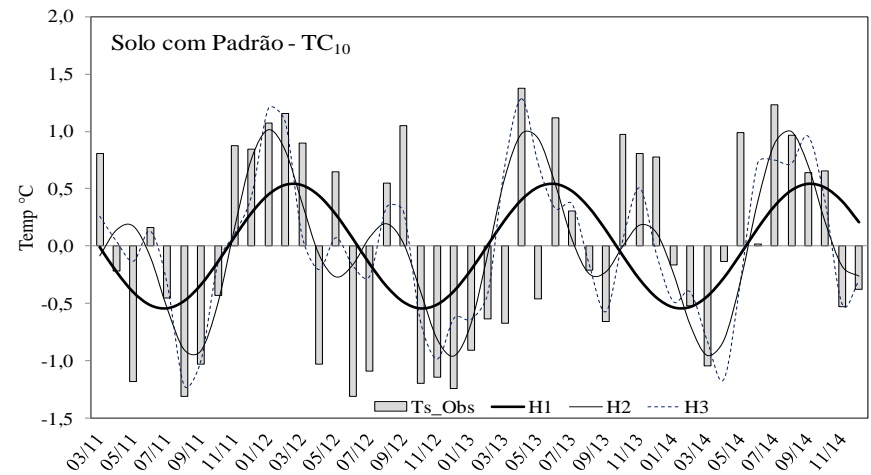
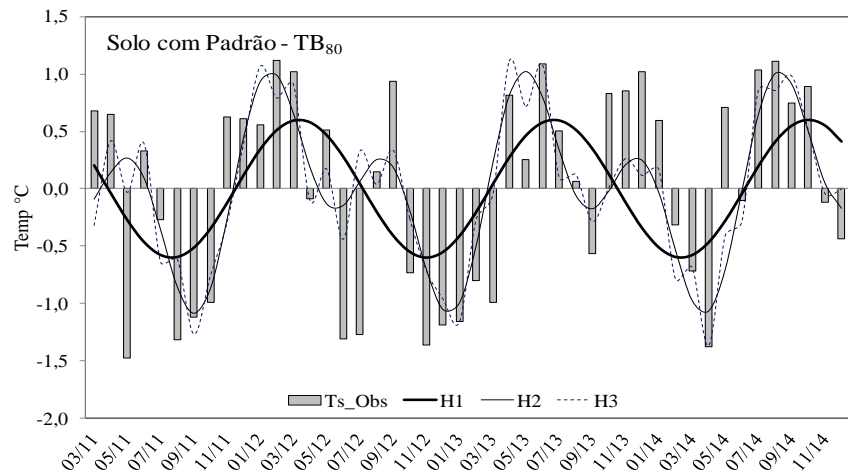


Figura 2.5: Continuação.

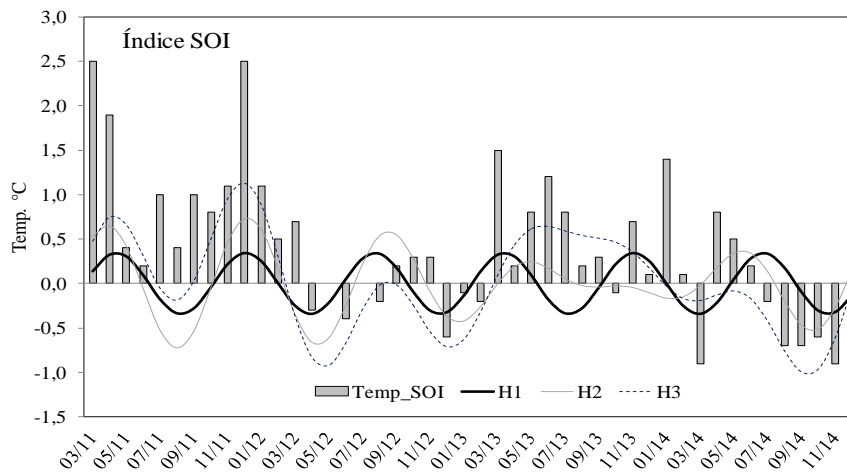
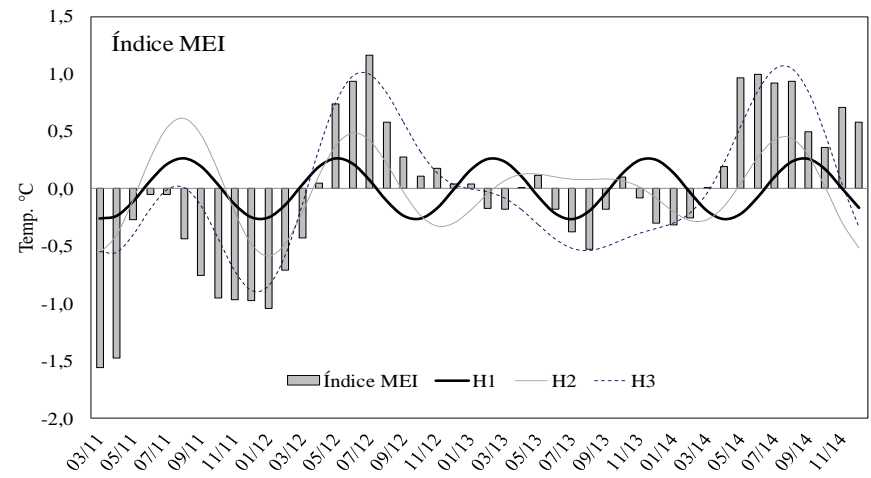
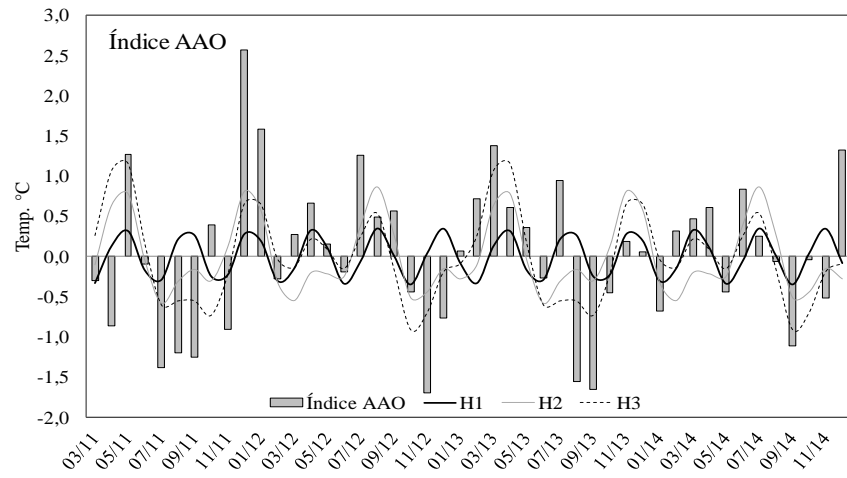
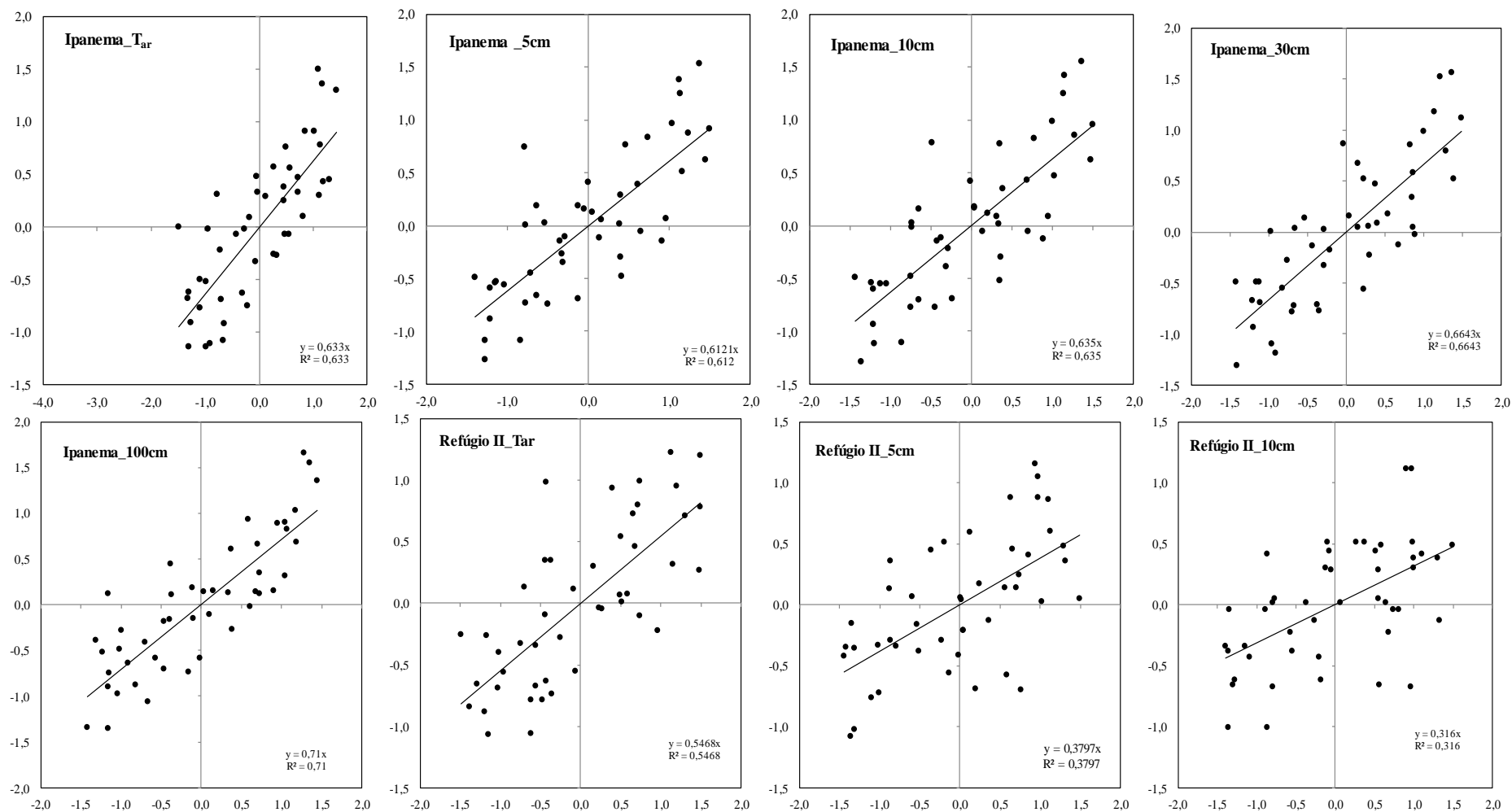


Figura 2.6: Continuação.



**Figura 3:** Tendência linear entre as anomalias da temperatura do ar, do solo, índices MEI, SOI e AAO e a composição dos três harmônicos com seus respectivos coeficientes de determinação ( $r^2$ ), na península de Keller, Antártica.

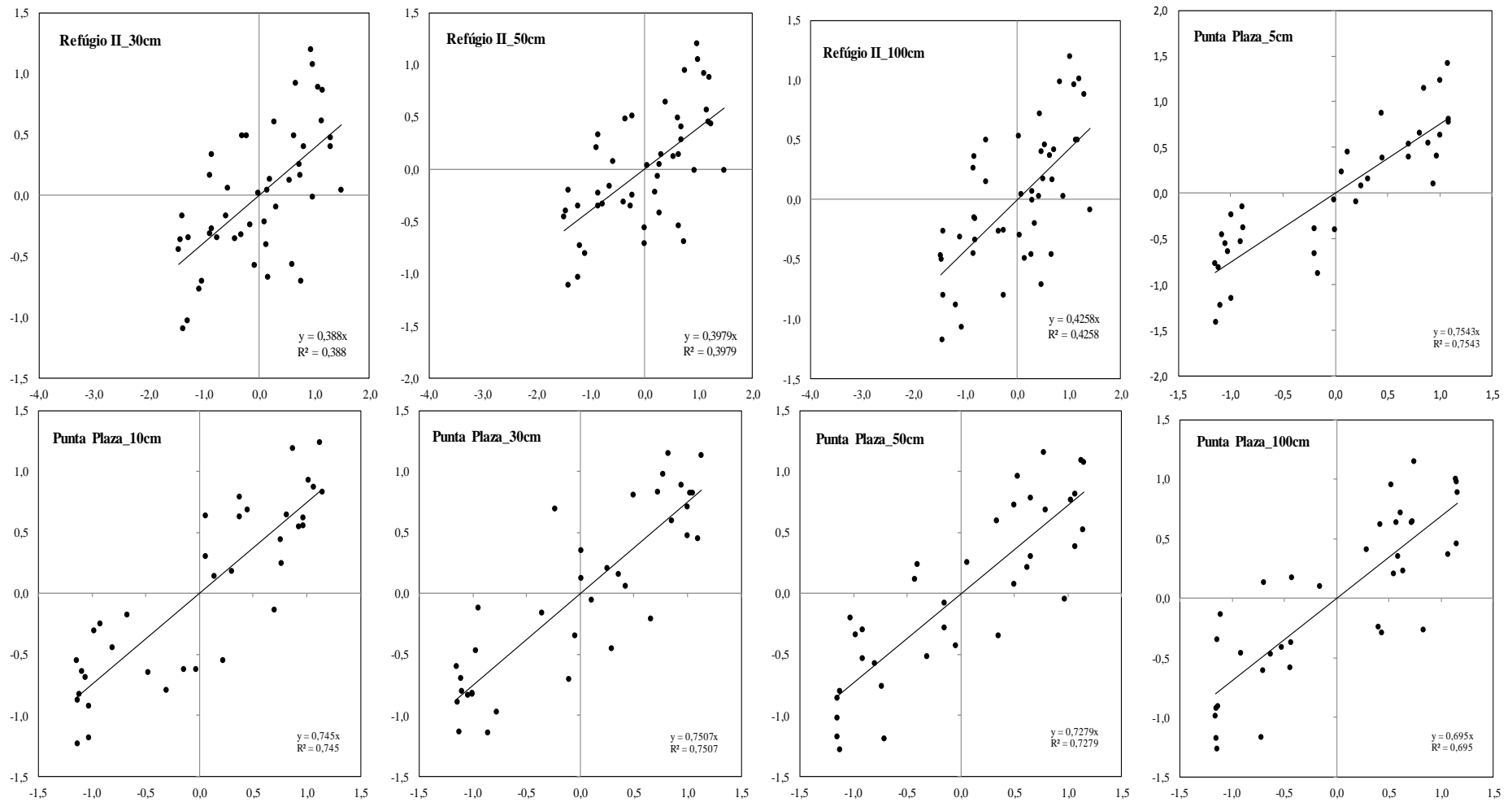
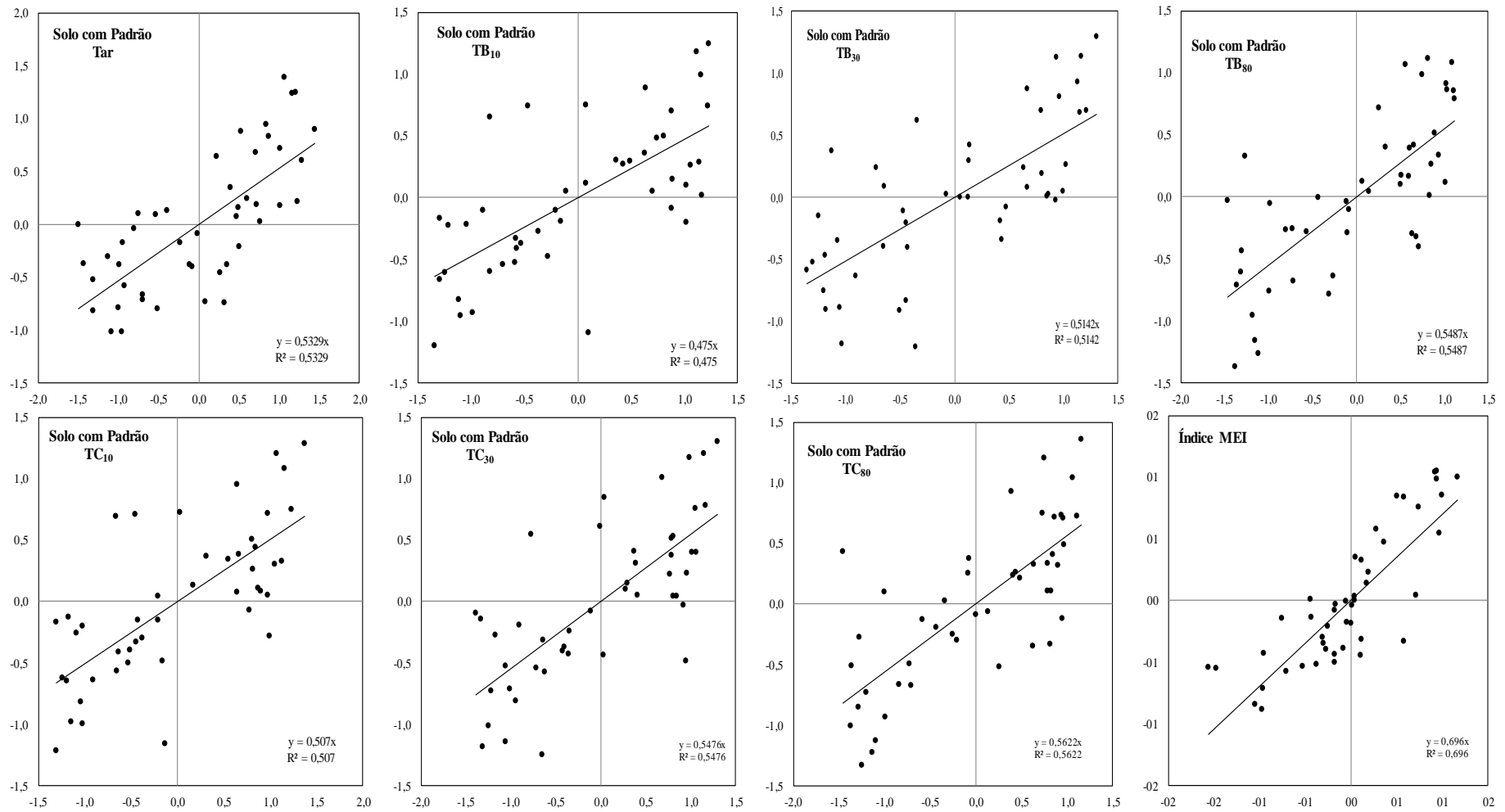
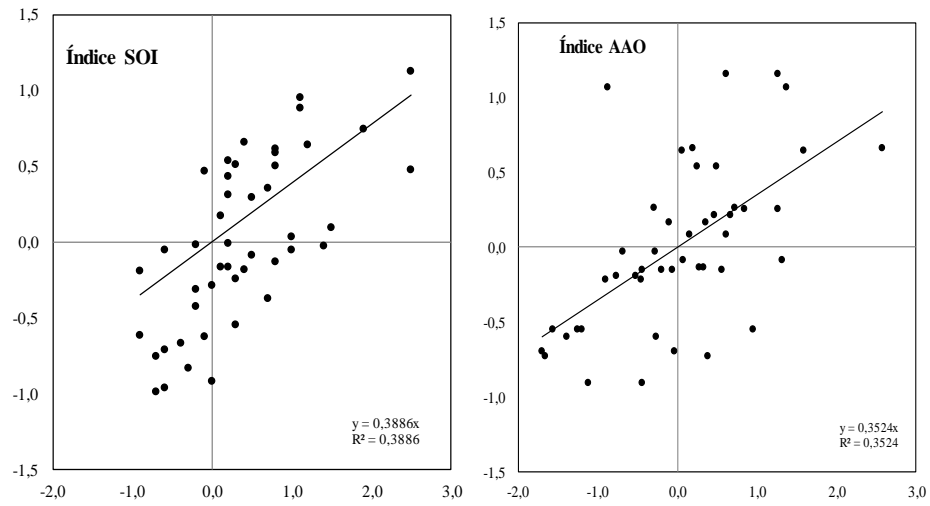


Figura 3.1: Continuação.

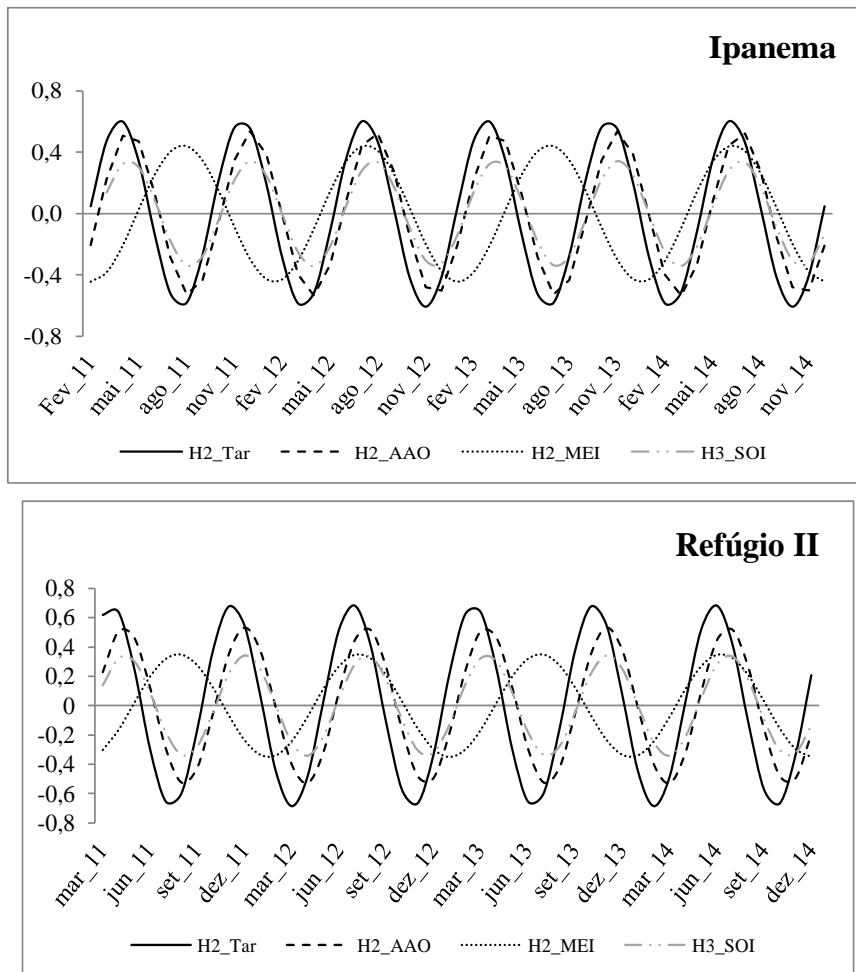


**Figura 3.2:** Continuação.

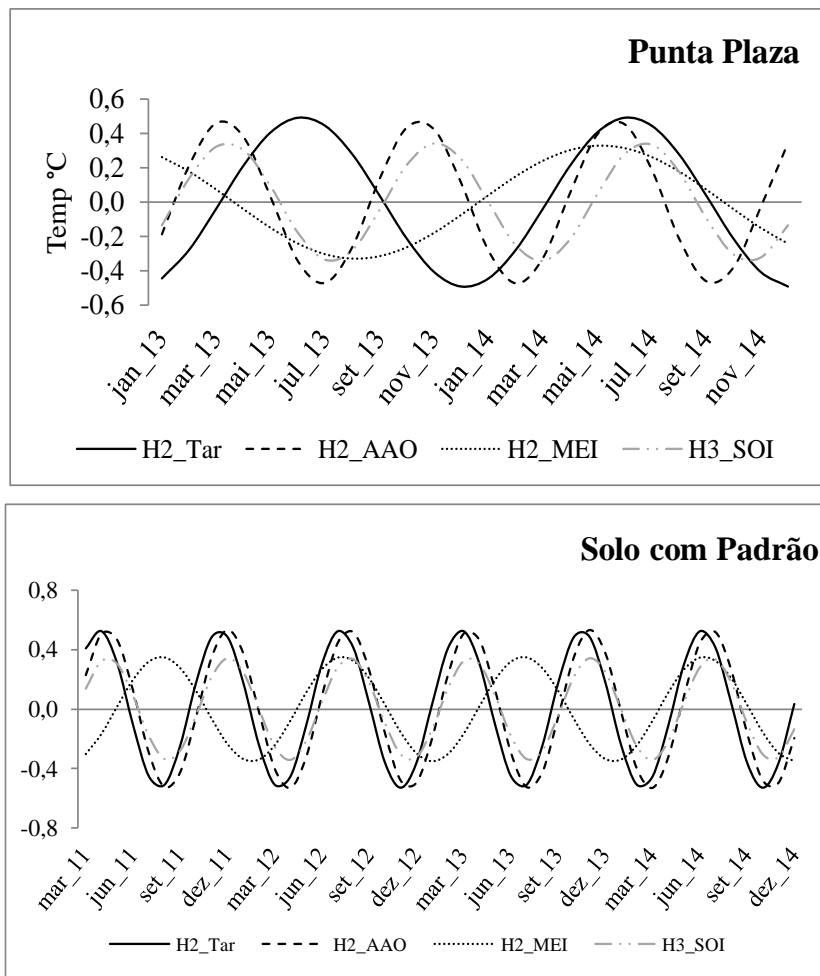


**Figura 3.3:** Continuação.

Quando se plota, o 2º harmônico (H2) ou 3º harmônico (H3, no caso do índice SOI) mais dominante com a  $T_{ar}$  (Figura 4) verificou-se que a  $T_{ar}$ , o índice AAO e o índice SOI se encontram em fase, ou seja, são coincidentes. Contudo pode-se afirmar que os modos de variabilidade climática que influenciaram a  $T_{ar}$  nesses sítios, entre os anos de 2011 a 2014, na Antártica foram os índices AAO e SOI. Esse resultado corrobora com os da correlação cruzada (vide Capítulo I) e também com aqueles encontrados por Lindemann & Justino (2015). Em Punta Plaza os índices AAO e SOI não se encontram em fase com a  $T_{ar}$ . A falha dessa temperatura em 2012 e também a falta dos dados de  $T_{ar}$  em 2011 pode ter contribuído para este resultado.



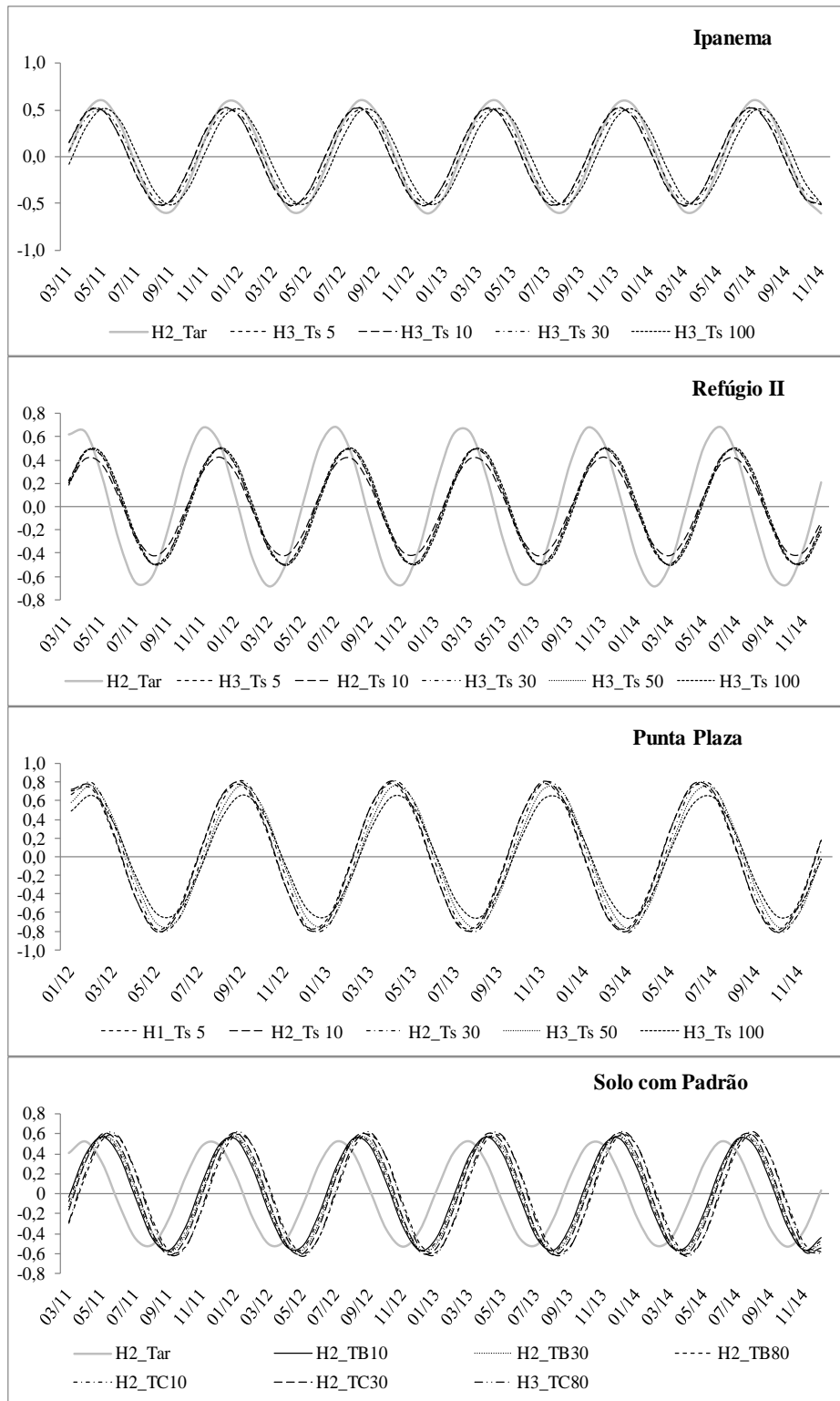
**Figura 4:** Segundo e terceiro harmônico (H2 e H3) das Anomalias da  $T_{ar}$  e índices AAO (*Antarctic Oscillation Index*), SOI (*Southern Oscillation Index*) e MEI (*Multivariate ENSO Index*) na península de Keller, Antártica.



**Figura 4.1:** Continuação

Comparando o 2º harmônico da  $T_{ar}$  com o 2º ou 3º harmônico da  $T_s$  a várias profundidades observou-se um período de quatro meses com fase negativa e quatro meses de fase positiva que se alternam durante os anos (Figura 5). Resultado semelhante ao encontrado por Salamene (2013), que como este trabalho, em ambientes periglaciais, o efeito da sazonalidade pode ser dividido em três períodos de quatro meses ao longo do ano.





**Figura 5:** Primeiro, segundo e terceiro harmônico (H1, H2 e H3) das Anomalias da  $T_{ar}$  e do solo (Ts) a várias profundidades, na península de Keller, Antártica.

## 6. CONCLUSÕES

A região apresenta um período de quatro meses com fase negativa e quatro meses de fase positiva que se alternam durante os anos assim, o efeito da sazonalidade pode ser dividido em três períodos de quatro meses ao longo do ano.

As análises harmônica e espectral permitiram identificar os períodos de maiores frequências que se repetiram em intervalos regulares de tempo, que estão relacionados com os modos de variabilidade climática AAO e SOI. No período observado (quatro anos) pode-se concluir que os resultados foram satisfatórios para expressar o modelo da temperatura do solo em diferentes profundidades na região estudada.

E as análises harmônica e espectral podem ser usadas com a finalidade de comparar o regime térmico da camada ativa com variáveis meteorológicas e poderão contribuir para um monitoramento ambiental da região.

## 7. CONCLUSÕES GERAIS

Na Península Keller observou-se tendência de aquecimento entre os anos de 2011 a 2014, cuja temperatura do ar em todos os sítios de monitoramento aumentou nesse período. A temperatura do solo diminui com a diminuição da profundidade, e esta acompanha a temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), mas com atraso de fase de até 18 dias entre elas no sítio Solo com Padrão.

Os sítios de Keller mostraram ser diferentes devido a sua cobertura vegetal e à de neve. O isolamento térmico proporcionado principalmente pela cobertura vegetal mostra que a temperatura do solo se mantém superior naqueles sítios cuja cobertura vegetal é bastante densa como nos sítios Ipanema e Refúgio II. No sítio Solo com padrão e Punta Plaza, com isolamento térmico ocorrido principalmente sob neve, o *permafrost* é encontrado a 0,75 e 0,97 metros de profundidade no solo, respectivamente; enquanto que o sítio Refúgio II e Ipanema, cuja cobertura da neve é menor, o *permafrost* pode ser encontrado a uma profundidade superior a 1,22 e 1,17 metros respectivamente.

A modelagem da temperatura do solo pelo método da difusividade térmica aparente do solo é satisfatória. Contudo, existe a necessidade de descartar os valores da variação da média da temperatura do solo que se aproximam de  $\pm 0,03$  °C, devido ao erro apresentado pelo método. A difusividade térmica aparente do solo é maior à superfície, contudo no verão a DTA apresentou valores positivos enquanto no inverno os valores de DTA são negativos a superfície. A espessura da cobertura da neve e a precipitação em forma líquida no inverno contribuem para esse resultado. O regime térmico do solo variou entre os sítios e entre os anos, contudo os sítios que apresentam mais tempo sob o regime de cortina zero apresentam *permafrost* mais próximo à superfície.

As análises harmônica e espectral mostram que o período de maior frequência foi o sazonal com ocorrência a cada 7,7 meses, esse período coincide com os índices AAO e SOI, respectivamente. Contudo o evento AAO possui maior correlação positiva com a  $T_{ar}$  do que o evento SOI (ENOS), sendo a defasagem no tempo em ambos os eventos próximas.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, M. Processos Estocásticos. In: Capítulo 5: Introdução às séries temporais e aos modelos ARIMA. Ed. Publit. Rio de Janeiro. 432p. 2004.
- BERTOLO, L. A. Técnicas de Previsão de Box-Jenkins - ARIMA. Catanduva: IMES. 52p. 2009.
- BOIASKI, N. T.; FERRAZ, S. E. T.; TATSCH, J. D. Variabilidade intrassazonal extrema da temperatura do ar à superfície na Península Antártica. *Ciência e Natura*, v. 36 n., p. 492-500, 2014.
- BROCKWELL, P. J.; DAVIS, R. A. *Times Series: Theory and Methods*. 2ª edição. Springer-Verlag. New York. 577 p. 1991.
- EHLERS, R. S. Análise de Séries Temporais. Disponível em: <http://www.icmc.usp.br/ehlers/stemp/stemp.pdf>. Acessado em 31/03/2014. 94 p. 2009.
- FELIPE, I. J. S. Aplicação de modelos ARIMA em séries de preços de soja no norte do Paraná. *Tekhne e Logos*, v.3, n.3, p.1-17, 2012.
- FISCHER, S. Séries univariantes de tempo: metodologia de Box and Jenkins. Porto Alegre, FEE, 1982. p. 186. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1982.
- FRANCELINO, M. R., SCHAEFER, C. E. G. R., FERNANDES-FILHO, E. I. Temperatura do solo em áreas livres de gelo da Baía do Almirantado, Ilha Rei George: relações pedogenéticas. In 'Proceedings of the V Simposio Argentino y I Latinoamericano sobre Investigaciones Antárticas' (Instituto Antártico Argentino). Buenos Aires, Argentina. Disponível em: <http://www.dna.gov.ar/ciencia/santar04/cd/pdf/104gh.pdf>. (Acessado em: 08 de março de 2014) pp. 104-107. 2004.
- GRUBER, S., HAEBERLI, W. Chapter 3 - Mountain *Permafrost* in: *Permafrost Solis*. Soils Biology. MARGESIN, R. (editor). v.16, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. p. 33-44. 2009.
- GUJARATI, DAMODAR N.; PORTER, DAWN C. *Econometria Básica*. In: Capítulo 21: Econometria de séries temporais: alguns conceitos básicos. pp. 731 a 766. 5 ed. AMGH editora, 923p. 2011.
- JOAO, M. M. Análise do comportamento das temperaturas máxima e mínima médias mensais para o estado do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. 138p. 2009.
- LINDEMANN, D. S., JUSTINO, F. B. A Influência dos modos de variabilidade climática na temperatura em superfície na Antártica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.30, n.2, 214 - 222, 2015.
- MUDELSEE, M.: *Climate Time Series Analysis: Classical Statistical and Bootstrap Methods*, springer, Dordrecht, 474p. 2010.

SALAMENE, S. Regime térmico da camada ativa na Península Keller, Ilha Rei George, Antártica (2008-2011): contribuição ao monitoramento de ambientes periglaciais. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais). UFRJ. Seropédica. 77p. 2013.

THROOP, J. Spatial and Temporal Variability in *Permafrost* Conditions, Northern Canada Tese. Department of Geography. Faculty of Arts. University of Ottawa. Ottawa, Canada. 208p. 2010.

VOGT, S., BRAUN, M. Influence of glaciers and snow cover on terrestrial and marine ecosystems as revealed by remotely-sensed data. *Pesquisa Antártica Brasileira*, 4: 105-118. 2004.