

CLEVERSON VIEIRA PIRES

**MATÉRIA ORGÂNICA DE SOLOS DA ANTÁRTICA MARÍTIMA:
IMPACTO DO AQUECIMENTO GLOBAL SOBRE OS
ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO, E SUA
MODELAGEM**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como parte
das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Solos e Nutrição de Plantas,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P667m
2010

Pires, Cleverson Vieira, 1980-

Matéria orgânica de solos da Antártica Marítima : impacto do aquecimento global sobre os estoques de carbono e nitrogênio, e sua modelagem / Cleverson Vieira Pires.

– Viçosa, MG, 2010.

xi, 93f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Eduardo Sá Mendonça.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Solo - Antártida. 2. Húmus. 3. Sequestro de carbono - Modelos matemáticos. 4. Aquecimento global. 5. Antártida.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 631.417

CLEVERSON VIEIRA PIRES

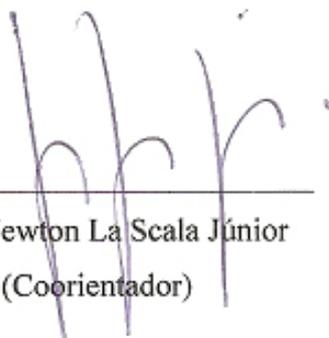
**MATÉRIA ORGÂNICA DE SOLOS DA ANTÁRTICA MARÍTIMA:
IMPACTO DO AQUECIMENTO GLOBAL SOBRE OS
ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO, E SUA
MODELAGEM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 03 de dezembro de 2010.



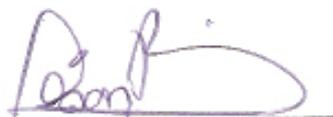
Prof. Carlos Ernesto G. R. Schaefer
(Coorientador)



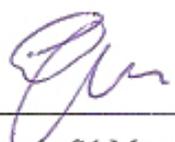
Prof. Newton La Scala Júnior
(Coorientador)



Prof. Felipe N. B. Simas



Prof. César Reis



Prof. Eduardo Sá Mendonça
(Orientador)

*Dedico ao meu Pai e à minha Mãe,
que sempre me incentivaram e me
ensinaram o que realmente
importa na vida.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder a vida e permitir o convívio com as boas pessoas que tenho encontrado pelo caminho.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos (DPS), por me propiciar a estrutura e o apoio necessários para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro sob a forma de concessão de bolsa de mestrado.

Ao Professor Eduardo Sá Mendonça, pelos ensinamentos e pela força transmitida em minha orientação.

Ao Professor Carlos Ernesto G. R. Schaefer, pelas valiosas contribuições, como coorientador, para a conclusão deste trabalho. Ao Professor Newton La Scala Júnior, pela grande dedicação em minha coorientação, apesar da distância. Aos Professores Felipe N. B. Simas e César Reis, pelas importantes orientações na conclusão deste trabalho. À Professora Maria Catarina Kasuya pelo grande apoio com valiosas sugestões.

Ao Professor Dejair Message, pela amizade, por ter me iniciado no universo das pesquisas e pelos grandes ensinamentos sobre a vida e sobre as abelhas.

A todas as professoras e todos os professores que participaram de minha formação, desde a infância, até hoje.

Ao Químico Arthur Hashiguchi, pela grande contribuição na execução das análises que permitiram a execução deste trabalho.

Ao Engenheiro Agrônomo Emerson pela grande ajuda com a modelagem no programa Century.

Aos meus pais, por terem me ensinado o que realmente importa na vida.

Aos meus irmãos, Aureliano, Aldrin, Christiano e Vanessa pela força e incentivo ao seguir este caminho. Um especial agradecimento ao Aldrin pela ajuda com as análises estatísticas.

À Sofia e à Mari, pelos momentos felizes que passamos juntos.

Aos amigos pós-graduandos do DPS, pelo companheirismo.

Aos grandes amigos, do presente e do passado, alguns com os quais não tenho mais contato, por terem compartilhado momentos importantes da minha vida e

formação. Em especial aos companheiros do movimento estudantil e GAAV, nos tempos de graduação.

Aos funcionários do DPS, especialmente à Cláudia e Luciana, da Secretaria de Pós Graduação, ao Brás e Lula, do Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos e ao Sr. Tião, da Biblioteca.

BIOGRAFIA

Cleverson Vieira Pires é filho de Israel de Paiva Pires e Maria das Graças Vieira Pires. Nasceu em 24 de Dezembro de 1980. É natural da pequena e aconchegante cidade de Dores do Turvo – MG, onde cresceu e cursou o 1º Grau na Escola Estadual São Sebastião, hoje Escola Estadual Terezinha Pereira, concluindo-o em 1995.

Em 1996 ingressou no Colégio Universitário – COLUNI, na Universidade Federal de Viçosa, onde cursou o 2º grau, concluindo-o em 1998.

Em 1999 iniciou os estudos no curso de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa. Durante o curso voltou sua atenção para o estudo das abelhas e da agroecologia. Em 2003 inicia um intenso relacionamento com Mariana. Concluiu o curso em julho de 2004, poucos dias antes do nascimento de sua filha Sofia, em agosto do mesmo ano.

Após sua formatura desenvolveu diversas atividades, destacando-se a de instrutor de apicultura, pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – SENAR-MG, a de inspetor pela Associação de Certificação Instituto Biodinâmico – IBD e a de consultor em agricultura orgânica.

Em 2009 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pelo Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Em janeiro de 2010 participou da 28ª Operação Antártica Brasileira – OPERANTAR, quando realizou proveitosa viagem à Antártica. Defendeu a presente dissertação em dezembro de 2010.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO GERAL	1
Capítulo 1	3
COMPARTIMENTOS DE CARBONO ORGÂNICO E NITROGÊNIO E POTENCIAL DE EMISSÃO DE C-CO ₂ EM SOLOS DA ANTÁRTICA.....	3
Resumo.....	3
Abstract	5
ORGANIC CARBON AND NITROGEN COMPARTIMENTS AND POTENTIAL OF C-CO ₂ EMISSION IN ANTARCTIC SOILS.....	5
1 - Introdução	7
2 - Material e Métodos	9
2.1 – Descrição da área de estudo	9
2.2 – Caracterização da Matéria Orgânica do Solo.....	13
2.3 - Fracionamento das substâncias húmicas.....	13
2.4 - Determinação dos compartimentos Ativo, Lento e Passivo da MO	14
2.5- Quantificação dos estoques de Carbono e Nitrogênio do solo	14
2.6 - Determinação em laboratório da taxa de mineralização de C	15
2.7 – Determinação do quociente metabólico ($q\text{CO}_2$)	16
2.8 - Determinação em laboratório da taxa de mineralização de N	16
3 - Resultados.....	17
3.1 - Caracterização da Matéria Orgânica do Solo	17
3.1.1 – Carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT).....	17
3.1.2 – Relação carbono / nitrogênio (C/N).....	18
3.1.3 – Fração recalcitrante e lábil de C orgânico.....	18
3.2- Fracionamento das substâncias húmicas.....	19
3.2.1 – Carbono das substâncias húmicas (CSHs).....	19
3.2.2 – Nitrogênio nas Substâncias húmicas (NSHs).....	21
3.3- Determinação dos compartimentos Ativo, Lento e Passivo da MO.....	22
3.4- Estoque de Carbono e Nitrogênio do Solo	26
3.5- Taxa de mineralização de C e sua relação com a qualidade da matéria orgânica do solo	27
3.6 - Quociente metabólico	37
3.7 – Sensibilidade da alteração de emissão de C-CO ₂ com a variação da temperatura.....	38

3.8 - Determinação em laboratório da taxa de mineralização de N	39
4 – Discussão	49
5 - Conclusões	59
6 - Referências Bibliográficas	60
Capítulo 2.....	66
MODELAGEM DO IMPACTO DO AQUECIMENTO GLOBAL SOBRE O ESTOQUE DE CARBONO E POTENCIAL DE EMISSÃO DE C-CO ₂ EM ECOSSISTEMAS TERRESTRES DA ANTÁRTICA MARÍTIMA	66
Resumo.....	66
Abstract	67
MODELING THE IMPACT OF GLOBAL WARMING ON CARBON STOCK AND POTENTIAL FOR C- CO ₂ EMISSIONS IN MARITIME ANTARCTIC TERRESTRIAL ECOSYSTEMS	67
1 - Introdução	68
2 – Material e métodos.....	70
2.1 – Descrição da área de estudo	70
2.2 - Modelagem da matéria orgânica do solo	73
2.2.1 – Seqüência dos eventos simulados e principais variáveis utilizadas para equilíbrio do modelo	73
3 – Resultados e discussão	75
3.1 – Simulação de equilíbrio	75
4 - Conclusões	80
Referências Bibliográficas	81
Considerações finais	84
APÊNDICES.....	85
Apêndice I.....	86
Apêndice II.....	87

RESUMO

PIRES, Cleverson Vieira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2010. **Matéria orgânica de solos da Antártica Marítima: impacto do aquecimento global sobre os estoques de carbono e nitrogênio, e sua modelagem.** Orientador: Eduardo de Sá Mendonça. Coorientadores: Carlos Ernesto G. R. Schaefer e Newton La Scala Júnior.

Existem poucos estudos sobre a qualidade, quantidade e dinâmica da matéria orgânica nos ecossistemas terrestres da Antártica, que se restringem às áreas livres de gelo que representam somente 2% da área total do continente. A região da Antártica Marítima apresenta os maiores valores de temperatura e precipitação de todo o continente, favorecendo a produção primária, a pedogênese e a atividade biológica. O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de emissão de C-CO₂ do solo nestes ambientes, com vistas ao quadro de aquecimento global. Para isto foram coletadas amostras de solos em sete diferentes pontos da Ilha Rei George, sendo cinco deles na Península Keller (P1, P2, P3, P4 e P5) e dois na Costa Oeste da Baía do Almirantado, em local denominado Arctowski (P6 e P7). Dois destes solos são originários de basaltos e andesitos (P1 e P2), três deles são afetados por sulfetos (P3, P4 e P5) e os outros dois têm forte influência ornitogênica (P6 e P7). As amostras foram coletadas a duas profundidades distintas, 0 a 10 cm (0-10) e 10 a 20 cm (10-20). Foram analisados os teores de C e N orgânico total (COT e NT), seus teores nas diferentes frações das substâncias húmicas (SHs), avaliadas as taxas de mineralização destes nutrientes a quatro temperaturas distintas, 2, 5, 8 e 11 °C e conduzida a modelagem dos estoques futuros de C e N, utilizando-se o modelo Century, considerando-se o possível quadro de aquecimento global. Os teores de COT e o NT nos solos de influência ornitogênica foram os mais altos: P6(0-10), COT=40,14 g/kg e NT=3,73 g/kg; P6(10-20), COT=30,85 g/kg e NT=2,54 g/kg; P7(0-10), COT=43,15 g/kg e NT=5,22 g/kg; P7(10-20), COT =31,56 g/kg e NT =3,57 g/kg. Além disso, estes solos apresentaram a menor relação C/N. Os solos P1 e P2 apresentaram os menores teores de COT e NT e as relações C/N mais altas, devido ao baixo conteúdo de NT. Nos solos P3, P4 e P5, os valores encontrados foram intermediários. Em todos os locais, a maior parte do COT e NT está na fração húmica (FH). A mineralização da matéria orgânica, avaliada via emissão de C-CO₂ dos solos, assumiu comportamento distinto nas duas profundidades estudadas, tendo crescimento contínuo com a

temperatura somente na profundidade de 0 a 10 cm. Já na profundidade de 10 a 20 cm, a mineralização foi maior com a temperatura até 8 °C, mas na temperatura de 11 °C houve decréscimo, talvez pelo fato de os microrganismos deste ambiente não serem adaptados a tais temperaturas, pouco comuns nessa profundidade em ambientes da Antártica. Os solos que apresentaram maior sensibilidade da emissão à variação da temperatura de 2 para 11°C foram os organossolos, com aumento de 102% e 61% no fluxo de C-CO₂ para as amostras P6(0-10) e P7(0-10), respectivamente. Os resultados encontrados foram utilizados para alimentar o modelo, juntamente com dados da literatura, porém não se conseguiu dados consistentes, devido à lacuna de dados essenciais, como relativos à fisiologia dos vegetais e à caracterização e quantificação do aporte de resíduos animais em cada ambiente. Diante dos resultados encontrados, espera-se que os solos estudados, principalmente os ornitogênicos, devido ao alto teor de matéria orgânica, exerçam importante papel na emissão de C-CO₂ caso o quadro de aquecimento global se confirme, tais ambientes passariam de acumuladores para emissores desse gás, contribuindo ainda mais para o aumento da temperatura do planeta.

ABSTRACT

PIRES, Cleverson Vieira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2010. **Soil organic matter in Maritime Antarctic: impact of global warming on carbon and nitrogen stocks, and its modeling.** Adviser: Eduardo de Sá Mendonça. Co-Advisers: Carlos Ernesto G. R. Schaefer and Newton La Scala Júnior.

There are few studies on quality, quantity and dynamics of organic matter in Antarctic terrestrial ecosystems. These ecosystems are restricted to ice-free areas which represent only 2% of the continent total area. The Maritime Antarctic region has the highest values of temperature and precipitation across the whole continent, promoting primary production, pedogenesis and biological activity. This study aimed at evaluating the potential of C-CO₂ emission on soils of these environments in relation to the global warming. For this soil samples were collected at seven different points of King George Island. Five of them were on the Keller Peninsula (P1, P2, P3, P4 and P5) and two on the west coast of Admiralty Bay, on a place called Arctowski (P6 and P7). Two of these soils are originated from basalt and andesite (P1 and P2) and three are affected by sulfides (P3, P4 and P5). The last two have a strong oritogenic influence (P6 and P7). The samples were collected at two different depths, 0 to 10 cm (0-10) and 10-20 cm (10-20). The contents of total organic C and N (TOC and TN) and their levels in different fractions of humic substances (HSs) were analyzed. In addition, the mineralization rates of these nutrients were evaluated in four different temperatures (2, 5, 8 and 11 ° C). All these data were led to the modeling process. The Century model was used to model the future stocks of C and N considering the context of global warming possibilities. The contents of TOC and NT on oritogenic soils were the highest: P6 (0-10), TOC= 40.14 g/kg and NT = 3.73 g/kg, P6 (10-20), TOC = 30.85 g/kg and NT = 2.54 g/kg; P7 (0-10), TOC = 43.15 g/kg and NT = 5.22 g/kg; P7 (10-20), TOC = 31.56 g/kg and NT = 3.57 g/kg. Beside, these soils had the lowest C/N ratio. Soils P1 and P2 showed the lowest levels of TOC and TN and the highest C/N ratio due to the low content of NT. Intermediate values were found on soils P3, P4 and P5. At all sites, most of the TOC and TN were on the humin fraction (FH). The mineralization of organic matter, measured through soil C-CO₂ emission, assumed distinct behavior at both studied depths. Only at the 0 to 10 cm depth, continuous growth was observed with the temperature. At the depth of 10 to 20 cm, the mineralization was greater with temperature up to 8°C, but at the temperature of 11°C the mineralization decreased.

Probably it happens because the microorganisms of this environment were not adapted to these temperatures, unusual at this depth in Antarctic environments. Soils with higher emission sensitivity related to the temperature variation from 2 to 11°C were ormitogenic, with an increase of 102% and 61% in the flow of C- CO₂ for the samples P6 (0-10) and P7 (0-10), respectively. These results were used to the modeling process. Literature data were also used to feed the model, but no consistent data could be used due to the lack of essential data (plants physiology and contribution of animal waste to each environment). Therefore it is expected that the studied soils, specially ormitogenic, due to the high content of organic matter, exert an important role in the emission of C-CO₂ if the global warming is confirmed. These environments would become gas emitters instead accumulators, further contributing to increase the global temperature.

INTRODUÇÃO GERAL

Solos criogênicos ou criossolos são típicos das regiões polares e subpolares e têm como principal característica a presença de camadas permanentemente congeladas (permafrost). Criossolos do Ártico e da Zona Boreal armazenam cerca de 26 % do total de C orgânico estocado nos ecossistemas terrestres do planeta. Pesquisas indicam que até a década de 70 estes solos funcionavam como reservatórios ou depósitos de C, em função da proteção à decomposição condicionada pelo permafrost. Com o aumento da temperatura média global, observou-se, entre os anos 80 e 90, inversão do fluxo de C, transformando estas áreas em atuais fontes de C para a atmosfera.

Os solos influenciados pela atividade de aves, ditos ornitogênicos, constituem os principais reservatórios de C orgânico desta região. Grande parte do C estocado em criossolos encontra-se protegido na camada permanentemente congelada, sugerindo um alto potencial de emissão de C-CO₂ diante do cenário atual de aquecimento global e degradação do permafrost. Este potencial é aumentado pelo fato da matéria orgânica de criossolos antárticos ser formada por compostos de fácil decomposição (carboidrato, lipídeos, proteínas, compostos solúvel, etc.). Experimentos em laboratório indicaram aumento de 10 vezes na taxa respiratória de criossolos do Ártico após um aumento da temperatura de -0,5 a 0°C, 4 vezes de 0°C a 5°C e duas vezes quando a temperatura foi aumentada continuamente até 25°C. Existem poucos trabalhos desta natureza acerca dos solos da Antártica Marítima, região que apresenta os maiores valores de temperatura e precipitação de todo o continente, favorecendo a produção primária, a pedogênese e a atividade biológica em geral.

Vários métodos podem ser utilizados para estudar a dinâmica da matéria orgânica nos ambientes. Um deles é por meio do uso de modelos de simulação, que aperfeiçoam o entendimento da dinâmica da MOS e são ferramentas úteis para estimar mudanças climáticas, testar cenários específicos e desenvolver estratégias que mitiguem os impactos negativos dessas mudanças. São ferramentas utilizadas para o entendimento da dinâmica da matéria orgânica do solo e da transformação de seus compartimentos, com base nas mais diversas variáveis, como textura, temperatura, umidade, tratos culturais e fertilização.

O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar o potencial de emissão de C-CO₂ em diferentes solos da Antártica Marítima diante de aumentos na temperatura global, partindo do princípio que a diferença na emissão de CO₂ estaria ligada aos diferentes tipos de matéria orgânica associada aos diferentes ambientes estudados.

Para isto, a dissertação foi dividida em dois capítulos, com os seguintes objetivos:

Capítulo 1 - Caracterizar a matéria orgânica dos principais tipos de solos da Antártica Marítima e avaliar em laboratório a variação da taxa de liberação de C-CO₂ dos solos em diferentes temperaturas de acordo com a previsão de alteração da temperatura da Antártica em decorrência do aumento da temperatura global, estimada pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007).

Capítulo 2 - Testar e ajustar o modelo Century, versão 4.5, de dinâmica de C e N para ecossistemas da Antártica Marítima, modelar os diferentes compartimentos orgânicos e estimar o estoque de C nos solos da Baía do Almirantado, simulando o efeito do aquecimento global.

Capítulo 1

COMPARTIMENTOS DE CARBONO ORGÂNICO E NITROGÊNIO E POTENCIAL DE EMISSÃO DE C-CO₂ EM SOLOS DA ANTÁRTICA

Resumo

Os ecossistemas terrestres da Antártica restringem-se a áreas livres de gelo distribuídas ao longo da costa ou em cadeias montanhosas, representando cerca de 2% da área total do continente, ou seja, cerca de 280 mil Km². O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de emissão de C-CO₂ por estes ambientes, a partir do solo, diante do esperado quadro de aquecimento global. Foram coletadas amostras de solos em sete diferentes pontos da Ilha Rei George, sendo cinco deles em Keller (P1, P2, P3, P4 e P5) e dois em Arctowski (P6 e P7). Dois destes solos são originários de basaltos e andesitos (P1 e P2), três deles são afetados por sulfetos (P3, P4 e P5) e os outros dois têm forte influência ornitogênica (P6 e P7). As amostras foram coletadas a duas profundidades, 0 a 10 cm (0-10) e 10 a 20 cm (10-20). Foram analisados os teores de C e N orgânico total (COT e NT), seus teores nas diferentes frações das substâncias húmicas (SHs) e avaliadas as taxas de mineralização destes nutrientes a quatro temperaturas distintas, 2, 5, 8 e 11 °C. Os solos que apresentaram maior sensibilidade à variação da temperatura de 2 para 11°C foram os organossolos, com aumento de 102% e 61% no fluxo de C-CO₂ para as amostras P6(0-10) e P7(0-10), respectivamente. O teor de COT e o NT nos solos de influência ornitogênica foram os mais altos: P6(0-10), COT=40,14 g/kg e NT=3,73 g/kg; P6(10-20), COT=30,85 g/kg e NT=2,54 g/kg; P7(0-10), COT=43,15 g/kg e NT=5,22 g/kg; P7(10-20), COT=31,56 g/kg e NT=3,57 g/kg. Estes solos apresentaram a menor relação C/N. Os solos P1 e P2 apresentaram os menores COT e NT e as relações C/N mais altas, devido ao baixo conteúdo de NT. Nos solos P3, P4 e P5, os valores encontrados foram intermediários. Em todos os locais, a maior parte do C e N está na fração húmica (FH). A mineralização da matéria orgânica teve crescimento contínuo com a temperatura na profundidade de 0 a 10 cm. Na profundidade de 10 a 20 cm, a mineralização foi maior com a temperatura até 8 °C, mas na temperatura de 11 °C houve decréscimo, provavelmente devido à menor adaptação dos microrganismos

deste ambiente a tais temperaturas, pouco comuns a tais profundidades em ambientes da Antártica. Espera-se que os solos estudados exerçam importante papel na emissão de C-CO₂ num cenário de aquecimento global.

Abstract

ORGANIC CARBON AND NITROGEN COMPARTMENTS AND POTENTIAL OF C-CO₂ EMISSION IN ANTARCTIC SOILS

Antarctic Terrestrial ecosystems are restricted to ice-free areas distributed along the sea coast or in mountain ranges. These ecosystems represent about 2% of the continent total area, approximately 280,000 km². This study aimed at evaluating the potential of C-CO₂ emission on soils of these environments, related to the global warming context. For this purpose soil samples were collected at seven different points of King George Island, five of them in Keller (P1, P2, P3, P4 and P5) and two in Arctowski (P6 and P7). Two of these soils are originated from basalt and andesite (P1 and P2) and three are affected by sulfides (P3, P4 and P5). The last two have a strong ormitogenic influence (P6 and P7). The samples were collected at two different depths, 0 to 10 cm (0-10) and 10-20 cm (10-20). The contents of total organic C and N (TOC and TN) and their levels in different fractions of humic substances (HSs) were analyzed. In addition, the mineralization rates of these nutrients were evaluated in four different temperatures (2, 5, 8 and 11°C). Soils with higher emission sensitivity related to the temperature variation from 2 to 11°C were ormitogenics, with an increase of 102% and 61% in the flow of C- CO₂ for the samples P6 (0-10) and P7 (0-10), respectively. The contents of TOC and NT on ormitogenic soils were the highest: P6 (0-10), TOC= 40.14 g/kg and NT = 3.73 g/kg, P6 (10-20), TOC = 30.85 g/kg and NT = 2.54 g/kg; P7 (0-10), TOC = 43.15 g/kg and NT = 5.22 g/kg; P7 (10-20), TOC = 31.56 g/kg and NT = 3.57 g/kg. Beside, these soils had the lowest C/N ratio. Soils P1 and P2 showed the lowest levels of TOC and TN and the highest C/N ratio due to the low content of NT. Intermediate values were found on soils P3, P4 and P5. At all sites, most of the TOC and TN were on the humin fraction (FH). The mineralization of organic matter assumed distinct behavior at both studied depths. Only at the 0 to 10 cm depth, continuous growth was observed with the temperature. At the depth of 10 to 20 cm, the mineralization was greater with temperature up to 8°C, but at the temperature of 11°C the mineralization decreased. Probably it happens because the microorganisms of this environment were not adapted to these temperatures, unusual at this depth in Antarctic environments. According to the found results, it is expected that the studied soils have an important

role on the C-CO₂ emission at the global warming scenario, just because these environments would become gas emitters instead of C-CO₂ accumulators, further contributing to increase the global temperature.

1 - Introdução

Os ecossistemas terrestres da Antártica restringem-se a áreas livres de gelo distribuídas ao longo da costa ou em cadeias montanhosas, representando cerca de 2% da área total do continente (Campbell & Claridge, 1987), ou seja, cerca de 280 mil Km².

A porção terrestre da Antártica é caracterizada pela baixa diversidade de espécies, baixa biomassa total, taxa de ciclagem lenta e cadeia alimentar simplificada, apresentando poucos níveis tróficos (Parker, 1978). As baixas taxas de fluxo de energia e ciclagem de nutrientes, associadas ao lento desenvolvimento das comunidades vegetais, fazem com que esses ecossistemas possuam grande sensibilidade a perturbações, das quais se recuperam lentamente (Walker et al., 1997). A maioria dos modelos que estudam o aquecimento global sugere que os efeitos mais pronunciados do aquecimento serão observados em ambientes periglaciais (Carvalho et al., 2010)

Durante um curto período de verão, ocorrem no ambiente terrestre interações que influenciam diretamente as relações tróficas e rotas de transferência de matéria e energia entre o oceano e ambientes costeiros na Antártica (Rakusa-Suszczewski, 1993), que constituem os principais reservatórios de C orgânico desta região (Ugolini, 1972; Tatur et al. 1997; Michel et al., 2005; Simas 2006; Simas et al., 2006a, Simas et al., 2006b). Grande parte do C estocado em criossolos encontra-se protegido na camada permanentemente congelada (Michaelson et al., 2004; Simas, 2006), sugerindo um alto potencial de emissão de C-CO₂ diante do cenário atual de aquecimento global e degradação do *permafrost*. Este potencial é aumentado pelo fato da matéria orgânica de criossolos antárticos ser formada por compostos de fácil decomposição (Beyer et al., 2004).

A atividade biológica nos solos da Antártica é em geral baixa, sendo fortemente determinada por condições microclimáticas onde a temperatura e as condições hídricas do solo condicionam a produção primária e a fixação do C no sistema. Desta forma, apesar do predomínio de solos com baixo teor de C (1 a 4 g/kg), o acúmulo de matéria orgânica é, em alguns casos, um processo importante na gênese dos solos da região (Campbell & Claridge, 1987; Beyer & Bölter, 2000; Beyer et al., 2004, Simas et al., 2008). A imobilização de C no solo via incorporação ativa pela fitomassa e pelos organismos do solo é um processo que, além de

promover o seqüestro de C, aumenta a retenção de água e influencia a biodisponibilidade de nutrientes e metais pesados (Schaefer et al., 2004).

O estoque de C orgânico em um solo é resultado da fixação primária de C por organismos autotróficos, da ação decompositora dos microrganismos (Stevenson, 1994) e da deposição de resíduos de origem animal. Carvalho et al. (2010) sugerem que as substâncias húmicas da região da Antártica marítima são menos resistentes à degradação microbiana que as substâncias húmicas de outras regiões e que o aumento na temperatura de 5 para 14°C promovem incremento de até 138% nas taxas de respiração de alguns solos da Antártica marítima, o que reforça a fragilidade de tais ecossistemas. Por esta razão, o monitoramento do estoque de C destes solos em um contexto de mudança climática global, onde se testemunha o aumento gradativo da temperatura, pode indicar eventuais efeitos de alterações climáticas sobre o ambiente terrestre. Em geral, temperaturas mais altas favorecem a decomposição da matéria orgânica, podendo causar a redução do C seqüestrado no solo e aumentar a área de criosfera exposta pelo recuo das geleiras.

A fim de se entender os processos de fixação e emissão de C no continente Antártico diante de um possível quadro de aquecimento global, se faz necessário conhecer a composição da matéria orgânica nestes ambientes, além de estimar sua decomposição em diferentes condições de temperaturas. O presente trabalho possibilita um avanço do conhecimento acerca da matéria orgânica em solos do continente Antártico através do estudo detalhado em laboratório, das taxas de mineralização de C, diferente do realizado por Carvalho et al. (2010), que realizaram tal experimento *in loco*.

Diante disto, o objetivo deste estudo foi investigar características primárias da MOS e seus compartimentos, o fracionamento das substâncias húmicas, quantificar os estoques de COT e NT nos solos e determinar os fluxos de CO₂ *in vitro* em diferentes temperaturas.

2 - Material e Métodos

2.1 – Descrição da área de estudo

A área de estudo está localizada na Ilha Rei George que é a maior ilha do Arquipélago das Shetlands do Sul, a noroeste da Península Antártica (Francelino, 2004). Na Baía do Almirante encontra-se a Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) (Lat. 62°05' S – Long. 58°23' W), que é a principal área de pesquisa brasileira na Antártica (Oliveira, 2005).

Na expedição de estudo de 2008, foram coletadas amostras de sete solos da Ilha Rei George (Tabela 01), sendo cinco solos provenientes da península Keller (Figura 1) e dois solos provenientes de Arctowski. Todos os pontos de coleta possuíam cobertura exuberante de musgos, deschampsia e líquens. Dos solos situados em Keller, dois (P1 e P2) são de origem basáltica e andesítica e três (P3, P4 e P5) apresentam influência de sulfatos, provenientes da oxidação de sulfetos da rocha parental. Os dois pontos situados em Arctowski (P6 e P7) são solos caracterizados por forte influência ornitogênica. A tabela 01 detalha as características dos solos estudados e a Figura 1 ilustra os locais de coleta.

Tabela 01: Descrição dos solos estudados.

Pontos de coleta	Coordenadas ¹	Classificação ²	Areia ³ (%)	Silte ³ (%)	Argila ³ (%)	Prem ⁴	pH ⁴	t ⁴	T ⁴	SB ⁴	Al ⁴	H+Al ⁴
Solos Basáltico/Andesíticos												
P1	427137 3115552	Turbic Cryosol (dystric)	55	25	20	27,80	6,60	24,83	24,83	24,83	0,00	0,00
P2	427091 3116260	Stagnic Regosol (turbic)	54	22	24	47,00	7,97	34,97	35,27	34,97	0,00	0,30
Solos Afetados por Sulfetos												
P3	425658 3115916	Turbic cryosol (dystric)	61	27	12	33,10	5,04	11,93	22,23	10,83	1,10	11,40
P4	425922 3117161	Turbic cryosol (dystric)	51	33	16	41,40	6,27	9,29	11,79	9,29	0,00	2,5
P5	426010 3117588	Turbic cryosol (dystric)	68	24	8	18,30	5,30	24,15	34,05	21,55	2,60	12,5
Solos Ornitogênicos												
P6	423394 3106817	Histic Cryosol (ornithic)	66	17	17	30,20	5,72	11,80	17,80	11,40	0,40	6,40
P7	423645 3106881	Histic Cryosol (ornithic)	78	15	7	36,80	4,64	11,50	25,50	8,20	3,30	17,30

1: Projeção UTM, Fuso 21, Datum - WGS 84; 2: Fonte: IUSS (2006); 3: Fonte: Albuquerque (2005) e Simas (2006); 4: Schaefer et al., 2004

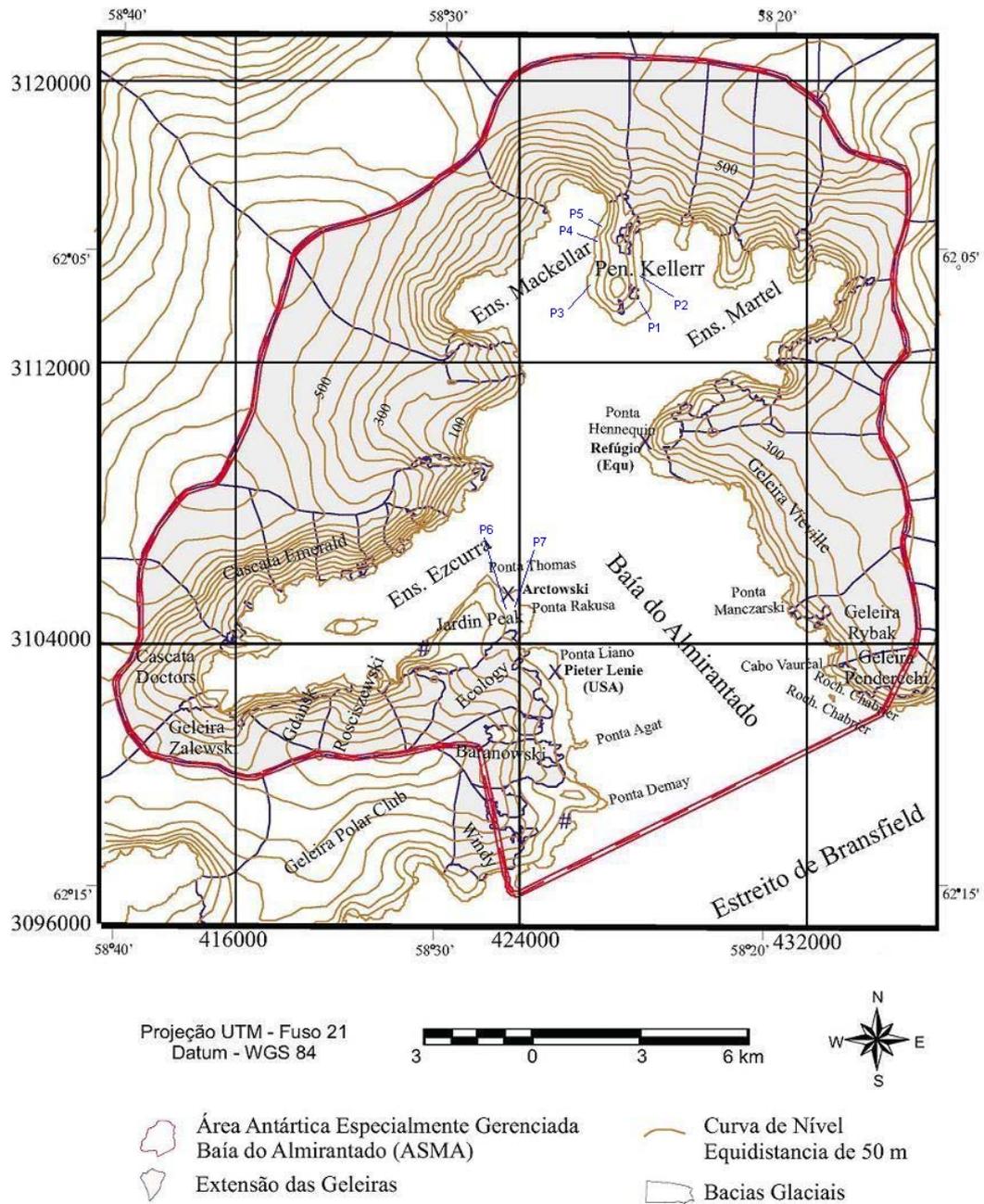


Figura 1: Ilha Rei George, com a localização dos sete pontos de coleta, sendo os pontos P1 a P5 na Península Keller e os pontos P6 e P7 em Arctowski.

As amostras foram coletadas em duas profundidades: 0 a 10 cm e 10 a 20 cm. A amostra do ponto 4 foi coletada apenas de 0 a 10 cm. A nomenclatura utilizada para as amostras está descrita abaixo.

- P1(0-10) – ponto 1, profundidade de 0 a 10 cm
- P1(10-20) - ponto 1, profundidade de 10 a 20 cm
- P2(0-10) – ponto 2, profundidade de 0 a 10 cm
- P2(10-20) - ponto 2, profundidade de 10 a 20 cm
- P3(0-10) – ponto 3, profundidade de 0 a 10 cm
- P3(10-20) - ponto 3, profundidade de 10 a 20 cm
- P4(0-10) – ponto 4, profundidade de 0 a 10 cm
- P5(0-10) – ponto 5, profundidade de 0 a 10 cm
- P5(10-20) - ponto 5, profundidade de 10 a 20 cm
- P6(0-10) – ponto 6, profundidade de 0 a 10 cm
- P6(10-20) - ponto 6, profundidade de 10 a 20 cm
- P7(0-10) – ponto 7, profundidade de 0 a 10 cm
- P7(10-20) - ponto 7, profundidade de 10 a 20 cm

2.2 – Caracterização da Matéria Orgânica do Solo

O teor total de C orgânico dos solos foi determinado conforme Yeomans & Bremner (1988) utilizando dicromato de potássio $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ e ferroin como indicador. As frações de C orgânico oxidável foram determinadas utilizando como agente oxidante dicromato de potássio $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ e diferentes quantidades de ácido sulfúrico (proporção ácido-aquosa) utilizando três soluções proporcionais de 0,25:1; 0,5:1 e 1:1 que representam 3 mol L^{-1} , 6 mol L^{-1} e 9 mol L^{-1} de H_2SO_4 , permitindo a determinação do C em condições crescentes de oxidação. Quando comparados com a concentração de C total, permitiu-se a separação do C orgânico em quatro frações:

Fração 1- C orgânico oxidado com 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 ;

Fração 2- Diferença do C orgânico oxidável extraído entre 6 mol L^{-1} e 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 ;

Fração 3- Diferença do C orgânico oxidável extraído entre 9 mol L^{-1} e 6 mol L^{-1} de H_2SO_4 ;

Fração 4- Diferença entre o COT (Yeomans & Bremner, 1988) e o C oxidável extraído por solução 9 mol L^{-1} de H_2SO_4 .

As análises de C foram realizadas por meio da titulação de dicromato remanescente da oxidação com solução de ferro reduzido e ferroin como indicador. Assim, foi possível determinar diferentes frações oxidáveis com formas de C recalcitrantes (Fração 3 + Fração 4) e lábeis (Fração 1 + Fração 2) (Chan et al., 2001). O teor de N total foi determinado pelo método de Kjeldahl (Tedesco et al., 1995).

2.3 - Fracionamento das substâncias húmicas

O fracionamento das substâncias húmicas foi feito segundo a técnica da solubilidade diferencial, separando-se os ácidos fúlvicos, os ácidos húmicos e as huminas, de acordo como os conceitos de frações húmicas estabelecidos pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Hayes et al., 1989). Para a determinação do C das frações húmicas utilizou-se o processo de oxidação por dicromato de potássio com aquecimento externo (Yeomans & Bremner, 1988). O teor de N total foi determinado pelo método de Kjeldahl (Tedesco et al., 1995).

2.4 - Determinação dos compartimentos Ativo, Lento e Passivo da MO

Para a determinação do compartimento ativo foram quantificadas a biomassa microbiana e o C solúvel (Paul, 1984). Os teores de C e N da biomassa microbiana (C_{mic} e N_{mic}) foram determinados pelo método da irradiação-extração (Islam & Weil, 1998; Ferreira et al., 1999), utilizando forno de microondas de potência igual a 645 W. Utilizou-se como extrator o K_2SO_4 0,5 mol L^{-1} . O C contido nos extratos foi quantificado por meio de procedimento por oxidação úmida (Yeomans & Bremner, 1988) utilizando dicromato de potássio 0,0167 mol L^{-1} e ferroin como indicador. O C presente nos extratos K_2SO_4 0,5 mol L^{-1} das amostras de solo não irradiadas foi considerado medida do C solúvel. A soma do C solúvel da biomassa microbiana mais o C solúvel foi usado como estimativa do compartimento ativo da MO. O N nos extratos foi quantificado por digestão sulfúrica seguida por destilação Kjeldahl (Tedesco et al., 1995). O teor de N_{mic} foi obtido pela diferença entre Nitrogênio extraído em amostras irradiadas e não-irradiadas, considerando-se o fator de conversão K_c igual a 0,33.

O compartimento lento foi estimado pela matéria orgânica leve (Cambardella & Elliot, 1992; Janzem et al., 1992), determinada por flotação em solução de NaI, densidade de 1,8 g mL^{-1} (Sohi et al., 2001). O material obtido foi seco sob temperatura de 65 °C, por 72 h. Os teores de C e N da fração leve foram quantificados por combustão via seca utilizando analisador elementar Perkin Elmer CHNS/O 2400. A quantidade de C e N da fração leve foi usada como estimativa do compartimento lento da MO.

O compartimento passivo da MO não foi medido diretamente. Determinou-se calculando o C e N orgânico total menos a soma dos compartimentos ativo e lento.

2.5- Quantificação dos estoques de Carbono e Nitrogênio do solo

O estoque de C e N orgânico no solo foi calculado com base na seguinte fórmula (Batjes, 1996):

Estoque de C:

$$C_{st} = (COT) * (D) * (E.C.) * [1 - (\% \text{ fragmentos } > 2 \text{ mm}) / 100]$$

Estoque de N:

$$N_{st} = (NT) * (D) * (E.C.) * [1 - (\% \text{ fragmentos } > 2 \text{ mm}) / 100]$$

Onde:

- Cst – Estoque de C (kg/m^2);
- COT- Carbono orgânico total (g C/kg solo);
- Nst – Estoque de N (kg/m^2);
- NT – Nitrogênio total;
- D - Densidade do solo (kg/m^3) e
- E.C.- Espessura da camada (m).

A densidade do solo sem fragmentos rochosos foi obtida através do uso de cachimbo com capacidade de $5,0 \text{ cm}^3$ de volume. Pesou-se a massa de amostra contida nesse volume, obtendo-se assim a densidade do solo expressa em g cm^{-3} ou $10^{-3} \text{ kg m}^{-3}$. O percentual de fragmentos $> 2 \text{ mm}$ foi obtido através do teor de fragmentos retidos durante a passagem das amostras de solo na peneira de 2 mm de malha.

2.6 - Determinação em laboratório da taxa de mineralização de C

Montou-se um experimento em blocos casualizados com 3 repetições realizado em 4 temperaturas de incubação: 02, 05, 08 e 11°C (IPCC, 1980-1999), simulando a média da temperatura no verão da Antártica e sua elevação, objetivando estudar o impacto do aumento da temperatura do verão Antártico sobre a mineralização de C. O experimento estático foi montado em câmara fria, onde se adicionou 50 g de solo a potes de 500 cm^3 , com fechamento hermético. A umidade dos solos foi ajustada para 60-70% da Cc e adicionou-se em cada recipiente contendo 30 ml de NaOH $0,5 \text{ mol l}^{-1}$ para captura do C- CO_2 .

A captura do C- CO_2 foi realizada em períodos de 1, 3, 6, 12, 24, 36, 48, 60 e 72 dias após o início da incubação. O teor de C mineralizável foi determinado por titulação com HCl $0,25\text{M}$ de uma solução de NaOH $0,5\text{M}$, segundo adaptação da metodologia de Curl e Rodriguez-Kabana (1972) e Stotzky (1965).

Os valores relativos das taxas de evolução de mg C-CO₂/ kg solo acumuladas foram ajustados a modelos de regressão não linear em função do tempo através da seguinte fórmula:

$$Y_i = \frac{a}{1 + e^{-(b+ct_i)}}$$

Onde:

Y_i = C-CO₂;

a = saturação de C-CO₂;

b = tempo para concluir a saturação na evolução de C-CO₂ (h);

c = constante de C-CO₂ evoluído e

t = tempo (h).

2.7 – Determinação do quociente metabólico ($q\text{CO}_2$)

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), que representa a quantidade de C-CO₂ liberada em determinado tempo, por unidade de C microbiano (mg C-CO₂ (g Cmic)⁻¹ h⁻¹), foi calculado dividindo a evolução média de C-CO₂ (C-CO₂/h), nas diferentes temperaturas, pelo Cmic, conforme proposto por Anderson e Domsch (1993).

2.8 - Determinação em laboratório da taxa de mineralização de N

A mineralização líquida do nitrogênio (N mineralizável) foi avaliada por meio da diferença entre as formas inorgânicas de N (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻), extraídas por KCl 1 mol/L antes e após os mesmos períodos de incubação para C mineralizável, ou seja, 1, 6, 24, 48, 72 dias. Nessas datas, amostras de solo incubadas nas mesmas condições que para C mineralizável foram desmontadas para análise do N total, N-NH₄⁺ e o N-NO₃⁻, conforme descrito por Tedesco et al (1995), Kempers e Zweers (1986) e Yang et al (1998), respectivamente.

3 - Resultados

3.1 - Caracterização da Matéria Orgânica do Solo

3.1.1 – Carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT)

Os maiores teores de C orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) foram encontrados nas amostras P6 e P7 (Figura 02), com teores que chegaram a 43,15 g kg⁻¹ de COT e 5,22 g kg⁻¹ de NT para a amostra P7(0-10), devido ao fato de que esses pontos são pingüineiras abandonadas, tendo recebido elevado aporte de resíduos animais no passado. As amostras P1 e P2 apresentaram os menores teores de COT, como 3,68 g kg⁻¹ e NT, 0,08 g kg⁻¹ para a amostra P1(10-20) enquanto nas amostras P3, P4 e P5 os teores foram intermediários. De modo geral, os solos apresentaram maior COT na camada de 0 a 10 cm que na camada de 10 a 20 cm, caracterizando a primeira como uma região de acúmulo de matéria orgânica no solo, devido à elevada deposição de resíduos animais e preservação do material em condições de frio intenso (Cunha et al. 2007).

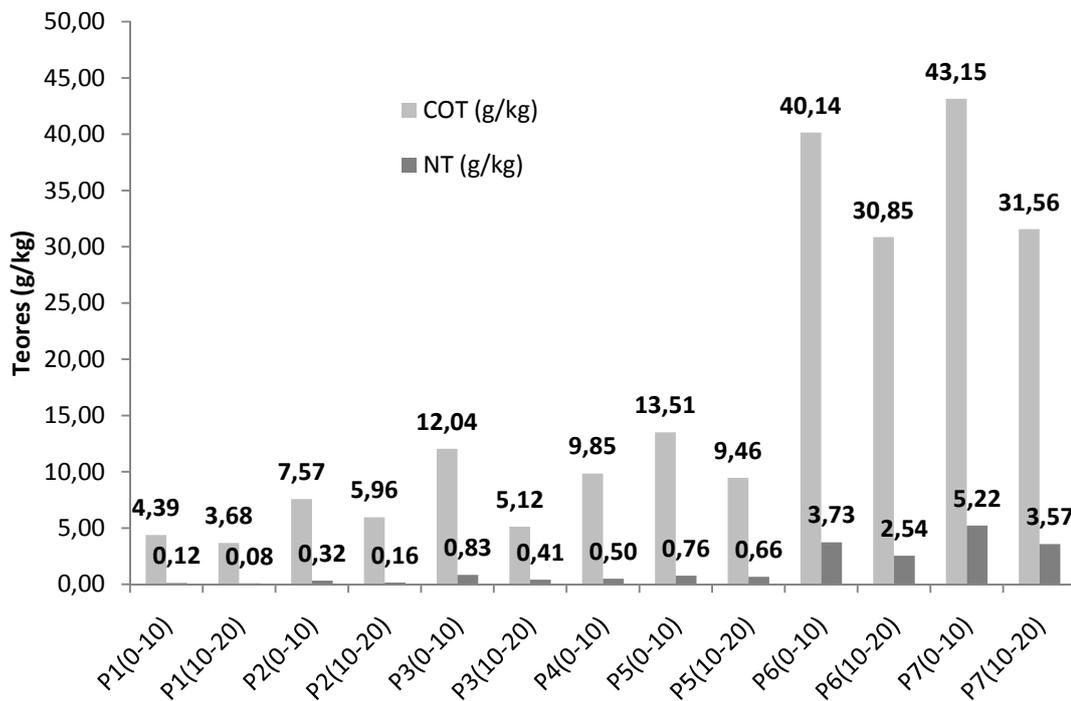


Figura 02: Teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT).

3.1.2 – Relação carbono / nitrogênio (C/N)

Os altos valores da relação C/N (figura 03) nas amostras de solo da Península Keller indicam o baixo estado de decomposição da matéria orgânica desses solos. Os baixos teores de N, que faz parte da rota de humificação (Silva e Mendonça, 2007), interferem negativamente na decomposição da matéria orgânica desses solos, limitando a atuação dos microrganismos. As amostras P1 e P2 apresentam os maiores valores da relação C/N, alcançando 45,98 para a amostra P1(10-20) devido ao baixo teor de N total nesses solos; as amostras P3, P4 e P5, solos afetados por sulfetos, apresentam os valores intermediários da relação C/N e as amostras 6 e 7, solos ornitogênicos, apresentam os menores valores da relação C/N devido aos mais altos teores de N total (Figura 2) provenientes dos resíduos animais (Rakusa-Suszczewski, 1993).

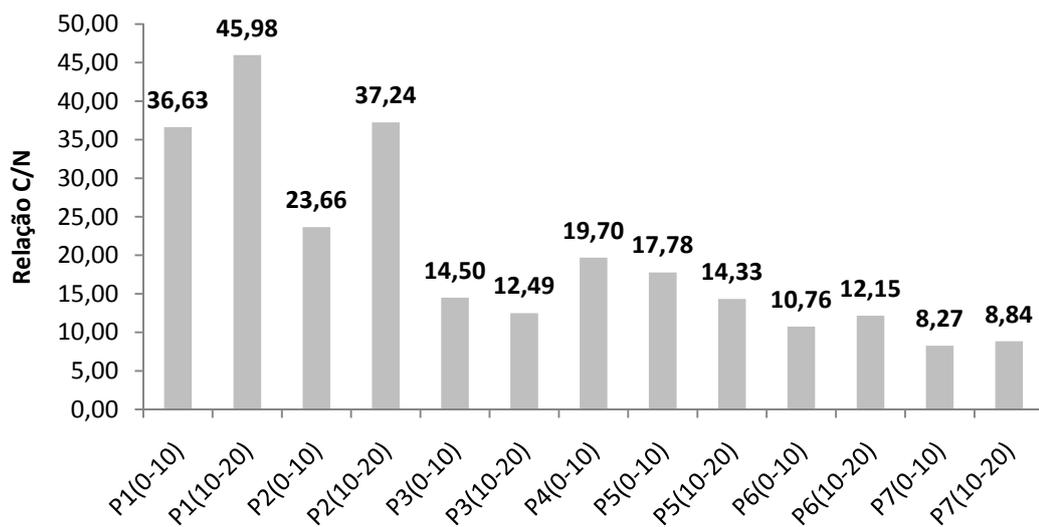


Figura 03: Relação C/N dos solos estudados.

3.1.3 – Fração recalcitrante e lábil de C orgânico

Os resultados das frações de C orgânico oxidável (figura 04) para as amostras P1(0-10), P2(0-10), P2(10-20), P4(0-10), P6(10-20), P7(0-10) e P7(10-20) apresentaram maior quantidade de C na fração recalcitrante, ou seja, mais resistente à oxidação, alcançando 68,60% para o P4(0-10). Por outro lado, as amostras P1(10-20), P3(0-10), P5(10-20) e P6(0-10) apresentaram maior quantidade de C na forma lábil, sendo esta mais facilmente oxidável, alcançando 69,08% para o P3(0-10). Já as

amostras P3(10-20) e P5(0-10) apresentaram equilíbrio entre as quantidades de C na forma lábil e recalcitrante. Apesar dos solos analisados de Keller e de Arctowski apresentarem quantidades diferentes de C oxidável, com maiores teores nos solos de Arctowski, verifica-se que, em média, eles possuem praticamente as mesmas proporções de C na forma lábil e recalcitrante. Nos solos P2, P3, P6 e P7, o teor de C recalcitrante aumenta com o aumento da profundidade, enquanto que nos solos P1 e P5 ocorre o inverso, ou seja, o teor de C lábil é que aumenta com o aumento da profundidade.

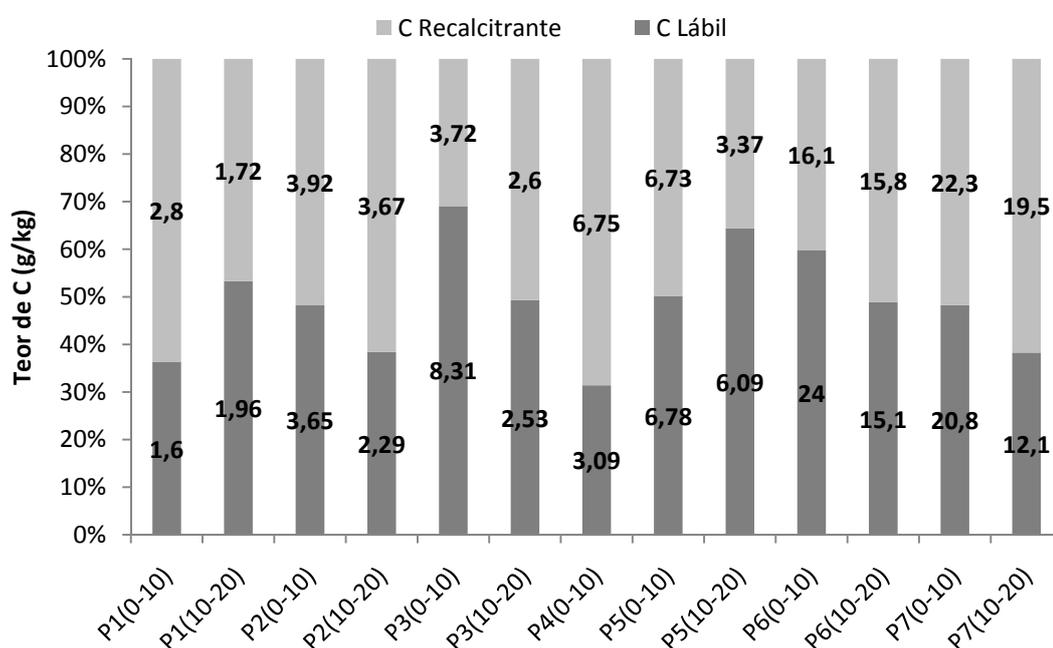


Figura 04: Teor de C Recalcitrante e Lábil dos solos estudados.

3.2- Fracionamento das substâncias húmicas

3.2.1 – Carbone das substâncias húmicas (CSHs)

A maior parte do C da matéria orgânica está presente nas frações húmicas mais estáveis, humina e ácidos húmicos (Figura 05).

Em todas as amostras estudadas, o carbono na fração humina (CFH) foi maior que nas frações ácidos fúlvicos (CFAF) e ácidos húmicos (CFAH). Este padrão também é encontrado em solos dos trópicos. A relação CFH/CFAF+CFAH (Tabela 02) foi maior nas amostras dos pontos 1 e 2, indicando que nestes solos há predomínio de matéria orgânica mais antiga, com menos aporte recente do que nas

outras áreas. Isso pode indicar que a deposição do resíduo orgânico presente nestes locais aconteceu em tempos mais remotos que nos demais solos. Nos solos P1(0-10), P1(10-20), P2(0-10) e P2(10-20) o predomínio da fração humina é próximo a 100%. Tal fato pode estar relacionado ao maior teor de argila desses solos, que favorece a proteção coloidal e química da MOS (Silva e Mendonça, 2007), formando complexos argilo-orgânicos (Zinn et al., 2005) e dificultando o acesso dos microorganismos e subsequente decaimento da MO.

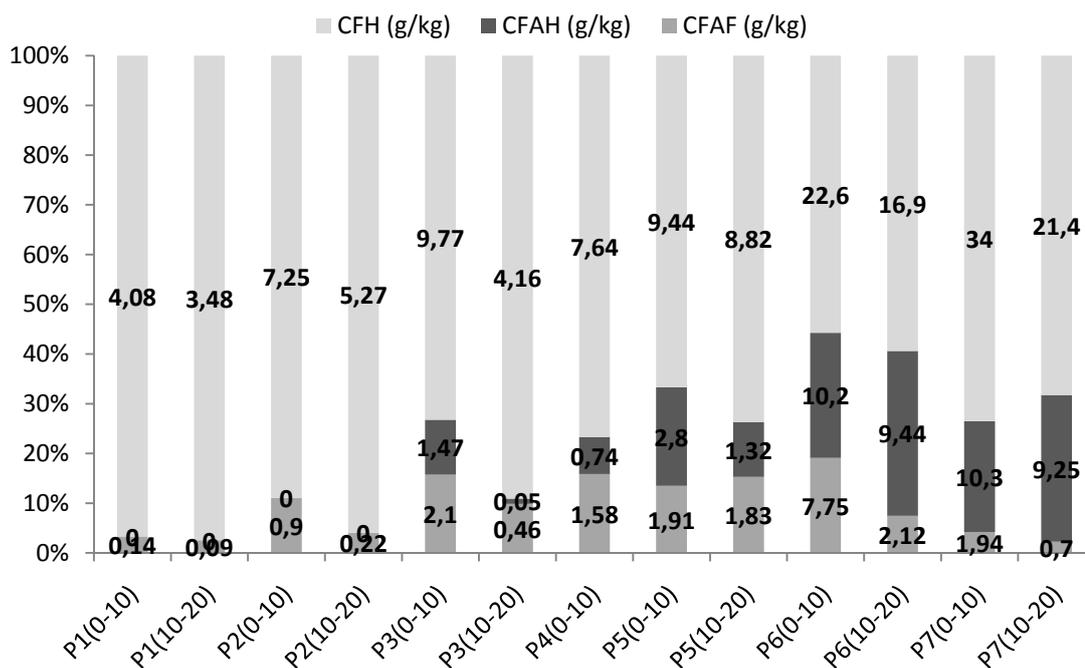


Figura 05: Teores de C nas frações humina (CFH), ácidos húmicos (CFAH) e ácidos fúlvicos (CFAF).

Tabela 02 – Relação CFH/(CFAF+CFAH) e relação CFAH/CFAF

Amostra	CFH/CFAF+CFAH	CFAH/CFAF
P1(0-10)	29,14	0,00
P1(10-20)	38,67	0,00
P2(0-10)	8,06	0,00
P2(10-20)	23,95	0,00
P3(0-10)	2,74	0,70
P3(10-20)	8,16	0,11
P4(0-10)	3,29	0,47
P5(0-10)	2,00	1,47
P5(10-20)	2,80	0,72
P6(0-10)	1,26	1,32
P6(10-20)	1,46	4,45
P7(0-10)	2,78	5,31
P7(10-20)	2,15	13,21

3.2.2 – Nitrogênio nas Substâncias húmicas (NSHs)

A ausência de nitrogênio detectável nas frações ácidos fúlvicos (NFAF) das amostras P2(0-10), P2(10-20), P3(0-10) e P4(0-10) e nas frações ácidos húmicos (NFAH) nas amostras P1(0-10), P1(10-20), P2(0-10) e P2(10-20) (Figura 6 e Tabela 3) indicam que o processo de degradação predomina na formação das substâncias húmicas e que grande parte dos ácidos fúlvicos é proveniente da degradação dos ácidos húmicos e/ou huminas. Assim como o C, o N das frações húmicas também se encontra em maior quantidade na fração humina. Na maioria das amostras, excluindo P1(0-10), P1(10-20), os teores de N seguiram a seguinte ordem: NFAF < NFAH < NFH.

Como o C nas substâncias húmicas, em todas as amostras a fração NFH foi maior que as frações NFAF e NAH, reforçando que os processos de estabilização da matéria orgânica em substâncias húmicas em ambientes tropicais e antárticos são semelhantes (Stevenson, 1994).

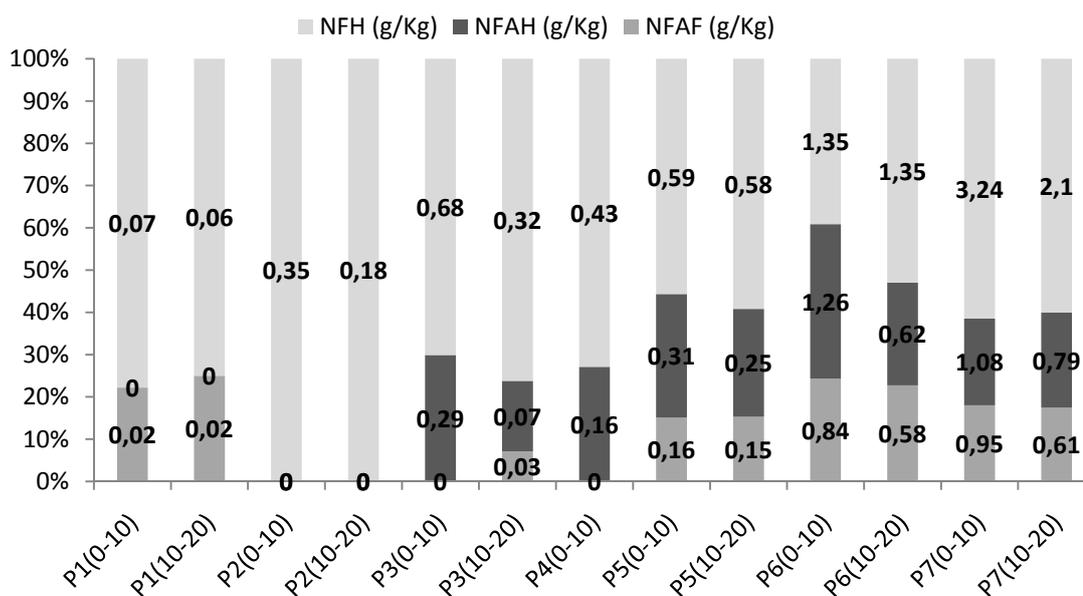


Figura 06: Teores de N nas frações humina (NFH), ácidos húmicos (NFAH) e ácidos fúlvicos (NFAF).

Tabela 03 – Relação NFH/(NFAF+NFAH) e relação NFAH/NFAF

Amostras	NFH/NFAF+NFAH	NFAH/NFAF
P1(0-10)	3,50	0,00
P1(10-20)	3,00	0,00
P2(0-10)	-	-
P2(10-20)	-	-
P3(0-10)	2,34	-
P3(10-20)	3,20	2,33
P4(0-10)	2,69	-
P5(0-10)	1,26	1,94
P5(10-20)	1,45	1,67
P6(0-10)	0,64	1,50
P6(10-20)	1,13	1,07
P7(0-10)	1,60	1,14
P7(10-20)	1,50	1,30

3.3- Determinação dos compartimentos Ativo, Lento e Passivo da MO

A Tabela 04 apresenta os valores do compartimento ativo da matéria orgânica. O C microbiano (Cmic) está estreitamente relacionado com o C do solo, e mais ainda com o C lábil (Lynch & Parting, 1980; Powlson et al., 1987; Sparling,

1992; Witter, 1996). Os solos antárticos analisados apresentaram maior correlação positiva dessa forma de C com o C lábil ($R=0,67$; $n=13$; $P<0,001$) em relação ao COT ($R=0,57$, $n= 13$, $P<0,05$) reforçando a relação entre frações mais facilmente oxidáveis com a população microbiana.

O quociente microbiano, proporção C_{mic}/COT , foi maior para as amostras P1 e P2, alcançando 2,00 para P1(0-10), indicando que nestes solos há maior disponibilidade da matéria orgânica e nutrientes para os microrganismos (Leite et al., 2003). Os dados de fertilidade sobre estes solos apresentados por Schaefer et al., (2004) mostram a maior fertilidade em tais pontos, confirmando tal expectativa. Já as amostras P3(0-10), P5(0-10), P6(10-20), P7(0-10) e P7(10-20) apresentaram os menores valores do quociente microbiano (0,289; 0,262; 0,271; 0,236; 0,287, respectivamente), indicando menor disponibilidade de substrato para os microrganismos nestes ambientes. Com o aumento da profundidade, observa-se diminuição do compartimento ativo da MOS em comparação à superfície, que recebe maior aporte de nutrientes, propiciando maior quantidade da biomassa microbiana. Os organossolos apresentaram os maiores valores de compartimento ativo por apresentarem os maiores valores de COT e frações de C mais lábeis.

Tabela 04 – Teores de C da biomassa microbiana, proporção de C da biomassa no carbono orgânico total e valores do compartimento ativo da matéria orgânica referentes ao C dos solos da Antártica.

Amostra	$C_{microbiano}$ (g/kg)	COT (g/kg)	Quociente microbiano(%)	Carbono solúvel	Comp. ativo da MO (g/kg)
P1(0-10)	0,0880	4,39	2,00	0,0054	0,0934
P1(10-20)	0,0549	3,68	1,49	0,0120	0,0669
P2(0-10)	0,121	7,57	1,60	0,0159	0,137
P2(10-20)	0,0667	5,96	1,12	0,0168	0,0835
P3(0-10)	0,0347	12,0	0,289	0,0181	0,0528
P3(10-20)	0,0576	5,12	1,13	0,0141	0,0717
P4(0-10)	0,0662	9,85	0,672	0,0281	0,0942
P5(0-10)	0,0354	13,5	0,262	0,0227	0,0581
P5(10-20)	0,0742	9,46	0,785	0,0124	0,0866
P6(0-10)	0,307	40,1	0,766	0,0773	0,385
P6(10-20)	0,0835	30,9	0,271	0,0912	0,175
P7(0-10)	0,102	43,2	0,236	0,147	0,249
P7(10-20)	0,0907	31,6	0,287	0,0811	0,172

A Tabela 05 apresenta os valores do compartimento ativo da matéria orgânica referentes ao N, estando diretamente relacionado com os processos de mineralização e imobilização de N do solo. O teor de N microbiano (Nmic) nas amostras referentes à Península Keller (P1 a P5) não apresentou diferenças entre os sistemas na mesma camada e entre as profundidades. Já nas amostras provenientes de Arctowski, o teor de Nmic foi relativamente maior devido ao maior aporte de resíduos orgânicos de origem animal (Maia et al., 2008). O maior teor de N e menor relação C/N desses solos favorecem a ação dos microrganismos quando do degelo do *permafrost* conseqüente exposição desses ambientes.

O Quociente microbiano em relação ao N total variou de 0,491 a 3,56% nos solos da camada de 0-10 cm e 0,713 a 5,139% nos solos da camada de 10-20 cm. Com exceção da amostra 6, o Quociente microbiano em relação ao N total aumentou com o aumento da profundidade de cada solo. Este comportamento pode estar mais relacionado à redução do N total dos solos da camada 10-20 cm do que ao aumento do Nmic.

Tabela 05 – Teores de N da biomassa microbiana, proporção de N da biomassa no N Total e valores do compartimento ativo da matéria orgânica referentes ao N dos solos da Antártica.

Amostra	Nmic (g/Kg)	NT (g/Kg)	Quociente microbiano (%)	Compartimento ativo da MO (g/kg)
P1(0-10)	0,003	0,120	2,28	0,003
P1(10-20)	0,006	0,080	6,87	0,006
P2(0-10)	0,011	0,320	3,56	0,011
P2(10-20)	0,008	0,160	5,14	0,008
P3(0-10)	0,006	0,830	0,667	0,006
P3(10-20)	0,011	0,410	2,72	0,011
P4(0-10)	0,009	0,500	1,72	0,009
P5(0-10)	0,006	0,760	0,752	0,006
P5(10-20)	0,006	0,660	0,860	0,006
P6(0-10)	0,030	3,73	0,792	0,030
P6(10-20)	0,018	2,54	0,713	0,018
P7(0-10)	0,026	5,22	0,491	0,026
P7(10-20)	0,041	3,57	1,16	0,041

A fração leve, assim como a biomassa microbiana, tem sido utilizada como indicador sensível das alterações ocorridas no solo devido à sua labilidade (Yang & Kay, 2001; Chan et al., 2002; Xavier et al., 2002; Xavier et al., 2006). Essa fração está relacionada com o aporte de matéria orgânica e a sua utilização como substrato pela microbiota, configurando-se como a principal fonte energética do meio, além de servir como fonte de nutrientes, principalmente de N, em razão de seus componentes serem prontamente oxidáveis (Stevenson & Cole, 1999; Haynes, 1999). A fração leve desses solos é derivada da grande densidade de musgos e raízes de *Deschampsia* que, decorrente das baixas temperaturas, apresentam baixa taxa de decomposição.

Os maiores teores de C e N do compartimento lento (Tabelas 06 e 07) foram nas amostras P6 e P7. O maior teor do compartimento lento da matéria orgânica funciona como reserva de longo prazo da MOS. Essa reserva estável de C favorece, em longo prazo, a atividade biológica, assim como a ciclagem de nutrientes (Maia et al., 2008). O compartimento passivo é o compartimento da MO que apresenta os maiores teores de C e N nos solos estudados da Antártica, compartimento caracterizado como o de moléculas orgânicas de maior recalcitrância, correlacionando com o teor de substâncias húmicas ($R=0,97$, $n=26$, $p<0,001$) e humina ($R=0,96$, $n=26$, $p<0,001$).

Tabela 06 – Teores de COT e dos compartimentos (ativo, lento e passivo) da matéria orgânica em solos da Antártica.

Amostra	Carbono (g/kg solo)			
	COT	Compartimento ativo	Compartimento lento	Compartimento passivo
P1(0-10)	4,39	0,093	0,014	4,29
P1(10-20)	3,68	0,067	0,004	3,61
P2(0-10)	7,57	0,137	0,250	7,19
P2(10-20)	5,96	0,084	0,130	5,75
P3(0-10)	12,0	0,053	0,791	11,2
P3(10-20)	5,12	0,072	0,120	4,93
P4(0-10)	9,85	0,094	0,419	9,34
P5(0-10)	13,5	0,058	1,28	12,2
P5(10-20)	9,46	0,087	0,490	8,88
P6(0-10)	40,1	0,385	10,7	29,1
P6(10-20)	30,9	0,175	1,70	29,0
P7(0-10)	43,2	0,249	6,06	36,8
P7(10-20)	31,6	0,172	1,94	29,4

Tabela 07 – Teores do N total e dos compartimentos (ativo, lento e passivo) da Matéria Orgânica em solos da Antártica.

Amostra	Nitrogênio (g/Kg solo)			
	NT	Compartimento ativo	Compartimento lento	Compartimento passivo
P1(0-10)	0,120	0,003	0,001	0,116
P1(10-20)	0,080	0,006	0,000	0,075
P2(0-10)	0,320	0,011	0,012	0,297
P2(10-20)	0,160	0,008	0,006	0,146
P3(0-10)	0,830	0,006	0,045	0,780
P3(10-20)	0,410	0,011	0,005	0,394
P4(0-10)	0,500	0,009	0,019	0,472
P5(0-10)	0,760	0,006	0,074	0,680
P5(10-20)	0,660	0,006	0,035	0,619
P6(0-10)	3,73	0,030	1,04	2,66
P6(10-20)	2,54	0,018	0,192	2,33
P7(0-10)	5,22	0,026	0,580	4,61
P7(10-20)	3,57	0,041	0,312	3,22

3.4- Estoque de Carbono e Nitrogênio do Solo

A profundidade e a pedregosidade dos solos são fatores fundamentais na determinação do estoque total de C e N dos solos da Antártica. Assim, apesar da amostra P7 apresentar alto teor de COT (Tabela 08) esta possui estoque de C baixo em comparação aos solos P4 e P5, devido à sua maior pedregosidade. Apesar disso, os estoques de C nos solos estudados indicam que as áreas sob forte influência ornitogênica imobilizam mais C devido ao elevado aporte de nutrientes, especialmente P e N, para o ambiente terrestre possibilitando um maior desenvolvimento da vegetação (Simas et al., 2006).

Os estoques encontrados são baixos quando comparados a solos do Ártico. Segundo Bockheim et al. (1999), o estoque de C varia entre 2,5 kg/m² e 75,2 kg/m² para solos de tundra nessa região. Ping et al. (1997) apresentam resultados para regiões de pântano costeiro e de florestas do Ártico, com valores de estoque de C de 69,2 kg/m² e 78,7 kg/m², respectivamente.

Para o presente trabalho só se considerou as camadas de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm. Se forem consideradas profundidades maiores, os organossolos tendem a apresentar estoques de C e N superiores aos demais solos (Simas et al., 2007).

Tabela 08 – Estoque de C e N das amostras de solos da Antártica (considerando-se profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm).

Amostra	Densidade (g/mL)	COT (g/kg)	NT (g/kg)	% fragmentos >2mm	Estoque Carbono (kg/m ²)	Estoque Nitrogênio (kg/m ²)
P1(0-10)	1,60	4,39	0,120	52,3	0,334	0,009
P1(10-20)	1,42	3,68	0,080	54,8	0,236	0,005
P2(0-10)	1,36	7,57	0,320	50,9	0,507	0,021
P2(10-20)	1,21	5,96	0,160	66,2	0,243	0,007
P3(0-10)	1,43	12,0	0,830	44,3	0,961	0,066
P3(10-20)	1,51	5,12	0,410	47,3	0,407	0,033
P4(0-10)	1,24	9,85	0,500	35,8	0,787	0,040
P5(0-10)	1,31	13,5	0,760	50,5	0,873	0,049
P5(10-20)	1,36	9,46	0,660	47,3	0,676	0,047
P6(0-10)	1,11	40,1	3,73	80,1	0,889	0,083
P6(10-20)	1,40	30,9	2,54	85,9	0,609	0,050
P7(0-10)	0,923	43,2	5,22	86,2	0,548	0,066
P7(10-20)	1,17	31,6	3,57	83,6	0,607	0,069

3.5- Taxa de mineralização de C e sua relação com a qualidade da matéria orgânica do solo

A Figura 7 apresenta os fluxos de C-CO₂ em “mg/kg de solo”. Os valores de C mineralizado encontrados foram analisados pelo teste de Tukey (p<0,01) sendo os resultados apresentados nas Tabelas 09, 10 e 11. Os organossolos (P6 e P7), que possuem alto teor de COT por kg, apresentaram maior taxa de C mineralizado. A profundidade com maior taxa de mineralização de C foi de 10 a 20 cm. O degelo do permafrost deve favorecer a movimentação de c em solo para as camadas mais profundas, acarretando maior mineralização de c na profundidade de 10 a 20 cm. Os solos com origem basáltico/andesítica, P1 e P2, que possuem os menores teores de COT, apresentaram as menores taxas de emissão de C-CO₂ em mg/kg de solo.

Quanto ao efeito da temperatura, para todos os solos as incubações nas temperaturas 5, 8 e 11 °C não diferiram entre si e apresentaram maiores taxas de mineralização de C que a temperatura de 2 °C. Isto se deve, provavelmente, à adaptação dos microrganismos presentes em ambientes antárticos a baixas temperaturas (Madigan et al., 2004).

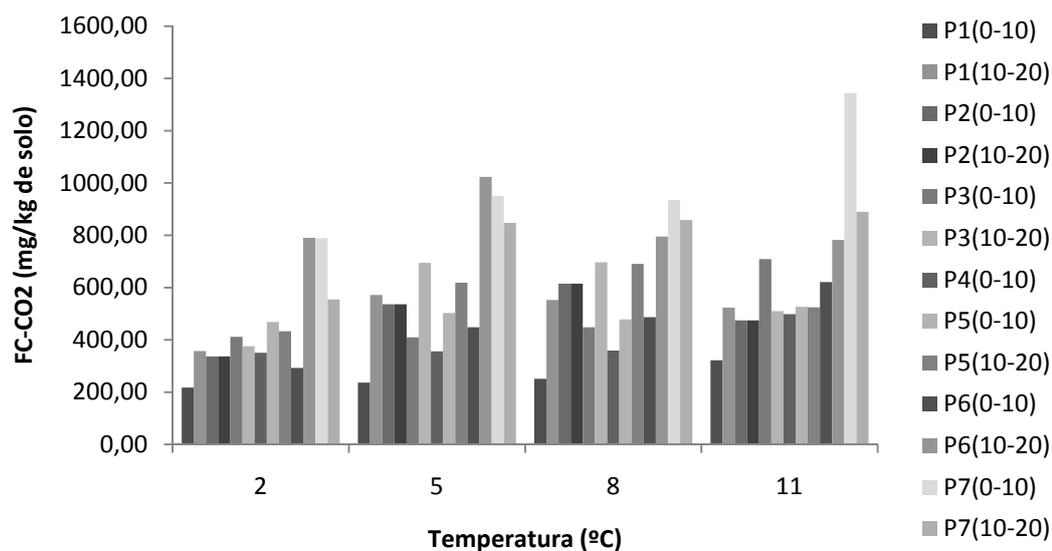


Figura 7: Fluxo de C-CO₂ por kg de solo para as amostras estudadas.

Tabela 09 – taxa de mineralização média de C por dia para todas as amostras estudadas, considerando todas as temperaturas e profundidades para cada solo (valores seguidos de mesma letra não diferiram entre si estatisticamente pelo teste de Tukey, com $p < 0,01$).

Amostra	C min/dia médio (mg/kg solo)
1	42,079 d
2	43,529 d
3	58,782 c
4	43,371 d
5	58,353 c
6	72,284 b
7	97,912 a

Tabela 10 – taxa de mineralização média de C por dia cada profundidade para todas as amostras estudadas, considerando todas as temperaturas (valores seguidos de mesma letra não diferiram entre si estatisticamente pelo teste de Tukey, com $p < 0,01$).

Profundidade (cm)	C min/dia médio (mg/kg solo)
0 a 10 cm	52,995 b
10 a 20 cm	68,464 a

Tabela 11 – taxa de mineralização média de C por dia para cada temperatura, considerando todas as amostras estudadas (valores seguidos de mesma letra não diferiram entre si estatisticamente pelo teste de Tukey, com $p < 0,01$).

Temperatura (°C)	C min/dia médio (mg/kg solo)
2	47,695 b
5	63,238 a
8	61,186 a
11	68,743 a

A Figura 8 apresenta os fluxos de C-CO₂ em “mg/g de C”. Os valores encontrados foram comparados pelo teste de Tukey ($p < 0,01$) e os resultados são apresentados nas tabelas 12, 13 e 14. O fluxo de C-CO₂, em mg/g de C, foi maior para a amostra P1, de origem basáltico/andesítica, seguido da amostra P3, proveniente de solo afetado por sulfetos. Os organossolos, P6 e P7, apresentaram os menores valores de fluxo, apesar de apresentarem os maiores teores de COT e NT e os maiores fluxos de C-CO₂ em mg/kg de solo. Com teores de COT tão altos, mesmo uma grande quantidade de C-CO₂ evoluído, representa uma pequena parte diante do total refletido no fluxo de C-CO₂ em mg/g de C. Estes resultados indicam que, entre os ambientes estudados, os solos afetados por sulfetos e de origem basáltico/andesítica, com menores teores de C, são mais sensíveis à perda de matéria orgânica. Não houve diferença significativa entre as quatro temperaturas estudadas, 2, 5, 8 e 11°C, indicando a adaptação dos microrganismos a ambientes com baixas temperaturas (Madigan et al., 2004). A profundidade de 10 a 20 cm apresentou maior fluxo que de 0 a 10 cm, como no fluxo C-CO₂ em mg/kg de solo.

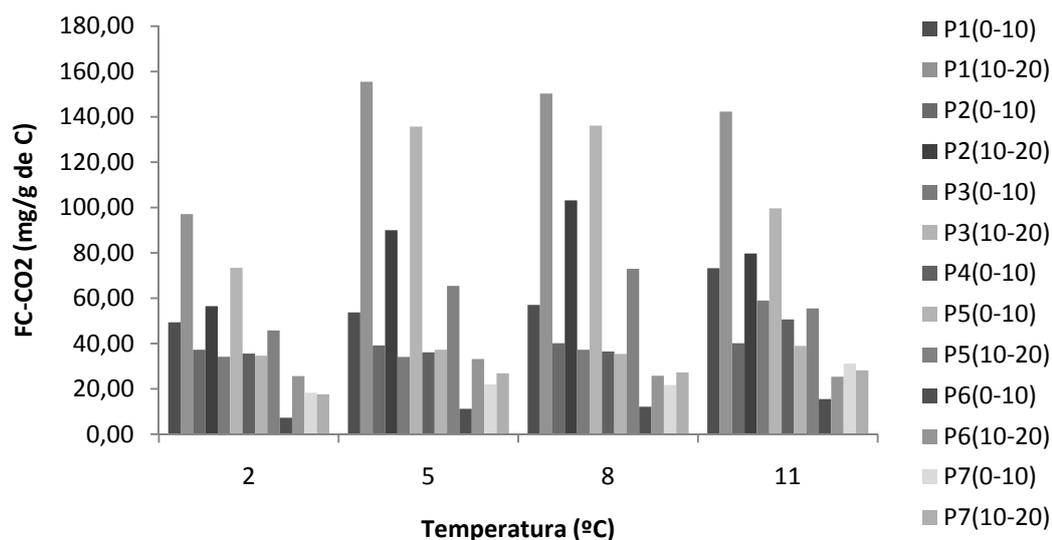


Figura 8: Fluxo de C-CO₂ por g de C para as amostras estudadas.

Tabela 12 – taxa de mineralização média de C por dia para as amostras estudadas, considerando todas as temperaturas e profundidades (valores seguidos de mesma letra não diferiram entre si estatisticamente pelo teste de Tukey, com $p < 0,01$).

Amostra	C min/dia médio (mg/g C)
1	97,32 a
2	60,77 bc
3	76,15 ab
4	39,70 cd
5	48,24 bcd
6	19,49 d
7	24,12 d

Tabela 13 – taxa de mineralização média de C por dia para as profundidades estudadas, considerando todos os solos e temperaturas (valores seguidos de mesma letra não diferiram entre si estatisticamente pelo teste de Tukey, com $p < 0,01$).

Profundidade (cm)	C min/dia médio (mg/g C)
0 a 10 cm	35,67 b
10 a 20 cm	73,70 a

Tabela 14 – taxa de mineralização média de C por dia para as temperaturas estudadas, considerando todas as amostras e profundidades (valores seguidos de mesma letra não diferiram entre si estatisticamente pelo teste de Tukey, com $p < 0,01$).

Temperatura (°C)	C min/dia médio (mg/g C)
2	40,97 a
5	56,94 a
8	58,129 a
11	56,857 a

O fluxo de C-CO₂ total ao final do período, correspondente à área de solo (mg/m² de solo), também foi avaliado e os valores foram analisados pelo método Tukey ($p < 0,01$), sendo os resultados apresentados na Figura 9 e nas Tabelas 15, 16 e 17. Os solos afetados por sulfetos, P3, P4 e P5 apresentaram os maiores valores e os organossolos, P6 e P7, apresentaram os menores valores, devido ao alto percentual de pedregosidade (fragmentos > 2mm). Ou seja, tais ambientes apresentaram menores quantidades de fragmentos menores que 2mm. Estes resultados indicam que, apesar de apresentarem maior emissão de C-CO₂ por kg de solo, o potencial de emissão nos organossolos é menor que nos demais ambientes, se considerarmos apenas 20 cm de profundidade.

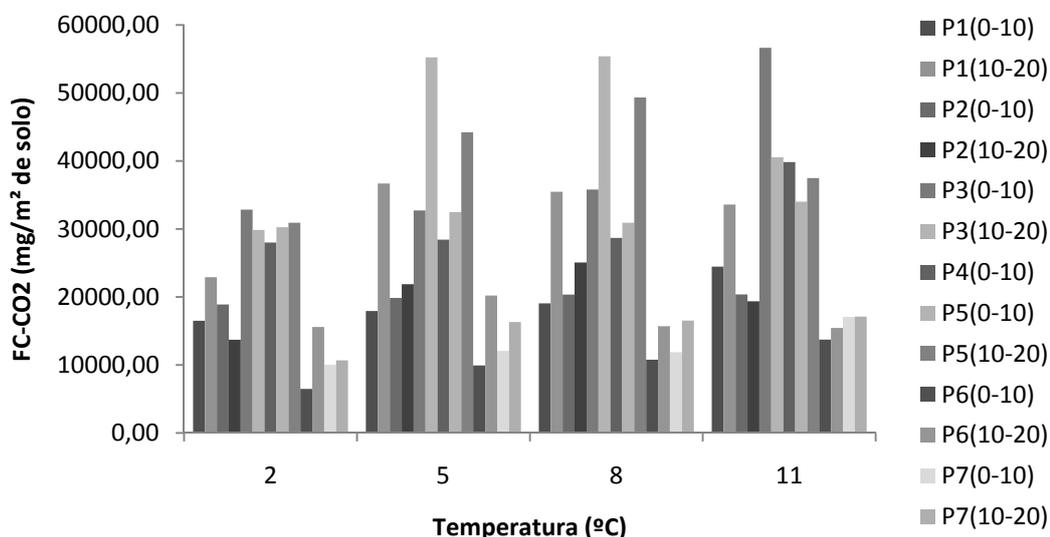


Figura 9: Fluxo de C-CO₂ por m² de solo para as amostras estudadas.

Tabela 15 – taxa de mineralização total de C para as amostras estudadas considerando todas as temperaturas e profundidades (valores seguidos de mesma letra não diferiram entre si estatisticamente pelo teste de Tukey, com $p < 0,01$).

Amostra	C min total médio (mg/m ²)
1	25828 cd
2	19939 de
3	42379 a
4	31240 bc
5	36210 ab
6	13483 e
7	13955 e

Tabela 16 – taxa de mineralização total de C para as profundidades estudadas, considerando todas as amostras e temperaturas (valores seguidos de mesma letra não diferiram entre si estatisticamente pelo teste de Tukey, com $p < 0,01$).

Profundidade (cm)	C min total médio (mg/m ²)
0 a 10 cm	23573 b
10 a 20 cm	28303 a

Tabela 17 – taxa de mineralização total de C para as temperaturas estudadas, considerando todas as amostras e profundidades (valores seguidos de mesma letra não diferiram entre si estatisticamente pelo teste de Tukey, com $p < 0,01$).

Temperatura (°C)	C min total médio (mg/m ²)
2	20515 b
5	26769 a
8	27304 a
11	28436 a

Através de regressões lineares entre FC-CO₂ e o período de tempo estudado para cada temperatura (Tabela 18, 19, 20 e 21), explicou-se a mineralização do C em função do tempo. Ocorrem maiores taxas de mineralização de C no início da incubação em praticamente todos os solos. A meia vida ($t_{1/2}$) observada não variou muito entre as diferentes amostras e temperaturas, tendo duração próxima de 30 dias em praticamente todos os casos, ou seja, período menor que a metade do total do experimento (72 dias). A alta taxa de mineralização na primeira fase se deve à intensa atividade microbiana sobre o compartimento de C orgânico prontamente oxidável, cuja exaustão conduz à redução do fluxo de C-CO₂ (Martines, 2006).

Entretanto, ao final da incubação houve maior correlação do C mineralizável com a fração recalcitrante (R=0,68; n=52; P<0,001) em relação à fração lábil (R=0,54; n=52 P<0,001). Esse resultado indica que a microbiota utilizou grande parte do C da fração quimicamente recalcitrante como fonte de energia e que a recalcitrância desse compartimento é estrutural e não devido à proteção coloidal ou física da MOS, devido aos baixos teores de argila desses solos. Parte dos estoques de C orgânico da fração lábil pode ser reposto pelo produto da degradação da fração mais recalcitrante, explicando a maior correlação do C mineralizável com a fração recalcitrante. Com a mineralização da MOS destes ambientes, poderá haver um possível incremento das frações fúlvicas e húmicas, com gradual substituição das frações orgânicas atuais por outras mais recalcitrantes (Silva & Mendonça, 2007). Os valores de R² foram altos, entre 0,831 até 0,996.

Tabela 18- Parâmetros da equação $Y_i = \frac{a}{1 + e^{-(b+c t_i)}}$ (*a*, *b*, *c*) das amostras de solo da Antártica na temperatura 2° C.

Amostra	<i>a</i> (mg C-CO ₂ /kg solo)	<i>b</i>	<i>c</i>	t _{1/2} (dias)	R ²
P1(0-10)	195	-1,45	3 x 10 ⁻³	23	0,885
P1(10-20)	358	-1,20	3 x 10 ⁻³	17	0,921
P2(0-10)	822	-2,52	1 x 10 ⁻³	39	0,955
P2(10-20)	12281	-5,13	1 x 10 ⁻³	36	0,831
P3(0-10)	407	-1,94	3 x 10 ⁻³	27	0,951
P3(10-20)	357	-2,08	4 x 10 ⁻³	23	0,990
P4(0-10)	388	-2,54	3 x 10 ⁻³	33	0,993
P5(0-10)	923	-2,51	1 x 10 ⁻³	60	0,966
P5(10-20)	698	-2,47	2 x 10 ⁻³	35	0,956
P6(0-10)	329	-1,60	2 x 10 ⁻³	29	0,984
P6(10-20)	830	-2,16	3 x 10 ⁻³	29	0,987
P7(0-10)	954	-2,19	2 x 10 ⁻³	38	0,979
P7(10-20)	605	-2,02	3 x 10 ⁻³	26	0,990

Tabela 19- Parâmetros da equação $Y_i = \frac{a}{1 + e^{-(b+ct_i)}}$ (a, b, c) das amostras de solo da Antártica na temperatura 5° C.

Amostra	a (mg C-CO ₂ /Kg solo)	b	c	$t_{1/2}$ (dias)	R ²
P1(0-10)	330	-1,46	1 x 10 ⁻³	36	0,978
P1(10-20)	650	-1,17	2 x 10 ⁻³	19	0,927
P2(0-10)	303	-1,20	2 x 10 ⁻³	24	0,980
P2(10-20)	707	-1,39	1 x 10 ⁻³	37	0,945
P3(0-10)	432	-1,63	2 x 10 ⁻³	32	0,970
P3(10-20)	727	-1,33	2 x 10 ⁻³	26	0,958
P4(0-10)	347	-1,55	3 x 10 ⁻³	22	0,972
P5(0-10)	511	-1,74	3 x 10 ⁻³	24	0,976
P5(10-20)	669	-1,25	2 x 10 ⁻³	23	0,960
P6(0-10)	474	-1,63	2 x 10 ⁻³	32	0,968
P6(10-20)	1162	-1,67	2 x 10 ⁻³	30	0,974
P7(0-10)	941	-2,00	3 x 10 ⁻³	28	0,972
P7(10-20)	921	-1,68	2 x 10 ⁻³	32	0,975

Tabela 20- Parâmetros da equação $Y_i = \frac{a}{1 + e^{-(b+ct_i)}}$ (a, b, c) das amostras de solo da Antártica na temperatura 8° C.

Amostra	a (mg C-CO ₂ / Kg solo)	b	C	$t_{1/2}$ (dias)	R ²
P1(0-10)	307	-2,00	2 x 10 ⁻³	34	0,984
P1(10-20)	557	-1,49	3 x 10 ⁻³	20	0,968
P2(0-10)	351	-1,02	2 x 10 ⁻³	16	0,950
P2(10-20)	639	-1,73	3 x 10 ⁻³	23	0,984
P3(0-10)	763	-2,20	2 x 10 ⁻³	28	0,968
P3(10-20)	736	-1,60	2 x 10 ⁻³	31	0,965
P4(0-10)	396	-1,48	2 x 10 ⁻³	27	0,968
P5(0-10)	615	-1,89	2 x 10 ⁻³	30	0,966
P5(10-20)	908	-1,82	2 x 10 ⁻³	28	0,969
P6(0-10)	634	-2,60	2 x 10 ⁻³	44	0,971
P6(10-20)	852	-1,83	2 x 10 ⁻³	35	0,976
P7(0-10)	1064	-2,25	2 x 10 ⁻³	42	0,972
P7(10-20)	953	-1,66	2 x 10 ⁻³	30	0,981

Tabela 21- Parâmetros da equação $Y_i = \frac{a}{1 + e^{-(b+ct_i)}}$ (a , b , c) das amostras de solo da Antártica na temperatura 11° C.

Amostra	a (mg C-CO ₂ /Kg solo)	b	c	$t_{1/2}$ (dias)	R ²
P1(0-10)	365	-1,57	2 x 10 ⁻³	28	0,942
P1(10-20)	647	-1,43	2 x 10 ⁻³	22	0,964
P2(0-10)	364	-1,34	2 x 10 ⁻³	21	0,952
P2(10-20)	624	-1,47	2 x 10 ⁻³	20	0,967
P3(0-10)	842	-1,79	2 x 10 ⁻³	31	0,969
P3(10-20)	733	-1,87	2 x 10 ⁻³	26	0,956
P4(0-10)	621	-1,74	2 x 10 ⁻³	28	0,978
P5(0-10)	583	-2,86	3 x 10 ⁻³	37	0,996
P5(10-20)	813	-2,38	2 x 10 ⁻³	34	0,989
P6(0-10)	728	-2,12	2 x 10 ⁻³	38	0,980
P6(10-20)	1080	-2,24	2 x 10 ⁻³	35	0,988
P7(0-10)	1505	-2,64	3 x 10 ⁻³	34	0,994
P7(10-20)	1031	-2,21	2 x 10 ⁻³	40	0,986

A Tabela 22 apresenta a taxa de C mineralizável em relação ao teor de COT referente a cada amostra estudada. Ao se observar a emissão C-CO₂ / kg de solo, os solos P6 e P7 foram os mais susceptíveis a perdas de C do solo, porém se observarmos a emissão C-CO₂ /g de C, eles são os menos susceptíveis a perdas. Isto se deve ao fato deste locais possuírem elevados teores de C, fazendo com que uma pequena fração do C presente sendo respirada na forma de CO₂ represente muito em relação à massa de solo. As amostras P1, P2 e P3 são os que, dentre os estudados, emitiram a maior quantidade de C-CO₂ em função da quantidade de C presente nas amostras de solo, sendo então tais ambientes mais sensíveis à perda de C com o degelo do *permafrost*.

Tabela 22 – Teores totais de C mineralizado em relação à quantidade de solo (mg C-CO₂/Kg solo) e em relação à quantidade de C (mg C-CO₂ /g de C) para os solos antárticos.

Amostra	mg C-CO ₂ /kg Solo				mg C-CO ₂ /g Carbono			
	2°C	5 °C	8 °C	11 °C	2 °C	5 °C	8 °C	11 °C
P1(0-10)	217,1	236,1	250,8	321,8	49,40	53,72	57,06	73,22
P1(10-20)	357,1	571,9	552,9	523,5	97,09	155,5	150,3	142,3
P2(0-10)	282,3	296,7	303,9	304,2	37,28	39,19	40,13	40,17
P2(10-20)	336,4	536,1	614,7	474,8	56,46	89,99	103,2	79,70
P3(0-10)	411,3	409,8	448,3	709,3	34,17	34,05	37,25	58,93
P3(10-20)	375,7	694,4	696,5	510,0	73,39	135,7	136,1	99,63
P4(0-10)	350,3	355,8	359,1	498,5	35,57	36,13	36,46	50,62
P5(0-10)	468,3	502,9	478,4	526,5	34,67	37,22	35,41	38,97
P5(10-20)	432,8	618,9	690,4	524,7	45,75	65,43	72,98	55,47
P6(0-10)	292,4	448,2	486,7	620,8	7,280	11,17	12,12	15,46
P6(10-20)	790,1	1023,5	795,3	782,0	25,61	33,18	25,78	25,35
P7(0-10)	789,0	950,7	935,1	1343,4	18,29	22,03	21,67	31,13
P7(10-20)	554,7	847,5	858,8	889,6	17,58	26,86	27,22	28,19

Para melhor compreensão das frações de C que foram oxidadas, avaliou-se as proporções de C orgânico oxidável consumido ao final do processo de incubação (Tabela 23). Em geral, na profundidade de 0-10 cm dos solos de Keller e Arctowski o aumento da temperatura resultou no maior consumo de C na forma lábil, enquanto que na profundidade de 10-20 cm dos solos de Keller o aumento da temperatura provocou redução de C na forma recalcitrante. As frações mais lábeis da MO são compostas principalmente por proteínas, açúcares e ácidos orgânicos livres, que podem ser rapidamente consumidas pela microbiota do solo (Silva e Mendonça, 2007). Esses compostos na superfície dos solos Antárticos estão ligados à liberação de exudados radiculares e excretas de pingüins e skuas. O aumento da atividade biológica com a elevação da temperatura acarretou resposta errática quanto à maior oxidação de formas recalcitrantes de C em relação à fração lábil. Esse resultado pode ser decorrente da quebra das frações recalcitrantes formando compostos lábeis durante o processo, sendo esse efeito, somente confirmado através de estudos futuros utilizando-se C marcado. Essa resposta acontece com solos de Keller devido ao menor teor de C total.

Tabela 23- Valores das frações lábeis e recalcitrantes oxidados após a mineralização nas quatro temperaturas de incubação.

Amostras	C Lábil (mg/g C)				C Recalcitrante (mg/g C)			
	02 °C	05 °C	08 °C	11 °C	02 °C	05 °C	08 °C	11 °C
P1(0-10)	52,20	17,06	46,27	9,91	10,63	52,07	28,90	64,36
P1(10-20)	99,37	130,4	150,2	57,52	2,460	25,98	12,93	79,00
P2(0-10)	3,290	72,10	10,60	48,29	37,20	93,24	28,96	2,370
P2(10-20)	50,40	29,55	27,37	37,75	11,24	88,76	115,1	56,18
P3(0-10)	37,51	52,00	48,12	121,5	1,240	7,520	10,22	2,820
P3(10-20)	16,52	1,660	13,94	8,440	68,80	136,1	160,2	98,17
P4(0-10)	31,27	66,36	43,33	17,57	5,57	82,84	20,68	54,38
P5(0-10)	9,080	180,2	41,87	81,48	26,52	124,1	6,640	12,95
P5(10-20)	39,47	70,93	61,44	72,88	12,06	29,19	28,03	29,44
P6(0-10)	25,24	30,64	31,87	50,28	0,000	0,000	0,000	18,84
P6(10-20)	32,97	18,79	84,63	101,1	2,720	0,000	52,46	2,350
P7(0-10)	17,06	26,80	39,07	36,04	1,440	0,000	6,100	1,900
P7(10-20)	17,61	23,60	29,76	40,16	0,550	4,110	2,770	2,320

3.6 - Quociente metabólico

O quociente metabólico, qCO_2 , (Figura 10) das amostras P1, P2 e P3, nas profundidades de 10 a 20 cm foram os maiores, indicando que nestes locais a microbiota do solo tem menor eficiência na utilização de C, ou seja, comparativamente, mais CO_2 é liberado para produzir a mesma biomassa microbiana que nas outras amostras.

Já as amostras P6 e P7 apresentaram os menores valores de qCO_2 , indicando maior eficiência na utilização de C pelos microrganismos presentes nesses ambientes, ou seja, menos CO_2 é perdido pela respiração e maior proporção de C é incorporado aos tecidos microbianos. Isto se deve, provavelmente, às melhores condições da matéria orgânica nos solos P6 e P7, com maiores teores de N e menor relação C/N. As amostras P4 e P5 apresentaram valores intermediários. Um ponto importante a se observar é que na profundidade de 0 a 10 cm os microrganismos foram mais eficientes na assimilação de C (menor qCO_2) que na profundidade de 10 a 20 cm (maior qCO_2). Tal fato deve estar ligado à qualidade da matéria orgânica nessas amostras, pois na profundidade de 10 a 20 cm, os teores de N e C na fração humina, fração mais estável da matéria orgânica, eram maiores que na profundidade

de 0 a 10 cm. Além disso, os microrganismos de profundidades maiores devem estar menos adaptados às condições de oxigenação a que foram submetidos no laboratório, podendo estar em situação de estresse. Segundo Silva et al. (2007) , quando a microbiota se encontra sob algum fator de estresse, a capacidade de utilização do C e do N é diminuída. Outro fato a se observar é que em algumas amostras, na profundidade de 10 a 20 cm, os microrganismos tiveram mais eficiência em fixar C com a temperatura de 5°C que a temperaturas maiores, indicando maior adaptabilidade desses a ambientes mais frios, visto que não sofrem tanto a influência do verão quanto os microrganismos da camada de 0 a 10 cm.

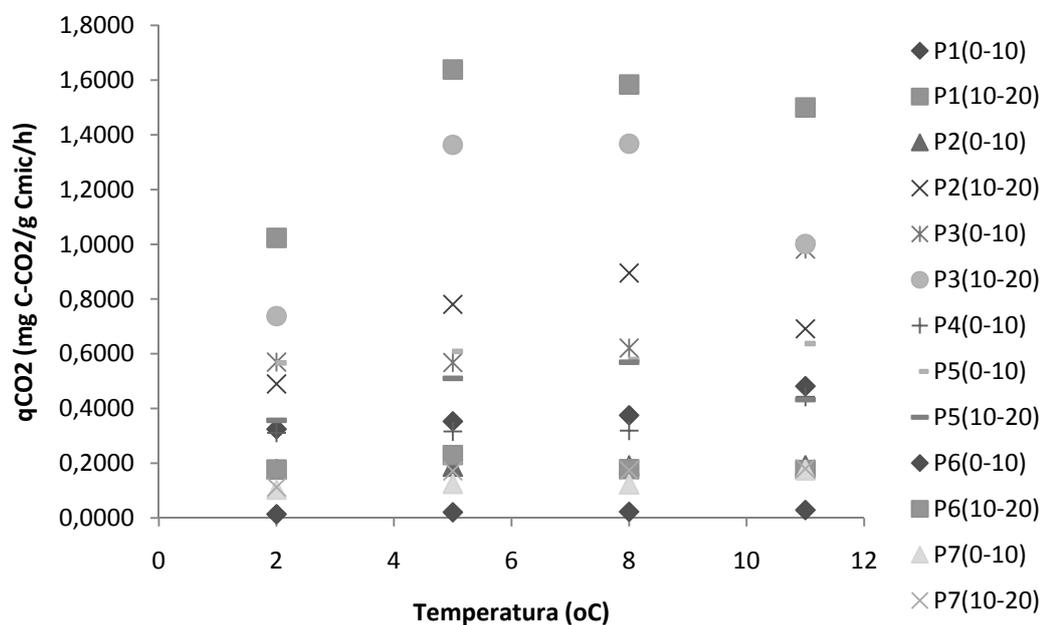


Figura 10: Quociente metabólico (qCO_2) das amostras estudadas.

3.7 – Sensibilidade da alteração de emissão de C-CO₂ com a variação da temperatura

A Tabela 24 apresenta os valores referentes à regressão linear do logaritmo do fluxo de C-CO₂ (mg/kg de solo) pela temperatura do solo (LnFC-CO₂ X T_{solo}), considerando-se uma variação de 9°C (2°C até 11°C) . A variável “B” da equação de regressão é o coeficiente angular da reta e representa a sensibilidade na alteração de emissão de C-CO₂ com a variação da temperatura. Apenas as amostras P1(0-10), P2(0-10), P6(0-10) e P7(0-10) apresentaram tais regressões significativas ($p < 0,1$). Destas, os solos ornitogênicos, amostras P6(0-10) e P7(0-10), apresentaram a maior

sensibilidade à alteração do Fluxo de C-CO₂ com a variação da temperatura (B = 0,07804 e 0,05267°C⁻¹, respectivamente), seguidos dos solos de origem basáltico/andesítica, amostras P1(0-10) e P2(0-10) (B = 0,04137 e B = 0,04137 °C⁻¹, respectivamente). A partir dos valores de “B” pode-se calcular quantas vezes será multiplicado o fluxo de C-CO₂ com a variação da temperatura de 2 para 11°C. Tal variação foi expressa como F_{T11}/F_{T2} na Tabela 23 (F_{T11}/F_{T2}=EXP(Bx9)). Assim, as amostras ornitôgênicas, P6(0-10) e P7(0-10) apresentaram a maior variação no fluxo de C-CO₂ (aumento de 102% e 61%, respectivamente), enquanto as amostras P1(0-10) e P2(10-20) apresentaram variações menores (aumento de 45% e 8%, respectivamente).

Tabela 24: Sensibilidade da alteração do fluxo de C-CO₂ com a variação da temperatura de 2°C para 11°C.

Amostras	Ln(FC-CO ₂) = A + B T _{solo}				R ²	P	F _{T11} /F _{T2}
	A	Erro	B	Erro			
P1(0-10)	5,2669	0,07352	0,04137	0,01005	0,94574	0,05426	1,45
P1(10-20)	5,95936	0,21911	0,03713	0,02996	0,65908	0,34092	1,40
P2(0-10)	5,63876	0,0188	0,00827	0,00257	0,91547	0,08453	1,08
P2(10-20)	5,91803	0,27943	0,03902	0,0382	0,58548	0,41452	1,42
P3(0-10)	5,8025	0,18451	0,05749	0,02523	0,8497	0,1503	1,68
P3(10-20)	6,11377	0,36059	0,03066	0,0493	0,40259	0,59741	1,32
P4(0-10)	5,72576	0,13284	0,03559	0,01816	0,81088	0,18912	1,38
P5(0-10)	6,13623	0,04698	0,01005	0,00642	0,74182	0,25818	1,09
P5(10-20)	6,17573	0,24479	0,0229	0,03347	0,43553	0,56447	1,23
P6(0-10)	5,59327	0,11233	0,07804	0,01536	0,96338	0,03662	2,02
P6(10-20)	6,79729	0,1669	-0,00944	0,02282	0,28075	0,71925	0,92
P7(0-10)	6,55056	0,12108	0,05267	0,01655	0,9138	0,0862	1,61
P7(10-20)	6,34187	0,16735	0,04768	0,02288	0,82743	0,17257	1,54

3.8 - Determinação em laboratório da taxa de mineralização de N

Em geral, os teores de N total se mantiveram constantes ao longo dos experimentos de mineralização de C. Esse resultado indica que não houve perda de N por volatilização.

Os teores de amônio são superiores aos teores de nitrato em praticamente todos os solos estudados (Figuras 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17). Isto se deve ao fato de que o processo de mineralização do nitrogênio produz primeiramente amônio, que posteriormente é oxidado a nitrato (Sylvia et al., 2005).

Os valores de N mineralizado foram comparados pelo teste de Tukey ($p < 0,01$) e os resultados estão apresentados nas tabelas 25, 26 e 27. As amostras P6 e P7 apresentaram os maiores valores de amônio e os menores valores de nitrato, por serem ambientes menos oxidantes. Além disso, tais amostras apresentam maiores teores de matéria orgânica, tendendo a formar mais amônio (Stevenson, 1994). As profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm apresentaram resultados semelhantes, sendo que tanto os teores de NH_4 quanto os de NO_3 foram maiores na camada de 0 a 10 cm, pois tal camada apresenta maiores teores de matéria orgânica.

Quanto à temperatura, a 11°C houve maior produção de NH_4 , indicando que os primeiros microrganismos a decompor a matéria orgânica preferem temperaturas mais altas. Já a produção de NO_3 foi maior na temperatura de 5°C , indicando que os microrganismos que oxidam NH_4 em ambientes antárticos são mais adaptados a temperaturas mais baixas.

Tabela 25 – teores médios de N mineralizados a NH_4 e NO_3 por dia para as amostras estudadas, considerando todas as temperaturas e profundidades (valores seguidos de mesma letra não diferiram entre si estatisticamente pelo teste de Tukey, com $p < 0,01$).

Amostra	NH_4 /dia médio (mg/kg solo)	NO_3 /dia médio (mg/kg solo)
1	9,895 c	5,785 bcd
2	15,465 c	9,171 a
3	14,615 c	8,009 abc
4	12,696 c	8,269 ab
5	14,946 c	8,835 a
6	26,935 b	4,481 d
7	53,308 a	5,375 cd

Tabela 26 – teores médios de N mineralizados a NH_4 e NO_3 por dia para as profundidades estudadas, considerando todas as amostras e temperaturas (valores seguidos de mesma letra não diferiram entre si estatisticamente pelo teste de Tukey, com $p < 0,01$).

Profundidade (cm)	NH_4 /dia médio (mg/kg solo)	NO_3 /dia médio (mg/kg solo)
0 a 10 cm	23,045 a	7,9979 a
10 a 20 cm	20,285 b	5,9332 b

Tabela 27 – teores médios de N mineralizados a NH_4 e NO_3 por dia para as temperaturas estudadas, considerando todas as amostras e profundidades (valores

seguidos de mesma letra não diferiram entre si estatisticamente pelo teste de Tukey, com $p < 0,01$).

Temperatura (°C)	NH ₄ /dia médio (mg/kg solo)	NO ₃ /dia médio (mg/kg solo)
2	14,932 b	3,267 d
5	18,447 b	10,819 a
8	19,394 b	5,623 c
11	34,310 a	8,471 b

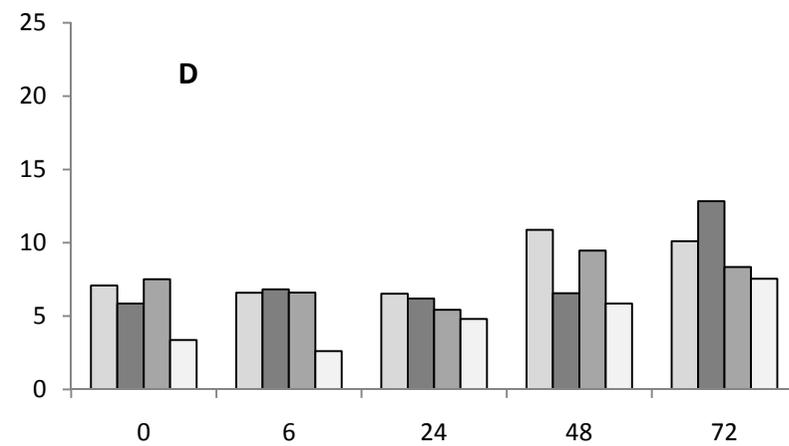
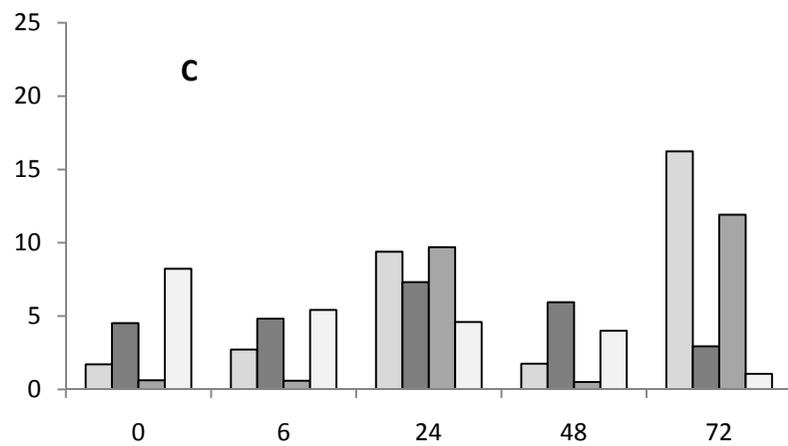
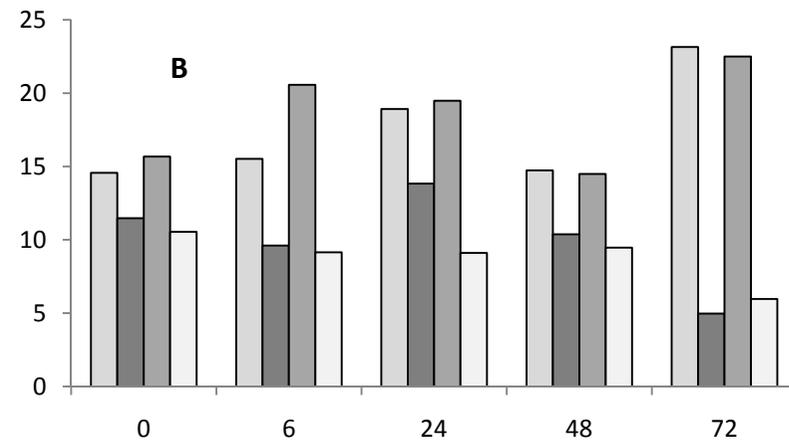
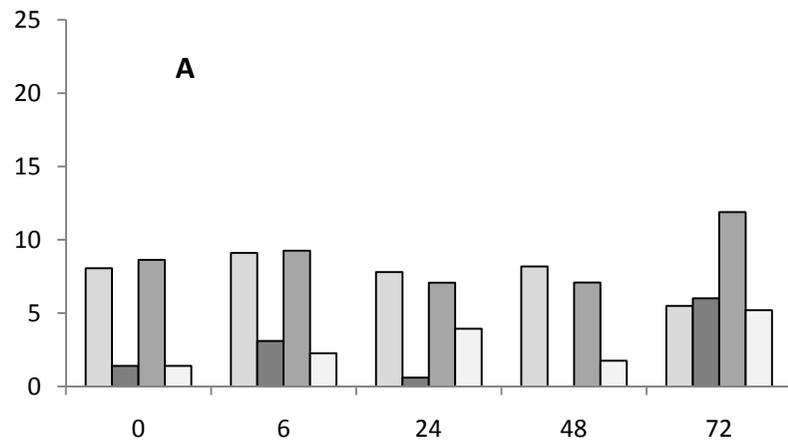


Figura 11 - Teores (mg/kg) de amônio e nitrato para a **Amostra 1** nas temperaturas 02°C (A), 05°C (B), 08°C (C) e 11°C (D), durante o período de incubação de 0, 6, 24, 48 e 72 dias. LEGENDA: □ Amônio (0-10); ■ Nitrato (0-10); ▒ Amônio (10-20); ▒ Nitrato (10-20).

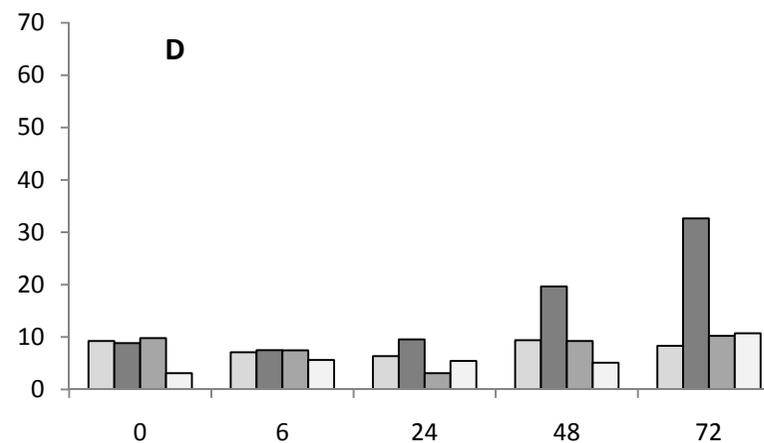
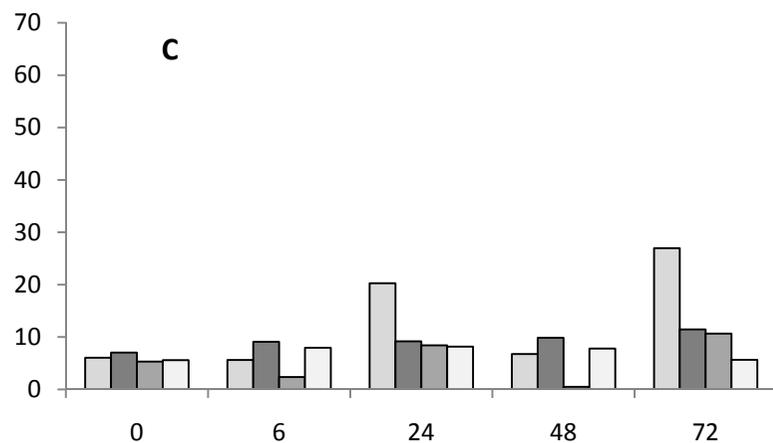
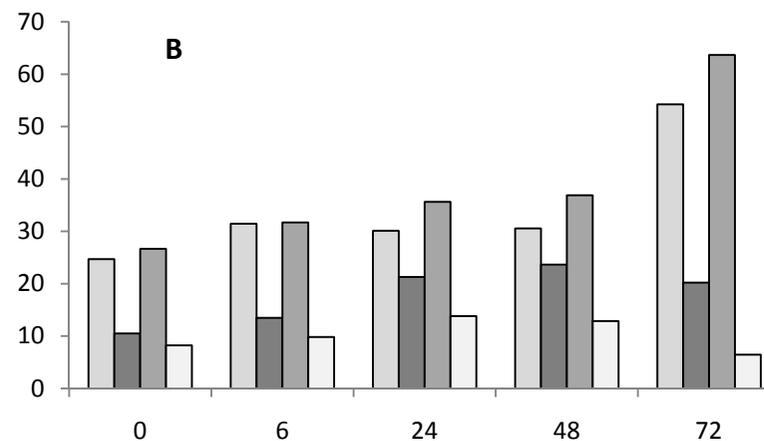
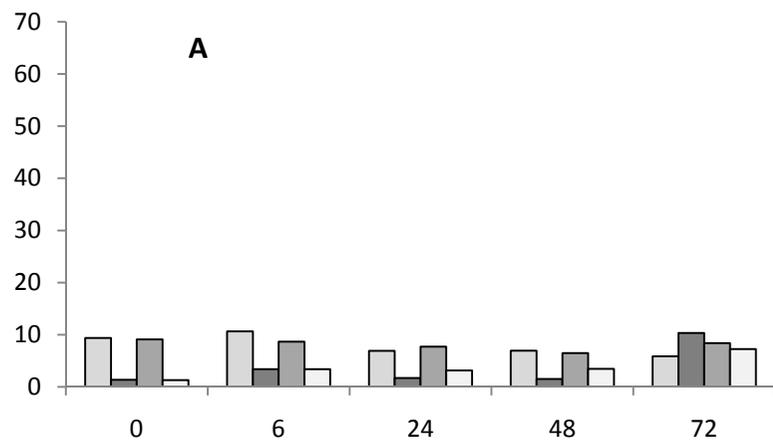


Figura 12 - Teores (mg/kg) de amônio e nitrato para a **Amostra 2** nas temperaturas 02°C (A), 05°C (B), 08°C (C) e 11°C (D), durante o período de incubação de 0, 6, 24, 48 e 72 dias. LEGENDA: □ Amônio (0-10); ■ Nitrato (0-10); ▒ Amônio (10-20); □ Nitrato (10-20).

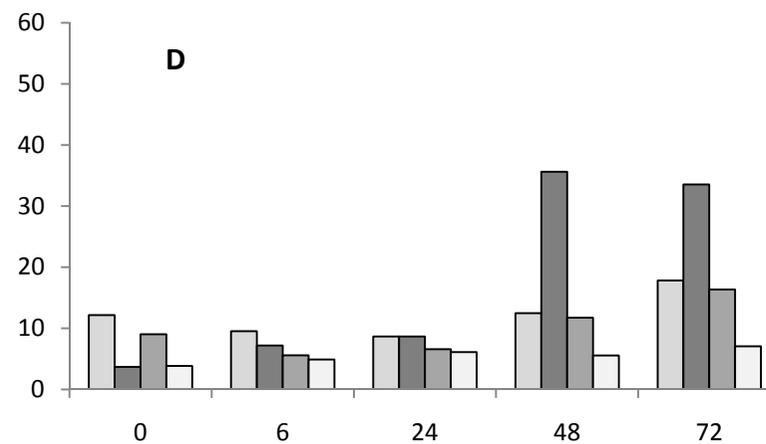
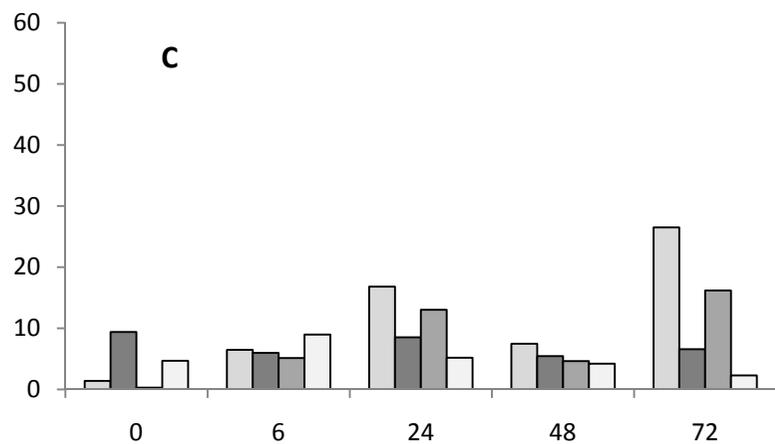
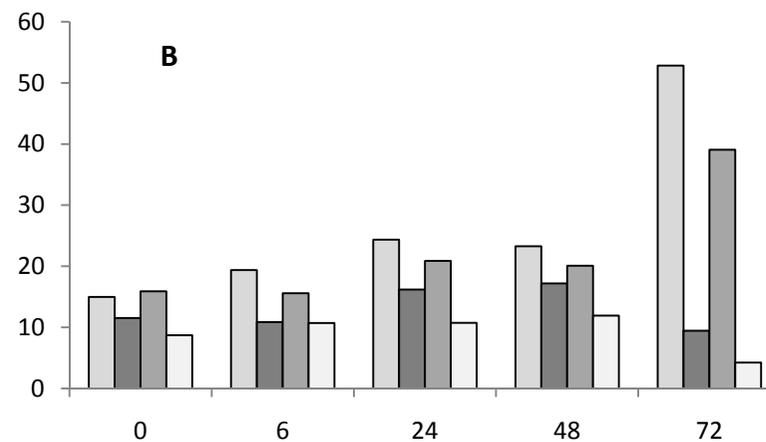
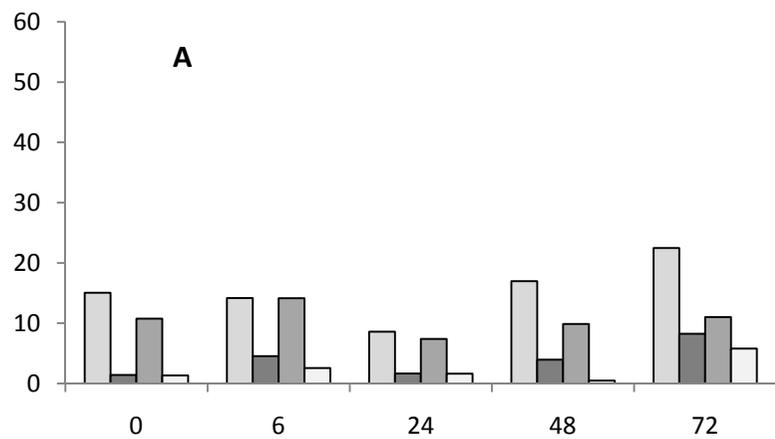


Figura 13 - Teores (mg/kg) de amônio e nitrato para a **Amostra 3** nas temperaturas 02°C (A), 05°C (B), 08°C (C) e 11°C (D), durante o período de incubação de 0, 6, 24, 48 e 72 dias. LEGENDA: □ Amônio (0-10); ■ Nitrato (0-10); ▒ Amônio (10-20); □ Nitrato (10-20).

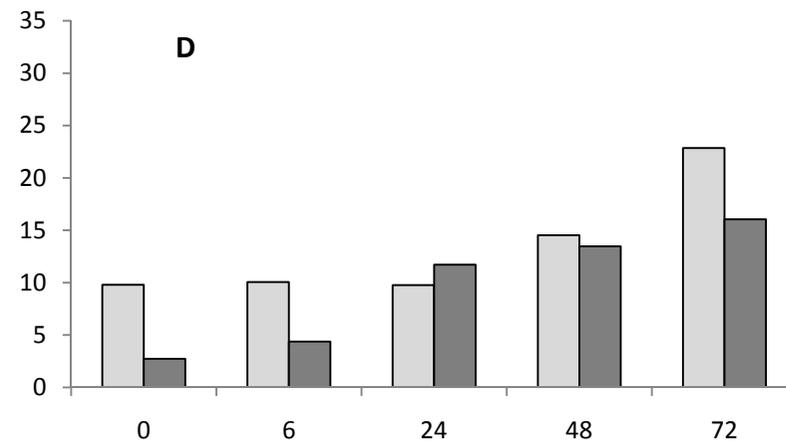
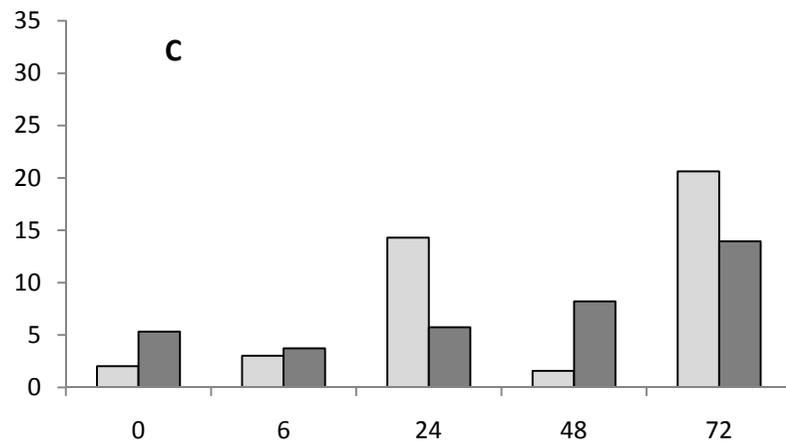
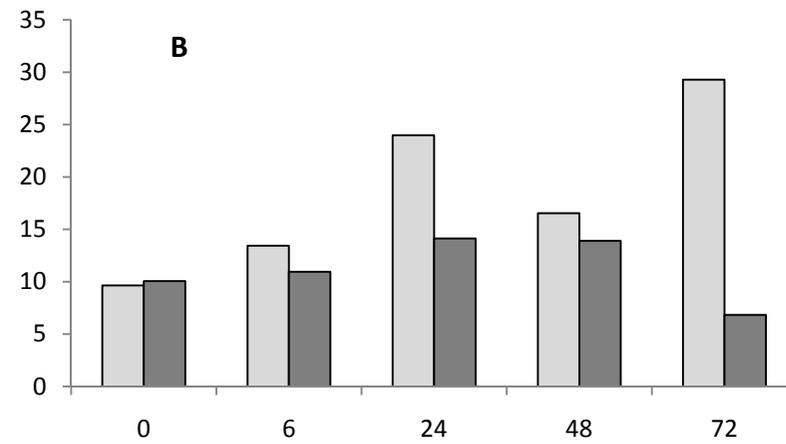
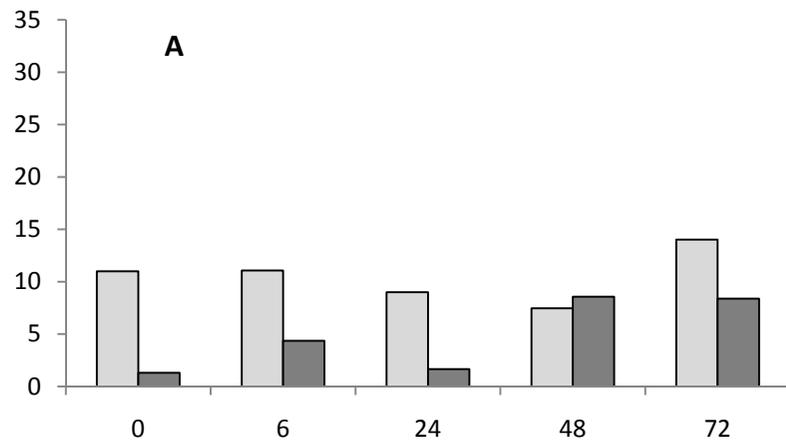


Figura 14 - Teores (mg/kg) de amônio e nitrato para a **Amostra 4** nas temperaturas 02°C (A), 05°C (B), 08°C (C) e 11°C (D), durante o período de incubação de 0, 6, 24, 48 e 72 dias. LEGENDA: □ Amônio (0-10); ■ Nitrato (0-10); □ Amônio (10-20); ■ Nitrato (10-20).

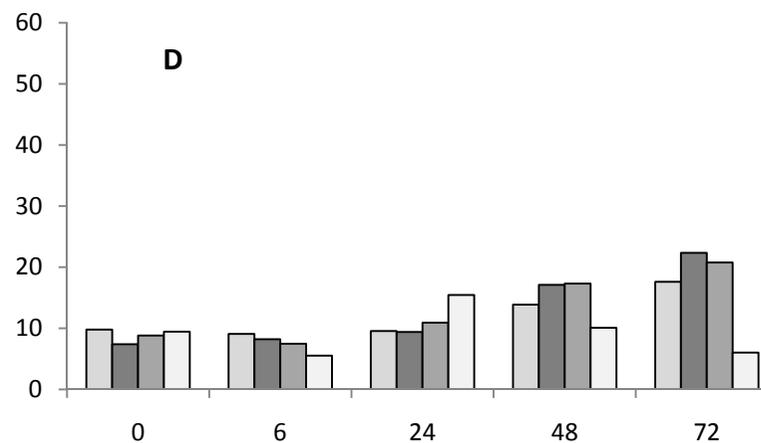
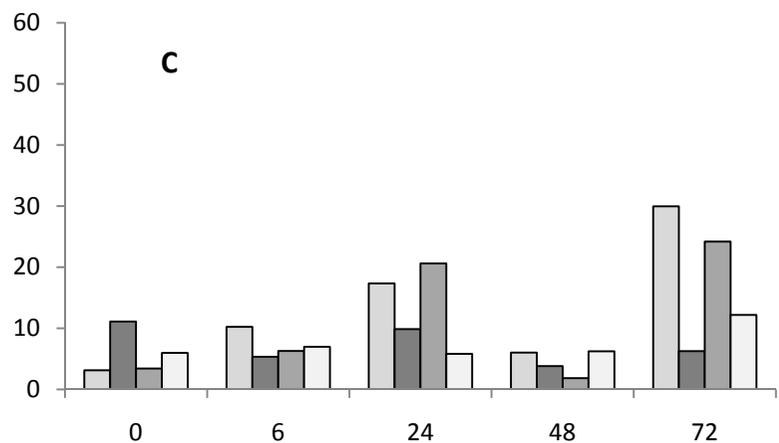
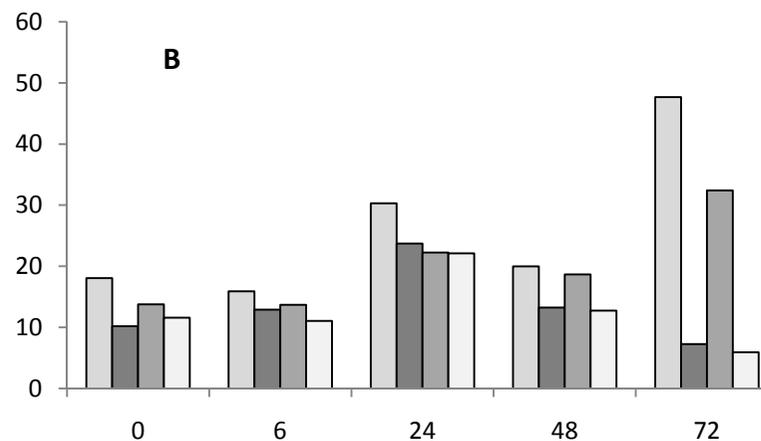
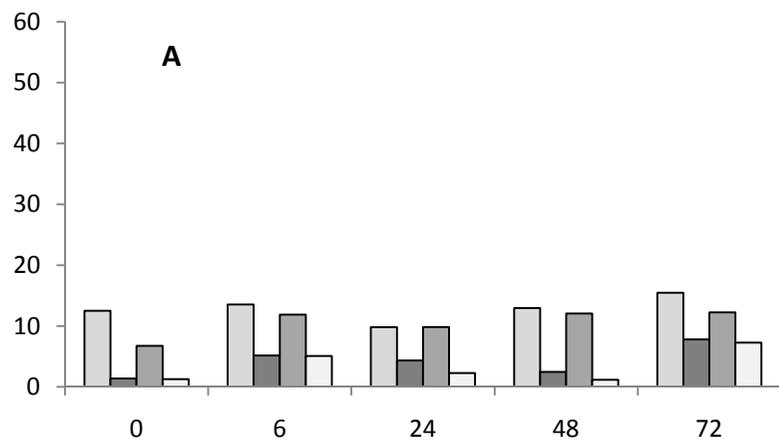


Figura 15 - Teores (mg/kg) de amônio e nitrato para a **Amostra 5** nas temperaturas 02°C (A), 05°C (B), 08°C (C) e 11°C (D), durante o período de incubação de 0, 6, 24, 48 e 72 dias. LEGENDA: □ Amônio (0-10); ■ Nitrato (0-10); ▒ Amônio (10-20); □ Nitrato (10-20).

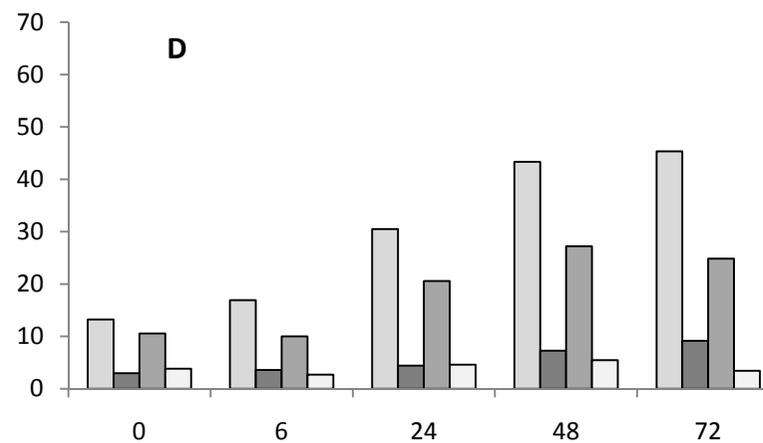
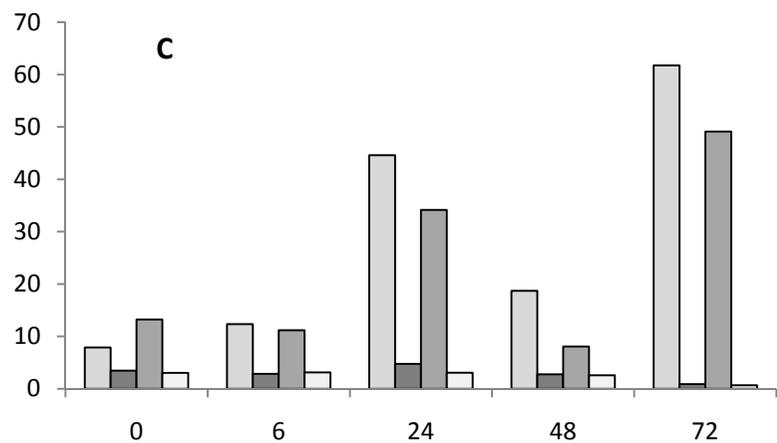
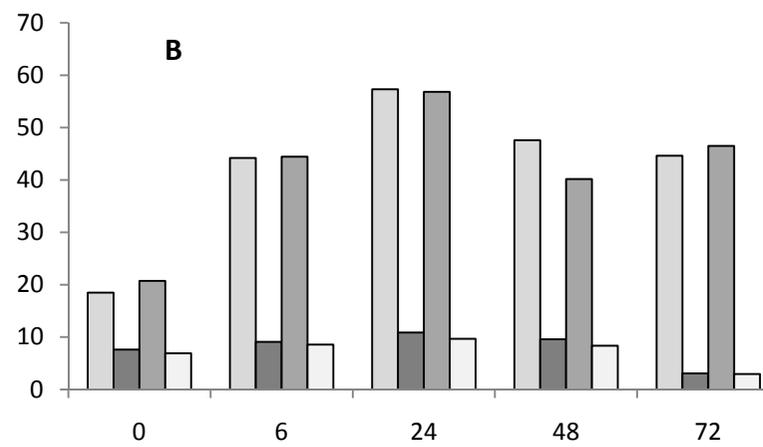
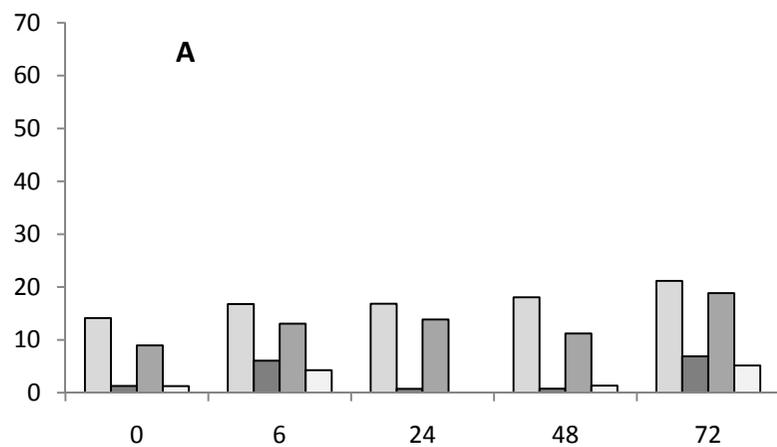


Figura 16 - Teores (mg/kg) de amônio e nitrato para a **Amostra 6** nas temperaturas 02°C (A), 05°C (B), 08°C (C) e 11°C (D), durante o período de incubação de 0, 6, 24, 48 e 72 dias. LEGENDA: □ Amônio (0-10); ■ Nitrato (0-10); ■ Amônio (10-20); □ Nitrato (10-20).

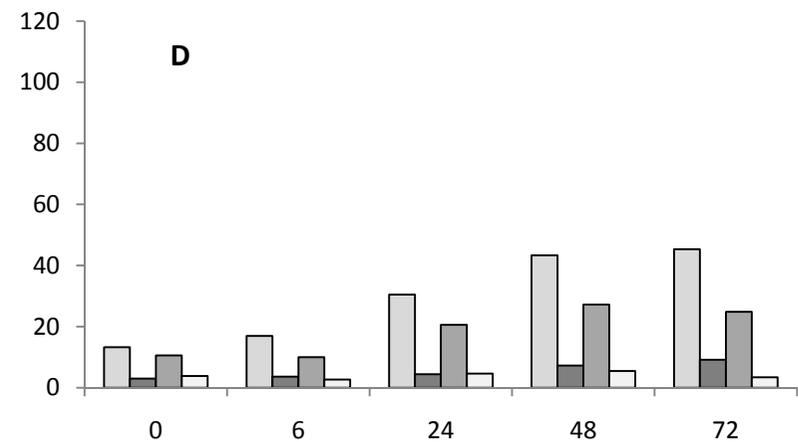
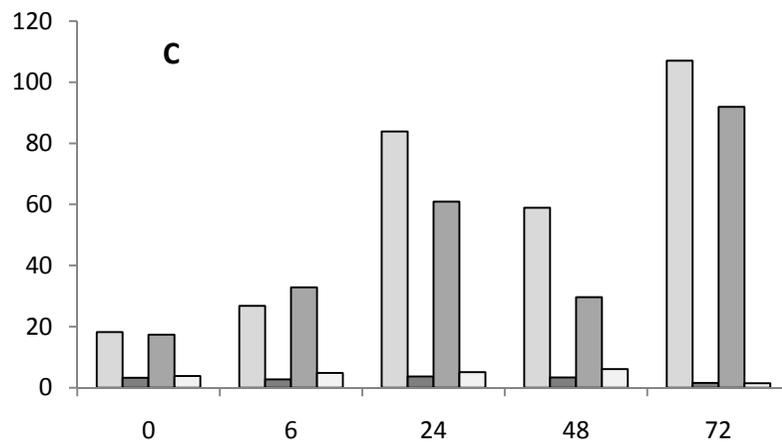
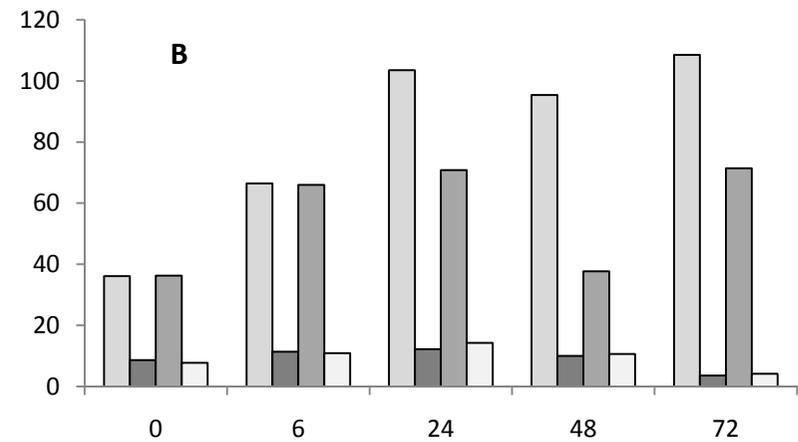
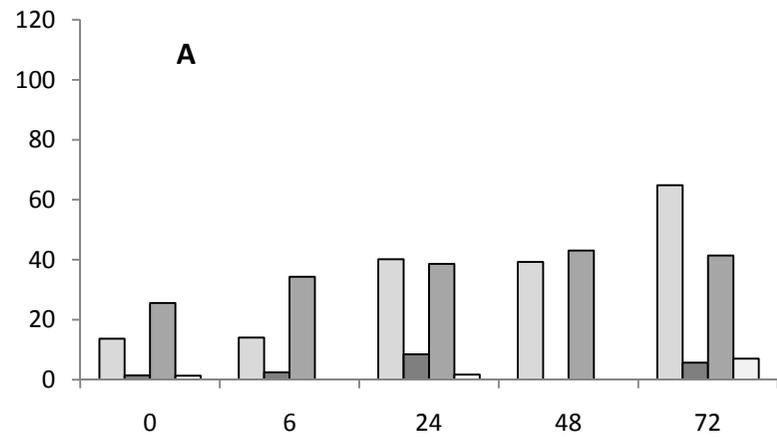


Figura 17 - Teores (mg/kg) de amônio e nitrato para a **Amostra 7** nas temperaturas 02°C (A), 05°C (B), 08°C (C) e 11°C (D), durante o período de incubação de 0, 6, 24, 48 e 72 dias. LEGENDA: □ Amônio (0-10); ■ Nitrato (0-10); ▒ Amônio (10-20); □ Nitrato (10-20).

4 – Discussão

De modo geral, os organossolos (amostras P6 e P7) apresentaram condições mais favoráveis à atividade microbiana, como maiores teores de matéria orgânica, menor relação C/N, menor relação CFH/CFAH+CFAF e NFH/NFAH+NFAF. O que conferiu a eles maiores taxas de mineralização de C e N por kg de solo. Os solos de origem basáltico/andesítica, amostras P1 e P2, apresentaram as condições menos favoráveis à atividade microbiana. Já os solos afetados por sulfetos, amostras P3, P4 e P5, apresentaram condições intermediárias, mais favoráveis que os solos P1 e P2, de origem basáltico/andesítica, e menos favoráveis que os organossolos.

Os organossolos estudados neste trabalho tratam-se de pingüineiras abandonadas, tendo sido formados a partir da incorporação de resíduos orgânicos, provenientes da ação de aves, à matriz mineral, por isso são chamados de solos ornitogênicos (Tatur, & Myrcha, 1993).

Rakusa-Suszczewski (1993), em extensa revisão sobre a dinâmica da matéria orgânica na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, cita como principais fontes de material orgânico do ecossistema marinho para o terrestre: guano, urina, penas, casca de ovos, pêlos, restos animais e vegetais e conchas. Destacando-se neste processo os pingüins, que formam anualmente colônias com milhares de indivíduos. Importante ressaltar que além dos pingüins, outras aves também contribuem para o processo de ornitogênese como as skuas, petréis e gaivotões (Tatur & Myrcha, 1993). Durante o processo de mineralização da matéria orgânica, as formas menos persistentes são decompostas rapidamente, sendo volatilizadas ou lixiviadas, assim, materiais orgânicos mais resistentes como quitina, ácido úrico e minerais de fosfato, se concentram (hidroxi-apatita e struvita) (Myrcha et al., 1983). Isto acontece em todos os solos que recebem aporte de resíduos de aves no ecossistema antártico, explicando o predomínio de C recalcitrante na maioria dos solos estudados. Além disso, os solos P1 e P2 estão localizados em uma posição que favorece a lavagem do solo, o que pode remover parte significativa do C lábil, aumentando a proporção de C recalcitrante no perfil de solo (Carvalho, 2010). Os baixos teores de N em tais solos, máximo 0,32 g/kg para a amostra P2(0-10), podem retardar a atividade microbiana favorecendo menores estoques de C lábil no solo (Silva & Mendonça, 2007).

Os valores de COT encontrados para os solos estudados são comparáveis aos apresentados por Bölter (1995) e Bölter et al. (1997) para solos minerais na ilha Rei George, e menores que os valores (20 g/kg) descritos para solos minerais de outros ambientes terrestre (Campbell & Claridge, 1987). Tais teores são equivalentes aos valores de COT para solos arenosos de regiões não polares (Zdanowski & Weglenâski, 2001; Navas et al., 2008). O motivo para os baixos teores de COT nestes solos se deve, provavelmente, às condições microclimáticas, onde a temperatura e as condições hídricas do solo limitam a produção primária e a fixação de carbono no sistema (Michel, 2005).

A origem e o maior aporte de resíduos nos organossolos (P6 e P7) (Rakusa-Suszczewski, 1993; Tatur & Myrcha, 1989), explicam os altos teores de COT e NT, 43,15g/kg e 5,22g/kg respectivamente para P7(0-10), quando comparados aos demais solos, cujos teores de COT e NT alcançaram valores menores, como 13,51g/kg e 0,76g/kg, respectivamente, para o solo P5(0-10).

Os organossolos também apresentaram as menores relações C/N, 10,76 e 8,27 para os solos P6(0-10) e P7(0-10), respectivamente. Devido aos altos teores de N, que fazem parte da rota de humificação (Silva e Mendonça, 2007) esses solos devem apresentar maior incorporação de C e N nas substâncias húmicas. Para os solos P1, P2, P3, P4 e P5 os valores da relação C/N foram altos, 36,63 e 37,24 para os solos P1(0-10) e P2(0-10), respectivamente. Os valores encontrados indicam o baixo estado de decomposição da matéria orgânica desses solos, devido ao baixo teor de N total (Silva e Mendonça, 2007). A camada de 0 a 10 cm apresentou, na maioria dos solos, maior COT, maior NT e menor relação C/N por ser uma região de deposição de matéria orgânica e acúmulo devido à sua preservação pelo frio intenso (Cunha et al. 2007).

Tanto o C quanto o N presentes nos compartimentos ativo, lento e passivo apresentaram comportamentos semelhantes para os solos estudados, com predomínio do compartimento passivo, seguido do compartimento lento. Carvalho (2010) encontrou resultados semelhantes. O compartimento passivo é caracterizado pela presença de moléculas orgânicas de maior recalcitrância, correlacionando com o teor de substâncias húmicas e principalmente com a humina, reforçando o predomínio de materiais orgânicos mais resistentes (Myrcha et al., 1983).

Por apresentar maiores teores de COT e NT, os organossolos, amostras P6 e P7, apresentaram também maiores valores para cada compartimento. Porém,

apresentaram menor proporção entre o compartimento ativo e os demais. Esses solos receberam aporte de matéria orgânica mais recentemente e possuem maior biomassa vegetal, aumentando assim a fração leve da matéria orgânica, considerada como compartimento lento. Esses solos também possuem maiores teores de Cmic e Nmic.

O C microbiano (Cmic) está estreitamente relacionado com o C do solo, e mais ainda com o C lábil (Lynch & Parting, 1980; Powlson et al., 1987; Sparling, 1992; Witter, 1996). Os solos antárticos analisados apresentaram maior correlação positiva dessa forma de C com o C lábil ($R=0,67$; $n=13$; $P<0,001$) em relação ao COT ($R=0,57$, $n= 13$, $P<0,05$) reforçando a relação entre frações mais facilmente oxidáveis com a população microbiana.

A relação Cmic/COT ou qMIC (quociente microbiano) indica a conversão do COT em Cmic (Marchiori Júnior & Mello, 1999), sendo um parâmetro da qualidade da matéria orgânica (Tótola & Chaer, 2002). De modo geral, a atividade microbiana nos solos estudados é reduzida, com valores para qMIC alcançando, no máximo, 2,00% para P1(0-10), nível no qual estaria ocorrendo equilíbrio (Jenkinson & Ladd, 1981). Os baixos valores sugerem a ação de fatores limitantes ao desenvolvimento microbiano como material de aporte recalcitrante, baixas temperaturas e carência de micronutrientes (Leite et al., 2003).

Os solos basáltico/andesíticos apresentaram os maiores valores de qMIC, indicando que nestes solos ocorre maior ciclagem da matéria orgânica e nutrientes (Leite et al., 2003). Os dados sobre a fertilidade destes solos apresentados por Schaefer et al., (2004) mostram a maior fertilidade em tais pontos, confirmando tal expectativa. Os organossolos, P6 e P7, e os solos afetados por sulfetos, P3, P4 e P5, apresentaram valores semelhantes para qMIC, menores que os solos P1 e P2. Esses resultados indicam que a maior lavagem do solo nos solos P1 e P2 em relação aos demais, favorece a remoção dos produtos da decomposição/mineralização do material orgânico que aporta ao solo, resíduos de gramínea e musgo. Com a maior remoção do C e N liberados no processo de decomposição, há menor acúmulo de matéria orgânica no perfil do solo, fazendo com que haja menor reserva de C e, conseqüentemente, maior proporção de C microbiano nestes solos. No entanto, devido ao elevado valor para relação C/N da matéria orgânica desses solos, supõe-se que a atividade microbiana deve ser mesmo menor (Carvalho, 2010).

Em todas as amostras estudadas, tanto o C quanto o N na fração humina (CFH e NFH) foram maiores que nas frações ácidos fúlvicos (CFAF e NFAF) e

ácidos húmicos (CFAH e NFAH), reforçando que os processos de estabilização da matéria orgânica em substâncias húmicas em ambientes tropicais e antárticos são semelhantes (Stevenson, 1994). A relação CFH/CFAF+CFAH foi maior nas amostras P1 e P2, indicando que nestes solos há predomínio de matéria orgânica mais antiga, com menos aporte recente do que nas outras áreas. Isso pode indicar que a deposição do resíduo orgânico presente nestes locais aconteceu em tempos mais remotos que nos demais solos. Nos solos P1(0-10), P1(10-20), P2(0-10) e P2(10-20) o predomínio da fração húmica é próximo a 100%. Tal fato pode estar relacionado ao maior teor de argila desses solos, que favorece a proteção coloidal e química da MOS (Silva e Mendonça, 2007), formando complexos argilo-orgânicos (Zinn et al., 2005) e dificultando o acesso dos microorganismos e subsequente decaimento da MO.

As frações ácidos fúlvicos nas amostras P2(0-10), P2(10-20), P3(0-10) e P4(0-10) e as frações ácidos húmicos nas amostras P1(0-10), P1(10-20), P2(0-10) e P2(10-20) apresentaram ausência de N. Os baixos teores e/ou a ausência de N nas frações fúlvicas e húmicas podem indicar que o processo de degradação está dominando na formação das substâncias húmicas e que grande parte dos ácidos húmicos e fúlvicos é proveniente da degradação das huminas (Silva e Mendonça, 2007; Carvalho, 2010).

Os organossolos, P6 e P7, apresentaram maiores teores de C e N nas substâncias húmicas que os demais solos devido aos altos teores de N, que fazem parte da rota de humificação (Silva e Mendonça, 2007). Os menores valores de COT e NT, nas amostras P1 e P2 indicam menor deposição de matéria orgânica nesses ambientes e as altas relações CFH/CFAH+CFAF e NFH/NFAH+NFAF indicam que essa pequena deposição aconteceu em tempos mais remotos. Já as amostras P6 e P7, que apresentaram os maiores valores de COT e NT, com as menores relações CFH/CFAH+CFAF e NFH/NFAH+NFAF, receberam maior aporte de matéria orgânica, provavelmente em datas mais recentes.

Apesar de apresentarem altos valores de COT e NT, os estoques de C e N nos organossolos, P6 e P7, não se destacaram quando comparados aos demais, estando com valores próximos dos solos afetados por sulfetos, P3, P4 e P5 e sendo superiores aos solos basáltico/andesíticos, P1 e P2. Tal fato se deve à maior pedregosidade (fragmentos maiores que 2 mm) apresentada pelos solos P6 e P7, com menor quantidade de fragmentos nas frações areia, silte e argila. Segundo Simas et al. (2004a), a profundidade e a pedregosidade determinam o estoque total de C dos

solos, sendo fundamentais na determinação do estoque total de C e N dos solos da Antártica. A densidade calculada para os solos estudados, entre 0,923 e 1,600 g/mL, está dentro dos limites relatados para solos com presença de permafrost (BATJES, 1996; PING *et al.*, 1997). Dessa forma, apesar da influência ornitogênica, alguns perfis apresentam estoque de C mais baixo, mesmo quando o COT determinado na fração fina é elevado. Apesar disso, os estoques de C nos solos estudados indicam que as áreas sob forte influência ornitogênica imobilizam mais C devido ao elevado aporte de nutrientes, especialmente P e N, para o ambiente terrestre possibilitando um maior desenvolvimento da vegetação (Simas *et al.*, 2006).

Para o presente trabalho só se considerou as camadas de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm. Se forem consideradas profundidades maiores, os organossolos tendem a apresentar estoques de C e N superiores aos demais solos (Simas *et al.*, 2007). Considerando o estoque de C em profundidades maiores que 20 cm, os solos sob forte influência ornitogênica constituem os principais reservatórios de C nos ecossistemas terrestres da Baía do Almirantado, sendo que em pequenas áreas estes solos imobilizam mais C do que extensas áreas de solos não-ornitogênicos, como no caso da Península Keller, o que se deve principalmente ao elevado aporte de nutrientes para o ambiente terrestre, possibilitando maior desenvolvimento da vegetação. Alguns destes solos chegam a imobilizar 16,8 kg de C m⁻² e os solos ornitogênicos estudados, amostras P6 e P7, apresentam 5,32 e 4,5 kg de C m⁻², respectivamente (Simas *et al.*, 2004a).

Os valores do estoque de C nos solos analisados, apesar de relativamente baixos em relação aos solos de regiões tropicais, ilustram a capacidade dos ecossistemas terrestres de responderem às mudanças climáticas, favorecendo a produtividade biológica primária. Transferências de C para o solo, principal local de seqüestro de CO₂ nos ecossistemas terrestres, ocorrem de forma rápida e intensa onde a ornitogênese ou o microclima são mais favoráveis (Silva & Mendonça, 2007; Simas *et al.*, 2007).

Os estoques encontrados são baixos quando comparados a solos do Ártico. Segundo Bockheim *et al.* (1999), o estoque de C varia entre 2,5 kg/m² e 75,2 kg/m² para solos de tundra nessa região. Ping *et al.* (1997) apresentam resultados para regiões de pântano costeiro e de florestas do Ártico, com valores de estoque de C de 69,2 kg/m² e 78,7 kg/m², respectivamente. Porém, apesar do predomínio de solos com baixo teor de C, o acúmulo da matéria orgânica é, em alguns casos, um processo

importante na gênese dos solos da região da Antártica Marítima (Campbell e Claridge, 1987; Beyer et al., 1995; Beyer, 2000; Beyer e Bölter, 2000)

Ao se avaliar a emissão de C-CO₂ por kg de solo (mg C-CO₂ kg⁻¹ solo), os organossolos, amostras P6 e P7, apresentaram os maiores valores. Tais solos apresentaram características mais favoráveis ao desenvolvimento microbiano, como maiores teores de matéria orgânica, menor relação C/N e menor relação CFH/CFAH+CFAF e NFH/NFAH+NFAF (Silva e Mendonça, 2007). Porém, ao se avaliar o fluxo de C-CO₂ em proporção ao COT (mg C-CO₂ g⁻¹ C), os solos afetados por sulfetos e os de origem basáltico/andesítica apresentaram os maiores valores, indicando que estes solos possuem maior sensibilidade à degradação da matéria orgânica, enquanto os organossolos, com altos teores de COT, apresentaram menor evolução de C-CO₂. Com teores tão altos de COT, mesmo uma grande quantidade de C-CO₂ evoluído, representa uma pequena parte diante do total. Focando a evolução de C-CO₂ por área (mg C-CO₂ / m²), novamente os organossolos apresentaram os menores valores, justificado pelo pequeno estoque de COT e NT, devido à grande quantidade de partículas maiores que 2 mm. Estes dados indicam que os organossolos representam as áreas da Antártica Marítima com menor potencial de emissão de CO₂, quando comparados aos outros solos estudados. Porém, como já discutido anteriormente, neste estudo só se considerou profundidade até 20 cm (camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm) e se considerarmos profundidades maiores, os organossolos superam os demais em estoque de COT e NT (Simas et al., 2007), o que tenderia refletir em maior emissão de CO₂ neste ambiente.

Segundo Hopkins et al. (2006) e Park e Day (2007), a temperatura do solo governa as perdas de C do solo durante a maior parte do verão, quando os solos estão expostos, sem a cobertura de neve. Ainda segundo Simas et al. (2007), baixas temperaturas retardam a mineralização da matéria orgânica. No presente estudo, não houve diferença significativa, pelo teste de Tukey ($p < 0,01$), entre a emissão de C-CO₂ nas temperaturas de 5, 8 e 11°C. Isso pode estar relacionado à melhor adaptação dos microrganismos a baixas temperaturas, são os chamados microrganismos psicrófilos (Madigan et al., 2004; Moreira e Siqueira, 2006). Os microrganismos deste ambiente necessitariam de mais tempo para se adaptarem às novas condições, com maiores temperaturas, indicando que o aumento da temperatura na Antártica Marítima poderia não causar a degradação da matéria orgânica dos solos desta região e maior emissão de CO₂ em um primeiro momento (Carvalho et al., 2010). Porém,

apesar de não significativo pelo teste de Tukey ($p < 0,01$), percebe-se ligeiro acréscimo na mineralização de C com a elevação da temperatura de 5 para 8°C e de 8 para 11°C. Neste caso, o aumento da emissão de C-CO₂ em função da elevação da temperatura indica que com tal elevação há aumento da atividade biológica acarretando consumo da matéria orgânica do solo (Silva e Mendonça, 2007). Isto representa apenas uma parte do cenário potencial com o aumento da temperatura regional, visto que poderá ocorrer elevação da taxa fotossintética, da produção primária líquida e conseqüente aumento do aporte de C ao solo (Michel et al, 2006). Tais mudanças podem levar a um possível incremento das frações fúlvicas e húmicas, com gradual substituição das frações orgânicas atuais por outras mais recalcitrantes (Simas et al., 2006). Ou seja, com o aumento gradual e constante da temperatura na região, seguida da adaptação da biota, os teores de matéria orgânica nos solos tenderiam a se elevar.

Com o aumento da temperatura de 2 °C para 11 °C, as amostras ornitogênicas, P6(0-10) e P7(0-10) apresentaram a maior variação no fluxo de C-CO₂ (aumento de 102% e 61%, respectivamente), enquanto as amostras P1(0-10) e P2(10-20) apresentaram variações menores (aumento de 45% e 8%, respectivamente). Estes resultados se devem ao alto teor de COT e NT nos organossolos. Além disso, os menores valores de $q\text{CO}_2$ apresentados para as amostras P6 e P7, indicam maior eficiência na utilização de C pelos microrganismos presentes nesses ambientes.

Os menores valores de $q\text{CO}_2$ encontrados para a profundidade de 0 a 10 cm, em comparação à de 10 a 20 cm, indicam que, nas condições do ensaio em laboratório, os microrganismos presentes na primeira camada foram mais eficientes na assimilação de C. Tal fato deve estar ligado à qualidade da matéria orgânica nesses solos, pois na profundidade de 10 a 20 cm, os teores de N e C na fração húmica, fração mais estável da matéria orgânica, eram maiores que na profundidade de 0 a 10 cm. Além disso, os microrganismos de profundidades maiores estão menos adaptados às condições de oxigenação a que foram submetidos no laboratório, podendo estar em situação de estresse. Quando a microbiota se encontra sob algum fator de estresse, a capacidade de utilização do C e do N é diminuída (Silva et al. 2007).

No estudo de mineralização de N, os teores de amônio encontrados foram superiores aos teores de nitrato em praticamente todos os solos estudados.

O aumento do teor de amônio em função do tempo está ligado à decomposição da matéria orgânica (Costa, 1991), enquanto que o aumento no teor de nitrato e diminuição no teor de amônio em função do tempo está relacionado com o processo de nitrificação, ou seja, oxidação do amônio a nitrato. A preservação dos altos teores de amônio após os três primeiros períodos de incubação e os baixos teores de nitrato pode estar ligada à limitação biológica, como adaptação da microbiota a esse ambiente (Brady, 1979), visto que no ambiente Antártico deve haver predominância de ambiente redutor devido à alta umidade do solo decorrente do seu degelo, favorecendo o processo de denitrificação. Além disso, como a precipitação, apesar de baixa, excede a evapotranspiração, os solos se encontram saturados durante o ano todo, induzindo o hidromorfismo (Stezer et al., 2004).

Os maiores teores de amônio e menores de nitrato encontrados nos organossolos se devem às características que estes ambientes têm de ser menos oxidantes. Outro fator que contribui para os resultados encontrados é a tendência que o amônio tem de se ligar ao fosfato, presente nestes ambientes devido à deposição de resíduos animais, se precipitando e limitando o processo de nitrificação (Sylvia et al., 2005; Moreira e Siqueira, 2006; Rice & Pancholy, 1972). Além disso, tais amostras apresentam maiores teores de matéria orgânica, tendendo a formar mais amônio (Stevenson, 1994).

Outro fator importante a se considerar seria a diferença na biodiversidade entre a microbiota dos diferentes ambientes estudados. Porém, para se afirmar algo a esse respeito, seriam necessários estudos específicos acerca dos microrganismos. Estudos sobre a atividade de decomposição e fixação de N em solos da Ilha Marion em locais influenciados por aves e focas apresentaram até 10 vezes mais o número de bactérias e duas vezes mais o número de fungos que solos sem a influência desses animais (Lindeboom, 1979; Smith e Steyn, 1982; Croome, 1973). Essa maior população microbiana em solos sob influência de animais pode ser resultado da presença de proteínas, lipídeos e ácido úrico excretados pela fauna (Smith e Steyn, 1982). Segundo Pietr (1993) a população microbiana de solos ornitogênicos é muito diferente quando comparada à de solos não ornitogênicos. Os solos não ornitogênicos apresentam número de bactérias por volta de 100 a 1000 vezes menor. Menos de 9% da população micorbiana encontrada degrada compostos orgânicos nitrogenados (proteínas, aminoácidos, ácidos úricos), estando as bactérias quitinolíticas, hidrolíticas de compostos de fósforo orgânico, que solubilizam fosfato

de cálcio, raramente presentes nestes solos (Pietr, 1986). Outro ponto importante é a ausência de bactérias nitrificantes nos solos sob influência ornitogênica, explicada pelo efeito da amônia liberada, sendo assimilada diretamente pelos microrganismos e líquens presentes (Albuquerque et al., 2004).

As profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm apresentaram resultados semelhantes, sendo que tanto os teores de NH_4 quanto os de NO_3 foram maiores na camada de 0 a 10 cm, pois tal camada apresenta maiores teores de matéria orgânica.

Quanto à temperatura, a 11°C houve maior produção de NH_4 , indicando que os primeiros microrganismos a decompor a matéria orgânica são mais adaptados a temperaturas mais altas. Já a produção de NO_3 foi maior na temperatura de 5°C , indicando que os microrganismos que oxidam NH_4 em ambientes antárticos são mais adaptados a temperaturas mais baixas.

Além do CO_2 , outros gases teriam importância no processo de aquecimento global, como CH_4 e formas gasosas de N. No ambiente Antártico muitas bactérias são capazes de reduzir nitrato a nitrito e produzir amônia a partir do nitrito, mas poucos microrganismos podem reduzir nitrato a nitrogênio gasoso (Lindeboom, 1979). A atividade anaeróbica de microrganismos em tapetes de musgo na Ilha Signy, a partir da decomposição de celulose, produziu CO_2 e CH_4 , com o processo de metanogênese, contribuindo com 0,02 a 3,7% do C liberado (Yarrington e Wynn-Williams, 1985). Assim, no ambiente antártico, o CH_4 apresenta importância no processo de aquecimento global maior que formas gasosas de N.

Caso as previsões em relação ao aquecimento global se confirmem, são esperadas diversas implicações nos ecossistemas antárticos.

Shaefer et al. (2004) relatam que a fosfatização, que ocorre de forma generalizada em áreas criogênicas sob a ação ornitogênica, seria uma importante processo primário de formação de solos na região da Antártica Marítima, sendo os solos ornitogênicos de tal região ricos em formas diversas de fosfatos (Al/Fe/K/ NH_4 /Mg-fosfatos) provenientes de antigas colonizações por pingüins. Porém, a dinâmica da fosfatização em tais solos depende da dinâmica glacial da Baía do Almirantado. O avanço dos glaciares sobre áreas ornitogênicas tende a remover os horizontes fosfáticos, retornando o enorme acúmulo de fosfatos de volta aos sedimentos marinhos pela erosão glacial. Por outro lado, o constante aquecimento e degelo na Baía favoreceria as reações de fosfatização e o aumento das áreas ornitogênicas.

Análises de fotografias aéreas e imagens de satélites demonstraram um retrocesso de cerca de 89 Km² do gelo da Ilha Rei George e de quase 16 Km² na área da Baía do Almirantado no período de 1956 a 1995 (Braun, 2001). Esse aumento da superfície de solo livre de gelo é evidenciado pela observação do intenso recuo de algumas geleiras, expondo o substrato de cor mais escura e modificando o padrão de albedo antes presente. Quando tais áreas são colonizadas por vegetais, o microclima e a biota tendem a se alterar (Setzer et al., 2004). Assim, pode-se prever, num primeiro momento, o aumento da temperatura devido à maior absorção de calor pelo solo escuro e o aumento da produção primária nestes ambientes, com o aumento das reações de fosfatização e das áreas ornitogênicas, como relatado por Shaefer et al. (2004). Assim, num segundo momento, tais áreas passariam a ter um papel importante no processo de seqüestro de C atmosférico, permitindo que solos que hoje apresentam baixos estoques de C e pouca biodiversidade devido às condições climáticas, principalmente as baixas temperaturas, acumulem maiores quantidades de C e aumentem a quantidade e até mesmo a diversidade, tanto de plantas quanto de microrganismos. Porém, para que isso aconteça, seria necessário um período de adaptação tanto das plantas quanto dos microrganismos e para se fazer qualquer afirmação a esse respeito são necessários mais estudos.

5 - Conclusões

Os estoques de C e N nos solos estudados são baixos quando comparados com solos de outras regiões de clima similar, como tundras do Ártico. Isso é resultado do baixo estado de decomposição da matéria orgânica e reduzida atividade microbiana, devido à ação de fatores limitantes ao desenvolvimento como baixas temperaturas e carência de micronutrientes. O grande nível de pedregosidade dos solos também contribui para os baixos estoques.

Há predomínio de C recalcitrante na maioria dos solos estudados devido à rápida decomposição das formas menos persistentes e permanência de materiais orgânicos mais resistentes. Em todos os solos há predomínio do compartimento passivo, seguido do compartimento lento. O compartimento passivo, que é caracterizado pela presença de moléculas orgânicas de maior recalcitrância, correlacionando com o teor de substâncias húmicas e principalmente com a humina, reforçando o predomínio de materiais orgânicos mais resistentes nos solos estudados.

A maior parte do C da matéria orgânica se apresenta nas frações húmicas mais estáveis, humina e ácidos húmicos. Os organossolos apresentaram maior incorporação de C e N nas substâncias húmicas.

Os solos de origem basáltico/andesíticos e os afetados por sulfetos são mais sensíveis à degradação da MOS, apresentando a maior emissão de C-CO₂ por grama de C (mg C-CO₂ g⁻¹ C). Os solos afetados por sulfetos (P3, P4 e P5) representam as áreas com maior potencial de emissão de C-CO₂ por área (mg C-CO₂ / m²), quando se considera apenas a profundidade até 20 cm, enquanto os organossolos apresentam o menor potencial, apesar de apresentar altos teores de COT e NT e os maiores valores de emissão de C-CO₂ por kg de solo (mg C-CO₂ kg⁻¹ solo).

6 - Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE, M. A.; PELLIZARI, V. H., SCHAEFER, C. E. G. R.; LUZ, A. P.; CORRÊA, D. M. Ecologia microbiana dos solos da Antártica Marítima. Schaefer, C. E. G. R. et al., (Eds). *Ecosistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica marítima – Baía do Almirantado, Ilha Rei George*. Viçosa: NEPUT. p. 47-58. 2004.
- ALBUQUERQUE, M. R. F. Geoquímica de solos da Península Keller, Ilha Rei George, Antártica, como subsídio ao monitoramento ambiental. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. Tese de Doutorado.
- BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, v.47, n.2, p.151-163, 1996.
- BEYER, L.; WHITE, D.M.; PINGPANK, K.; BÖLTER, M. 2004. Composition and transformation of Soils Organic Matter in Cryosols and Gelic Histosols in Coastal Eastern Antarctica (Casey Station, Wilkes Land). In: J. Kimble (Editor), *Cryosols - Permafrost Affected Soils*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 525-557.
- BEYER, L. & BÖLTER, M. Chemical and biological properties, formation, occurrence and classification of Spodic Cryosols in a terrestrial ecosystem of East Antarctica (Wilkes Land). *Catena*, 39(2), 95-119.2000.
- BLUME, H.P.; BEYER, L.; KALK, E.; KUHN, D., 2002. Weathering and Soil Formation. In: L. Beyer e M. Bölter (Editors), *Geocology of Antarctic Ice-Free Coastal Landscapes*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 114-138.
- BOCKHEIM, J. G.; EVERETT, L. R.; HINKEL, K. M.; NELSON, F. E. & BROWN, J. Soil Organic Carbon Storage and Distribution in Arctic Tundra, Barrow, Alaska. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.63, p.934-940, 1999.
- BÖLTER, M. Distribution of bacterial numbers and biomass in soils and on plants from King George Island (Arctowski Station, Maritime Antarctica). *Polar Biology*, v.15, p.115-124, 1995.
- BÖLTER, M.; BLUME, H. P.; SCHNEIDER, D.; BEYER, L. Soil properties and distribution of invertebrates and bacteria from King George Island (Arctowski Station), maritime Antarctic. *Polar Biology*, v.18, p. 295-304, 1997.
- BRADY, N.C. *Natureza e propriedades dos solos*. 5.ed., Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1979. 647 p.
- BRAUN, M. & GOSSMANN, H. Glacial Changes in the Areas of Admiralty Bay and Potter Cove, King George Island, Maritime Antarctica. In: L. Beyer M. Bolter, *Geocology of Antarctica Ice-Free Coastal Landscapes*. Ed. Springer-Verlag, Berlin. p.75-89. 2002.
- BRAUN, M. & RAUL, F. Using a multi-year data archive of erssar imagery for the monitoring of firm line positions and ablation patterns on the King George Island ice cap (Antarctica). *Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop Land Ice Snow*, Dresden/FRG, p. 16-17, june, 2000.
- BRAUN, M. Ablation on the ice cap of King George Island (Antarctic). *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*. Freiburg: 2001. 165p. Tese de doutorado.

- BRAVARD, S. & RIGHI, D. Characterization of fulvic and humic acids from na Oxisol-Spodosol toposequence of Amazonia, Brazil. *Geoderma*, p.151-162. 1991.
- CAMPBELL, I.B. & CLARIDGE, G.G.C. *Antarctica: soils, weathering processes and environment*. Elsevier, Amsterdam.1987. 368p.
- CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; AAMARAL-SOBRINHO, N.M.B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Gênese, Porto Alegre, p. 69-90. 1999.
- CARVALHO, J.V.S. Características físico-químicas da matéria orgânica e potencial de emissão de c-co2 em solos da Antártica Marítima. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2010. Dissertação de Mestrado.
- CHAN, K.Y.; BOWMAN, A.; OATES, A.; Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in a oxic paleustalf under different pasture leys. *Soil Sci.*, V.166, p.61-67, 2001.
- CHEN, Y.; SENESI, N.; SCHNITZER, M. Information provide on humic substances by E₄/E₆ ratios. *Soil Sci. Soc. Am J.*, Madison, v.41, p.352-358, 1977.
- COSTA, J.B. *Caracterização e constituição do solo*. 4.ed., Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1991. 527p.
- CROOME, R. L. Nitrogen fixation in the algal mats on Marion Lands. *S. Afr. J. Antarctic Res.*, 3:64-67, 1973.
- CUNHA, I. B. S. Manipulação gravimétrica automática de soluções. 1994. 77f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1994.
- CUNHA, T. J. F.; Madari, B. E.; Benites, V. M.; Canellas, L. P.; Novotny, E. H.; Moutta, R. O.; Trompowsky, P. M.; Santos, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte a antrópico da Amazônia (Terra Preta). *Acta Amazônica*, Manaus, V.37, p.91-98, 2007.
- CURL, E. A. & RODRIGUEZ-KABANA, R. Microbial interactions. In: WILKINSON, R. E. ed. *Research methods in weed science*. Southern Weed Science Society, Atlanta, p.162-194. 1972.
- FRANCELINO, M. R. *Geoprocessamento Aplicado ao Monitoramento Ambiental da Antártica Marinha: Solos, Geomorfologia e Cobertura Vegetal da Península de Keller*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. Dissertação de Doutorado.
- HAYES, M.H.B.; MACCARTHY, P.; MALCOLM, R.L.; SWIFT,R. *Humic substances II*. Chichester; New York: J. Wiley, 1989. 764p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. POLAR RESEARCH GROUP. University of Illinois at Urbana Champaign- Disponível em: <http://igloo.atmos.uiuc.edu/IPCC/index.antarctic.html>. Data da pesquisa: 15/05/2009
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biol. and Fert. Soils*. 27:408-416, 1998.

- IUSS Working Group WRB. 2006. World reference base for soil resources 2006. World Soil Resources Reports N°. 103. FAO, Rome. ISBN 92-5-105511-4.
- JENKINSON, D. S. & LADD, J. M. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Eds). Soil Biochemistry, v.5, p.415-471, 1981.
- KEMPERS, A.J. & ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. Commun. Soil Sci. Plant. Anal., p.715-723, 1986.
- HOPKINS, D. W.; SPARROW, A. D.; ELBERLING, B.; GREGORICH, E. G.; NOVIS, P. M.; GREENFIELD, L. G.; TILSTON, E. L. Carbon, nitrogen and temperature controls on microbial activity in soils from an Antarctic dry valley. Soil Biol. Biochem., v.38, p.3130–3140, 2006.
- KONONOVA, M.M. Soil organic matter. Pergamon Press, London. 1966. 450p.
- LA SCALA JR., N., MARQUES JR., J., PEREIRA, G.T., CORA, J.E., 2000. Shortterm temporal changes in the spatial variability model of CO2 emissions from a Brazilian bare soil. Soil Biol. Biochem. 32, 1459e1462.
- LEITE, L.F.C; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.A.; GALVÃO, J.C.C. Estoques totais de Carbono Orgânicos e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. R. Bras. Ci. Solo, 27:821:832, 2003.
- LINDEBOOM, H. J. Chemical and microbiological aspects of the nitrogen cycle on Marion Island (sub-Antarctic). University of Groningen, 1979. 138p. Tese de PhD.
- LYNCH, J.M.; PANTING, L.M. Cultivation and the soil biomass. Soil Biology and Biochemistry, v.12, p.29-33,1980.
- MADIGAN, M.T.; PARKER, J.; MARTINKO, J.M.; BROCK, T.D. Microbiologia de Brock. 10.ed., São Paulo: Prentice Hall, 2004. 608 p.
- MAIA, S.M.F.; XAVIER, F.A.S.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S.; FILHO, J.A.A. Frações de nitrogênio em luviossolo sob sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense. R. Bras. Ci. Solo, 32: 381-392, 2008.
- MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W. J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, p.257-263, 1999.
- MARTINES, A. M.; ANDRADE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. Mineralização do carbono orgânico em solos tratados com lodo de curtume. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.41, n.7, p.1149-1155. 2006.
- MICHAELSON, G.J; DAI, X.Y.; PING C.L. Organic Matter and Bioactivity in Cryosols of Arctic Alaska. In: Kimble, J.M. (ed) Cryosols, Permafrost-affected soils p. 463-479. 2004
- MICHEL, R. F. M. Solos Criogênicos e Ornitogênicos da Área de Entorno da Ponta Llano, Antártica Marítima. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. Dissertação de Mestrado.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. 2ªed., Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

- MYRCHA, A; PIETR, S.J.; TATUR, A. The role of Pygoscelid Penguin Rockeries in Nutrient Cycles at Admiralty Bay, King George Island. In: W.R. Siegfried, P.R. Condy, R.M. Laws (eds). Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs. Springer-Verlag, Berlin.1983. 700 p.
- NAVAS, A.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J.; CASAS, J.; MACHÍN, J.; DURÁN, J. J.; SERRANO, E.; CUCHI, J. A. & MINK, S. Soil characteristics on varying lithological substrates in the South Shetland Islands, Maritime Antarctica. *Geoderma*, v.144, p.123–139, 2008.
- OLIVEIRA, L. M. de. Hidrocarbonetos em Solos da área da Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. Dissertação de Mestrado.
- PARK, J.H., DAY, T.A. 2007. Temperature response of CO₂ exchange and dissolved organic carbon release in a maritime Antarctic tundra ecosystem. *Polar Biol.* 30, 1535e1544.
- PARKER, B.C. Terrestrial adaptations in polar regions. In: *Polar Research: To the Present and Future*. AAAS Selected Symp. Ser. Vol.7, p.203-229, 1978.
- PIETR, J. The physiological groups of microorganisms in the different soils at Admiralty Bay region (King George Island, South Shetland Islands, Antarctic). *Pol. Polar Res.*, 7:395-406, 1986.
- PING, C. L.; MICHAELSON G. J. & KIMBLE, J. M. Carbon storage along a latitudinal transect in Alaska. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.49, p.235–242, 1997.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, v.19, p.159-164, 1987.
- RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. Matter Transport and Budgets in the Admiralty Bay Area. In: S. Rakusa-Suszczewski (ed.) *The Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay*. Polish Academy of Sciences, Warsaw. p. 199-212. 1993. 216 p.
- RICE, E.L. & PANCHOLY, S.K. Inhibition of nitrification by climax ecosystems. *Am. J. Bot.*, 59:1033-1040, 1972.
- RICE, J.A. & MACCARTHY, P. Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances. *Organic Geochemistry*, p. 635-648. 1991.
- ROSSEL, R.A.; ANDRIULO, A.E.; SCHNITZER, M.; CRESPO, M.B.; MIGLIERINA, A.M. Humic acids properties of an Argiudoll soil under two tillage systems. *The Science of the Total Environment*, p. 391-400. 1989.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; ALBUQUERQUE, M. R. F.; MICHEL, R. F. M.; VIANA, J. H. M.; TATUR, A. Fosfatização: processo de formação de solos na Baía do Almirantado e implicações ambientais. Schaefer, C. E. G. R. et al., (Eds). *Ecosistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica marítima – Baía do Almirantado, Ilha Rei George*. Viçosa: NEPUT. p. 47-58. 2004.
- SETZER, A. W.; OLIVEIRA, M. R.; FRANCELINO, M. R.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; BREMER, U. F. Regime climático na Baía do

- Almirantado: relações com o ecossistema terrestre. Schaefer, C. E. G. R. et al., (Eds). *Ecossistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica marítima – Baía do Almirantado, Ilha Rei George*. Viçosa: NEPUT. p. 01-06. 2004.
- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. Novais, R.F. et al., (Eds). *Fertilidade do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 275-374. 2007.
- SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; ALBUQUERQUE, M. R. F.; MICHEL, R. F. M.; DIAS, L. E.; BORGES, M. J.; PRATES, L. Atributos químicos de criossolos ornitogênicos da Baía do Almirantado, Antártica. Schaefer, C. E. G. R. et al., (Eds). *Ecossistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica marítima – Baía do Almirantado, Ilha Rei George*. Viçosa: NEPUT. p. 47-58. 2004.
- SIMAS, F.N.B.; SCHAEFER, C.E.G.R.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; MICHEL R.F.M.; COSTA, L. M.; MENDONÇA, E.S.; PEDROSO, I.V.C.P. Carbono imobilizado: indicador ambiental nos criossolos da Península Keller, In: *Ecossistemas Terrestres e Solos da Antártica Marítima, Núcleo De Estudo De Planejamento E Uso Da Terra – NEPUT, Viçosa*. p.32-38. 2003.
- SIMAS, F.N.B. Solos da Baía do Almirantado, Antártica Marítima: Mineralogia, Gênese, Classificação e Biogeoquímica. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa . 154 p. 2006.
- SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; GUERRA, M. B. B.; SAUNDERS, M.; GILKES, R.J. Clay-Sized Minerals in Permafrost-Affected Soils (Cryosolos) from King George Island, Antarctica. *Clays and Clay Minerals*, v. 54, n. 6, p. 723-738, 2006.
- SIMAS, F.N.B., C.E.G.R. SCHAEFER, E.S. MENDONÇA, I.R. SILVA, R.M. SANTANA, A.S.S. RIBEIRO (2007), Organic carbon stocks in permafrost-affected soils from Admiralty Bay, Antarctica, in *Antarctica: A Keystone in a Changing World – Online Proceedings of the 10th ISAES*, edited by A.K. Cooper and C.R.Raymond et al., USGS Open-File Report 2007-1047, Short Research Paper 076, 4 p.; doi: 10.3133/of2007-1047.srp076
- SMITH, V. R. & STEYN, M. G. Soil microbial counts in relation to site characteristics at a subantarctic island. *Microb. Ecol.*, 8:253-266, 1982.
- SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of change in soil organic matter. *Australian Journal Soil Research*, v.30, p.195-207, 1992.
- STEELINK, C. & TOLLIN, G. Free radicals in soil. In: McLAREN, AD., PETERSON, G.M. (Ed.) *Soil biochemistry*. Marcel Dekker, New York, v.5, p.147-169. 1985.
- STEVENSON, F.J. *Humus chemistry*. Wiley, New York. 1994. 443p
- STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C. A., ed. *Methods of soil analysis*. Amer. Soc. Agron., Madison, p. 1550-1572. 1965.
- SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS et al. (Eds.) *Methods of soil analysis. Chemical methods*, Madison, p. 1011-1020. 1996.

- SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. J.; HARTEL, P. G.; ZUBERER, D. A. Principles and applications of soil microbiology. 2. ed. New Jersey, Perason Education Inc., 2005. 640p.
- TATUR, A.; MYRCHA, A., 1989. Soils and vegetation in abandoned penguin rockerries. *Polar Biol.*, 2:181-189.
- TATUR, A.; MYRCHA, A.; NIEGODZISZ, J., 1997. Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in the maritime Antarctic. *Polar Biol.*, 17:405-417.
- TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ VENEGAS, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F. de; MELLO, J. W. V. de; COSTA, L. M. da. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.195-276, 2002.
- UGOLINI, F.C. 1972. Orthinogenic soils of Antarctica. In: G.A. Llano (Editor), *Antarctic Terrestrial Biology*. Am. Geophys. Uion Antarct. Res. Ser., pp. 181-193.
- WALKER, T.R.; REID, K.; ARNOULD, J.P.Y.; CROXALL, J.P. Marine debris surveys at Bird Island, South Georgia 1990-1995. *Mar. Pollut. Bull.*, v.34, n.1: p.61-65, 1997.
- WIITER, E. Soil C balance in a long-term field experiment in relation to the size of the microbial biomass. *Biology and Fertility of Soil*, v.23, p.33-37, 1996.
- YARRINGTON, M. R. & WILLIAMS, D. D. Methanogenesis and the anaerobic microbiology of a wet moss community at Signy Island. In: SIEGFRIED, W. R.; CONDY, P. R. & LAWS, R. M. (eds.) *Antarctic nutrient cycles and food webs (proceedings of the 4th SCAR symposium on Antarctic biology)*. Springer, Berlin Heidelberg New York, 1985.
- YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, n. 19, p.1467-1476. 1988.
- ZDANOWSKI, M. K.; WEGLENSKI, P. Ecophysiology of soil bacteria in the vicinity of Henryk Arctowski Station, King George Island, Antarctic. *Soil Biology & Biochemistry*, v.33, p.819-829, 2001.

Capítulo 2

MODELAGEM DO IMPACTO DO AQUECIMENTO GLOBAL SOBRE O ESTOQUE DE CARBONO E POTENCIAL DE EMISSÃO DE C-CO₂ EM ECOSISTEMAS TERRESTRES DA ANTÁRTICA MARÍTIMA

Resumo

A região da Antártica Marítima apresenta os maiores valores de temperatura e precipitação de todo o continente, favorecendo a produção primária, a pedogênese e a atividade em geral. Com o quadro de aquecimento global, amplamente discutido nos últimos anos, a dinâmica da matéria orgânica nestes ecossistemas tende a se alterar. O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de emissão de C-CO₂ por estes ambientes, a partir do solo, diante do esperado quadro de aquecimento global utilizando o modelo Century, versão 4.5. Para isto foram coletadas informações de solos em sete diferentes pontos da Ilha Rei George, sendo cinco deles em Keller (P1, P2, P3, P4 e P5) e dois em Arctowski (P6 e P7). Dois destes solos são originários de basaltos e andesitos (P1 e P2), três deles são afetados por sulfetos (P3, P4 e P5) e os outros dois têm forte influência ornitogênica (P6 e P7). Foi feita modelagem, utilizando-se o modelo Century, dos estoques futuros de C e N nos 7 solos distintos, considerando-se o possível quadro de aquecimento global. Parte dos dados necessários para alimentar o modelo foram produzidos em laboratório e parte coletada na literatura. Devido à poucas informações encontradas, especialmente a respeito da fisiologia dos vegetais antárticos e à caracterização e quantificação do aporte de resíduos animais em cada ambiente, não conseguimos dados consistentes para rodar o modelo até o equilíbrio, o que seria a 1ª etapa da modelagem.

Abstract

MODELING THE IMPACT OF GLOBAL WARMING ON CARBON STOCK AND POTENTIAL FOR C-CO₂ EMISSIONS IN MARITIME ANTARCTIC TERRESTRIAL ECOSYSTEMS

The Maritime Antarctic region has the highest values of temperature and precipitation across the whole continent, promoting primary production, pedogenesis and biological activity. With the framework of global warming, widely discussed in recent years, the dynamics of organic matter in these ecosystems tend to change. This study aimed at evaluating the potential of C-CO₂ emission on soils of these environments in relation to the expected global warming scenario, using the Century model, version 4.5. For this purpose soil samples were collected at seven different points of King George Island, five of them in Keller (P1, P2, P3, P4 and P5) and two in Arctowski (P6 and P7). Two of these soils are originated from basalt and andesite (P1 and P2) and three are affected by sulfides (P3, P4 and P5). The last two have a strong oritogenic influence (P6 and P7). The modeling was performed, using the Century model. Considering the context of global warming, futures stocks of C and N on the seven different soils, were modeled. Part of the needed data to feed the model were produced on the laboratory and part collected from literature. Due to the lack of essential data, specially about plants physiology and contribution of animal waste to each environment, it was not possible to get consistent data to run the model to the balance, which would be the first stage of the modeling process.

1 - Introdução

Apesar de sua pequena proporção em relação à massa total de solos da Antártica Marítima, a matéria orgânica do solo (MOS) desempenha grande influência sobre várias propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e exerce várias funções nos ecossistemas terrestres (Silva e Mendonça, 2007). O aumento nos seus estoques melhora a agregação do solo, a permeabilidade e a capacidade de retenção de umidade reduzindo o escoamento superficial e a erosão (Leite, 2007). Além disso, como componente central do balanço global do carbono (C), a MOS pode contribuir para o seqüestro de CO₂ e mitigação de mudanças climáticas (Lal, 2004).

Segundo Leite e Mendonça (2004), os modelos de simulação aperfeiçoam o entendimento da dinâmica da MOS e são ferramentas úteis para estimar mudanças climáticas, testar cenários específicos e desenvolver estratégias que mitiguem os impactos negativos dessas mudanças. São ferramentas utilizadas para o entendimento da dinâmica da matéria orgânica do solo e da transformação de seus compartimentos em solos, com base nas mais diversas variáveis, como textura, temperatura, umidade, tratos culturais e fertilização.

Há diversos critérios que devem ser considerados para selecionar um modelo de dinâmica da MOS, entre eles: 1) o modelo deve ter sido adaptado para as condições particulares de solo, clima e uso da terra do local ou da região; 2) o modelo deve permitir opções diferenciadas de manejo; 3) o nível de acurácia das estimativas do modelo deve estar compatível com a acurácia requerida pelo projeto; 4) o modelo deve apresentar bons resultados em circunstâncias ecológicas similares aquelas do local sob estudo (Ponce-Hernandez, 2004).

Smith et al. (1997) compararam nove modelos de simulação de C e nutrientes em diferentes ecossistemas terrestres de clima temperado, em sete experimentos de longa duração. Dos nove modelos, seis apresentaram desempenho significativamente melhor do que os outros três: RothC-26.3, Century, DAISY, CANDY, NCSOIL, e DNDC. Dos seis modelos que apresentaram melhor desempenho, apenas dois foram capazes de simular o C em todos sistemas de uso da terra em cada experimento (RothC-26.3 e Century).

Century (Parton et al., 1987) e RothC (Coleman & Jenkinson, 1996) são dois dos modelos de dinâmica de MOS mais amplamente utilizados e têm sido avaliados

em escala local sob diferentes condições ambientais (Leite et al., 2004; Cerri et al., 2007). Porém, nenhum dos modelos citados foi utilizado para ambientes de regiões polares, como Antártica.

Para este trabalho optou-se por trabalhar com o modelo Century, que simula em longo prazo (10-1000 anos) a dinâmica do C, N, fósforo (P) e enxofre (S) em diferentes sistemas solo-planta. As principais variáveis de entrada do modelo são: temperatura do ar, precipitação mensal, conteúdos de lignina e de N, P e S do material vegetal, aporte de N do solo e da atmosfera, teor inicial de C, N, P e S nos diferentes compartimentos do solo e textura do solo (conteúdo de areia, silte e argila) (Parton et al., 1987).

A modelagem dos estoques de C e N dos solos da Antártica Marítima pode nos prever não só as variações nos teores totais e nos diversos compartimentos de C desses solos ao longo do tempo, mas também o potencial de emissão de C-CO₂ por estes solos diante do esperado quadro de aquecimento global, amplamente discutido nos últimos anos. O balanço global de C nos diferentes ecossistemas terrestres, e da Antártica em particular, é de vital importância para a compreensão da dinâmica climática e ambiental.

O objetivo deste trabalho foi modelar, utilizando o modelo Century, versão 4.5, os estoques de C e N nos solos da Antártica Marítima, situados na Península Keller e Arctowski, Ilha Rei George, com a finalidade de estimar a dinâmica da matéria orgânica dos diferentes solos dessa região e seu potencial de emissão de C-CO₂ até o ano de 2110, diante de um quadro de aquecimento global.

2 – Material e métodos

2.1 – Descrição da área de estudo

A área de estudo está localizada na Ilha Rei George que é a maior ilha do Arquipélago das Shetlands do Sul, a noroeste da Península Antártica (Francelino, 2004). Na Baía do Almirante encontra-se a Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) (Lat. 62°05' S – Long. 58°23' W), que é a principal área de pesquisa brasileira na Antártica (Oliveira, 2005). Foram estudados sete solos da Ilha Rei George (Tabela 1), sendo cinco provenientes da península Keller e dois provenientes de Arctowski (Figura 1). Todos os pontos de coleta possuíam cobertura exuberante de musgos, gramíneas e líquens. Dos solos situados em Keller, dois (P1 e P2) são de origem basáltica e andesítica e três (P3, P4 e P5) são afetados por sulfetos. Os dois pontos situados em Arctowski (P6 e P7) são solos caracterizados por forte influência ornitogênica.

Tabela 01: Descrição dos solos estudados.

Pontos de coleta	Coordenadas ¹	Classificação ²	Areia ³ (%)	Silte ³ (%)	Argila ³ (%)	Prem ⁴	pH ⁴	t ⁴	T ⁴	SB ⁴	Al ⁴	H+Al ⁴
Solos Basáltico/Andesíticos												
P1	427137 3115552	Turbic Cryosol (dystric)	55	25	20	27,80	6,60	24,83	24,83	24,83	0,00	0,00
P2	427091 3116260	Stagnic Regosol (turbic)	54	22	24	47,00	7,97	34,97	35,27	34,97	0,00	0,30
Solos Afetados por Sulfetos												
P3	425658 3115916	Turbic cryosol (dystric)	61	27	12	33,10	5,04	11,93	22,23	10,83	1,10	11,40
P4	425922 3117161	Turbic cryosol (dystric)	51	33	16	41,40	6,27	9,29	11,79	9,29	0,00	2,5
P5	426010 3117588	Turbic cryosol (dystric)	68	24	8	18,30	5,30	24,15	34,05	21,55	2,60	12,5
Solos Ornitógenicos												
P6	423394 3106817	Histic Cryosol (ornithic)	66	17	17	30,20	5,72	11,80	17,80	11,40	0,40	6,40
P7	423645 3106881	Histic Cryosol (ornithic)	78	15	7	36,80	4,64	11,50	25,50	8,20	3,30	17,30

1: Projeção UTM, Fuso 21, Datum - WGS 84; 2: Fonte: IUSS (2006); 3: Fonte: Albuquerque (2005) e Simas (2006); 4: Schaefer et al., 2004

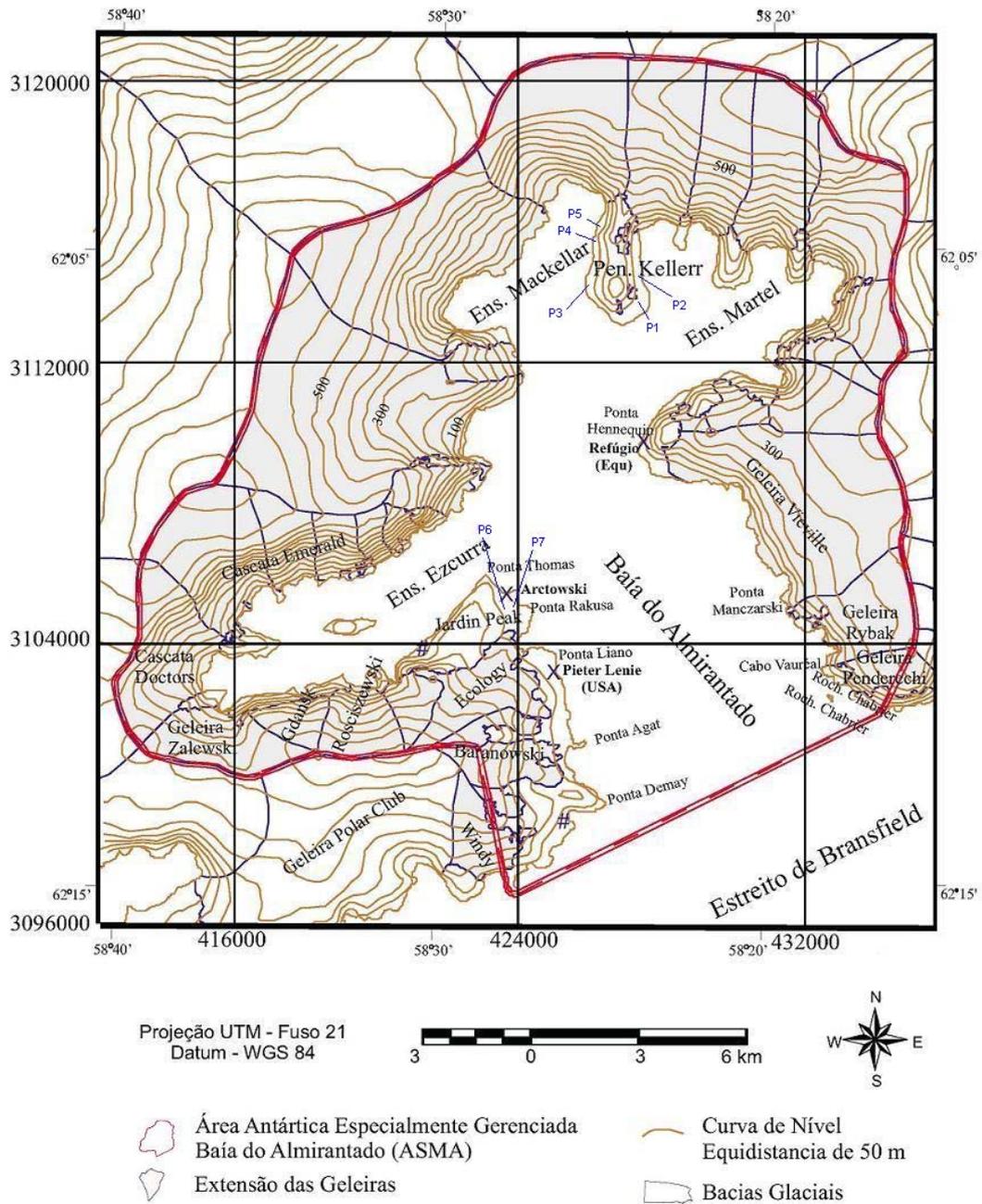


Figura 1: Ilha Rei George, com a localização dos sete pontos de coleta, sendo os pontos P1 a P5 na Península Keller e os pontos P6 e P7 em Arctowski.

2.2 - Modelagem da matéria orgânica do solo

O estudo de simulação da dinâmica da matéria orgânica foi realizado com a utilização do modelo CENTURY, versão 4.5 (Parton et al., 1987). Para isso, foram utilizados dados de solo, como textura, teores de nutrientes, dados de clima, atividade microbiana, atividade animal, atividade vegetal e dinâmica da água. Parte destes dados foi gerada em laboratório, analisando-se as amostras coletadas e outra parte coletada na literatura.

2.2.1 – Seqüência dos eventos simulados e principais variáveis utilizadas para equilíbrio do modelo

A Tabela 2 apresenta a seqüência dos eventos simulados para o equilíbrio do modelo, considerando-se a situação anterior do ambiente antártico, com valores de matéria orgânica nulos. Para tanto, considera-se que o ambiente antártico começou a tomar a configuração atual há cerca de 10.000 anos atrás, quando os vegetais teriam condições de iniciar seu desenvolvimento. Os eventos foram simulados para os três grupos básicos de solo: P1 e P2, com origem basáltica e andesítica; P3, P4 e P5, que são afetados por sulfetos; P6 e P7, caracterizados por forte influência ornitogênica. Foi considerada situação similar para todos os anos subseqüentes, até o momento.

Tabela 2: Seqüência mensal de eventos para equilíbrio do modelo, considerando-se horizonte de 10.000 anos atrás (ano -7990 ao ano 2010). Detalhes podem ser vistos no SHEDULE.100, gerado a partir do EVENT.100, Apêndice I.

Solos	Seqüência dos eventos (ano -7990 ao ano2010)
P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7	Janeiro a março – desenvolvimento vegetal e da entrada de pequena quantidade de matéria orgânica, proveniente de aves que circulavam a região e de pequena produção primária. Abril – Último mês para desenvolvimento vegetal e deposição de matéria orgânica, devido à cobertura das áreas por gelo e neve. Mai a outubro – Meses de senescência dos vegetais, que se encontram cobertos por gelo e neve. Novembro e dezembro – Com o degelo, crescimento vegetal e deposição de matéria orgânica.

Das variáveis utilizadas para equilibrar o modelo, algumas foram específicas de cada solo e foram obtidas por meio de análises em laboratório. Estas são, entre outras, teores de C nos compartimentos ativo, lento e passivo; porcentual das frações areia, silte e argila (1º capítulo).

As variáveis gerais (Tabela 3), como precipitação e temperatura, são comuns a todos os solos. As variáveis climáticas foram obtidas a partir da estação meteorológica do INPE, na península Keller.

Tabela 3: Principais variáveis gerais de entrada usadas para o equilíbrio do modelo (média entre o ano de 1990 e 2010).

VARIÁVEIS	VALORES
Precipitação média mensal de janeiro a dezembro (cm/mês)	2,77; 4,28; 6,29; 3,59; 3,67; 0,56; 0,74; 0,50; 2,99; 3,08; 2,02; 2,61
Temperatura média mensal mínima de janeiro a dezembro (°C)	0,5; 0,4; -1,0; -3,7; -5,6; -8,1; -9,7; -8,2; -6,5; -4,2; -2,2; -0,6
Temperatura média mensal máxima de janeiro a dezembro (°C)	4,4; 4,2; 3,3; 1,0; -0,5; -2,5; -3,3; -2,6; -1,1; 0,1; 2,0; 3,5

3 – Resultados e discussão

3.1 – Simulação de equilíbrio

As primeiras simulações de equilíbrio realizadas apresentaram, para todos os solos, valores muito altos de C da biomassa (aglive), N da biomassa (aglive(1)) e produção mensal de C (cprodc), com produção constante de biomassa, sem atingir o equilíbrio. A Tabela 4 mostra os valores das primeiras simulações de equilíbrio para os solos basáltico/andesíticos (P1 e P2) nos últimos 20 anos (1991 a 2010) dos dez mil utilizados no equilíbrio, onde se pode observar uma alta e constante produção mensal de C ($270,3 \times 10^3 \text{ g/m}^2$) e valores também altos e constantemente crescentes de C e N da biomassa (até $14227,0 \times 10^6$ e $930,4 \times 10^6 \text{ g/m}^2$, respectivamente).

Tabela 4: C da biomassa, N da biomassa e produção mensal de C para os solos P1 e P2, basáltico/andesíticos, em situação acima do real (os demais solos, P3 a P7, tiveram o mesmo comportamento).

Ano	C Biomassa (g/m ²)	N Biomassa (g/m ²)	Produção mensal de C (g/m ²)
1991	$14200,0 \times 10^6$	$928,6 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
1992	$14201,0 \times 10^6$	$928,7 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
1993	$14203,0 \times 10^6$	$928,8 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
1994	$14204,0 \times 10^6$	$928,9 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
1995	$14206,0 \times 10^6$	$929,0 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
1996	$14207,0 \times 10^6$	$929,0 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
1997	$14208,0 \times 10^6$	$929,1 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
1998	$14210,0 \times 10^6$	$929,2 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
1999	$14211,0 \times 10^6$	$929,3 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
2000	$14213,0 \times 10^6$	$929,4 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
2001	$14214,0 \times 10^6$	$929,5 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
2002	$14216,0 \times 10^6$	$929,6 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
2003	$14217,0 \times 10^6$	$929,7 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
2004	$14218,0 \times 10^6$	$929,8 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
2005	$14220,0 \times 10^6$	$929,9 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
2006	$14221,0 \times 10^6$	$930,0 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
2007	$14223,0 \times 10^6$	$930,1 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
2008	$14224,0 \times 10^6$	$930,2 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
2009	$14225,0 \times 10^6$	$930,3 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$
2010	$14227,0 \times 10^6$	$930,4 \times 10^6$	$270,3 \times 10^3$

Após os primeiros resultados, algumas variáveis fixas no modelo (FIX.100) foram alteradas a fim de equilibrar a produção mensal de C e os valores de C e N da biomassa a valores próximos dos reais. Tais alterações visaram adequar o modelo às condições antárticas, visto que o mesmo não foi elaborado com este fim. Segundo Parton et al., (1987), o modelo CENTURY não foi projetado para determinadas culturas e por isso pode precisar de calibração para determinados ecossistemas. As principais variáveis alteradas, tendo seus valores diminuídos, no arquivo FIX.100 foram:

- favail(1): fração de N disponível para as plantas mensalmente;
- fmxs: taxa mensal máxima de fixação de N não simbiótico;
- strmax(1): quantidade máxima de resíduos na superfície a se decompor
- strmax(2): quantidade máxima de resíduos a se decompor no interior do solo.

Outras variáveis que necessitaram de ajustes foram algumas de cultura (CROP.100). O arquivo CROP.100 contém as variáveis relativas ao desenvolvimento vegetal como um todo, necessitando, para alimentá-lo, de informações diversas a respeito do vegetal em questão, como fisiologia, temperaturas máximas e ótimas para o desenvolvimento, entre outras. As principais variáveis alteradas no arquivo CROP.100 visando o equilíbrio foram:

- prdx: potencial mensal de crescimento vegetal;
- fsdeth(2): fração da parte aérea vegetal perdida nos meses de senescência (segundo o modelo, os valores para esta variável devem ser maiores ou iguais a 0,4);
- snfxmx(1): máxima fixação simbiótica de N;

Após os ajustes nas variáveis o equilíbrio foi atingido a níveis próximos dos reais para N e C da biomassa (aglive e aglive(1), respectivamente), porém ainda a níveis altos para produção mensal de C (cprodc). Os valores para todas as variáveis estão detalhados no Apêndice II.

A Tabela 5 mostra os resultados do equilíbrio para os solos basáltico/andesíticos (P1 e P2) nos últimos 10 anos (2001 a 2010) dos dez mil anos estudados no equilíbrio. Os valores para C e N da biomassa observados são

constantes (385,2 e 25,6 g/m², respectivamente) e condizem com o observado em campo, embora não se tenha encontrado na literatura os valores reais. Porém os valores para produção mensal de C (457,3 g/m²) foram muito altos, apesar de constantes. Não se espera que nas condições antárticas um vegetal tenha um incremento tão alto em ganho de massa mensal.

Tabela 5: C da biomassa, N da biomassa e produção mensal de C para os solos P1 e P2, basáltico/andesíticos, em situação próxima da realidade (os demais solos, P3 a P7, tiveram o mesmo comportamento).

Ano	C Biomassa (g/m ²)	N Biomassa (g/m ²)	Produção mensal de C (g/m ²)
2001	385,2	25,6	457,3
2002	385,2	25,6	457,3
2003	385,2	25,6	457,3
2004	385,2	25,6	457,3
2005	385,2	25,6	457,3
2006	385,2	25,6	457,3
2007	385,2	25,6	457,3
2008	385,2	25,6	457,3
2009	385,2	25,6	457,3
2010	385,2	25,6	457,3

Ao rodar o modelo com saídas mensais (Tabela 6) ao invés de anuais, observa-se que o modelo gerou a produção de C apenas em três meses, fevereiro, março e abril. Como o mês de fevereiro foi apresentado como saída para todos os anos (Tabela 5), os valores tendem a se aproximar dos reais esperados. Nos meses de março a julho os valores de C e N da biomassa foram muito acima da realidade e a produção de C foi nula nos meses de janeiro e de maio a dezembro, possivelmente devido aos dados lançados nas variáveis de temperatura e precipitação para os referidos períodos não serem satisfatórios para o desenvolvimento vegetal. Apesar da grande produção mensal de C, com a senescência no período de inverno os teores atingiram valores próximos aos esperados, porém seguindo padrões diferentes dos reais. Esperava-se que o crescimento vegetal começasse em novembro/dezembro, com o degelo, controlado pela temperatura do solo, indo até primeira quinzena de março, quando a temperatura média chega a níveis abaixo de zero (Tabela 3), acontecendo o período de gelo e cobertura do solo.

Os dados gerados pelo modelo deveriam apresentar pequena produção mensal de C e pequenas variações mensais no C e N da biomassa. Isto porque a vegetação antártica possui um crescimento muito lento e suporta muito bem o inverno, com poucas mortes, apesar de reduzir e interromper o desenvolvimento abaixo do gelo no período de inverno (Figuerola, 1985).

Tabela 6: Saída mensal para o ano de 2010, solos basáltico/andesíticos (P1 e P2), seguindo o padrão de saída para os anos anteriores após o equilíbrio (os demais solos, P3 a P7, tiveram o mesmo comportamento).

Mês	C Biomassa (g/m ²)	N Biomassa (g/m ²)	Produção mensal de C (g/m ²)	Temperatura (°C)
Janeiro	110,8	7,3	0,0	4,4
Fevereiro	385,2	25,6	457,3	4,2
Março	11369,0	75,6	12528,0	3,3
Abril	23754,0	157,4	20642,0	1,0
Mai	23754,0	157,4	0,0	-0,5
Junho	14252,0	94,4	0,0	-2,5
Julho	855,1	56,6	0,0	-3,3
Agosto	513,1	34,0	0,0	-2,6
Setembro	307,8	20,4	0,0	-1,1
Outubro	184,7	12,2	0,0	0,1
Novembro	110,8	7,3	0,0	2,0
Dezembro	110,8	7,3	0,0	3,5

Um grande limitante para que o modelo apresente resultados próximos dos reais é o de se fornecer informações corretas no que diz respeito ao ambiente, principalmente ao desenvolvimento vegetal.

As informações encontradas para desenvolvimento vegetal mostram que -2°C é a temperatura ótima e 18°C é a temperatura máxima para o desenvolvimento do líquen *Usnea sp* (Figuerola, 1985). Porém, não foram encontradas tais informações para outras plantas que habitam os solos estudados, como outros líquens, briófitas e gramíneas. Tais informações interferem diretamente na ciclagem da matéria orgânica, alterando a fixação de C pela produção primária e deposição de resíduos animais.

Sobre a deposição de resíduos animais, Tatur & Myrcha (1993) relatam que algumas áreas recebem até 10 kg/m² de guano (matéria seca) durante o período em que ocupam as áreas não cobertas por gelo e neve. Tais informações se referem às áreas de pingüineiras, porém não foram encontradas informações precisas sobre as

demais áreas que, apesar de não terem sido pingüineiras, recebem menor aporte de resíduos animais.

Diante do exposto, não foi possível concluir com sucesso o equilíbrio do modelo Century para o ambiente Antártico e, conseqüentemente, não se pode concluir a modelagem a fim de estimar os possíveis efeitos da alteração da temperatura global na dinâmica da matéria orgânica e potencial de emissão de C-CO₂ nos solos deste ambiente.

4 - Conclusões

São necessários mais ajustes em variáveis fixas (FIX.100) e de cultura (CROP.100) para se alcançar o equilíbrio no modelo, permitindo os testes de exatidão e o prosseguimento do trabalho. Para isso, é preciso levantar dados específicos mais detalhados relativos ao desenvolvimento vegetal nos ambientes antárticos.

Referências Bibliográficas

- ALBUQUERQUE FILHO, M. R. Geoquímica de solos da Península Keller, Ilha Rei George, Antártica, como subsídio ao monitoramento ambiental. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 149 p. 2005.
- BEYER, L.; WHITE, D.M.; PINGPANK, K.; BÖLTER, M. 2004a. Composition and transformation of Soils Organic Matter in Cryosols and Gelic Histosols in Coastal Eastern Antarctica (Casey Station, Wilkes Land). In: J. Kimble (Editor), Cryosols - Permafrost Affected Soils. Springer-Verlag, Berlin, pp. 525-557.
- CAMPBELL, I.B. & CLARIDGE, G.G.C. Antarctica: soils, weathering processes and environment. Elsevier, Amsterdam. 1987. 368p.
- CERRI, C.E.P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.; FALOON, P.; POWLSON, D. Simulating SOC changes in 11 land use change chronosequences from Brazilian Amazon with Century and RothC models. Agric. Ecosys. Environm. 46-57. 2007
- COLLEMAN, K.; JENKINSON, D.S. RothC 26.3- a model for the turnover of carbon in soil. In: POLWSON, T.S., SMITH, P.; SMITH, J.U. (Eds.). Evaluation of soil organic matter models using existing long term datasets. NATO ASI, Series I, 38, 237-246, 1996.
- FIGUEROA, J. R. Liqueenes Antarticos. Instituto Antartico Chileno. 175p, 1985.
- FRANCELINO, M. R. Geoprocessamento Aplicado ao Monitoramento Ambiental da Antártica Marinha: Solos, Geomorfologia e Cobertura Vegetal da Península de Keller. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. Dissertação de Doutorado.
- LAL, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma 123, 1-22.
- LEITE, L.F.C. MENDONÇA, E.S.; MACHADO, P.L.O.A. Simulating trends in soil organic carbon of an Acrisol under no-tillage and disc-plough systems using the Century model. Geoderma. 120: 283-295, 2004
- LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S. TÓPICOS EM CIÊNCIA DO SOLO, VOLUME V – 2007. PAGINAS 181-218.
- MICHAELSON, G.J; DAI, X.Y.; PING C.L. Organic Matter and Bioactivity in Cryosols of Arctic Alaska. In: Kimble, J.M. (ed) Cryosols, Permafrost-affected soils p. 463-479. 2004
- MICHEL, R. F. M. Solos Criogênicos e Ornitogênicos da Área de Entorno da Ponta Llano, Antártica Marítima. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. Dissertação de Mestrado.
- OLIVEIRA, L. M. de. Hidrocarbonetos em Solos da área da Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. Dissertação de Mestrado.
- PARKER, B.C. Terrestrial adaptations in polar regions. In: Polar Research: To the Present and Future. AAAS Selected Symp. Ser. Vol.7, p.203-229, 1978.

- PARTON, W.J.; SCHIMEL D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:1173-1179, 1987.
- PONCE-HERNANDEZ R.; Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes. Roma. FAO, 2004. 156p.
- RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. Matter Transport and Budgets in the Admiralty Bay Area. In: S. Rakusa-Suszczewski (ed.) *The Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay*. Polish Academy of Sciences, Warsaw. p. 199-212. 1993. 216 p.
- SILVA, Ivo Ribeiro; MENDONÇA, Eduardo de Sá. *Matéria Orgânica do Solo*. Novais, Roberto Ferreira; ALVAREZ, Víctor Hugo; BARROS, Naíram Félix; FONTES, Renildes Lúcio F.; CANTARUTTI, Reinaldo Bertola; NEVES, Júlio César Lima. *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, Viçosa, 2007. p.275-374.
- SMITH, P. POWLSON, D.S.; SMITH, J.I. A comparasion of the performance of nine soil organic matter using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma*, 81:153-255, 1997.
- SIMAS, F.N.B. Solos da Baía do Almirantado, Antártica Marítima: Mineralogia, Gênese, Classificação e Biogeoquímica. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa . 154 p. 2006.
- SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; GUERRA, M. B. B.; SAUNDERS, M.; GILKES, R.J. Clay-Sized Minerals in Permafrost-Affected Soils (Cryosolos) from King George Island, Antarctica. *Clays and Clay Minerals*, v. 54, n. 6, p. 723-738, 2006.
- TATUR, A.; MYRCHA, A. Ornithogenic Soils. In: S. RAKUSA-SUSZCZEWSKI (ed.) *The Antarctic Coastal Ecosystem of Admitalty Bay*. Polish Academy of Sciences, Warsaw. p161-165, 1993.
- TATUR, A.; MYRCHA, A.; NIEGODZISZ, J. Formation of abandoned penguin rookery ecosystems in the maritime Antarctic. *Polar Biol.*, 17:405-417, 1997.
- UGOLINI, F.C. 1972. Orthinogenic soils of Antarctica. In: G.A. Llano (Editor), *Antarctic Terrestrial Biology*. Am. Geophys. Uion Antarct. Res. Ser., pp. 181-193.

WALKER, T.R.; REID, K.; ARNOULD, J.P.Y.; CROXALL, J.P. Marine debris surveys at Bird Island, South Georgia 1990-1995. Mar. Pollut. Bull., v.34, n.1: p.61-65, 1997.

Considerações finais

Com o aquecimento global, espera-se que os solos estudados sofram diversas alterações, principalmente nos seus teores e composição de matéria orgânica. Esperando-se, para o início, a degradação dos horizontes orgânicos e aumento da emissão de CO₂. Porém, o constante aquecimento e degelo da região tende a favorecer o acúmulo de matéria orgânica após adaptação dos microrganismos e plantas presentes no ambiente. Espera-se, também, que com o aumento da temperatura, os solos fiquem cobertos por neve por menos tempo, permitindo a sua ocupação por aves por períodos mais longos, o que refletiria em maior deposição de resíduos. Além disso, áreas até então não ocupadas por aves poderia passar a ser quando expostas.

Assim, num segundo momento, tais áreas passariam a ter um papel importante no processo de seqüestro de C atmosférico, permitindo que solos que hoje apresentam baixos estoques de C e pouca biodiversidade devido às condições climáticas, principalmente as baixas temperaturas, acumulem maiores quantidades de C e aumentem a quantidade e até mesmo a diversidade, tanto de plantas quanto de microrganismos. Porém tais alterações climáticas para o futuro e suas implicações ainda não foram estudadas em detalhes. Para que estes estudos sejam realizados, são necessários levantamentos mais detalhados sobre o comportamento dos microrganismos e vegetação da região, além da criação de bancos de dados mais detalhados que permitam sua utilização em modelos diversos.

APÊNDICES

Apêndice I

SCHEDULE.100, GERADO A PARTIR DO EVENT.100 CRIADO.

-7990	Starting year
2010	Last year
siteequi.100	Site file name
0	Labeling type
-1	Labeling year
-1.00	Microcosm
-1	CO2 Systems
-1	pH shift
-1	Soil warming
0	N input scalar option
0	OMAD scalar option
1	Initial system
BE	Initial crop
	Initial tree
Year Month Option	
1	Block # bequi12
2010	Last year
1	Repeats # years
0	Output starting year
1	Output month
12	Output interval
M	Weather choice
	1 CROP
BE	
	1 1 OMAD
BE	
	1 2 OMAD
BE	
	1 3 OMAD
BE	
	1 4 LAST
	1 4 OMAD
BE	
	1 5 SENM
	1 6 SENM
	1 7 SENM
	1 8 SENM
	1 9 SENM
	1 10 SENM
	1 11 FRST
	1 11 OMAD
BE	
	1 12 OMAD
BE	
-999	-999 X

Apêndice II

VALORES DAS VARIÁVEIS PARA CROP.100

Variáveis	Valores	Variáveis	Valores	Variáveis	Valores
PRDX(1)	0,09	PRAMN (1,2)	20,00	FALLRT	0,10
PPDF(1)	10,00	PRAMX (1,1)	20	RDR	0,05
PPDF(2)	20,00	PRAMX (1,2)	45	RTDTMP	2,00
PPDF(3)	1,00	PRBMN (1,1)	10,00	CRPRTF (1)	0,00
PPDF(4)	2,50	PRBMN (1,2)	0,00	SNFXMX(1)	0,00
BIOFLG	1,00	PRBMX (1,1)	60,00	DEL13C	-15,00
BIOK5	150,00	PRBMX (1,2)	100,00	CO2IPR(1)	1,20
PLTMRF	1,00	FLIGNI(1,1)	0,00	CO2ITR(1)	0,80
FULCAN	100,00	FLIGNI(2,1)	0,00	CO2ICE (1,1,1)	0,77
FRTCINDX	1,00	FLIGNI(1,2)	0,00	CO2ICE (1,2,1)	1,00
FRTC(1)	0,00	FLIGNI(2,2)	0,00	CO2IRS(1)	1,00
FRTC(2)	0,00	HIMAX	0,00	KMRSP(1)	0,00
FRTC(3)	1,00	HIWSF	0,00	CKMRSPMX(1)	0,00
FRTC(4)	0,00	HIMON(1)	0,00	CKMRSPMX(2)	0,00
FRTC(5)	0,00	HIMON(2)	0,00	NO3PREF(1)	0,25
CFRTCN(1)	0,40	EFRGRN (1)	0,00	CLAYPG	1,00
CFRTCN(2)	0,40	VLOSSP	0,00	TMPGERM	10,00
CFRTCW(1)	0,40	FSDETH(1)	0,00	DDHARV	900,00
CFRTCW(2)	0,40	FSDETH(2)	0,40	TMPKILL	7,00
BIOMAX	100,00	FSDETH(3)	0,10		
PRAMN (1,1)	15,00	FSDETH(4)	500,00		

VALORES DAS VARIÁVEIS PARA FIX.100

Variáveis	Valores	Variáveis	Valores	Variáveis	Valores
ADEP(1)	10,00	AWTL(10)	0,00	FAVAIL(4)	0,20
ADEP(2)	10,00	BGPPA	100,00	FAVAIL(5)	0,30
ADEP(3)	0,00	BGPPB	7,00	FAVAIL(6)	5,00
ADEP(4)	0,00	CO2PPM(1)	350,00	FLEACH(1)	0,50
ADEP(5)	0,00	CO2PPM(2)	700,00	FLEACH(2)	0,50
ADEP(6)	0,00	CO2RMP	0,00	FLEACH(3)	1,00
ADEP(7)	0,00	DAMR (1,1)	0,00	FLEACH(4)	0,22
ADEP(8)	0,00	DAMR (2,1)	0,02	FLEACH(5)	0,10
ADEP(9)	0,00	DAMRMN (1)	15,00	FWLOSS(1)	0,80
ADEP(10)	0,00	DEC1(1)	3,90	FWLOSS(2)	0,80
AGPPA	-40,00	DEC1(2)	4,90	FWLOSS(3)	0,65
AGPPB	7,70	DEC2(1)	14,80	FWLOSS(4)	0,80
ANEREF(1)	1,50	DEC2(2)	18,50	FXMCA	-0,125
ANEREF(2)	3,00	DEC3(1)	6,00	FXMCB	0,005
ANEREF(3)	0,30	DEC3(2)	7,30	FXMXS	0,35
ANIMPT		DEC4	0,0045	FXNPB	7,00
AWTL(1)	0,80	DEC5	0,20	GREMB	0,00
AWTL(2)	0,60	DECK5	5,00	IDEF	1,00
AWTL(3)	0,40	DLIGDF	-4,00	LHZF(1)	0,20
AWTL(4)	0,30	DRESP	0,999	LHZF(2)	0,40
AWTL(5)	0,20	EDEPTH	0,20	LHZF(3)	0,80
AWTL(6)	0,20	ELITST	0,40	MINLCH	18,00
AWTL(7)	0,20	ENRICH	2,00	NSNFIK	0,00
AWTL(8)	0,20	FAVAIL(1)	0,90	NTSPM	4,00
AWTL(9)	0,00	FAVAIL(3)	0,50	OMLECH(1)	0,03

VALORES DAS VARIÁVEIS PARA FIX.100 (continuação)

Variáveis	Valores	Variáveis	Valores	Variáveis	Valores
OMLECH(2)	0,12	PMXTMP	-0,0035	STRMAX(2)	50,00
OMLECH(3)	60,00	PPARMN (1)	0,00	TEXEPP(1)	0,00
P1CO2A(1)	0,60	PPRPTS(1)	0,00	TEXEPP(2)	0,70
P1CO2A(2)	0,17	PPRPTS(2)	1,00	TEXEPP(3)	0,0001
P1CO2B(1)	0,00	PPRPTS(3)	0,80	TEXEPP(4)	0,00016
P1CO2B(2)	0,68	PS1CO2(1)	0,45	TEXEPP(5)	2,00
P2CO2	0,55	PS1CO2(2)	0,55	TEXESP(1)	0,00
P3CO2	0,55	PS1S3(1)	0,003	TEXESP(3)	0,004
PABRES	100,00	PS1S3(2)	0,022	TEFF(1)	15,40
PCEMIC (1,1)	16,00	PS2S3(1)	0,03	TEFF(2)	11,75
PCEMIC (2,1)	10,00	PS2S3(2)	0,009	TEFF(3)	29,70
PCEMIC (3,1)	0,02	PSECMN (1)	0,00	TEFF(4)	0,031
PEFTXA	0,25	PSECOC1	0,000045	TMELT(1)	0,00
PEFTXB	0,75	PSECOC2	0,000007	TMELT(2)	0,002
PHESP(1)	6,00	RAD1P (1,1)	12,00	VARAT1 (1,1)	14,00
PHESP(2)	0,0008	RAD1P (2,1)	3,00	VARAT1 (2,1)	3,00
PHESP(3)	7,60	RAD1P (3,1)	5,00	VARAT1 (3,1)	2,00
PHESP(4)	0,015	RCESTR (1)	200,00	VARAT2 (1,1)	20,00
PLIGST(1)	0,00	RICTRL	0,015	VARAT2 (2,1)	12,00
PLIGST(2)	0,00	RIINT	0,80	VARAT2 (3,1)	2,00
PMCO2 (1)	0,55	RSPLIG	0,30	VARAT3 (1,1)	8,00
PMCO2 (2)	0,55	SEED	-1,00	VARAT3 (2,1)	18,00
PMNSEC (1)	0,00	SPL(1)	0,85	VARAT3 (3,1)	2,00
PMNTMP	0,004	SPL(2)	0,013	VLOSSE	0,02
PMXBIO	300,00	STRMAX(1)	50,00	VLOSSG	1,00

VALORES DAS VARIÁVEIS PARA OMAD.100

Variáveis	Valores
ASTGC	50,00
ASTLBL	0,50
ASTLIG	0,00
ASTREC (1)	15,00
ASTREC (2)	300,00
ASTREC (3)	300,00

VALORES DAS VARIÁVEIS PARA SITE.100

Variáveis	Valores	Variáveis	Valores	Variáveis	Valores
PRECIP(1)	2,77	PRCSTD(10)	0,00	TMN2M(7)	-9,7
PRECIP(2)	4,28	PRCSTD(11)	0,00	TMN2M(8)	-8,2
PRECIP(3)	6,29	PRCSTD(12)	0,00	TMN2M(9)	-6,5
PRECIP(4)	3,59	PRCSKW(1)	0,00	TMN2M(10)	-4,2
PRECIP(5)	3,67	PRCSKW(2)	0,00	TMN2M(11)	-2,2
PRECIP(6)	0,56	PRCSKW(3)	0,00	TMN2M(12)	-0,6
PRECIP(7)	0,74	PRCSKW(4)	0,00	TMX2M(1)	4,4
PRECIP(8)	0,50	PRCSKW(5)	0,00	TMX2M(2)	4,2
PRECIP(9)	2,99	PRCSKW(6)	0,00	TMX2M(3)	3,3
PRECIP(10)	3,08	PRCSKW(7)	0,00	TMX2M(4)	1,0
PRECIP(11)	2,02	PRCSKW(8)	0,00	TMX2M(5)	-0,5
PRECIP(12)	2,61	PRCSKW(9)	0,00	TMX2M(6)	-2,5
PRCSTD(1)	0,00	PRCSKW(10)	0,00	TMX2M(7)	-3,3
PRCSTD(2)	0,00	PRCSKW(11)	0,00	TMX2M(8)	-2,6
PRCSTD(3)	0,00	PRCSKW(12)	0,00	TMX2M(9)	-1,1
PRCSTD(4)	0,00	TMN2M(1)	0,5	TMX2M(10)	0,1
PRCSTD(5)	0,00	TMN2M(2)	0,4	TMX2M(11)	2,0
PRCSTD(6)	0,00	TMN2M(3)	-1,0	TMX2M(12)	3,5
PRCSTD(7)	0,00	TMN2M(4)	-3,7	IVAUTO	0,00
PRCSTD(8)	0,00	TMN2M(5)	-5,6	NELEM	1,00
PRCSTD(9)	0,00	TMN2M(6)	-8,1	SITLAT	-62,00

VALORES DAS VARIÁVEIS PARA SITE.100 (continuação)

Variáveis	Valores	Variáveis	Valores	Variáveis	Valores
SITLNG	-58,00	AWILT(10)	0,10	SOM1CI(1,1)	0,00
SAND	55,00	AFIEL(1)	0,23	SOM1CI(1,2)	0,00
SILT	22,00	AFIEL(2)	0,23	SOM1CI(2,1)	0,00
CLAY	23,00	AFIEL(3)	0,23	SOM1CI(2,2)	0,00
BULKD	1,13	AFIEL(4)	0,23	SOM2CI(1)	0,00
NLAYER	2,00	AFIEL(5)	0,23	SOM2CI(2)	0,00
NLAYPG	2,00	AFIEL(6)	0,23	SOM3CI(1)	0,00
DRAIN	0,00	AFIEL(7)	0,23	SOM3CI(2)	0,00
BASEF	0,30	AFIEL(8)	0,23	RCES1 (1,1)	0,00
STORMF	0,60	AFIEL(9)	0,23	RCES1 (2,1)	0,00
FRACRO	0,15	AFIEL(10)	0,23	RCES2 (1)	0,00
SWFLAG	00,00	PH	6,0	RCES3 (1)	0,00
AWILT(1)	0,10	PSLSRB	1,00	CLITTR (1,1)	0,001
AWILT(2)	0,10	SORPMX	100,00	CLITTR (1,2)	0,001
AWILT(3)	0,10	EPNFA(1)	0,21	CLITTR (2,1)	0,001
AWILT(4)	0,10	EPNFA(2)	0,00	CLITTR (2,2)	0,001
AWILT(5)	0,10	EPNFS(1)	0,00	RCELIT (1,1)	0,00
AWILT(6)	0,10	EPNFS(2)	0,00	RCELIT (2,1)	0,00
AWILT(7)	0,10	SATMOS(1)	0,00	AGLCIS (1)	0,00
AWILT(8)	0,10	SATMOS(2)	0,00	AGLCIS (2)	0,00
AWILT(9)	0,10	SIRRI	0,00	AGLIVE (1)	0,00

VALORES DAS VARIÁVEIS PARA SITE.100 (continuação)

VARIÁVEIS	VALORES	VARIÁVEIS	VALORES	VARIÁVEIS	VALORES
BGLCIS (1)	0,00	MINERL(6,2)	0,00	RWCF(4)	0,00
BGLCIS (2)	0,00	MINERL(7,2)	0,00	RWCF(5)	0,00
BGLIVE(1)	0,00	MINERL(8,2)	0,00	RWCF(6)	0,00
STDCIS (1)	0,00	MINERL(9,2)	0,00	RWCF(7)	0,00
STDCIS (2)	0,00	MINERL(10,2)	0,00	RWCF(8)	0,00
STDEDE (1)	0,00	MINERL(1,3)	0,50	RWCF(9)	0,00
MINERL(1,1)	2,2	MINERL(2,3)	0,00	RWCF(10)	0,00
MINERL(2,1)	1,6	MINERL(3,3)	0,00	SNLQ	5,00
MINERL(3,1)	0,00	MINERL(4,3)	0,00	SNOW	30,00
MINERL(4,1)	0,00	MINERL(5,3)	0,00		
MINERL(5,1)	0,00	MINERL(6,3)	0,00		
MINERL(6,1)	0,00	MINERL(7,3)	0,00		
MINERL(7,1)	0,00	MINERL(8,3)	0,00		
MINERL(8,1)	0,00	MINERL(9,3)	0,00		
MINERL(9,1)	0,00	MINERL(10,3)	0,00		
MINERL(10,1)	0,00	PARENT (1)	0,00		
MINERL(1,2)	0,50	SECNDY (1)	0,00		
MINERL(2,2)	0,00	OCCLUDE	0,00		
MINERL(3,2)	0,00	RWCF(1)	0,50		
MINERL(4,2)	0,00	RWCF(2)	0,80		
MINERL(5,2)	0,00	RWCF(3)	0,00		