



## **Solos e Evolução da Paisagem em Ambiente Periglacial na Península Barton, Antártica Marítima**

### ***Soils and Landscape Evolution in Periglacial Environment on the Barton Peninsula, Maritime Antarctica***

**Davi do Vale Lopes**

Universidade Federal de Minas Gerais  
davivlopes@hotmail.com

**José João Leis Leal de Souza**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
jjlelis@gmail.com

**Fábio Soares de Oliveira**

Universidade Federal de Minas Gerais  
fabiosolos@gmail.com

**Carlos Ernesto G. R. Schaefer**

Universidade Federal de Viçosa  
carlos.schaefer@ufv.br

Recebido (Received): 18/03/2017  
DOI: 10.11606/rdg.v0ispe.132721

Aceito (Accepted): 02/06/2017

**Resumo:** As baixas disponibilidade de água líquida e temperatura na Antártica condicionam a formação de solos incipientes. Condições climáticas menos severas na Antártica Marítima permitem o maior desenvolvimento de solos, com maior cobertura vegetal e intemperismo químico mais significativo. A Península Barton, localizada na Ilha Rei George (Antártica Marítima), possui solos derivados de litologias diversas, com destaque para o basalto/andesito piritizado, representando a área de maior extensão de materiais sulfídicos na região. O objetivo deste trabalho foi analisar o papel do relevo na gênese de solos sulfatados e sua relação com a evolução da paisagem. Os solos foram classificados de acordo com a Soil Taxonomy e WRB/FAO. Foram descritos três perfis em toposequência e analisados seus atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos. A crioclastia está presente como um processo pedogenético, mas o que se destaca é o grau evolutivo dos solos associado à acidificação pela oxidação dos sulfetos. Esse processo promove a liberação de elementos como o Fe, que são mobilizados por influência do relevo. Consequentemente, formam-se níveis encouraçados, isto é, horizontes petroplínticos, caracterizando uma transformação da cobertura pedológica. A gênese destes solos demonstra que a paisagem periglacial é dinâmica e de profundo interesse das investigações pedogeomorfológicas.

**Abstract:** Antarctic soils are characterized by low development degree due to low liquid water content. Compared to mainland, Maritime Antarctica has a mild climate. These milder conditions allow a much greater development of soils and more significant chemical weathering. The study area is Barton Peninsula, the second largest ice-free area of King George Island (Maritime Antarctica). The Barton Peninsula has soils derived from different lithologies, with basalt / andesite (with pyrite) standing out. This study aimed to evaluate the role of relief in the genesis of sulfated soils. Three pedons were selected, described, sampled, and classified according to Soil Taxonomy and WRB/FAO. Morphological, physical, mineralogical and chemical analysis were performed. The Barton soils present polygenic evolution. The rock shattering caused by freezing and thawing is present as a pedogenetic process. However, the evolution degree of the soils is substantially associated with the acidification by sulphide oxidation. This process promotes the release of elements, such as Fe, which are mobilized by the relief. Consequently, duricrusts (i.e. petroplintic horizons) are formed, characterizing a transformation of the pedological cover. The genesis of these soils shows that the peri-glacial landscape is dynamic and of deep interest in soil-geomorphological investigations.

**Palavras-chaves:** Oxidação; Sulfetos; Pedogênese; Concreções; Pedogeomorfologia.

**Keywords:** Oxidation; Sulfides; Pedogenesis; Concretions; Soil-Geomorphology.

## INTRODUÇÃO

A Antártica pode ser compartimentada em porção continental e marítima (BEYER E BÓLTER, 2002) e é conhecida como o continente dos superlativos: mais frio, mais ventoso, mais seco, mais alto, entre outros, ainda que tais condições não sejam homogêneas. Entre os arquipélagos que compõem a Antártica Marítima, as Shetlands do Sul possuem clima oceânico frio, com chuvas de verão frequentes e moderada amplitude térmica anual, variando entre 8 °C e 10 °C. A temperatura média anual é de aproximadamente -3°C. As áreas livres de gelo estão localizadas onde as temperaturas médias anuais excedem -2 °C (SERRANO E LOPEZ-MARTINEZ, 2000).

Condições climáticas menos severas na Antártica Marítima permitem o desenvolvimento de solos mais profundos, maior cobertura vegetal e intemperismo químico mais significativo em comparação com a Antártica Continental (CAMPBELL E CLARIDGE, 1987). A maior diversidade de processos repercute numa variedade de tipos de solos, com destaque para aqueles associados à dinâmica do permafrost, os solos ornitogênicos e os solos sulfatados (FRANCELINO *et al.*, 2011; MICHEL *et al.*, 2014).

Nas Shetlands do Sul encontra-se Rei George, a maior ilha do Arquipélago. A Península Barton (PB) (62°14'S 58°46'W) localiza-se a sudoeste da Ilha Rei George, na Baía de Maxwell, e possui área aproximada de 12 km<sup>2</sup>. Nesta península é comum a presença de rochas enriquecidas em sulfetos que, uma vez expostos aos agentes intempéricos, são afetados por oxidação, criando condições favoráveis ao intemperismo geoquímico e culminando na gênese dos solos sulfatados.

Souza *et al.*, (2014) registraram que na Ilha Seymour os solos ácidos sulfatados são os mais desenvolvidos. Na Península Keller, também Ilha Rei George, Simas *et al.*, (2006) relataram presença de solos ácidos, horizontes sulfúricos, minerais de argila que indicam intemperismo químico mais avançado e desestabilização de minerais primários em áreas de oxidação de sulfetos. Ainda assim, poucos estudos abordam os solos sulfatados da Antártica e mais escassos ainda são os estudos que buscaram compreender o papel do relevo na sua gênese.

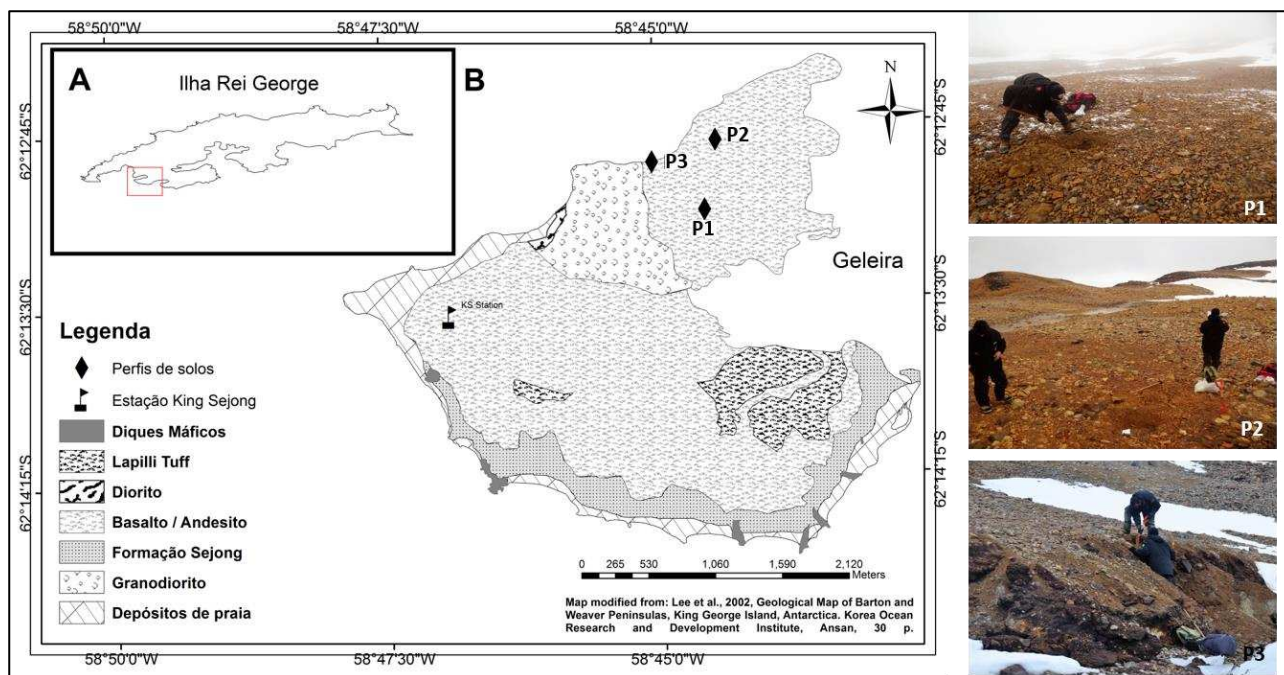
Face ao exposto, o objetivo deste estudo foi analisar, a partir de atributos físicos e químicos, o papel do relevo na gênese de solos sulfatados na Península Barton e, da mesma maneira, como tais solos interagem com a evolução da paisagem em domínio peri-glacial da Antártica Marítima.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Área de Estudo*

A Península Barton localiza-se no arco Mesozoico-Cenozoico da Ilha Rei George, Arquipélago das Shetlands do Sul e compreende uma sequência terciária formada por lavas e rochas vulcanoclásticas (basáltica e andesita), com intrusões de granodiorito e diorito na parte oeste (ARMSTRONG, 1995; YEO *et al.*, 2004). A Formação Sejong, vulcanoclástica, é a mais antiga unidade geológica, possuindo afloramentos ao longo da costa (**Figura 1**). Além dela, a faixa costeira apresenta depósitos quaternários descontínuos em razão da presença dos corpos intrusivos.

A geomorfologia da área apresenta importantes distinções (LOPES-MARTINEZ *et al.*, 2012). Nas porções central e oeste da Península (próximo à estação de pesquisa sul coreana King Sejong), os vales são mais amplos e os canais de drenagem mais organizados. Ao norte, próxima à geleira, o relevo é mais escarpado. As plataformas médias (16 - 60 metros de amplitude altimétrica) ocorrem principalmente ao sul da Península, voltadas para a Baía de Maxwell e sob a Formação Sejong. As plataformas mais elevadas (61 - 105 metros de amplitude altimétrica) são mais descontínuas, com muitos corpos plutônicos intercalados, desenhando escarpas íngremes. Áreas de depósitos marinhos elevados (106 - 260 metros de amplitude altimétrica) coincidem com os dois principais campos de solos poligonais. Entre os picos mais elevados, destaca-se Noel Hill (Baekdubong).



**Figura 1:** A – Mapa de localização da Península Barton na Ilha Rei George, Antártica Marítima. B - Mapa litológico da Península Barton com a indicação da localização dos perfis de solos amostrados e imagens ilustrativas dos respectivos ambientes.

### *Trabalho De Campo, Coleta e Caracterização dos Solos*




O estudo envolveu a seleção de uma vertente com uniformidade litológica e onde a presença de solos sulfatados fosse verificada. Armstrong (1995) identificou que na porção norte ocorre abundante associação de sulfetos com andesitos e, por isso, essa área foi priorizada para investigação. Após reconhecimento em campo, foi selecionada uma topossequência, onde três trincheiras foram abertas, respectivamente na alta (P1), média (P2) e baixa encosta (P3) (**Tabela 1**).

Foram descritos os perfis das faces a montante e amostras deformadas foram coletadas. Após transporte, as amostras foram destorroadas, secas e peneiradas (malha de 2 mm). Separou-se as frações granulométricas pelo método da centrífuga com uso de solução de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  em pH 9,5 como dispersante.

O pH, nutrientes trocáveis e textura foram determinados em amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) (EMBRAPA, 1997). Cátions trocáveis,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  foram extraídas com 1M KCl e P,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  com extrator Mehlich-1 (dupla diluição 0,05 mol/L de HCl em 0,0125 mol/L de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) (EMBRAPA, 1997). Os teores dos elementos ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) nos extratos foram determinados por espectrometria de absorção atômica e emissão de chama ( $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ) e fotocolorimetria (P). O carbono orgânico total foi determinado via combustão úmida (YEOMANS E BREMNER, 1988). Os solos foram classificados de acordo com a Soil Taxonomy (SSS, 2014) e World Reference Base for Soil Resources - WRB (IUSS, 2014).

A mineralogia foi analisada no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), em Campinas-SP. A linha utilizada foi X-ray powder diffraction (XPD), dedicada a materiais policristalinos. Utilizou-se o equipamento de difração de raios-X HUBER, no modo de operação de alta resolução. Os resultados foram interpretados através de padrões de literatura (BRINDLEY E BROWN, 1980).

**Tabela 1: Aspectos gerais dos perfis que compõem a topossequência estudada na Península Barton.**

Perfil	Altitude (m)	Coordenadas Geográficas	Descrição Geral	Soil Taxonomy	WRB/FAO	Imagem
P1	160	0409394 / 3100246	Relevo plano, porção superior da topossequência. Área extensa e representativa da parte mais elevada da plataforma. Observou-se rochas quebradas, porém em profundidade encontra-se maior presença de partículas finas. Os fragmentos são muito amarelados. Não se observou água minando no perfil.	Typic dystrocryepts	Haplic Leptic Cambisol	
P2	83	0409476 / 3100799	Relevo suave ondulado, porção média da topossequência. Superfície com coloração extremamente amarelada. O perfil apresentava mosqueados. Ausência de cobertura vegetal. Canais de drenagem próximos indicando drenagem superficial e subsuperficial.	Typic sulfaquepts	Hyperthionic Leptic Cambisol	
P3	10	0408974 / 3100616	Relevo declivoso, porção inferior ou baixa da topossequência. O perfil está no contato com o domínio litorâneo, próximo as águas da Marian Cove. Presença de horizonte petroplíntico. Ausência de cobertura vegetal.	“Sulfuric” petraquepts	Orthothionic Petroplinthic Cambisol	

## RESULTADOS

Os resultados das análises físicas e químicas são apresentados, respectivamente, nas **Tabelas 2 e 3**. Os solos das porções alta e média da topossequência são mais homogêneos em termos de cor e apresentaram predomínio de matiz 10YR na maior parte dos horizontes, bem como altos valores de croma (**Tabela 2**). Alguns horizontes na base de P3, na porção baixa, apresentaram matiz mais avermelhada (2,5YR) intercalada com zonas acinzentadas e amareladas, revelando um solo de coloração variegada, sobreposto por um nível concrecionado (Csm). O predomínio de cores amareladas é semelhante ao que foi observado em outros solos sulfatados (FRANCELINO *et al.*, 2011; SIMAS *et al.*, 2006; SOUZA *et al.*, 2014) e, tal como nestes estudos, solos com essa coloração são mais argilosos que outros solos da Antártica. Tais características corroboram com a indicação de Campbell & Claridge (1987) da importância de considerar a cor como um atributo fundamental no estudo de solos em domínios polares, inclusive do seu grau evolutivo.

De maneira geral, os solos situados na porção alta da topossequência são mais argilosos nos horizontes superiores. Nas porções média e baixa essa relação se inverte, com maior conteúdo de argila em profundidade (**Tabela 2**). A presença do nível concrecionário parece exercer uma influência na textura destes solos. A classe textural variou de franco-argilosa, franco-argilo-siltosa a franco-arenosa nas porções alta e média e franco-arenosa a areia na porção baixa.

**Tabela 2:** Atributos morfológicos e físicos dos solos da topossequência

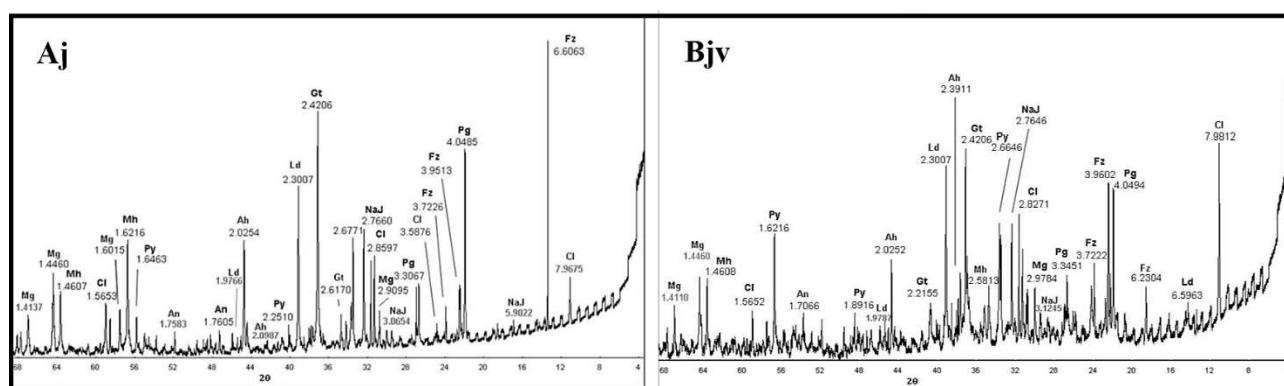
Hor.	Prof.	AG	AF	Silte	Argila	S+A	Classe Textural	Cor (seco)	Nome (seco)	Cor (úmida)	Nome (úmida)
<b>P1 - Typic Dystricrypts (Haplic Leptic Cambisol)</b>											
A	0-5/7	33	19	26	22	48	Franco-Argilo-Arenosa	10YR 8/4	very pale brown	10YR 5/6	yellowish brown
B1	5/7-22/52+	45	11	22	22	44	Franco-Argilo-Arenosa	10YR 8/6	yellow	10YR 5/8	yellowish brown
B2	21-33	51	17	17	15	32	Franco-Arenosa	10YR 8/4	very pale brown	10YR 3/4	dark yellowish brown
B3	33-51+	64	8	10	18	28	Franco-Arenosa	10YR 7/6	yellow	10YR 5/8	yellowish brown
<b>P2 - Typic Sulfaquepts (Hyperthionic Leptic Cambisol)</b>											
Aj	0-10	46	17	18	19	37	Franco-Arenosa	10YR 6/8	yellow	10YR 5/6	yellowish brown
Bjv	10-25+	31	10	29	30	59	Franco-Argilosa	10YR 7/8 10YR 8/6	yellow Yellow	10YR 5/8 10YR 7/6	yellowish brown yellow
<b>P3 - "Sulfuric" Petraquepts (Orthothionic Petroplinthic Cambisol)</b>											
A	0-20/29	60	14	13	13	26	Franco-Arenosa	10YR 7/4	very pale brown	10YR 4/6	dark yellowish brown
Bj	20/29-36/40	89	4	3	4	7	Areia	5YR 5/6	yellowish red	2.5YR 2,5/3	dark reddish brown
Csm	36/40-90/94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Bj1	90/94-130	69	6	13	12	25	Franco-Arenosa	10YR 8/3	yellow pale brown	10YR 4/6	dark yellowish brown
2Bj2	130-140/165	13	41	27	19	46	Franco-Arenosa	Gley 1 8/10Y 2,5YR 8/4	light greenish gray pale yellow	Gley 1 7/10Y 5Y 7/3	light greenish gray pale yellow dark
2Bjv3	140/165-220+	40	29	14	17	31	Franco-Arenosa	10YR 8/4	very pale brown	10YR 4/6	yellowish brown

**Tabela 3:** Atributos químicos dos solos da topossequência

Hor.	pH	P	K	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m	CO	P-Rem	Cu	Mn	Fe	Zn	Ni	Pb
	H <sub>2</sub> O	mg.dm <sup>-3</sup>			cmolc.dm <sup>-3</sup>							%		dag.Kg <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	mg dm <sup>3</sup>					
<b>P1 - Typic Dystricrypts (Haplic Leptic Cambisol)</b>																					
A	5.44	6.6	35	78.8	3.1	0.81	1.7	4	4.34	6.04	8.34	52.0	28.1	0.13	27.4	2.19	14.6	482.3	1.79	0.68	1.3
B1	4.64	7.3	13	26.5	2.77	0.39	2.6	6.3	3.31	5.91	9.61	34.4	44	0.26	14.6	0.7	1.5	195.7	0.69	0.36	2.01
B2	5.49	9.8	27	99.0	3.96	0.87	0.4	3.5	5.33	5.73	8.83	60.4	7	0.26	22.5	3.35	14.9	630.2	3.55	0.6	0.36
B3	4.68	7.1	13	36.5	0.48	0.55	1.5	4.8	1.22	2.72	6.02	20.3	55.1	0.13	23.8	1.57	4.9	305.7	2.13	0.55	2.52
<b>P2 - Typic Sulfaquepts (Hyperthionic Leptic Cambisol)</b>																					
Aj	3.21	5.1	1	32.5	3.26	0.38	6.9	15.5	3.78	10.68	19.28	19.6	64.6	0.26	10.8	1.83	2.8	815	0.44	0.83	0
Bjv	3.1	11	0	34.5	3.4	0.32	6.6	12.4	3.87	10.47	16.27	23.8	63	0.9	7.4	2.21	2.7	899.5	0.49	0.76	0
<b>P3 - "Sulfuric" Petraquepts (Orthothionic Petroplinthic Cambisol)</b>																					
A	4.25	10.7	13	70.8	2.62	0.14	5.1	9.2	3.1	8.2	12.3	25.2	62.2	0.13	11.6	4.59	2.3	628.4	0.49	0.51	0
Bj	3.99	2.9	3	26.5	2.79	0.12	2.7	7.8	3.03	5.73	10.83	28.0	47.1	0.13	20.7	1.66	1.1	678	0.26	0.58	0
Csm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2Bj1	3.9	18.8	13	54.7	2.99	0.13	4.8	9.7	3.39	8.19	13.09	25.9	58.6	0.26	16.6	3.84	2.9	262.1	0.58	0.77	0
2Bj2	3.55	80.3	7	14.4	2.58	0.14	5.1	9.2	2.8	7.9	12	23.3	64.6	0.13	17	0.7	1.2	342.3	0.21	0.59	0
2Bjv3	3.3	82.8	0	14.4	2.67	0.16	3.5	10.6	2.89	6.39	13.49	21.4	54.8	0.13	8	0.57	0.9	1208.1	0.26	0.93	0

Quimicamente, embora os solos possam ser majoritariamente descritos em toda a toposequência como pobres em carbono orgânico, distróficos, com alta saturação por alumínio e ácidos (**Tabela 3**), algumas diferenças entre as distintas posições devem ser destacadas. Os solos das porções média e baixa apresentam menores valores de pH, quase sempre inferior a 4, bem como maiores valores de saturação por alumínio. Na saturação por bases, apenas em dois horizontes de P1 os valores foram superiores a 50%, condizentes com os maiores valores de pH encontrados. Sobre os micronutrientes, os solos apresentam teores elevados de Fe, principalmente na porção baixa. O mesmo acontece com o Cu (4,59 mg.dm<sup>3</sup>) e Ni (0,93 mg.dm<sup>3</sup>). Na porção alta foram verificados os maiores valores de Mn (14,6 mg.dm<sup>3</sup>) e Pb (2,52 mg.dm<sup>3</sup>) (**Tabela 3**).

Mineralogicamente, os três solos da toposequência são semelhantes. O difratogramas dos horizontes Aj e Bju de P2 são apresentados como representativos (**Figura 2**). Foram identificados picos de minerais secundários como goethita (2,21; 2,42; 2,61 Å) e natrojarosita (2,76; 3,06; 3,12; 5,98 Å). Os picos 1,46; 1,62; 2,46; 2,58 Å sugerem a presença de maghemita. Em relação às fases minerais primárias, foram identificados picos da clorita (1,56; 2,82; 7,98 Å), feldspato (3,72; 3,95; 3,96; 6,23; 6,60 Å), magnetita (1,44; 1,60; 2,90; 2,97 Å) e pirita (1,64; 1,89; 2,25 Å). Essa paragênese condiz com a gênese dos solos associada aos andesitos ricos em sulfetos.



**Figura 2:** DRX da fração argila dos horizontes Aj e Bju de P2, representativo da mineralogia dos solos da toposequência. An=Alunita, Ah=Anidrita, Cl=Clorita. Fz=Feldspato, Gt=Goethita, Ld=Lepidocrocita, Mg=Magnetita, Mh=Maghemita, NaJ=Natrojarosita, Pg=Plagioclásio, Py=Pirita.

P1 foi classificado como Typic dystrocryepts (SSS, 2014) ou Haplic Leptic Cambisol (IUSS, 2014). Embora a superfície seja pedregosa, no interior do perfil, como visto, o conteúdo de partículas finas (silte + argila) chama atenção. P2 foi classificado como Typic sulfaquepts (SSS, 2014) ou Hyperthionic Leptic Cambisol (IUSS, 2014). Apresenta horizonte sulfuric (pH entre 3,5 e 4,0) dentro de 50 cm, estando sua condição ácida relacionada à alta saturação por alumínio observada. P3, por fim, foi classificado como “Sulfuric” petraquepts (SSS, 2014) ou Orthothionic Petroplinthic Cambisol (IUSS, 2014). O pH inferior a 4 sugere a indicação do horizonte *sulfuric*, o que favorece a maior mobilidade iônica. Possui contato lítico dentro de 50 cm e a camada de concreção entre 38 – 92 cm é contínua, denotando a presença de horizonte petroplintico.

## DISCUSSÃO

Tanto do ponto de vista morfológico quanto analítico, os resultados mostram a inegável influência do material de origem na gênese dos solos estudados, considerando que a presença dos sulfetos e a maneira como os mesmos são alterados responde por grande parte dos atributos observados. Contudo, os resultados mostram também um importante papel do relevo, principalmente no que se refere à dinâmica e mobilidade dos constituintes, resultante na formação de distintas feições conforme a posição na paisagem. Os dois aspectos serão discutidos a seguir.

Considerando o pH dos solos analisados, toda a cobertura pedológica pode ser entendida como “solos ácidos sulfatados”. Ocorrem valores de pH inferior a 4,0, acompanhados por elevados valores de Al trocável e coloração amarelada, indicadora da presença de minerais sulfatados e óxidos; confirmada na análise mineralógica. Comparado aos estudos desenvolvidos por Simas *et al.* (2008) e Souza *et al.* (2014), alguns horizontes identificados neste estudo estão entre os mais ácidos já registrados na Antártica (**Tabela**

4). Essa acidez gerada por frentes de sulfurização criou as condições necessárias para o intemperismo geoquímico que, associado a crioclastia intensa, foram responsáveis pela gênese destes solos.

**Tabela 4:** Valores de pH em H<sub>2</sub>O de solos ácidos sulfatados da Antártica Marítima.

Dados	Local	Id do perfil	Hor.	Prof. (cm)	pH	Soil Taxonomy / WRB-FAO
Simas <i>et al.</i> , 2008	Península Keller, Ilha Rei George	K24-SH	AC	0–20	5.0	Sulphuric Haploturbel
Simas <i>et al.</i> , 2008		K24-SH	C	20–60	4.4	Sulphuric Haploturbel
Souza <i>et al.</i> , 2014	Ilha Seymour	P4	Aj	0-5	5.0	“Sulfuric” Anhyorthel/“Thionic” Cryosol
		P4	Cj1	35-40	3.2	“Sulfuric” Anhyorthel/“Thionic” Cryosol
		P4	Cj2	40-55	3.1	“Sulfuric” Anhyorthel/“Thionic” Cryosol
		P4	Cj3	55-88	3.5	“Sulfuric” Anhyorthel/“Thionic” Cryosol
		P7	Cj	8-38	3.6	Sulfuric Aquiturbel/Oxyaquic–Gelic Cryosol
		P18	Cfj2	55/60-100	3.3	Sulfuric Aquorthel/“Thionic”–Haplic Cryosol
		P19	Cj1	30/35-55/60	3.3	“Sulfuric” Haploturbel/“Thionic”–Turbi Cryosol
		P20	Cjf2	25/60-100	3.6	“Sulfuric” Haploturbel/“Thionic”–Turbi Cryosol
		P21	Crj1	50/55-70/75	3.7	“Sulfuric” Anhyorthel/“Thionic”–Salic Cryosol
Presente estudo	Península Barton, Ilha Rei George	P2	Aj	0-10	3.2 1	Typic sulfaquepts / Hyperthionic Leptic Cambisol
		P2	Bjv	10-25	3.1	Typic sulfaquepts / Hyperthionic Leptic Cambisol
		P1	2B2	130-140/165	3.5 5	“Sulfuric” Placic petraquepts / Orthothionic Petroplinthic Cambisol
		P1	2B3	140/165-220+	3.3	“Sulfuric” Placic petraquepts / Orthothionic Petroplinthic Cambisol

Num estudo na mesma península, Lee *et al.* (2004) havia destacado o baixo grau de intemperismo dos solos, mesmo daqueles em áreas de rochas com sulfetos. Os resultados aqui obtidos sinalizam o contrário, pois é fundamental que os atributos dos solos sejam avaliados considerando as características do ambiente antártico. Assim, embora em termos taxonômicos ocorra uma cobertura pedológica cambissólica em toda a topossequência, o que, para as condições tropicais denotaria sua jovialidade, para o contexto antártico a presença de horizonte B, ainda que incipiente, sinaliza um avançado grau evolutivo. A profundidade dos solos, sua mineralogia, atributos químicos e físicos reiteram essa constatação, corroborando com os estudos que incluem os solos sulfatados como exemplos de uma das maiores expressões do intemperismo químico na região.

Sobre a influência do relevo na gênese destes solos, os atributos sugerem que a variação altimétrica não representa o componente controlador do grau evolutivo, de maneira que na posição mais alta da topossequência os solos sejam mais evoluídos que na posição mais baixa. Ao contrário, tendo o pH, m e V como indicadores, o que se observa é que os solos das porções mediana e baixa podem ser considerados como mais intemperizados, o que está relacionado à dinâmica de movimentação das soluções ácidas.

A acidificação gerada pela oxidação dos sulfetos tem um papel importante no intemperismo mineral e solubilização de constituintes químicos, como o Fe e outros íons (FRANCELINO *et al.*, 2011). Contudo, o relevo exerce importante influência na dinâmica de transporte de soluções e mobilização desse Fe (no perfil e na vertente). As concreções localizadas na base da topossequência sugerem isso, indicando que sua formação está relacionada a uma dinâmica pedológica mais complexa que aquela até então considerada para o ambiente antártico. Na base da vertente, por exemplo, é preciso dimensionar a influência do spray salino e da própria maré na criação de condições favoráveis à precipitação do Fe, elevando o pH e contribuindo com a formação do pavimento concrecionário. De outra maneira, a oxidação de sulfetos por si só já oportuniza a neoformação de hidróxidos de ferro, tal como descrito na gênese de gossans (TAYLOR & EGGLETON, 2001). Quaisquer que sejam os mecanismos que expliquem as ocorrências observadas em Barton, tema de pesquisa em execução, há que se considerar que as variações observadas na topossequência sinalizam para o importante papel do relevo na gênese e evolução dos solos de áreas peri-glaciais.

A gênese de concreções ferruginosas constituindo horizontes encouraçados, ou petroplínticos, está geralmente associada a dois conjuntos de processos. O primeiro seria a acumulação relativa de ferro através do intemperismo *in situ* de rochas, onde essa concentração ocorreria a partir da perda geoquímica dos demais constituintes. A segunda, por sua vez, seria pelo enriquecimento absoluto de ferro em áreas de descarga do lençol freático (Goudie, 1973; McFarlane, 1976), no qual o ferro é transportado pelas águas subterrâneas em solução e/ou como quelatos e se acumula em ambientes hidromórficos, bordas de planaltos, sopés de vertentes, etc (Tardy, 1993). Em ambos, contudo, as condições climáticas tropicais são sempre destacadas, com climas úmidos a semi-úmidos apontados como fundamentais.

É fato que os processos de laterização demonstram sua maior expressão nas regiões tropicais e produziram e/ou produzem nelas seus materiais mais característicos. Entretanto, sob condições muito particulares, como as observadas neste estudo, materiais semelhantes podem ser produzidos em outros contextos ambientais, como a Antártica. Para isso uma combinação de fatores, dentro o quais se destaca o papel do relevo, foi fundamental. Esse cenário abre possibilidades para a interpretação dos processos pedológicos na Antártica como nunca antes, suscitando pesquisas sobre as transformações pedológicas numa concepção biogeodinâmica (BOCQUIER, 1973) e ampliando os conhecimentos e relação destes com a evolução da paisagem no domínio peri-glacial.

## CONCLUSÕES

A evolução da paisagem na Península Barton está diretamente ligada à combinação de processos de intemperismo físico, como a crioclastia, já amplamente conhecido e discutido para os solos da Antártica, mas também ao intemperismo químico acentuado. Em áreas com rochas sulfetadas, a exposição dos sulfetos gera oxidação e promove a acidificação dos solos, mobilizando constituintes que, associados ao papel do relevo, criam feições e produtos *sui generis*, transformando a cobertura pedológica.

As principais propriedades nos solos influenciadas pela oxidação de sulfetos foram cor, textura e pH. Estas propriedades indicam presença generalizada de sulfatos e óxidos, confirmados pelas análises mineralógicas e texturais. Como resultado, tem-se solos com horizontes sulfúrico e petroplíntico, sendo que o último reforça a influência do relevo e conseqüentemente mobilização de constituintes no perfil e na paisagem. Assim, sua gênese não deve ser compreendida apenas como resultado da influência do material de origem *in situ*, mas sim a partir de uma redistribuição numa concepção pedogeomorfológica.

Considerando as condições antárticas, a Península Barton apresenta intemperismo químico significativo em áreas de solos sulfatados, incluindo solos que estão entre os mais ácidos encontrados na Antártica Marítima. Estes ambientes apresentam paisagens singulares e geoformas poligenéticas, demonstrando que a Antártica reprersent um laboratório de destaque para estudos pedológicos.

## REFERÊNCIAS

- ARMSTRONG, D. C. Acid Sulphate Alteration in a Magmatic Hydrothermal Environment, Barton Peninsula, King George Island, Antarctica. **Mineralogical Magazine**, v. 59, n. 396, p. 429–441, 1995
- BEYER, L.; BÓLTER, M. **Geocology of Antarctic Ice-Free Coastal Landscapes**. Springer- Verlag, Berlin Heidelberg, 2002. 420 p
- BOCQUIER, G. **Génèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad**: interprétation biogéodynamique. *Mém. ORSTOM*, v. 62, 1973. 351 p
- BRINDLEY, G.W.; BROWN, G. **Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification** (Monograph 5). Min. Soc., London, 1980. 495 p.
- CAMPBELL, I. B.; CLARIDGE, G. G. C. **Antarctica: soils, weathering processes and environment**. Amsterdam: Elsevier, 1987. 367 p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 1997. 212.p.
- FRANCELINO, M. R.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B. FERNANDES FILHO, E. I.; SOUZA, J. J. L. L.; COSTA, L. M. Geomorphology and soils distribution under paraglacial conditions in an ice-free area of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Catena**, v. 85, n. 3, p. 194–204, 2011.

- GOUDIE, A. **Duricrust in tropical and subtropical landscapes**. Oxford: Clarendon Press, 1973. 174p.
- IUSS WORKING GROUP WRB. **World reference base for soil resources 2006**. [s.l.: s.n.]. v. 43 145 p.
- LEE, Y. IL; LIM, H. S.; YOON, H. IL. Geochemistry of soils of King George Island, South Shetland Islands, West Antarctica: Implications for pedogenesis in cold polar regions. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 68, n. 21, p. 4319–4333, 2004.
- LÓPEZ-MARTINEZ, J.; SERRANO, E.; SCHMID, T.; MINK, S.; LINÉS, C. Periglacial processes and landforms in the South Shetland Islands (northern Antarctic Peninsula region). **Geomorphology**, v. 155–156, p. 62–79, 2012.
- McFARLANE, M.J. **Laterite and Landscape**. London: Academic Press, 1976. 151 p.
- MICHEL, R. F. M.; SCHAEFER, C. E. G.R; LÓPEZ-MARTINEZ, J.; SIMAS, F. N. B.; HAUS, N. W.; SERRANO, E.; BOCKEIM, J. G.. Soils and landforms from Fildes Peninsula and Ardley Island, Maritime Antarctica. **Geomorphology**, 225, p. 76–86, 2014.
- SERRANO, E.; LOPEZ-MARTINEZ, J. Rock glaciers in the South Shetland Islands, Western Antarctica. **Geomorphology**, v. 35, n. 1–2, p. 145–162, 2000.
- SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MELO, V. F.; GILKES, R. J.. Clay-sized minerals in permafrost-affected soils (Cryosols) from King George Island, Antarctica. **Clays and Clay Minerals**, v. 54, n. 6, p. 721–736, 2006.
- SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; FRANCELINO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; COSTA, L. M.. Genesis, properties and classification of Cryosols from Admiralty Bay, maritime Antarctica. **Geoderma**, v. 144, n. 1–2, p. 116–122, 2008.
- SOIL SURVEY STAFF. Keys to soil taxonomy. **Soil Conservation Service**, v. 12, p. 410, 2014.
- SOUZA, K. K. D.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; SPINOLA, D. N.; DE PAULA, M. D.. Soil formation in Seymour Island, Weddell Sea, Antarctica. **Geomorphology**, 225, p. 87-99, 2014.
- TARDY, Y. **Pétrologie des latérites et des sols tropicaux**. Masson, Paris, 1993. 535p.
- YEO, J. P. LEE, J. Ik.; HUR, S. D.; CHOI, B.G. Geochemistry of volcanic rocks in Barton and Weaver peninsulas, King George Island, Antarctica: Implications for arc maturity and correlation with fossilized volcanic centers. **Geosciences Journal**, v. 8, n. 1, p. 11–25, 2004.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil 1. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467–1476, 1988.
- YOON, H. I. PARK, B. K.; KIM, Y.; KIM, D. . Glaciomarine sedimentation and its paleoceanographic implications along the fjord margins in the South Shetland Islands , Antarctica during the last 6000 years. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 157, p. 189–211, 2000.