



Mapeamento digital de pH e Carbono Orgânico Total de solos da Península Keller, Antártica Marítima⁽¹⁾

André Geraldo de Lima Moraes⁽²⁾; Marcio Rocha Francelino⁽³⁾; Waldir de Carvalho Junior⁽⁴⁾; Marcos Gervasio Pereira⁽⁵⁾; Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Trabalho realizado com recursos do CNPq.

⁽²⁾ Mestrando em Agronomia Ciência do Solo pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. andrehmuz@hotmail.com. ⁽³⁾ Professor; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de ciências florestais departamento de silvicultura; Seropédica, Rio de Janeiro; marcio.francelino@gmail.com; ⁽⁴⁾ Pesquisador; EMBRAPA-SOLOS Rio de Janeiro; RJ ⁽⁵⁾ professor; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Agronomia, departamento de solos; Seropédica, Rio de Janeiro; mgervasiopereira@gmail.com; ⁽⁶⁾ Professor; Universidade Federal de Viçosa Instituto de agronomia, departamento de solos; Viçosa, Minas Gerais; Carlos.schaefer@ufv.br

RESUMO: O continente antártico possui características muito peculiares, no que se diz respeito às baixas temperaturas e regime hídrico. Estas características dão origem a solos diferenciados, os quais vêm sendo constantemente estudados na última década por pesquisadores brasileiros de diferentes instituições de ensino e pesquisa. Porém pouco se sabe sobre o uso de técnicas de Mapeamento Digital de Solos (MDS) nestas áreas. Este trabalho tem como objetivo utilizar de técnicas de MDS para analisar a distribuição da variação de atributos do solo em condições periglaciais na Península Keller, Antártica Marítima. Foram coletados 47 pontos em três diferentes profundidades (0-5, 5-10 10 a 30 cm), cujas amostras foram analisadas para o pH e carbono orgânico total do solo. Foi utilizado um MDE de resolução de 5 m para gerar 18 mapas atributos de terreno que foram utilizados como covariáveis. A avaliação inicial de correlação entre variáveis e covariáveis foi conduzida no software R, através do comando *cor.test*. Em seguida, foi realizado o *Mantel Test* para verificar se existe dependência espacial das variáveis, o que pode indicar a possibilidade de utilização da geoestatística para a espacialização do atributo considerado. O atributo pH foi espacializado através de regressão enquanto o COT foi espacializado por Regreção-Krigagem. O MDS pode ser empregado para estimar a variação dos atributos dos solos da Península Keller. É necessário utilizar diferentes métodos de espacialização conforme as características de cada atributo em relação às covariáveis.

Termos de indexação: Pedometria, Geoestatística, Ambiente Periglacial.

INTRODUÇÃO

O continente Antártico possui condições únicas de temperatura, regime hídrico e de intemperismo, sendo este o mais frio dos continentes. Porém, mesmo nestas condições, ainda ocorre formação de solos nas áreas livres de gelo, ainda que em taxas muito lentas (Beyer et al., 1999).

Os solos da Antártica Marítima tem sido alvo de vários estudos (Simas et al., 2008; Francelino et al., 2011), os quais foram de grande importância para entendimento dos processos de formação do solo e aumento o conhecimento sobre as classes de solos predominantes nesta região. No entanto ainda existem poucos trabalhos estudando a distribuição espacial destes solos, seja como classes taxonômicas ou seus atributos químicos e físicos, tanto por métodos convencionais como utilizando MDS,

O MDS surgiu como alternativa para solucionar as incertezas e subjetividades que o método tradicional apresenta. Neste contexto, novas abordagens de modelagem quantitativa dos solos têm sido propostas, a fim de descrever, classificar e estudar os padrões de variação espacial dos solos na paisagem, objetivando melhorar o conhecimento da variabilidade espacial dos solos, da precisão e da qualidade da informação, através de diversas técnicas quantitativas chamadas no conjunto de pedometria (Mcbratney et al., 2003, Webster et al., 1984).

Este trabalho tem como objetivo utilizar de técnicas de mapeamento digital de solos para analisar o padrão da variação de atributos do solo na Península Keller, Antártica Marítima.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na península de Keller, com área de 428 ha localizada na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica Marítima (59° 06'–57° 36'W e 61° 48'–62° 15'S), onde está instalada a estação antártica brasileira Comandante Ferraz. A temperatura média mensal varia entre -6.4 °C em julho a +2.3 °C em fevereiro, e a precipitação média anual é de 367 mm (INPE/CPTEC, 2009).

Amostragens e análises

As amostras de solos foram coletadas em forma de malha, cobrindo a maior parte livre de gelo da península, totalizando 47 pontos (**Figura 1**), nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-30 cm, o que

totalizou 141 amostras. Os pontos de coleta foram demarcados com GPS geodésico de alta precisão de $\pm 10\text{mm}$ de erro, modelo Leica CS 1200+.

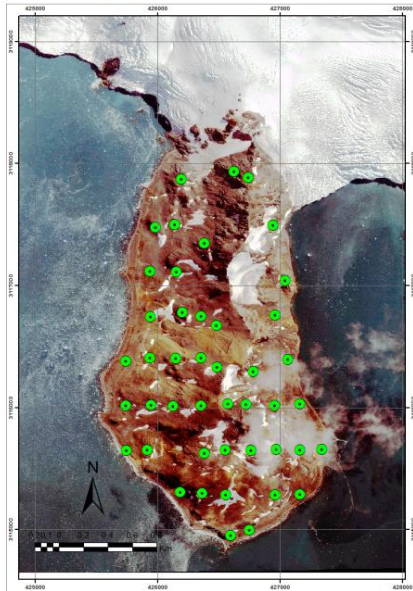


Figura 1: Pontos de coleta

Foram determinados os teores de pH em água (EMBRAPA, 1997) e carbono orgânico total (COT) pelo método proposto por Yeomens & Bremner (1988).

Análise estatística

Para gerar os mapas temáticos utilizados como covariáveis do terreno, foi utilizado um modelo digital de elevação (MDE) de resolução espacial de 5 m gerado no software Arcgis 10.0 a partir de arquivos vetoriais de curvas de níveis equidistantes de 5 m, adaptadas de Mendes Junior (2012). No software Saga Gis 2.0.8 foram gerados os seguintes mapas de atributos de terreno: aspecto, curvatura, curvatura horizontal (CH), curvatura vertical (CV), declividade, fator-LS, Índice de rugosidade do terreno (IRT), índice de umidade topográfica (IMT), Índice de resolução múltipla de nivelamento de fundo de vale (IRMNFV), Índice de resolução múltipla de nivelamento de topo de morro (MRRTM), elevação normalizada (EN), área de concentração (AC), elevação de encosta (EC), elevação padronizada (EP), insolação potencial (total (IPt), direta (IPdir) e difusa (IPdif))

Os valores referentes às covariáveis foram extraídos dos mapas temáticos (raster) os quais foram convertidos para um tema de pontos (vetorial) de forma que toda a superfície da península fosse coberta.

A avaliação inicial de correlação entre variáveis e covariáveis foi conduzida no software R, através do comando *cor.test*, que testa a associação entre amostras pareadas, no caso uma variável com cada uma das covariáveis, usando o método de Pearson, com observação do *p-value* para definir se a correlação é aceitável ou não. Os valores de *p-value* variaram entre 0,005 (mais restritivo) até 0,05 (menos restritivo). Em seguida, foi realizado o *Mantel Test* para verificar se existe dependência espacial das variáveis, o que pode indicar a possibilidade de utilização da geoestatística para a espacialização do atributo considerado. Foi também considerado o *p-value* resultado do "*Mantel Test*" como parâmetro de decisão, onde valores maiores que 0,10 também indicam dependência espacial. Desta forma, analisando conjuntamente o resultado da avaliação inicial com o *cor.test* e o *mantel.test*, pode-se decidir qual a melhor forma de modelar a distribuição das variáveis em função das covariáveis utilizadas, conforme verificado por Ciampalini et al., 2012.

Tabela 1. Escolha do método mais adequado para fazer o MDS (adaptado de Ciampalini et al., 2012).

Variáveis	Profundidade (cm)	Covariáveis	Método
pH	5-10	CV + IPdir + IPt	R
COT	0-5	Nenhuma	RK

CV = curvatura vertical, IPdir = insolação potencial direta, IPt = insolação potencial total, R = regressão, RK = regressão - krigagem.

Para espacialização dos atributos modelados, os pontos contendo os valores obtidos foram convertidos para o formato raster a partir do MDE como referência espacial, sendo desconsideradas as áreas com cobertura de geleira, lago e afloramento de rocha, cujas feições foram extraídas do mapa gerado por Francelino et al. (2011), as quais foram definidas como áreas livres de gelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise preliminar indicou quais as variáveis e suas respectivas profundidades que melhor se correlacionaram com as covariáveis ambientais consideradas e o método mais indicado para realizar a sua espacialização.

O método da regressão foi o mais recomendado para a variável pH, indicando correlação entre as variáveis e as covariáveis. A variável COT apresentou dependência espacial, e neste caso foi recomendada a utilização de regressão-krigagem.

Espacialização do pH

O modelo considerou as covariáveis CV e IPt e IPdir como as que mais influenciaram de forma indireta a espacialização do pH nos solos de Keller, conforme apresentado na **Tabela 2**.

Tabela 2: Coeficientes.

Intercepto	CV	IPdir	IPt
7,273861	-55,573479	0,007266	-0,005726

CV = curvatura vertical, IPdir = Insolação potencial direta, IPt = Insolação potencial total.

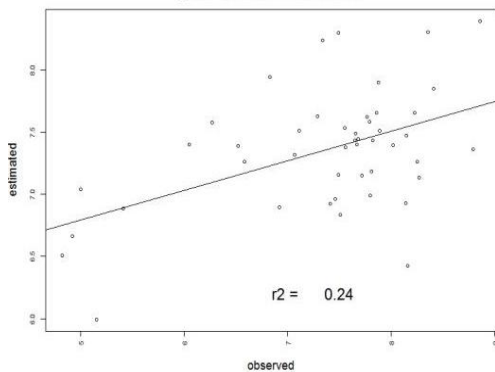


Figura 2. Relação entre os valores de Ph observados e estimados pelo modelo proposto.

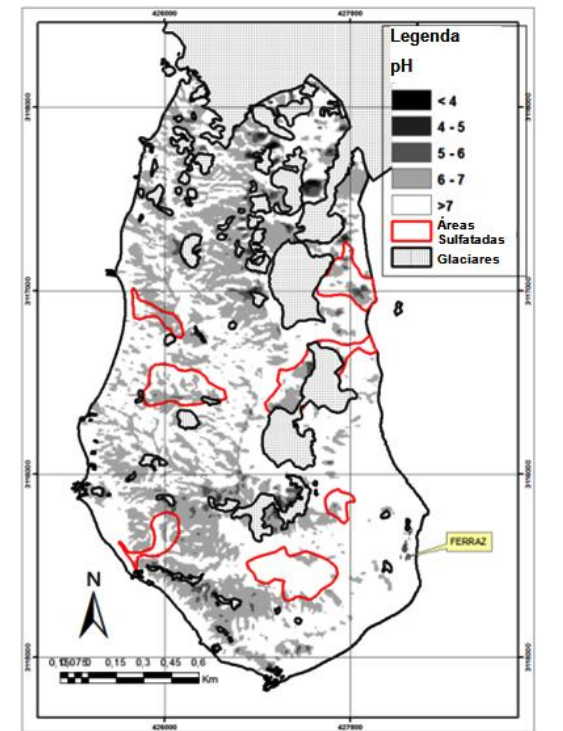


Figura 3. Espacialização do pH sobreposta pelas áreas sulfatadas.

Para esse modelo o valor do R^2 foi de 0,24 (**Figura 2**). Sulaeman et al. (2012) estudando a distribuição do pH nos solos no oeste de Java

(Indonésia), concluíram que a covariável que apresentou melhor correlação com o pH foi o Índice de resolução múltipla de nivelamento de topo de morro (MRRTM) juntamente com a elevação, com R^2 de 0,38.

Vários fatores podem estar influenciando a concentração iônica na solução dos solos da península Keller. Segundo Simas et al. (2010), a presença de rochas com sulfatos favorece a acidez do sistema. A geologia não foi considerada como covariável nessa análise, porém, o resultado do modelo retrata a influência do material de origem na espacialização desse atributo, principalmente das áreas sulfatadas que coincide com as áreas de menor pH (**Figura 3**). De maneira geral observa-se pH mais elevado na face oeste da península quando comparado com sua face leste.

Espacialização do Carbono orgânico Total (COT)

O carbono orgânico dos solos da península Keller apresentou dependência espacial e foi espacializado pela Krigagem, com R^2 de 0,15 (**Tabela 4 e Figura 4**). Os valores de R^2 para esse atributo geralmente são baixos. Wheeler et al. (2012) encontrou R^2 de 0,18 em estudo sobre estoque de carbono em escala a nível de propriedade rural.

Tabela 4: Parâmetros do modelo (Esférico):

R^2	$R^2 - CV$	Nugget	Range	Total sill
0,15	0,04	0,4913	946,903	1.1062

A principal forma de entrada carbono orgânico nos solos da península Keller é através da deposição de guano das aves, principalmente a skua (*Catharacta skua*) e pela decomposição das poucas plantas que desenvolve naquele ambiente. A *Deschampsia Antarctica* em colônias com outras plantas como o *Colobanthus quitencis*, briótitas e musgos são muito comum nas áreas próximas aos ninhos, o que também favorece o aumento do teor do COS nessas áreas, conforme pode ser observado na **Figura 5**.

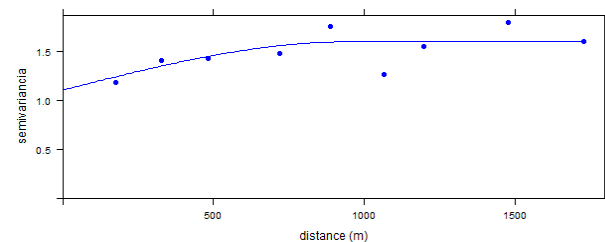


Figura 4. Semivariograma para a espacialização do carbono orgânico do solo (modelo esférico).

A zona de maior concentração no norte da península ocorreu devido a amostragem de três pontos nessa área ter sido realizada em campos densos de *Usnea*, o que favoreceu o acúmulo do COS.

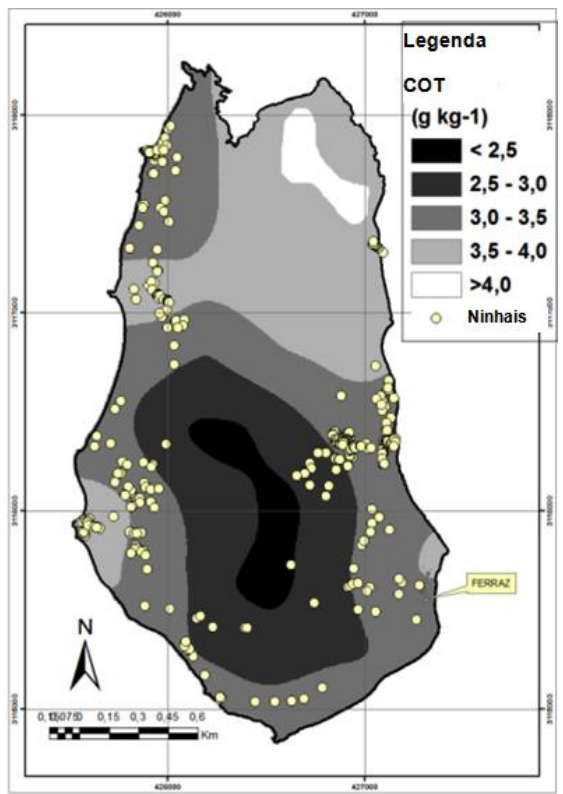


Figura 5: Distribuição dos teores de COS em Keller com sobreposição dos ninhos mapeados por Sander (2005).

CONCLUSÕES

Apesar das condições climáticas peculiares da área de estudo, o MDS pode ser empregado para estimar a variação dos atributos dos solos e ajudar a compreender as principais características dos solos da Península Keller.

É necessário utilizar diferentes métodos de espacialização conforme as características de cada atributo em relação às covariáveis ambientais presente em Keller, ou seja, os modelos gerados são próprios de cada ambiente.

AGRADECIMENTOS

Nós agradecemos ao programa antártico brasileiro, marinha do Brasil, pela contribuição logística e ao CNPq pela bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

BEYER, L.; BOCKHEIM, J. G.; CAMPBELL, I. B.; CLARIDGE, G. G. C. Genesis, properties and sensitivity of Antarctic Gelisols. *Antarctic Science*, v. 11, n. 4, p. 387-398. 1999.

CIAMPALINI, R.; LAGACHERIE, P.; HAMROUNI, H. Documenting GlobalSoilMap.net grid cells from legacy measured soil profile and global available covariates in Northern Tunisia. In: *Proceedings of The 5th Global Workshop on DSM*. Sydney, Australia. "Digital Soil Assessments and Beyond". 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos (Rio de Janeiro). *Manual de Métodos de análise de solo 2a ed. ver. atual*. Rio de Janeiro, 212p. 1997.

FRANCELINO, M.R., SCHAEFER, C.E.G.R., SIMAS, F.N.B., FERNANDES FILHO, E.J., SOUZA, J.J.L.L. Geomorphology and soils distribution under paraglacial conditions in an ice-free area of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Catena* 85, 194–204. 2011.

MCBRATNEY, A. B.; MENDONÇA-SANTOS, M. L.; MINASNY, B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma* 117: 3-52.

SANDER, M. *Ninhos de aves na península Keller*. Disponível no LAPAG. 2005.

SIMAS, F.B.N., SCHAEFER, C.E.R.G., 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* 144, 116–122. 2008.

SULAEMAN, Y; SARWANI, M.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; SUTANDI, A.; BARUS, B. Soil-landscape models to predict soil pH variation in the Subang Region of West Java, Indonesia. In: *Proceedings of The 5th Global Workshop on Digital Soil Mapping*. Sydney, Australia. "Digital Soil Assessments and Beyond". 2012.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Advances in Soil Science*, New York, v. 3, p. 1-70. 1984.

WHEELER, I.; MCBRATNEY, A.B.; MINASNY, B.; GRUIJTER, J.J. Digital Soil Mapping to inform design-based sampling strategies for estimating total organic carbon stocks at the farm scale. In: *Proceedings of The 5th Global Workshop on Digital Soil Mapping*. Sydney, Australia. "Digital Soil Assessments and Beyond". 2012.

YEOMENS, 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*, New York, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.