



# Formação, Classificação e Cartografia dos Solos

Leonardo Tullio  
(Organizador)

Leonardo Tullio  
(Organizador)

# Formação, Classificação e Cartografia dos Solos

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Lorena Prestes  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
F723	Formação, classificação e cartografia dos solos [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-634-8 DOI 10.22533/at.ed.348192309  1. Cartografia. 2. Ciência do solo. 3. Solos – Pesquisa – Brasil. I. Tullio, Leonardo.  CDD 625.7
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

Conhecer os processos envolvidos, bem como sua natureza faz-se necessário para entender a formação do solo e suas características. A pedogênese é o processo de formação do solo e revela fatores inerentes ao tempo.

Nesta obra vários artigos abordam esses fatores e contribuem para o conhecimento.

O processo de formação do solo envolve o tempo bem como a atuação de agentes externo e suas características são definidas de acordo com o ambiente existente no local. Isso reflete nas características físicas e químicas do solo, importantes no desenvolvimento das plantas.

A contribuição dos processos de formação do solo é sem dúvida primordial para o desenvolvimento sustentável. Ao passo que as pesquisas avançam e correlacionam os fatores, o entendimento sobre a formação do solo e suas interações são de extrema importância para a máxima eficiência das plantas.

Novas tecnologias são utilizadas para estudar os solos, sendo a cartografia uma delas, e contribui significativamente para o planejamento e análise do solo.

A classificação do solo envolve várias metodologias e parâmetros que são muitas vezes detalhados e requerem tempo e conhecimento específico sobre o tema, assim a utilização de técnicas cartográficas avançam e ganham novos rumos nestes estudos.

Desejo a todos uma boa leitura deste material.

Leonardo Tullio

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
FORMAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS	
Marcos Gervasio Pereira	
Lúcia Helena Cunha dos Anjos	
Carlos Roberto Pinheiro Junior	
Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto	
Eduardo Carvalho da Silva Neto	
Ademir Fontana	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3481923091</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>21</b>
MODELOS ESPECTRAIS DE PREDIÇÃO DO TEOR DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO NO MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS	
Jean Michel Moura-Bueno	
Ricardo Simão Diniz Dalmolin	
Taciara Zborowski Horst-Heinen	
Nicolas Augusto Rosin	
Daniely Vaz da Silva Sangoi	
Luciano Campos Cancian	
Diego José Gris	
João Pedro Moro Flores	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3481923092</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>34</b>
EFICIÊNCIA DE MÉTODOS MULTIVARIADOS NA PREDIÇÃO ESPACIAL DO TEOR DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO	
Taciara Zborowski Horst-Heinen	
Ricardo Simão Diniz Dalmolin	
Nicolas Augusto Rosin	
Daniely Vaz da Silva-Sangoi	
Jean Michel Moura-Bueno	
Luciano Campos Cancian	
Jordano Pereira Maffini	
João Pedro Moro Flores	
Diego José Gris	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3481923093</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>48</b>
ANÁLISE DE PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DE SOLO OCUPADO POR ATERRO SANITÁRIO NA REGIÃO NOROESTE NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	
Willian Fernando de Borba	
José Luiz Silvério da Silva	
Pedro Daniel da Cunha Kemerich	
Éricklis Edson Boito de Souza	
Gabriel D'Avila Fernandes	
Bruno Acosta Flores	
Jacson Rodrigues França	
Carlos Eduardo Balestrin Flores	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3481923094</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>58</b>
UMIDADE, DENSIDADE E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO SOB EXTRAÇÃO DE ARGILA, USO	

**CAPÍTULO 6 ..... 66**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE AGREGADOS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO-RJ**

Marcos Gervasio Pereira  
Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto  
Sandra de Santana Lima  
Otavio Augusto Queiroz dos Santos  
Igor de Sousa Morais  
Robert Ferreira  
Wanderson Farias da Silva Junior  
Eduardo Carvalho da Silva Neto  
Hugo de Souza Fagundes  
Yan Vidal de Figueiredo Gomes Diniz

DOI 10.22533/at.ed.3481923096

**CAPÍTULO 7 ..... 78**

**FÓSFORO LÁBIL E PH EM LATOSSOLOS REPRESENTATIVOS COM DIFERENTES USOS E MANEJO NO SEMIÁRIDO BAIANO**

Fátima de Souza Gomes  
Rafael Alves dos Santos  
Caio Henrique Castro Martins  
Eliton Rodrigues dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.3481923097

**CAPÍTULO 8 ..... 90**

**COBRE NO SOLO E O CRESCIMENTO INICIAL DE ESPÉCIES DE EUCALIPTO**

Alex Negrini  
Rodrigo Ferreira da Silva  
Clovis Orlando Da Ros  
Alexandre Couto Rodrigues  
Andrea da Rocha Giovenardi  
Hilda Hildebrand Soriani  
Daniel Boeno

DOI 10.22533/at.ed.3481923098

**CAPÍTULO 9 ..... 99**

**TEORES DE NITROGÊNIO NO SOLO E NA ÁGUA EM PROPRIEDADE SUINÍCOLA DE BRAÇO DO NORTE/SC**

Eliana Aparecida Cadoná  
Cledimar Rogério Lourenzi  
Eduardo Lorensi de Souza  
Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares  
Arcângelo Loss  
Paula Beatriz Sete

DOI 10.22533/at.ed.3481923099

**CAPÍTULO 10 ..... 107**

**ESTADO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DA SOJA APÓS APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO**

COM E SEM REVOLVIMENTO DO SOLO

Valmor José Tomelero

Fabiana Schmidt

Fabiano Daniel de Bona

DOI 10.22533/at.ed.34819230910

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 115**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 116**

## FORMAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS

### **Marcos Gervasio Pereira**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica – RJ

### **Lúcia Helena Cunha dos Anjos**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica – RJ

### **Carlos Roberto Pinheiro Junior**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica – RJ

### **Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica – RJ

### **Eduardo Carvalho da Silva Neto**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica – RJ

### **Ademir Fontana**

Embrapa Solos, Rio de Janeiro - RJ

**RESUMO:** A Pedologia é a ciência da gênese, morfologia e classificação dos solos. Busca compreender a interação entre os fatores e processos de formação do solo e sua influência nos atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do solo. A interação dos diferentes fatores dá origem aos processos pedogenéticos, que, de acordo com a intensidade com que atuam, são responsáveis pela variabilidade dos tipos de solo na paisagem. À medida que o material de origem vai sendo transformado ao longo do tempo pela ação dos demais fatores,

vão sendo formadas seções denominadas horizontes, que compõe o perfil de solo, principal objeto de estudo da Pedologia. A caracterização dos atributos morfológico dos horizontes do perfil como espessura, transição, cor, textura, estrutura e consistência, entre outros, permite a melhor compreensão da dinâmica de formação do solo, assim como sua classificação e inferências sobre o melhor manejo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pedogênese; Perfil de solo; Morfologia de solos.

### SOIL FORMATION AND CHARACTERIZATION

**ABSTRACT:** Pedology is the science that studies the genesis, morphology and classification of soils and seeks to understand the influence of factors and formation processes on soil attributes. The interaction of the different factors gives rise to the pedogenetic processes, which according to their intensity, are responsible for the variability of soil types in the landscape. As the source material is transformed over time by the action of the other factors, sections are formed called horizons, which make up the soil profile, the main object of study of Pedology. The characterization of the morphological attributes of the profile horizons such as thickness, transition, color, texture, structure and consistency, among others, allows a better

understanding of the dynamics of soil formation, as well as its classification and inferences about the best management.

**KEYWORDS:** Pedogenesis; Soil profile; Soil morphology.

## 1 | INTRODUÇÃO

A Pedologia, do grego *pedon* (solo, terra) é a ciência da gênese, morfologia e classificação dos solos. Busca compreender a interação entre os fatores e processos de formação do solo e sua influência nos atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do solo, além da sua classificação taxonômica. Trata-se de uma ciência recente que teve o seu início marcado, de maneira consensual, pelos trabalhos de V.V. Dokuchaev (1846–1903), conhecido por viabilizar um modelo fatorial de formação do solo. Em expedições pelo seu país com sua equipe, Dokuchaev observou que o solo não era um simples amontado de material geológico, e sim o resultado da interação de diferentes fatores. Com a escola russa de Dokuchaev, o solo começou a ser estudado do ponto de vista genético, o que permitiu a categorização dos solos em diferentes classes, o desenvolvimento do conceito de horizonte, o entendimento da distribuição dos solos na paisagem e a formalização do conceito “fator de formação”, estabelecendo os fundamentos da Pedologia.

Os estudos de Dokuchaev forneceram a base para o modelo mais influente de gênese do solo, proposto por Jenny (1899 – 1992) em seu livro *Factors of Soil Formation* (Jenny, 1941), que propôs a equação de formação do solo:

$$S = f (cl, o, r, p, t...)$$

Em que: S: solo; cl: clima; o: organismos; r: relevo; p: material parental; t: tempo.

A equação proposta por Jenny possibilitou o melhor entendimento da influência de cada fator, permitindo que se isole quatro fatores e se trabalhe com a variabilidade de apenas um, os chamados estudos em sequência. Por exemplo, ambientes sob as mesmas condições de clima, vegetação (organismos), material de origem e tempo, o fator relevo, será o principal responsável pelos diferentes tipos de solos desse ambiente, temos, portanto, um estudo em topossequência; quando esse fator de variação for o material de origem, tem-se um estudo em litossequência e, assim por diante. Nos tópicos seguintes, será abordada a influência de cada fator na formação e características do solo.

## 2 | FATORES E PROCESSOS DE FORMAÇÃO DO SOLO

### Material de Origem

Na formação do solo, o fator material de origem influencia em diversos atributos e pode ser dividido em dois grandes grupos: as rochas e os sedimentos. As principais características das rochas que influenciam nos atributos do solo são: composição química e mineralogia, cor e textura (Brady e Weil, 2013). As rochas classificadas como ácidas, são aquelas que apresentam em sua composição, mais de 65% de  $\text{SiO}_2$ , sendo ricas também em alumínio. Minerais ricos em  $\text{SiO}_2$  são chamados de minerais félsicos (apresentam cores claras), entre eles destacam-se o quartzo e os feldspatos (Fontes, 2012), que por sua vez, originam solos de textura arenosa, com cores amareladas e baixa fertilidade natural. Por outro lado, rochas básicas, são aquelas com menos de 52% de  $\text{SiO}_2$  e, possuem maior quantidade de ferro e magnésio na sua composição, os chamados minerais ferromagnesianos ou máficos (cores escuras), como olivina, piroxênios e biotita, que por sua vez, originam solos de textura mais argilosa, cores avermelhadas e maior fertilidade natural.

Os sedimentos são outro grande grupo de material de origem do solo. São formados a partir da intemperização das rochas e atuação de processos erosivos, sendo muitas vezes transportados e depositados ao longo da paisagem. Os sedimentos podem ser classificados como coluviais (sedimentos produzidos pela intemperização e erosão nos pontos mais altos da paisagem e depositados ao longo da encosta), e aluviais (sedimentos de natureza diversa depositados em ocasião de transbordamento dos rios) (Suguio, 2003). Atributos como textura, composição mineralógica, cor e fertilidade natural de solos formados a partir de sedimentos estão diretamente relacionados com a rocha originária e a intensidade de alteração desses sedimentos. Também existem sedimentos de constituição orgânica, possuindo teores de carbono orgânico maiores ou iguais a  $80 \text{ g kg}^{-1}$ , que podem se acumular em condições de boa drenagem ou de drenagem impedida. O acúmulo desses sedimentos pode levar a formação de uma ordem de solos denominada de Organossolos.

### Relevo

O relevo é considerado um importante fator na formação do solo, pois é responsável pelo controle de toda dinâmica dos fluxos de água na paisagem, como lixiviação de solutos, atuação de processos erosivos e condições de drenagem (Anjos et al., 1998). A distância do lençol freático e a declividade são as principais características que controlam esses processos. Os pontos mais altos da paisagem devido ao distanciamento do lençol freático possuem boas condições de drenagem e, quando associados a baixas declividades, favorecem a maior infiltração da água. Por outro lado, pontos de paisagem com boa drenagem, porém com maiores

declives, intensificam o escoamento superficial da água em detrimento a infiltração, o que aumenta a taxa de erosão, promovendo o rejuvenescimento do solo. Já os pontos mais baixos da paisagem, apesar da menor declividade, estão mais próximos do lençol freático, sendo normalmente mal ou muito mal drenados, com condições anaeróbicas na maior parte do ano.

## **Clima**

A atuação do clima na pedogênese está associada principalmente aos atributos precipitação pluviométrica, as taxas de evaporação e a temperatura, tendo em vista a influência dos mesmos no intemperismo e evolução dos solos (Kämpf e Curi, 2012). A água fornecida pelas chuvas tem efeito direto na formação do solo, pois através das reações de hidrólise, há a alteração do material de origem e a remoção dos solutos originados na reação. Além disso, a água atua na translocação, adição ou remoção de materiais no interior do perfil do solo. Já a temperatura tem efeito indireto, influenciando a velocidade das reações químicas e do intemperismo. Em ambientes de clima tropical com altas taxas de precipitação pluviométrica e altas temperaturas, o intemperismo é intenso (Fontes, 2012), sendo formados solos profundos e de composição química e mineralógica bastante alterada. Em regiões de clima frio e temperado, os solos tendem a ser mais jovens, menos intemperizados e com horizontes superficiais com teores de carbono orgânico mais elevados. Já em áreas em que as taxas de evaporação excedem a precipitação pluviométrica pode ocorrer a formação de solos salinos e/ou que apresentam elevados conteúdo de sódio. Também nesse ambiente podem ser verificadas argilas expansivas que propiciam a formação de rachaduras na superfície do terreno e fendas em profundidade.

## **Organismos**

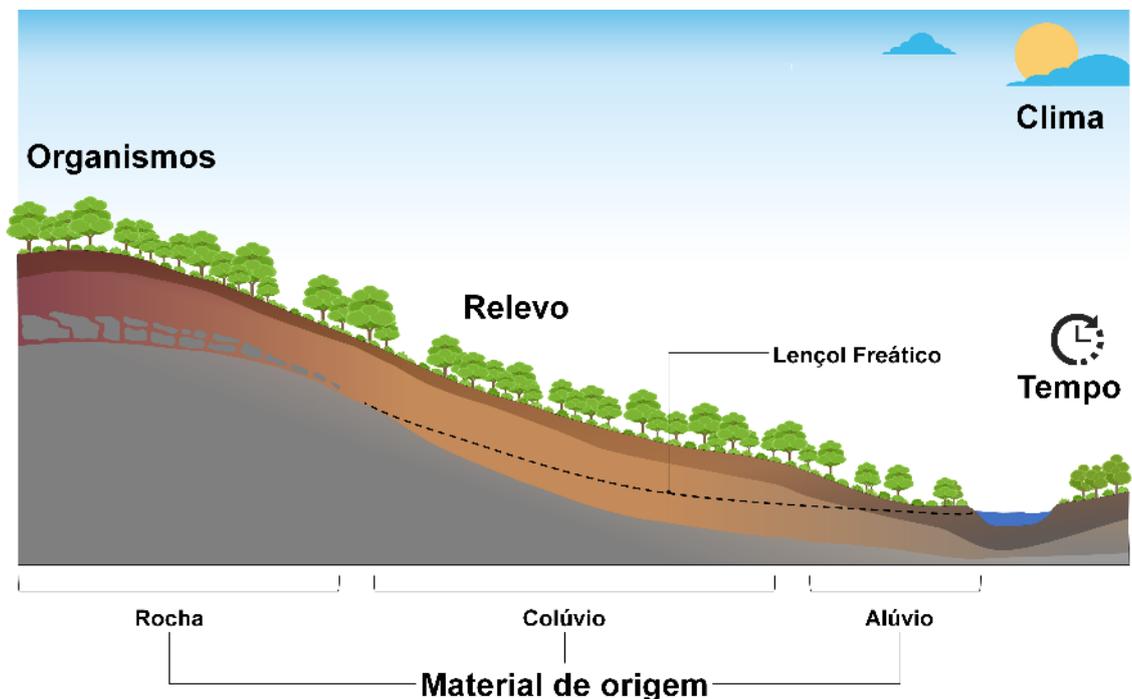
Os organismos na formação do solo possuem relação íntima com o fator clima, considerando a adaptabilidade da fauna e da flora as condições de umidade e temperatura de um determinado ambiente. São considerados condicionantes para a pedogênese - a ação dos organismos no substrato representa a diferença entre os processos de pedogênese e intemperismo. A matéria orgânica adicionada ao solo pelos vegetais, seja pelos resíduos de folhas ou de raízes e, sua decomposição pela ação da fauna como formigas, minhocas e microrganismos, participa de diversos processos no solo e influencia na agregação de partículas, no escurecimento do horizonte superficial, na infiltração da água, minimizando a erosão e, na retenção de nutrientes fundamentais ao desenvolvimento das plantas (Pavinato e Resolem, 2008).

## **Tempo**

O fator tempo apresenta uma relação não apenas de cronologia, mas também

de maturidade e evolução (Kämpf e Curi, 2012). Em ambientes de clima árido e semiárido, com baixa precipitação pluviométrica, mesmo com o material de origem exposto por um longo tempo, a baixa intensidade de intemperização formará solos jovens, pouco evoluídos. Por outro lado, condições de intenso intemperismo e alteração do material de origem, mesmo com exposição recente deste, formará solos maduros e evoluídos do ponto de vista da pedogênese.

O conceito de solo como corpos naturais organizados com gênese própria – ou seja, que os solos são mais do que mantos rochosos desgastados na superfície da terra e de que a formação do solo implica mais que intemperismo – tem uma importância prática muito grande, pois permite estabelecer relações entre os fatores de formação e os diferentes tipos de solos. Com base nesta concepção, admite-se que as características e a distribuição geográfica dos solos na paisagem estão estreitamente relacionadas com a natureza das condições ambientais em um determinado local ao longo do tempo (Figura 1).



**Figura 1.** Representação de um transecto com variações na cobertura pedológica relacionadas à atuação dos fatores de formação do solo.

### Processos Pedogenéticos Múltiplos e Específicos

A interação dos fatores de formação do solo dá origem aos processos pedogenéticos, sendo reconhecidos quatro processos múltiplos (transformação, translocação, adição e perda). A atuação desses processos em diferentes intensidades de acordo com as condições ambientais é responsável pela variabilidade dos tipos de solos de uma determinada paisagem. De acordo com Brady e Weil (2013), o processo múltiplo de transformação atua na modificação dos constituintes do solo, seja ela de natureza física ou química; o processo de translocação implica na

movimentação de material orgânico ou inorgânico dentro do perfil; o processo de adição consiste na entrada de material por fontes externas ao solo e; o processo de perda é caracterizado pela remoção, seja de partículas, por ação da erosão, ou de cátions, pela lixiviação.

## **Fatores e Processos de Formação dos Principais Solos Brasileiros**

Dentre as classes de solo de maior expressão no Brasil, destacam-se os Latossolos e Argissolos, que juntos ocupam aproximadamente 56% do território nacional (Santos et al., 2018). Os principais fatores de formação dos Latossolos são relevo, clima e tempo. São caracterizados pela intensa intemperização e elevada profundidade efetiva e ocorrem predominantemente nos pontos mais altos da paisagem, onde o fator relevo condiciona a boa drenagem e, associado a pequenas declividades, favorecem a maior infiltração da água (fornecida pelo fator clima). A maior umidade no sistema, intensifica as reações de hidrólise, que por sua vez é responsável pela transformação dos minerais, predominando quartzo na fração areia e caulinita e óxidos de ferro e alumínio na fração argila. Com as condições favoráveis de infiltração e drenagem, também se intensifica a lixiviação (perda) de cátions como  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$ , entre outros. O fator tempo está associado a intensa intemperização, levando a formação de solos evoluídos (maduros) do ponto de vista pedogenético. A combinação dos fatores relevo, clima e tempo e os processos múltiplos de transformação e perda caracterizam o processo pedogenético específico de ferralitização, principal atuante na formação dos Latossolos (Kämpf e Curi, 2012).

No caso dos Argissolos, os principais fatores de formação são relevo e clima. São caracterizados pelo aumento no conteúdo de argila em profundidade e ocorrem predominantemente nos terços superior e médio da paisagem em condições de relevo suave ondulado e ondulado.

Em relevos de declive suave e boa drenagem a maior infiltração de água (fator clima) favorece o processo de translocação de partículas de argila dispersas, dos horizontes superficiais para os horizontes subsuperficiais, caracterizando o processo pedogenético específico de eluviação/iluviação, que é responsável pelo aumento absoluto no teor de argila em profundidade (Kämpf e Curi, 2012). Em pontos de paisagem com maior declividade, o escoamento superficial de água é intensificado, levando a remoção seletiva (perda) das partículas de argila dos horizontes superficiais por erosão, caracterizando o processo pedogenético específico de elutriação, que resulta no aumento relativo do teor de argila em profundidade (Kämpf e Curi, 2012).

### 3 | CONCEITOS E DEFINIÇÕES

#### Perfil do Solo, Horizonte e Camada

O material de origem, sob a ação dos agentes do intemperismo, dá origem ao regolito, matéria prima dos solos, que por sua vez submetido à ação do clima e organismos, em determinado relevo e durante determinado espaço de tempo irá se transformar no solo. À medida que se transforma o solo, o material de origem vai se diferenciando em seções mais ou menos paralelas à superfície do terreno, seções estas denominadas de **horizontes**. Assim, o perfil do solo é definido pela sequência de horizontes nele observado. Um horizonte pode ser definido como uma seção de constituição orgânica ou mineral, aproximadamente paralela à superfície do terreno e que possui propriedades geradas pelos processos de formação dos solos, distinguindo-se das demais seções adjacentes.

Uma **camada** se diferencia de um horizonte por apresentar características que não resultam ou são pouco influenciadas pelos processos de formação do solo. As definições de horizonte e camada podem ser conflitantes, quando se considera o horizonte C de solos desenvolvidos a partir de sedimentos aluviais ou coluviais, em que as características do horizonte C são herdadas do material de origem, que é o próprio horizonte denominado C.

Os horizontes de um perfil de solo são formados por processos pedogenéticos múltiplos de adições, perdas, translocações e transformações, devido ao fato desses fenômenos ocorrerem com intensidades diferentes através do regolito. O perfil do solo exprime a ação conjunta dos diversos fatores responsáveis pelo seu aparecimento. Suas várias propriedades, tais como textura, cor, estrutura, consistência e sequência de horizontes caracterizam-no. Logo, o perfil representa a unidade fundamental para o estudo do solo.



Figura 2. Diferentes perfis de solos. (A) Chernossolo Rêndzico; (B) Gleissolo Háplico; (C) Organossolo Fólico e (D) Argissolo Vermelho. Fotos: Marcos Gervasio Pereira.

O estudo do perfil do solo pode ser realizado no campo, pela descrição morfológica (ou simplesmente descrição do perfil), e em laboratório, por determinações analíticas (análises físicas, químicas e mineralógicas) nas amostras colhidas de cada horizonte durante a descrição do perfil. Na descrição do perfil no campo é feita a coleta de amostras seguindo as normas contidas no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2015).

Na descrição são identificados e separados entre si os horizontes e/ou camadas, levantando-se de cada um as seguintes características: nomenclatura, espessura (limite superior e inferior em centímetros a partir do primeiro horizonte mineral), cor do material de solo (seco e úmido), textura, estrutura, consistência (seco, úmido e molhado), forma e nitidez de transição para o horizonte seguinte, certos pormenores de importância (cerosidade, superfície de fricção, cimentação, nódulos e concreções minerais, eflorescências, frequência de raízes e linhas de pedra).

O estudo dos solos também pode ser feito mediante a amostragem por tradagens, porém esta apresenta alguns inconvenientes, tais como a destruição das unidades estruturais, impossibilitando assim a avaliação correta da estrutura e da cerosidade, por exemplo. Entretanto, é possível examinar a cor, avaliar a textura e a consistência. A identificação dos horizontes é feita, em parte, pelas propriedades morfológicas que ele apresenta, e pelas interações com os horizontes subjacentes. Vale ressaltar que as informações de campo (morfologia) deverão ser completadas por análises de laboratório.

#### 4 | HORIZONTES E CAMADAS DO SOLO

Reconhecem-se oito horizontes e camadas principais, designados por letras maiúsculas **O**, **H**, **A**, **E**, **B**, **C**, **F**, e **R**. Destes, três são por definição sempre horizontes e são designados por **A**, **E**, **B**; as designações **O**, **H**, **C**, **F**, em função da evolução pedogenética, qualificam horizontes ou camadas; e **R** identifica exclusivamente camada. Por conveniência de descrição e de estudo, os horizontes ou camadas recebem denominações e símbolos convencionais com significado genético. As principais são:

**O** e **H** - Usados em horizontes ou camadas de constituição orgânica, sendo “**O**” exclusivamente em solos com boa drenagem, e “**H**” em solos mal drenados, com condições de anaerobiose (lençol freático próximo à superfície). Podem ser divididos com a utilização de subscritos “**o**” e “**d**”, em função do grau de decomposição do material orgânico, à saber: “**o**” - material orgânico pouco decomposto com predomínio de detritos (folhas, raízes, etc.) onde se identifica a forma do material; e “**d**” material orgânico com estágio adiantado de decomposição.

**A** - Reservado para horizontes minerais superficiais, caracterizados pelo elevado teor de matéria orgânica que os horizontes subjacentes. Este horizonte geralmente

tem cor mais escura, e estrutura granular. Por vezes, pode ser subdivido em A e AB em função de características genéticas. O horizonte (ou subhorizonte) A é o mais superficial e com maior atividade biológica que favorece adição de matéria orgânica, e cujas características morfológicas estão mais relacionadas a essa atividade. Geralmente apresentam menores valores de densidade do solo e menor teor de argila, com maior desenvolvimento da estrutura granular, estrutura que favorece a circulação de ar, fluxo de água e fixação dos vegetais ao solo.

**E** – Horizonte de translocação de materiais (matéria orgânica, argila entre outros) em função da translocação pode apresentar cores claras e/ou textura arenosa.

**B** - Horizonte mineral subsuperficial (ou à superfície do terreno quando o horizonte superficial tiver sido removido por processos erosivos) que apresenta melhor expressão dos processos pedogenéticos e, portanto, tem domínio de características genéticas sobre as herdadas do material de origem (cor, estrutura, evidências de eluviação, entre outras.). O horizonte B é considerado como base da classificação dos solos, uma vez que neste há menor influência da ação modificadora do homem e dos agentes erosivos. Também pode ser subdividido em BA, B e BC.

**C** - Horizonte mineral, adjacente à rocha matriz ou representando o próprio material de origem do solo (sedimentos), que possui domínio de características herdadas sobre as genéticas. Quando o perfil de solo desenvolve-se diretamente a partir do manto de intemperismo de rochas, o horizonte C pode apresentar: minerais primários facilmente intemperizáveis, material da rocha inconsolidada com propriedades da rocha matriz (cor variegada; estrutura laminar, gnaíssica, orientada, etc.) e textura semelhante ao material de origem. O horizonte C é subdividido em C1, C2 e C3, etc. No entanto, apenas o horizonte C1 têm conotação genética, os demais referem-se simplesmente à posição em relação a rocha matriz ou a existência de diferentes estratos de sedimentos.

**F** – Horizonte ou camada formada por consolidação de minerais ricos em ferro (petroplintita), podendo apresentar-se de forma contínua ou praticamente contínua.

**R** - Este símbolo é usado para designar a camada mineral consolidada e coesa (não pode ser cortada com pá, quando úmida) que representa o substrato rochoso.

Ao conjunto dos horizontes minerais acima do horizonte C (A+B) chamamos de *solum*. Ainda, dentro de uma variação vertical no perfil, pode-se encontrar camadas ou horizontes sem relação com os adjacentes, indicando uma descontinuidade do material de origem (representada por prefixos numéricos em arábico) antepostos ao símbolo do horizonte. Por exemplo, o Horizonte 2Bt. Os horizontes principais podem ainda ser subdivididos pelo acréscimo de mais um algarismo, por exemplo B1, B2, etc. Esta subdivisão em subhorizontes, com pequena variação entre as propriedades morfológicas, resulta da conveniência do pedólogo ou da finalidade da pesquisa em

execução.

## Principais Sufixos Usados para Identificação de Horizontes

Sufixos são letras (minúsculas) que se pospõem à designação dos horizontes para assinalar alguma característica notável, que pode ser indicativa do processo pedogenético ou não. Os principais sufixos usados para identificação de horizontes encontram-se apresentados na tabela 1.

Subscrito	Característica
d	Avançado estado de transformação da matéria orgânica.
f	Material laterítico brando ou plintita.
g	Gleização intensa.
h	Acúmulo de material orgânico coloidal iluvial.
i	Desenvolvimento incipiente de horizonte.
j	Tiomorfismo.
n	Acúmulo de sódio trocável.
o	Material orgânico não decomposto.
p	Aração ou outras pedoturbações.
r	Rocha branda ou saprolito (exclusivo do horizonte C).
s	Acúmulo iluvial de óxidos de ferro e alumínio com matéria orgânica.
t	Acúmulo de argila (iluvial ou não).
w	Intensa intemperização com inexpressiva acumulação de argila.

Tabela 1. Principais sufixos observados em horizontes e/ou camadas.

## 5 | CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

### Propriedades Morfológicas

A morfologia do solo significa o estudo da aparência do solo no meio ambiente natural. Esta descrição é feita segundo as características visíveis a olho nu, ou prontamente perceptíveis. Em seu conjunto, as características morfológicas são a base inicial para definir o corpo natural edáfico. Além de sua importância na descrição do perfil, ela é utilizada para inferir sobre outras propriedades importantes no manejo do solo, tais como: drenagem, retenção de umidade, permeabilidade, compactação, susceptibilidade à erosão, resistência a mecanização agrícola, etc.

As características morfológicas permitem separar, no campo, diferentes unidades taxonômicas, homogêneas, que poderão constituir uma classe de solos. Dentre as principais características morfológicas, utilizadas na descrição do perfil de

solo, destacam-se: espessura, arranjo e número de horizontes; transição entre horizontes; cor; textura; estrutura; cerosidade; e consistência. Além das propriedades referentes aos horizontes, descrevem-se ainda características referentes a paisagem em que se situa o perfil, tais como: declividade, relevo, grau de erosão, altitude, uso atual, entre outra. Na descrição morfológica adota-se uma terminologia própria, convencionada pelo Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos et al., 2015).

**Profundidade e espessura** - Após a separação dos horizontes, mede-se a espessura dos mesmos, iniciando-se a medição a partir do topo do primeiro horizonte mineral. Quando a transição de um horizonte para o outro não é representada por um plano paralelo à superfície do terreno, tomam-se as espessuras máxima e mínima deste horizonte. No caso de horizontes orgânicos, coloca-se o zero da fita métrica no topo do horizonte mineral superficial e faz-se a leitura inversa.

**Transição entre horizontes** - Refere-se à nitidez ou contraste de separação entre horizontes, e a topografia do plano horizontal que marca a separação (Figura 3).

Quanto à nitidez, a transição entre horizontes pode ser:

1. Abrupta - Faixa de separação com largura < 2,5 cm;
2. Clara - Faixa de separação com largura de 2,5 a 7,5 cm;
3. Gradual - Faixa de separação com largura de 7,5 a 12,5 cm; ou
4. Difusa - Faixa de separação com largura > 12,5 cm.

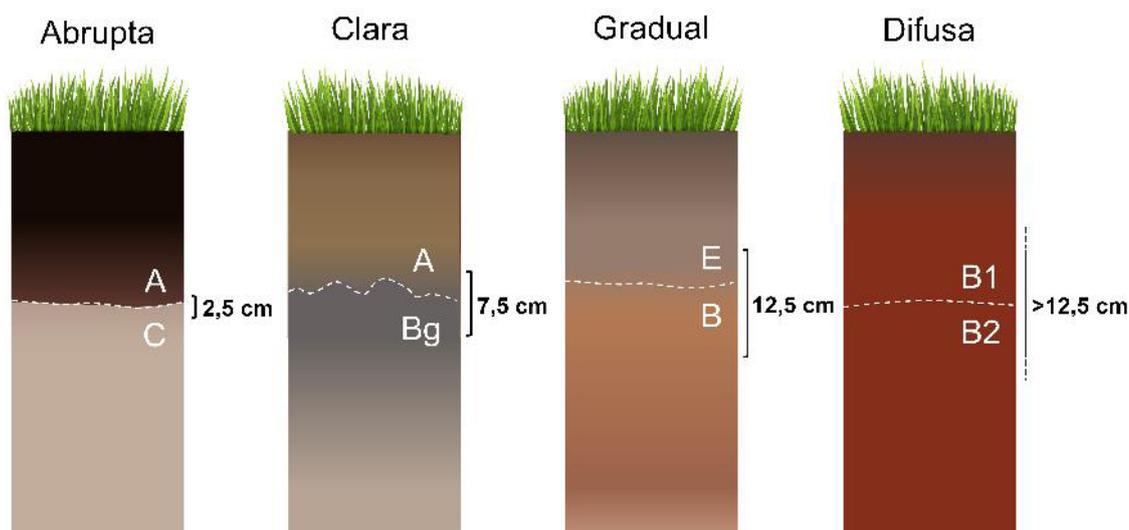


Figura 3. Tipos de transição entre horizontes do solo, quanto à nitidez.

Quanto à topografia da faixa de separação pode ser (Figura 4):

1. Plana - Limites planos;
2. Ondulada - As dimensões horizontais excedem as verticais;

3. Irregular - As dimensões verticais excedem as horizontais; ou
4. Descontínua - Não há continuidade na faixa de separação.

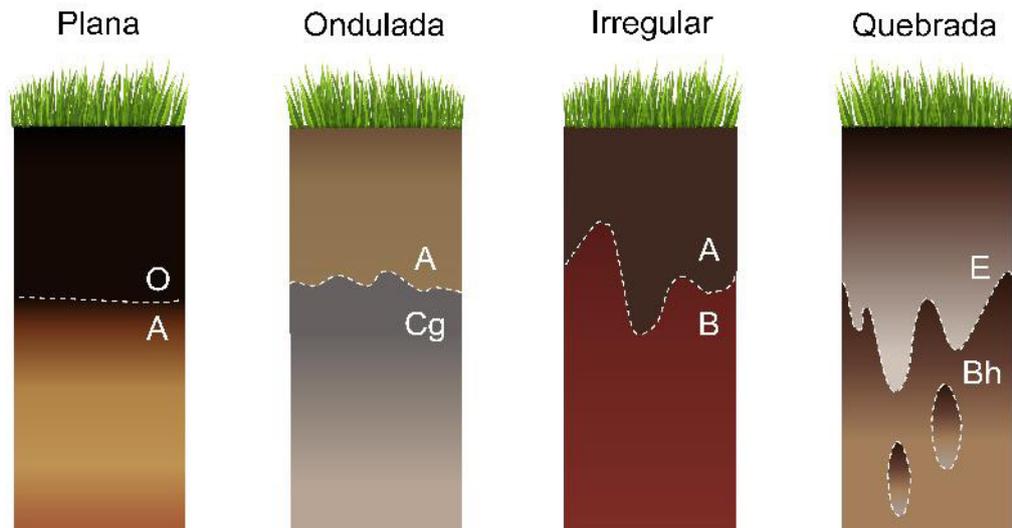


Figura 4. Tipos de transição entre horizontes do solo, quanto à topografia.

**Cor** - É uma das características que mais saltam à vista, mas tem pouca ou nenhuma influência sobre os fenômenos que se passam no solo, exceto sobre o regime térmico. É considerada uma das propriedades morfológicas mais importantes, na diferenciação de horizontes, na avaliação do teor de matéria orgânica, na avaliação do grau de oxidação/hidratação dos compostos férricos, na avaliação da drenagem do perfil, etc. A cor do material do solo representa uma mistura das cores de seus componentes. Os principais agentes pigmentantes do solo são:

**Matéria orgânica** - tende a conferir aos solos as cores escuras, notadamente quando o material está úmido.

**Óxi-hidróxidos de ferro** - vermelho quando desidratado (hematita) e amarelo quando hidratado (goethita).

Quando ocorre a redução do ferro ( $Fe^{+2}$ ) ele deixa de atuar como pigmentante e minerais como caulinita (na fração argila) e quartzo (na fração areia) passam a expressar sua cor tornando o solo cinzento.

A identificação da cor é feita através da Carta de Cores de Munsell para Solos (padrão de referência) e as notações (traduções) convencionais pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. A cor do torrão do solo (seco e úmido) é identificada por comparação e recebe um símbolo alfanumérico, em que os grupos de dígitos indicam matiz (hue), valor (value) e croma (chroma), os três elementos de uma cor. Os matizes de baixa frequência (vermelho e amarelo) e de valores altos indicam condições de oxidação (solos bem drenados); os matizes de alta frequência e valores baixos indicam condições de redução (solos mal drenados) (Figura 5).

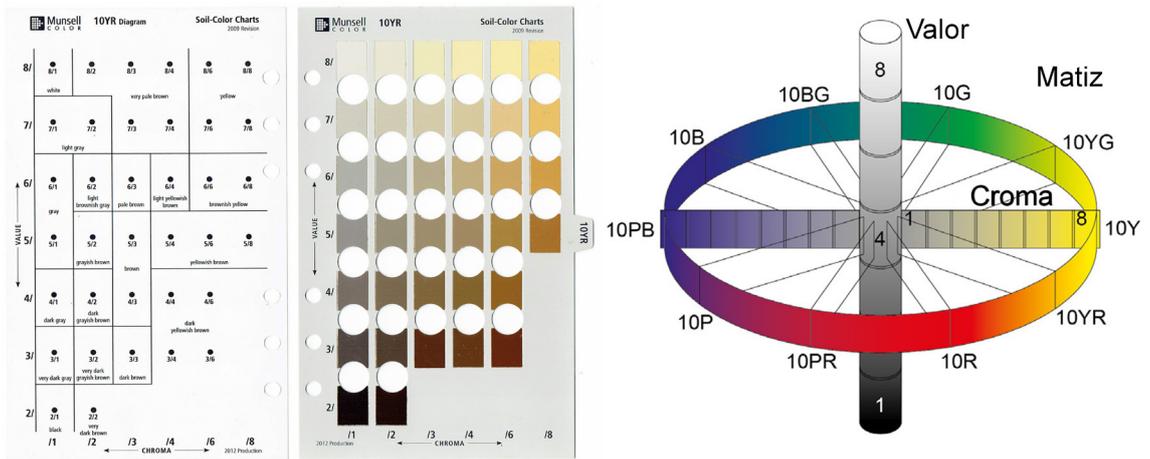


Figura 5. Esquema de avaliação das cores do solo, com base na Carta de Cores Munsell para Solos (Munsell Soil Color Charts, 1994).

A cor do material do solo pode ser “simples” ou composta. É dita “simples” quando a olho nu distingue-se uma única cor; é dita composta quando há manchas de cores diferentes. As cores compostas podem ser de vários tipos: os mais importantes são o mosqueado de redução (característico dos horizontes gleizados) (Figura 6) e o mosqueado de tons vermelhos e amarelos chamado plintita (que indica alternância de hidratação e ressecamento de uma zona subsuperficial, causada pela drenagem difícil da faixa plintitizada).



Figura 6. Mosqueado (alaranjado) em horizonte glei. Foto: Marcos Gervasio Pereira.

**Textura / Classe Textural** - Refere-se as proporções das partículas areia, silte e argila (fração granulométrica) presentes no solo. Também é uma propriedade muito importante na diferenciação de horizontes, na avaliação das relações genéticas entre os horizontes A e B (gradiente textural), e na estimativa da drenagem do perfil. A classe textural, no campo, é determinada por um processo expedito, caracterizado pela avaliação de: sensações táteis (aspereza, sedosidade, friabilidade); e consistência do material úmido (plasticidade e pegajosidade). O diagrama de Triângulo Textural é

utilizado para apresentar as classes texturais (USDA-SBCS) (Figura 7).

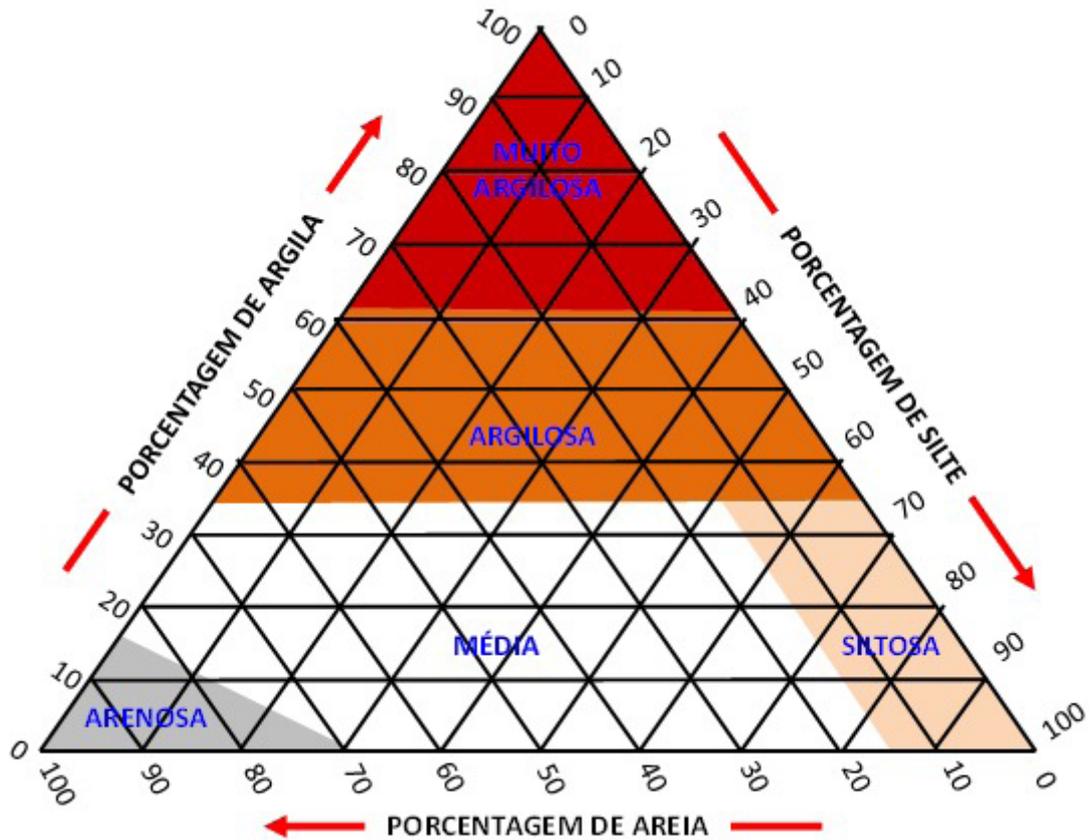


Figura 7. Triângulo textural para determinação da classe textural.

**Estrutura** - Refere-se ao arranjo das partículas unitárias do solo em aglomerados ou agregados, que são separados de agregados adjacentes por superfícies de fraqueza. Esta definição assemelha-se ao conceito de *peds* (Soil Survey, 1951), entretanto, na descrição de campo, um solo que não apresenta arranjo de suas partículas unitárias, também é identificado quanto à sua estrutura (grãos simples ou maciça). A descrição da estrutura é feita quanto à forma ou tipo (Figura 8), ao tamanho e ao grau de desenvolvimento. A estrutura é avaliada de acordo com os seguintes parâmetros:

- Quanto à forma:

1. Laminar - As partículas unitárias estão arranjadas segundo um plano no horizontal.

2. Granular - Os agregados têm forma e aspecto arredondados, sem apresentar faces de contato. Pode ser: granular p.pm/dita - pouco porosas, e grumosa - muito porosas.

3. Prismática - Os agregados têm um eixo vertical maior que o eixo horizontal. Pode ser: colunar - ápices arredondados, ou prismática propriamente dita - ápices angulosos.

4. Blocos - Os agregados têm dimensões equivalentes, nas três direções x, y e z.

Pode ser: angular quando as faces são planas e os vértices angulares, e subangular, - quando as faces e vértices forem ligeiramente arredondados, ou algumas faces e vértices o forem.

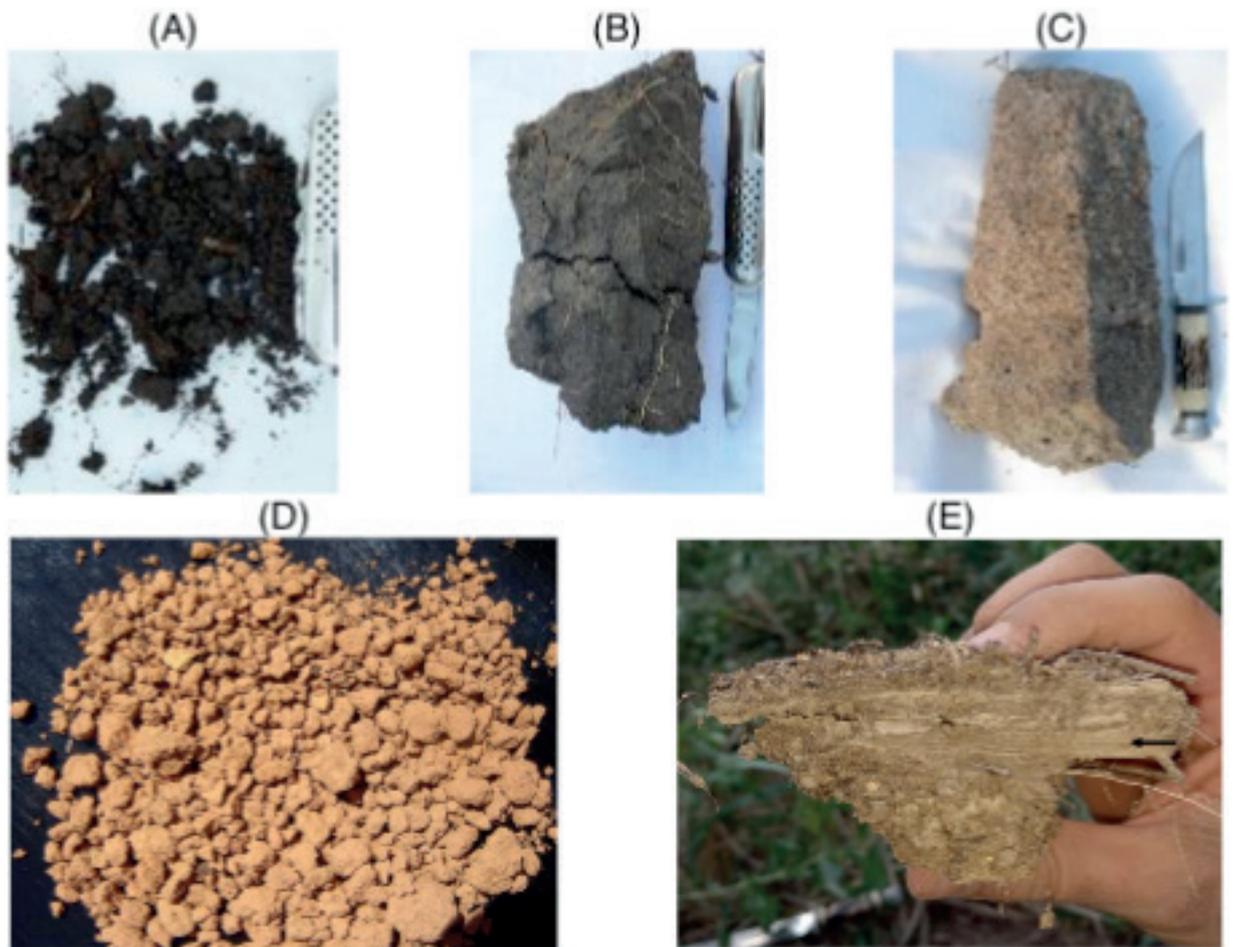


Figura 8. Tipos de estrutura quanto a forma. (A) Granular; (B) prismática que se desfaz em blocos angulares. (C) colunar; (D) blocos subangulares e; (E) laminar. Fotos: Marcos Gervasio Pereira e Sérgio Hideite Shimizu.

- Quanto ao tamanho:

As diversas unidades estruturais são divididas em cinco classes, quanto ao tamanho: muito pequena, pequena, média, grande e muito grande; em que os limites de cada classe variam com o tipo de estrutura.

- Quanto ao grau de desenvolvimento:

O grau de desenvolvimento diz respeito à coesão dentro dos agregados e entre eles, isto é, à proporção entre material agregado e individualizado (terra fina) em uma amostra. Podem ser divididos em:

1. Sem agregação - Quanto não se observam unidades estruturais (*peds*) separadas por superfícies de fraqueza. Pode ser grãos simples (material não coerente) ou maciça (material coerente).

2. Com agregação - Pode ser fraca, moderada ou forte, em função da resistência dos agregados, face ao manuseio, e da proporção entre material agregado e não agregado.

**Cerosidade** - Aspecto ceroso, um tanto brilhante, que ocorre na superfície dos agregados (pedes), em alguns solos (Figura 9). Decorre da deposição de película de material coloidal (argilo- minerais ou óxido de ferro) na superfície dos pedes (cutans de iluviação). É identificada quanto ao grau de desenvolvimento (fraca, moderado ou forte), em função do contraste em relação a matiz do agregado, quanto à quantidade (pouco, comum e abundante) e quanto à nitidez (difusa, distinta e proeminente).

Além da cerosidade devem ser destacadas, quando existirem, superfícies de fricção (*slikensides*) superfícies de compressão. A primeira refere-se a efeitos de expansão e contração do material do solo. (argila 2:1 - caráter vértico), e a segunda da compressão da massa do solo.



Figura 9. Revestimentos de argila com aspecto lustroso (cerosidade) na superfície do agregado.  
Fotos: Marcos Gervasio Pereira.

**Consistência** - Refere-se ao grau de manifestação das forças físicas de coesão e adesão, em função da umidade do material de solo.

- Consistência do material quando seco - Caracterizada pelo grau de dureza ou tenacidade, avaliada em amostras indeformadas (torrões). Poderá ser: solta, macia, ligeiramente dura, dura, muito dura ou extremamente dura.
- Consistência do material úmido - Caracterizada pelo grau de friabilidade, também se utilizam torrões. Pode ser: solto, muito friável, firme, muito firme e extremamente firme.
- Consistência do material molhado - Caracterizada pelo grau de plasticidade, capacidade de ser moldado, e de pegajosidade, capacidade de aderir

a outros objetos. Quanto à plasticidade, pode ser não plástica, ligeiramente plástica, plástica e muito plástica. Quanto à pegajosidade pode ser não pegajoso, ligeiramente pegajoso, pegajoso e muito pegajoso.

## 6 | PRINCIPAIS CLASSES DE SOLO NO BRASIL

### Latossolos

No Brasil, os Latossolos (Figura 10) ocupam mais de 30% do território, sendo, portanto, a ordem de maior expressão. Devido a intensa intemperização, são solos profundos, de boa drenagem, em sua grande maioria de baixa fertilidade natural e ocorrem em relevo plano a suave ondulado. São caracterizados pela presença do horizonte diagnóstico subsuperficial B latossólico, um horizonte espesso, com baixo conteúdo de minerais primários facilmente alteráveis, baixa capacidade de troca catiônica e relação molecular  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (ki) inferior a 2,2 (Santos et al., 2018). Encontram-se amplamente distribuídos por todas as regiões do país, especialmente em ambientes mais úmidos que favorecem a intensa intemperização. Ocupam grandes áreas na Região Centro-Oeste e dos Estados de São Paulo e Paraná.

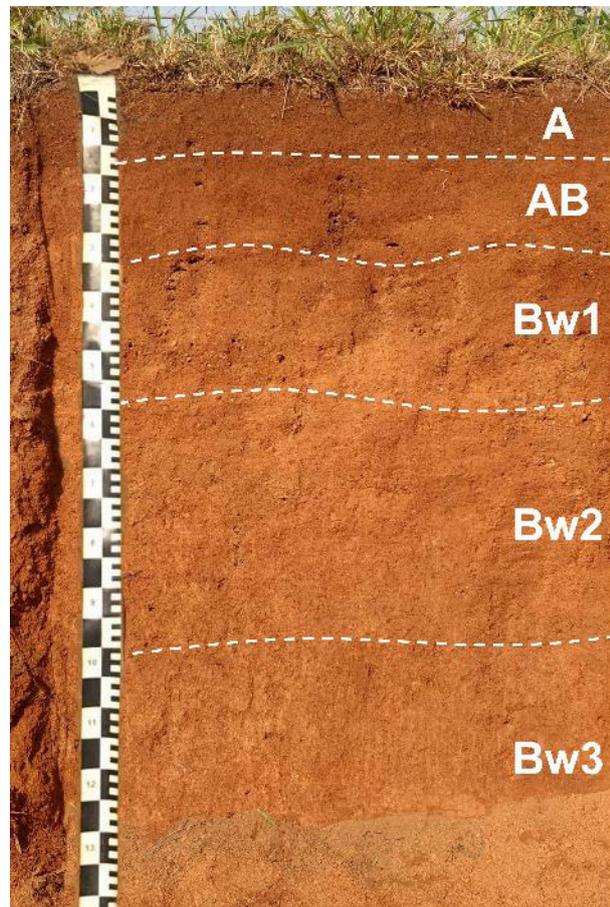


Figura 10. Perfil de Latossolo Vermelho-Amarelo. Foto: Marcos Gervasio Pereira.

Quanto a utilização, a principal limitação, para a maioria dos solos dessa ordem, está associada a baixa fertilidade natural, contudo, apresentam elevado potencial agrícola, tendo em vista que a elevada profundidade associada ao relevo plano onde ocorrem, favorecem a mecanização, a infiltração e o armazenamento de água, minimizando a ação da erosão.

## ARGISSOLOS

Os Argissolos ocupam a segunda maior extensão de área no Brasil. Caracterizam-se pela presença de um horizonte subsuperficial de acúmulo de argila, classificado como B textural (Santos et al., 2018), em sua grande maioria com baixa capacidade de troca catiônica e baixa fertilidade natural. Ocorrem predominantemente no terço superior e médio da paisagem, normalmente em relevo suave ondulado e ondulado.

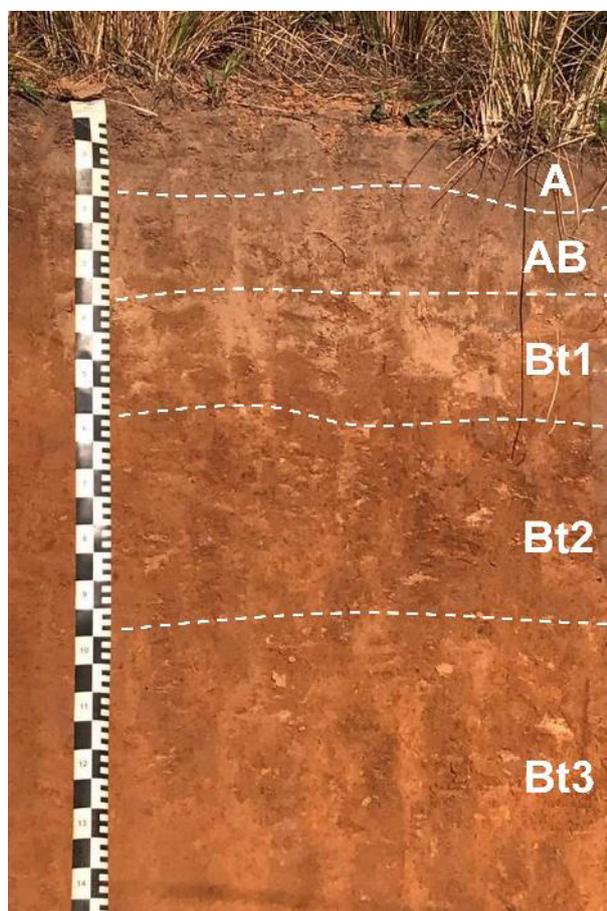


Figura 11. Perfil de Argissolo Vermelho-Amarelo. Foto: Carlos Roberto Pinheiro Junior.

Encontram-se amplamente distribuídos por todo país, desde os Pampas Gaúchos até a região Nordeste e, apresentam como principal limitante a utilização, a susceptibilidade a erosão, devido acumulação de argila em subsuperfície que altera a permeabilidade e favorece o início do escoamento lateral, principalmente em área de maior declividade. Nesse sentido, devem ser destinados, principalmente ao

cultivo de lavouras perenes com menor revolvimento do solo, ou culturas anuais com intensa utilização de práticas conservacionistas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo dos solos como corpos naturais vem do conceito clássico de pedogênese, em que os solos resultam da interação entre cinco fatores de formação: clima, organismos, relevo, material de origem e tempo. Por essa perspectiva, o solo deixa de ser um substrato e passa a ser tratado como entidade/indivíduo. Os seres humanos, como componentes da biosfera, tornaram-se cada vez mais um fator significativo interagindo com as outras esferas. Conseqüentemente, a “antroposfera” é agora considerada uma grande influência na formação do solo.

O solo é um recurso essencial para todos os organismos terrestres, incluindo o homem, razão pela qual deriva em grande parte sua importância – as funções do solo permitem que ecossistemas e sociedades se desenvolvam e evoluam. Representa a interface entre atmosfera, biosfera, hidrosfera e litosfera. Os ambientes nos quais esses quatro elementos interagem são, muitas vezes, os mais complexos e diversificados da Terra. Portanto a compreensão completa dos solos requer conhecimentos de muitas outras ciências, sendo a Pedologia uma ciência interdisciplinar.

Para finalizar, pode-se afirmar que o estudo dos atributos do solo é potencialmente útil para a interpretação da relação solo-paisagem, além de fornecer informações importantes para o uso, manejo e conservação desse recurso limitado.

## REFERÊNCIAS

ANJOS, L. H., FERNANDES, M. R., PEREIRA, M. G.; FRANZMEIER, D. P. Landscape and pedogenesis of an Oxisol-Inceptisol-Ultisol sequence in Southeastern Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, 62(6), 1651-1658.1998.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª ed. Tradução técnica: Igo Fernando Lepsch. Editora Bookman, Porto Alegre, RS, 2013. 685 p.

FONTES, M. P. F. Intemperismo de rochas e minerais. In: KER, J.C.; SHAEFER, C.E.G.R; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: fundamentos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 171-205.

JENNY, H. **Factors of Soil Formation: a system of quantitative pedology**. McGraw-Hill, New York, 1941. 281 p.

KÄMPF, N.; CURTI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J.C.; SHAEFER, C.E.G.R; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: fundamentos**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa-MG, 2012, p.207-302.

MUNSELL COLOR. **Munsell soil color charts**. New Windsor, 1994. Revised edition.

PAVINATO, P.S.; RESOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo – decomposição e liberação

de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 911-920. 2008.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, p. 590, 2018.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo. 7ª ed. revisada e ampliada, Viçosa**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 101p, 2015.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. Edgard Blücher Ltda./EDUSP, São Paulo, SP, 2003, 400 p.

## MODELOS ESPECTRAIS DE PREDIÇÃO DO TEOR DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO NO MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS

### **Jean Michel Moura-Bueno**

Universidade Federal de Santa Maria  
(UFSM); Santa Maria - RS

### **Ricardo Simão Diniz Dalmolin**

Universidade Federal de Santa Maria  
(UFSM); Santa Maria - RS

### **Taciara Zborowski Horst-Heinen**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM);  
Santa Maria - RS

### **Nicolas Augusto Rosin**

Universidade Federal de Santa Maria  
(UFSM); Santa Maria - RS

### **Daniely Vaz da Silva Sangoi**

Universidade Federal de Santa Maria  
(UFSM); Santa Maria - RS

### **Luciano Campos Cancian**

Universidade Federal de Santa Maria  
(UFSM); Santa Maria - RS

### **Diego José Gris**

North Dakota State University, Fargo - EUA

### **João Pedro Moro Flores**

Universidade Federal do Rio Grande do  
Sul - UFRGS

objetivo deste trabalho foi testar se a estratificação amostral por camada de amostragem melhora o desempenho de modelos espectrais de predição de COS e avaliar o impacto de dados preditos no Mapeamento Digital. Para isso foram utilizadas 261 amostras de solo, coletadas nas camadas 0 – 5; 5 – 15 e 15 – 30 cm, totalizando 783 observações, em uma propriedade rural de 940 hectares, localizada no município de Giruá, Estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil. O COS foi determinado em laboratório via digestão úmida. A análise espectral do solo foi realizada por um espectroradiômetro FildSpec Pro (ASD) com faixa espectral de 350-2500 nm. Foram ajustados modelos espectroscópicos para o COS utilizando regressão por mínimos quadrados parciais (PSLR) para quatro conjuntos com diferentes tamanhos de amostra: conjunto total de amostras (n= 783); conjunto 1 – amostras da camada 0 – 5 cm (n= 261); conjunto 2 - amostras da camada 5 – 15 cm (n= 261); conjunto 3 amostras da camada 15 – 30 cm (n= 261). A partir dos valores preditos de COS pelo modelo espectroscópico, foram gerados mapas da distribuição do COS para as três camadas de amostragem por Random Forest com o auxílio de 15 covariáveis ambientais. O modelo com melhor desempenho de validação na predição foi alcançado com os dados da camada 15 - 30 cm, com  $R^2 = 0,77$ ; RMSE = 0,30% e RPIQ = 2,60. Os dados preditos

**RESUMO:** Estudos a respeito da predição do Carbono Orgânico do Solo (COS) por meio da técnica de Espectroscopia Vis-NIR são necessários para uso no mapeamento digital de solos (MDS) em escala de propriedade rural. O

sofreram redução significativa de amplitude, especialmente na camada superficial do solo. Os modelos espaciais obtidos com dados preditos, apresentaram  $R^2$  entre 0,35 e 0,41 e valores de RMSE entre 0,22 a 0,30%, entretanto com significativa suavização da variação espacial do COS na área de estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** propriedades do solo, pedometria, espectroscopia, mapeamento do carbono orgânico.

**ABSTRACT:** Soil organic carbon (COS) prediction studies using the Vis-NIR spectroscopy technique are necessary for the use of digital land-use mapping (MDS) on a rural property scale. The objective of this work was to test the stratification by wall sampling with the performance of specific models of prediction of COS and to evaluate the impact of data predicted in the Digital Mapping. For samples, 261 soil samples were used, collected in layers 0 - 5; 5 - 15 and 15 - 30 cm, totaling 783 hectares, in a rural property of 940 hectares, located in the municipality of Giruá, State of Rio Grande do Sul (RS), Brazil. COS was determined in the laboratory via wet digestion. Soil spectral analysis was performed by a FildSpec Pro spectroradiometer (ASD) with a spectral range of 350-2500 nm. They were adapted to the COS using paired quadrature regression (PSLR) for four sets with different set sizes: total set of samples ( $n = 783$ ); set 1 - 0 - 5 cm layer samples ( $n = 261$ ); set 2 - layer 5 - 15 cm samples ( $n = 261$ ); set 3 layer samples 15-30 cm ( $n = 261$ ). From the predicted COS values by the spectroscopic model, COS maps were generated for the three random sampled samples with the aid of 15 environmental species. The model with the best prediction validation performance was displayed with the layer data 15 - 30 cm, with  $R^2 = 0.77$ ; RMSE = 0.30% and RPIQ = 2.60. The predetermined data suffered a significant reduction of amplitude, especially in the surface layer of the soil. Spatial models with predicted data,  $R^2$  set between 0.35 and 0.41 and RMSE values between 0.22 and 0.30%, thus smoothing the spatial variation of the COS in the study area.

**KEYWORDS:** soil properties, pedometry, spectroscopy, mapping of organic carbon.

## 1 | INTRODUÇÃO

A demanda por informações de solo tem aumento na última década devido a necessidade de planejamento e uso sustentável do recurso natural solo. Para suprir as demandas alimentares, de moradia e de energia para a população nos próximos anos, pesquisas na ciência do solo tendem a focar em métodos que permitam quantificar varias propriedades do solo relacionadas à funcionalidade dos solos em escala detalhada (GRUNWALD, 2015). Assim, o interesse crescente sobre o sequestro de carbono levantou questões sobre qual o potencial e quanto de carbono orgânico está armazenado no solo (Lal et al., 2018). O carbono orgânico do solo (COS) é uma propriedade funcional considerada fundamental para qualidade do solo. Portanto, gerar informações em escala detalhada do conteúdo COS é considerado um serviço ambiental, pois possibilita a avaliação da qualidade do solo,

modelagem do ciclo do carbono e simulação de cenários futuros (SANCHEZ et al., 2009; SORENSEN et al., 2018).

Realizar mapeamento do COS, no entanto, demanda alto custo e tempo devido ao elevado número de amostras necessárias para representar adequadamente a sua distribuição da paisagem, devido à alta variabilidade espacial do COS, consequência da sua interação com vários fatores ambientais (BERNOUX et al., 2002). Dessa forma, a viabilidade das metodologias utilizadas em laboratório de rotina para esses fins, vem sendo discutida pelos cientistas do solo em escala global, por apresentarem problemas referentes aos custos de análise, produção de resíduos químicos e tempo demandado para o processamento de amostras (SOUSA JUNIOR et al., 2011).

Portanto, um dos desafios da ciência do solo é propor técnicas que demonstre potencial para monitoramento do solo, permitindo uma leitura rápida, barata e não destrutiva das amostras de solos. As técnicas de Espectroscopia de Reflectância Difusa (ERD) Vis-NIR e do Mapeamento Digital de Solos (MDS) utilizam modelos matemáticos e estatísticos juntamente com covariáveis preditoras para gerar mapas de propriedades dos solos (Figura 1). As covariáveis com potencial para predição do COS podem ser as bandas de reflectância espectral nas regiões do visível ao infravermelho-próximo (Vis-NIR) obtidas pela técnica ERD Vis-NIR (Figura 1). Dessa forma, os dados da análise espectral do solo passaram a ser organizados em bibliotecas espectrais de solos (BES), para a construção de modelos de predição para quantificação do COS (Figura 1) em diferentes escalas geográficas (VASQUES et al., 2008; STEVENS et al., 2013; TERRA et al., 2015; DEMATTÊ et al., 2016; GUERRERO et al., 2016; MOURA-BUENO et al., 2019). Posteriormente, os dados obtidos na modelagem espectroscópica podem ser utilizados no mapeamento de propriedades do solo por meio de técnicas de MDS (Figura 1).

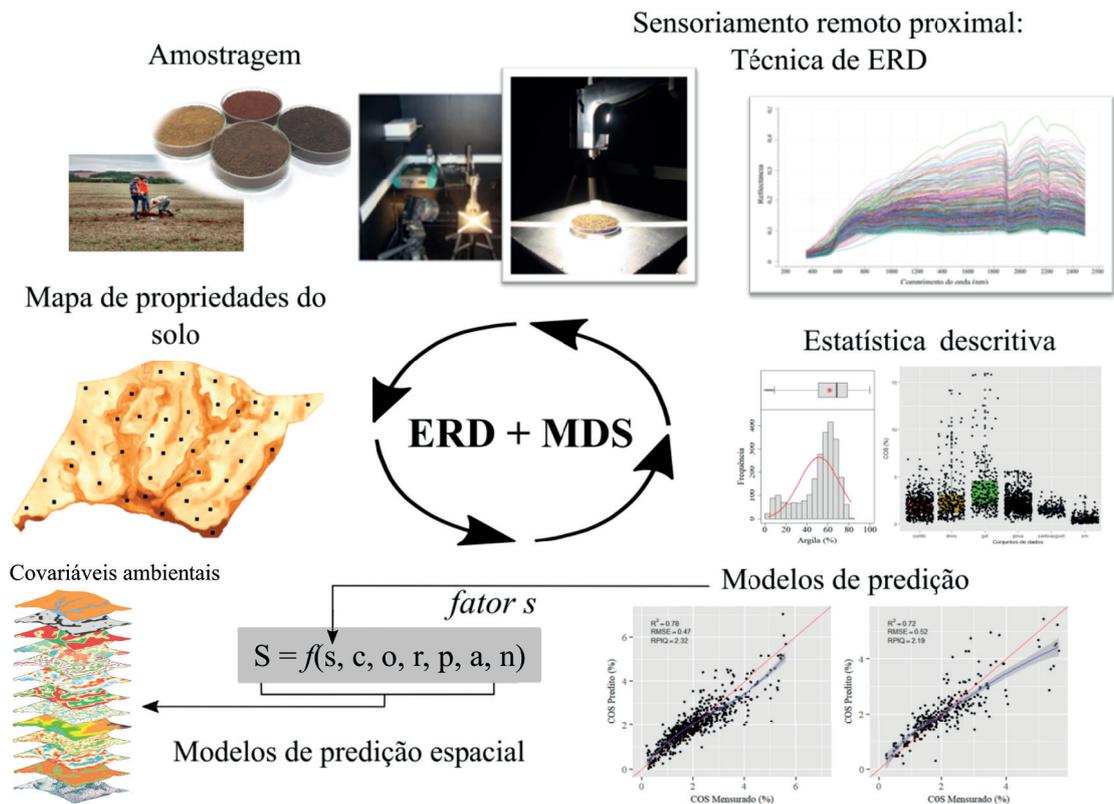


Figura 1 - Representação das etapas envolvidas na integração da técnica de ERD e MDS para obtenção de informações de solos (Fonte: MOURA-BUENO, 2018).

No entanto, a acurácia dos modelos espectroscópicos é variável, sendo influenciado pelas características do solo, número de amostras utilizadas na calibração e validação dos modelos e variabilidade das propriedades do solo na paisagem (DEMATTÊ et al., 2016; RAMIREZ-LOPES et al., 2014; WIGHT et al., 2016). Para contornar esse problema, estudos têm mostrados que a utilização de dados homogêneos pode ser uma estratégia valiosa para alcançar maior acurácia nas predições. Isso corrobora com Grunwald et al. (2015), que sugere que não há como transferir os modelos desenvolvidos de uma região para outro, visto a diversidade pedológica, ou seja, os modelos devem considerar amostras locais e suas características. Assim, a modelagem espectroscópica com base na camada de amostragem do solo podem ser uma estratégia promissora para alcançar maior acurácia dos teores de COS para posterior uso no MDS. O objetivo deste trabalho foi testar se a estratificação amostral por camada de amostragem melhora o desempenho de modelos espectrais de predição de COS e avaliar o impacto de dados preditos no Mapeamento Digital.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Giruá, Estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil (Figura 2a) em uma área agrícola de 940 ha (Figura 2b). A área apresenta altitudes que variam entre 340 e 420 m, relevo suave ondulado e geologia deriva de

rochas basálticas. Os solos predominantes na região são Latossolos Vermelhos (LV) nas áreas mais altas da paisagem (coxilhas) e Gleissolos Háplicos (GX) nas áreas mais baixas (várzeas).

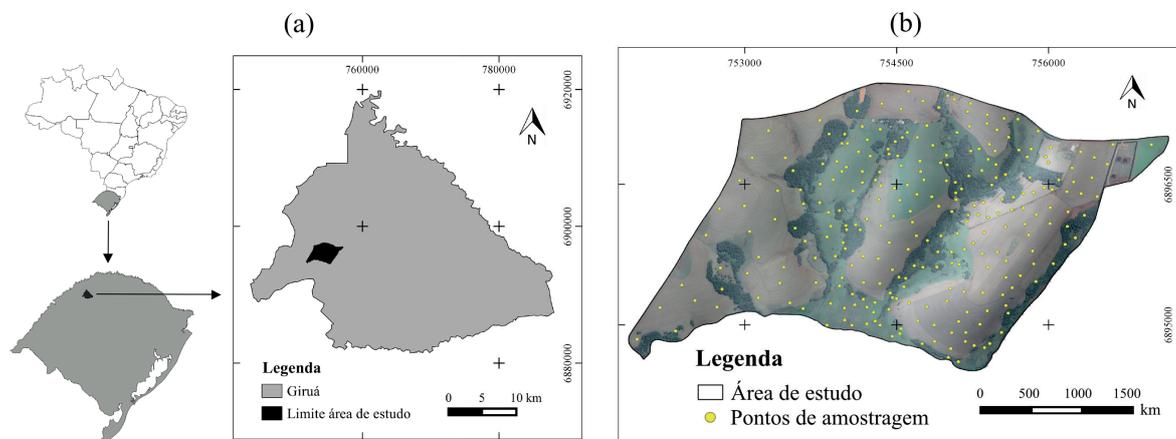


Figura 2 - Localização da área de estudo no município de Giruá, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil (a) e área ampliada com imagem Google Earth (ano de 2016) com os pontos de amostragem (b).

O solo foi amostrado em 261 pontos distribuídos de forma aleatória na paisagem, sendo 206 pontos sob LV e 55 em GX, estratificados nas camadas de 0-5, 5-15 e 15-30 cm, totalizando 783 amostras. O COS foi determinado em laboratório via combustão úmida, para obtenção dos dados de referência para calibração e validação dos modelos.

Para obtenção dos dados espectrais, as amostras foram analisadas em laboratório em um espectroradiômetro FieldSpec Pro, no intervalo de 350 a 2500 nm, com resolução espectral de 1 nm. Após, os dados espectrais foram suavizados a fim de eliminar ruídos. A técnica de pré-processamento utilizada foi a suavização Savitzky-Golay com 1ª derivada usando um polinômio de primeira ordem (SGD) (Savitzky e Golay, 1964), com janela de busca de 9 nm, previamente definida como a melhor janela de busca. O pré-processamento foi realizado utilizando o pacote *prospectr* no software R (R Core Team, 2019). O espectro médio e desvio-padrão da refletância espectral do solo do conjunto total de amostras ( $n = 783$ ), camada 0 – 5 cm ( $n = 261$ ), camada 5 – 15 cm ( $n = 261$ ), camada 15 – 30 cm ( $n = 261$ ) são apresentados na figura 3.

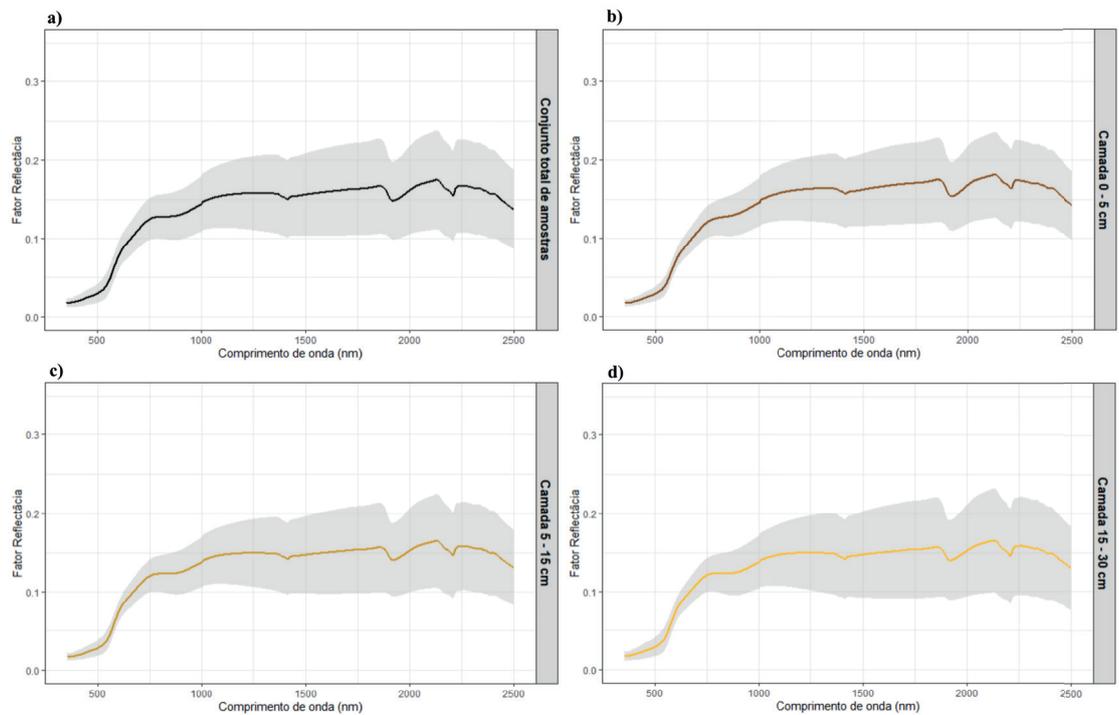


Figura 3 - Espectros médios e seus desvios-padrão para (a) conjunto total de amostras, (b) amostras camada 0 – 5 cm, (c) amostras da camada 5 – 15 cm, (d) amostras da camada 15 – 30 cm.

Para reduzir a variação dos valores de COS e melhorar o desempenho dos modelos espectrais, o conjunto total de amostras ( $n = 783$ ) foi estratificado em conjuntos menores, considerando a profundidade de obtenção das amostras: conjunto 1 (C1) – amostras da camada 0 – 5 cm ( $n = 261$ ); conjunto 2 (C2) - amostras da camada 5 – 15 cm ( $n = 261$ ); conjunto 3 (C3) amostras da camada 15 – 30 cm ( $n = 261$ ).

Modelos espectrais foram calibrados 70% das amostras (Modelo 1) e de cada conjunto estratificado por camadas (Modelo 2) e 30% das amostras de cada conjunto foram utilizadas para validação. A técnica multivariada PLSR foi utilizada para ajustar os modelos espectroscópicos, com auxílio do pacote *pls* do software R (R CORE TEAM, 2019). O desempenho dos modelos foi avaliado pelos parâmetros  $R^2$ , raiz do erro quadrático médio (RMSE) e razão do desempenho pela distância interquartil (RPIQ).

Os valores de COS de referência (mensurados em laboratório) e preditos pelos modelos espectroscópicos de COS foram utilizados para calibrar um modelo de predição espacial de 30 metros de resolução pelo modelo de árvores de regressão Random Forest, com auxílio do pacote *randomForest* do software R (R CORE TEAM, 2019). As covariáveis utilizadas para predição foram derivadas do Modelo Digital de Elevação SRTM com resolução espacial de 30 metros e do satélite Landsat 8, sendo elas elevação, declividade, curvatura horizontal, fator LS, índice de umidade

topográfico, índice de rugosidade do terreno, curvatura vertical, banda 2, banda 3, banda 4, banda 5, banda 6, banda 7 e razão entre as bandas b5 e b7). Além disso foi calculado o índice de vegetação normalizado ajustado ao solo. O desempenho da predição espacial foi avaliado pelos parâmetros de validação cruzada *leave-one-out*  $R^2$ , RMSE e erro médio (EM).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os conjuntos apresentaram diferença acentuada entre os valores mínimos e máximos. Os valores de média e mediana foram semelhantes para o CTA e C3 – camada 5-15 (Tabela 1). O conjunto C1- camada 0 - 5 apresentou os maiores valores médios de COS, sendo isso atribuído ao maior aporte de resíduos vegetais na camada superficial. Nesse mesmo conjunto é observado o maior valor de desvio-padrão (Tabela 1). O conjunto C3 – camada 15 - 30 apresentou os valores menores de COS e o menor desvio-padrão. Os valores mais elevados COS (valor máximo variando entre 8,41 a 7,44%) foram observados em solos de floresta na profundidade de 0 - 5 cm, enquanto os valores mais baixos são notados na camada 15 - 30 cm sobre uso lavoura ou campo nativo.

Conjunto	n	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio-Padrão
CTA	783	0,69	8,41	2,35	2,07	1,10
Conjuntos estratificados por camada de amostragem						
C1: 0 – 5	261	1,49	8,41	3,14	2,88	1,16
C2: 5 – 15	261	0,90	7,81	2,16	1,96	0,87
C3: 15 – 30	261	0,69	7,44	1,74	1,60	0,70

Tabela 1. Estatística descritiva dos valores de COS (%) para cada conjunto amostral.

n: número de amostras em cada conjunto; CTA: conjunto total de amostras. C1: conjunto 1 – amostras da camada 0 – 5 cm; C2: conjunto 2 - amostras da camada 5 – 15 cm; C3: conjunto 3 amostras da camada 15 – 30 cm.

Nota-se que a separação do CTA (composto por todas as amostras) em conjuntos baseados nas camadas amostras (conjunto C1, C2 e C3) resultou em diferenças na estatística descritiva dos valores de COS (Tabela 1). A grande variação entre os conjuntos esta relacionada com os tipos de solo, posições de ocorrência na paisagem, cobertura do solo e profundidade da amostra (BERNOUX et al., 2002).

Os parâmetros de ajuste dos modelos espectroscópicos de predição do teor de COS para cada conjunto amostral estão resumidos na tabela 2. Observa-se que o valor de  $R_t^2$  variou de 0,50 a 0,82 e  $R_v^2$  de 0,55 a 0,77 (Tabela 2). O modelo com

melhor desempenho na predição foi alcançado no conjunto C3, com  $R_v^2 = 0,77$ ;  $RMSE_v = 0,30\%$  e  $RPIQ_v = 2,60$  (Tabela 2). Esse resultado está associado a menor variação do conteúdo de COS observados na camada 15 – 30 cm (desvio-padrão = 0,70), sendo isso identificado pela técnica de ERD, uma vez que, o conteúdo de COS influencia na forma e no albedo da curva espectral ao longo de todo o espectro óptico (DALMOLIN et al., 2005).

Na sequência, o modelo com melhor acurácia foi observado no conjunto CTA, com  $R_v^2 = 0,67$ ;  $RMSE_v = 0,55\%$  e  $RPIQ_v = 2,22$  (Tabela 2). Isso está associado à menor variação nos valores de COS (desvio-padrão = 1,10) observada nessa camada, sendo isso um fator relevante na qualidade do ajuste de modelos espectrais (STEVENS et al., 2013). Além disso, a amostragem aleatória na paisagem, contemplando diferentes usos do solo e posições na paisagem, implica em grande variação nas características físicas, químicas e biológicas das amostras de solo, o que influencia no comportamento espectral dos solos do Planalto do Estado do RS (DALMOLIN et al., 2005; MOURA-BUENO et al., 2019).

O modelo de predição com os menores valores de acurácia foi observado para o conjunto C1, na camada de 0 - 5 cm (Tabela 2). Esse resultado é explicado pela alta variação nos valores de COS (desvio-padrão = 1,16) na camada 0 - 5 cm, uma vez que essa camada é a mais influenciada por fatores ambientais e práticas de manejo.

Conjuntos	Calibração			Validação		
	$R_t^2$	$RMSE_t$	$RPIQ_t$	$R_v^2$	$RMSE_v$	$RPIQ_v$
CTA	0,69	0,51	2,19	0,67	0,55	2,22
Conjuntos estratificados por camada de amostragem						
C1: 0 - 5	0,50	0,66	1,67	0,55	0,79	1,17
C2: 5 - 15	0,70	0,42	1,74	0,60	0,47	1,46
C3: 15 - 30	0,82	0,26	1,81	0,77	0,30	2,60

Tabela 2. Avaliação do desempenho dos modelos espectrais de COS.

$R^2$ : coeficiente de determinação; RMSE: raiz do erro quadrático médio; RPIQ: razão do desempenho pela distância interquartil; CTA: conjunto total de amostras. C1: conjunto 1 – amostras da camada 0 – 5 cm; C2: conjunto 2 - amostras da camada 5 – 15 cm; C3: conjunto 3 amostras da camada 15 – 30 cm.

Os resultados obtidos neste estudo são próximos aos encontrados por Knox et al. (2015), que alcançou  $R^2$  médio de 0,80 na predição de COS com Vis-NIR com um conjunto de 1014 amostras de solo coletadas em todo o estado da Flórida, EUA e por Dotto et al. (2014) que alcançaram  $R^2 = 0,68$  em uma bacia hidrográfica de 1.892 ha com 303 pontos de amostragem, com distintos tipos de solos e uso da terra, localizada na região central do Estado do RS. E ainda, superiores ao encontrado

por de Sousa Junior et al. (2011) que obtiveram valor de  $R^2 = 0,38$  em uma área de 9.000 ha no Estado de São Paulo, com 319 pontos de amostragem. Terra et al. (2015) encontraram valores de  $R^2 = 0.65$  e  $RMSE = 0.16\%$  utilizando uma biblioteca espectral ( $n = 1259$ ) com amostras de oito regiões tropicais do Brasil, local em que a variabilidade dos solos é alta, com intervalo de predição de 0.2 – 7.0% de COS. Araújo et al. (2014) obtiveram um  $R^2$  de 0.60 e um  $RMSE$  de 0,55% para predições com uma grande biblioteca espectral ( $n = 7172$ ) de solos tropicais no Brasil. Nessa mesma região do Brasil, Ramírez-López et al. (2013) utilizando 4200 amostras, obtiveram  $R^2$  de 0.48 e  $RMSE$  de 0.28 %. Em geral, se observa uma variação nos valores de  $RMSE$  desses estudos de escala regional, nacional e global. Isso se deve à maior abrangência geográfica dessas bibliotecas espectrais, resultando em maior variabilidade ambiental e pedológica, o que influencia nas características do solo, especialmente o conteúdo de COS (DEMATTE et al., 2016; GUERRERO et al., 2016; MOURA-BUENO et al., 2019).

Os dados preditos apresentam menor dispersão dos teores de COS em relação aos dados mensurados, com redução significativa da amplitude, especialmente na camada superficial (Figura 4). De modo geral, as médias do teor de COS permaneceram próximas, porém é possível observar que os valores altos de COS foram subestimados enquanto os valores baixos foram superestimados, especialmente no modelo 1. Por resultarem em conjuntos de dados mais homogêneos estatisticamente é possível observar na Tabela 4 que dados preditos apresentaram maior acurácia na predição espacial.

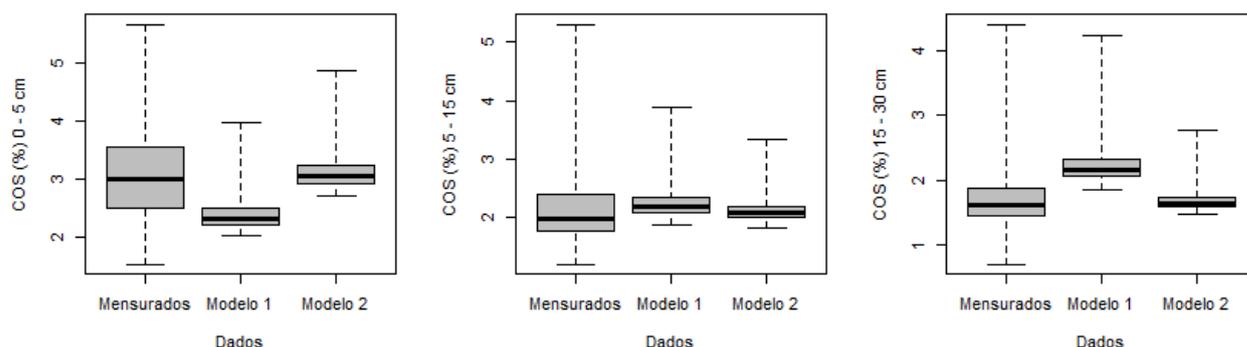


Figura 4. Boxplot dos valores de COS (%) mensurados e preditos pelos modelos espectrais 1 e 2.

Os modelos ajustados com os dados mensurados apresentam os piores ajustes, com  $R^2$  de 0,15, 0,22 e 0,22 para C1, C2 e C3, respectivamente e valores de  $RMSE$  entre 0,82 a 0,61%. Os modelos espaciais obtidos com dados preditos, entretanto, apresentaram  $R^2$  entre 0,35 e 0,41 e valores de  $RMSE$  entre 0,22 a 0,33% (Tabela 4). Os maiores erros se deram em função da maior amplitude dos dados de COS

nas amostras, principalmente em amostras com elevado teor de COS (> 4%), devido a menor representatividade de amostras com esses teores para a calibração dos modelos (VISCARRA ROSSEL e BEHRENS, 2010). Cabe salientar que a amplitude do COS é diferente em cada conjunto, o que influencia diretamente na interpretação da estatística dos erros.

Dados	Camada	R <sup>2</sup>	RMSE (%)	EM (%)
Mensurados	C1	0,15	0,82	0,64
Modelo 1	C1	0,35	0,29	0,21
Modelo 2	C1	0,35	0,31	0,22
Mensurados	C2	0,22	0,61	0,44
Modelo 1	C2	0,41	0,30	0,21
Modelo 2	C2	0,41	0,22	0,15
Mensurados	C3	0,22	0,50	0,33
Modelo 1	C3	0,40	0,33	0,23
Modelo 2	C3	0,40	0,18	0,12

Tabela 4. Desempenho de validação cruzada *leave-one-out* dos modelos de predição espacial do conteúdo de COS obtida com dados mensurados em laboratório e preditos pelos modelos espectrais 1 e 2.

R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação; RMSE: raiz do erro quadrático médio; EM: erro médio.

Embora não seja a estatística de validação dos modelos espaciais não sejam significativamente diferentes, é possível observar que a distribuição espacial do COS obtida pela modelagem do conjunto de dados preditos pelo modelo 2 apresenta maior semelhança com o mapa obtidos pelos dados mensurados (Figura 5).

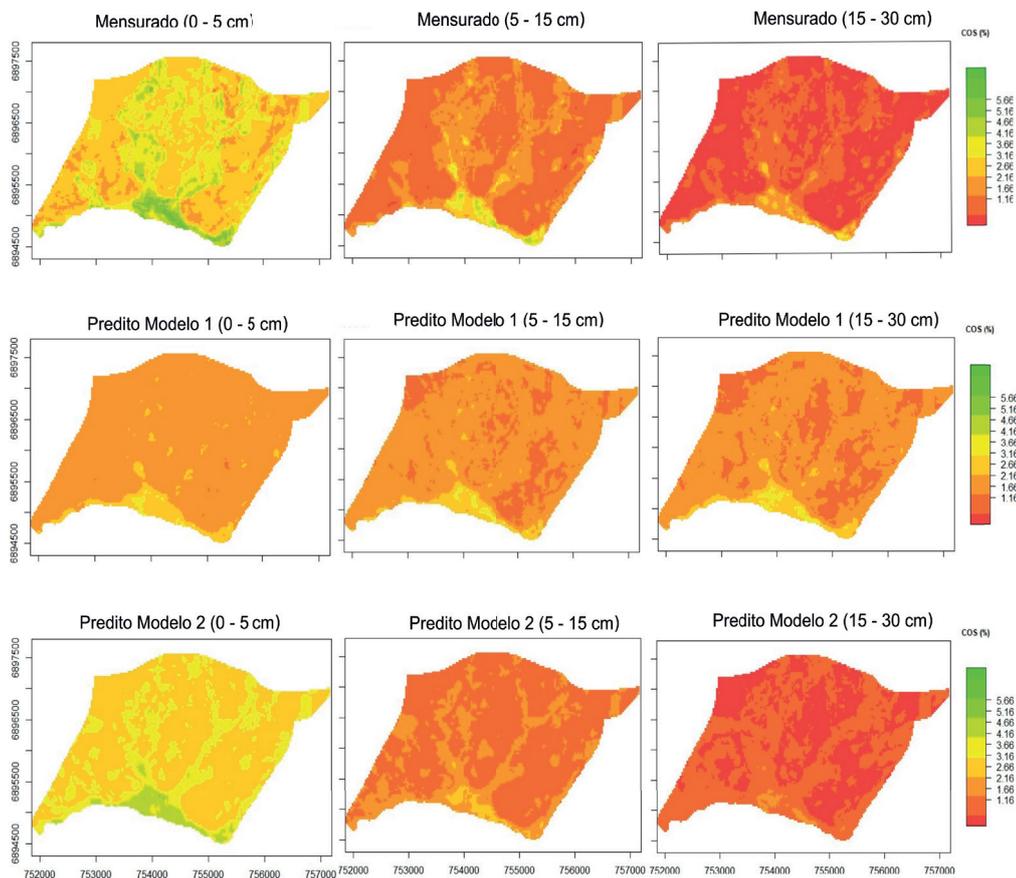


Figura 5. Distribuição espacial do COS (%) mensurados e preditos pelos modelos espectrais 1 e 2.

A estratificação de dados espectrais por camada de amostragem, apesar de reduzir a amplitude dos dados, preservou melhor sua qualidade e permitiu relações mais realistas destes com as covariáveis. Em função disso, o mapa final de distribuição do COS foi mais coerente. De modo geral, a estratificação melhorou a qualidade da predição espacial do COS, demonstrando o potencial da técnica para o MDS.

## CONCLUSÕES

O modelo espectral com melhor desempenho na predição foi calibrado com as amostras da camada 15 - 30 cm, com  $R^2 = 0,77$ ;  $RMSE = 0,30\%$  e  $RPIQ = 2,60$ .

A predição diminuiu a dispersão dos teores de COS, com redução significativa da amplitude dos dados.

A estratificação de dados espectrais por camada de amostragem melhorou a qualidade da predição espacial do COS, demonstrando o potencial da técnica para o MDS.

## AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa de doutorado e ao suporte financeiro e concessão de bolsa PQ ao segundo autor.

## REFERÊNCIAS

- BERNOUX, M. et al. **Brazil's soil carbon stocks**. Soil Science Society of America Journal. v. 66, n. 3, p. 888-896. 2002.
- DALMOLIN, R. S. D.; TEN CATEN, A. **Mapeamento Digital: nova abordagem em levantamento de solos**. Investiga Agrária. v. 17, n. 2, p. 77-86, 2015.
- DALMOLIN, R. S. D. et al. **Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral**. Ciência Rural. v. 35, n. 2, p. 481-489, 2005.
- DEMATTÊ, J.A.M. et al. **Spectral regionalization of tropical soils in the estimation of soil attributes**. Revista Ciência Agronômica, v.47, n.4, p.589-598, 2016.
- DOTTO, A. C. et al. **Mapeamento digital de atributos: granulometria e matéria orgânica do solo utilizando espectroscopia de reflectância difusa**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. v. 38, n. 6, p. 1663-1671, 2014.
- GRUNWALD, S; VASQUES, G. M.; RIVERO, R. G. **Fusion of soil and remote sensing data to model soil properties**. In: SPARKS, D. L. Advances in Agronomy. v. 131, p. 1-109, 2015.
- GUERRERO, C. et al. **Do we really need large spectral libraries for local scale SOC assessment with NIR spectroscopy?** Soil & Tillage Research, v.155, p.501–509, 2016.
- KNOX, N. M. et al. **Modelling soil carbon fractions with visible near-infrared (VNIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopy**. Geoderma. v. 239–240, p. 229–239, 2015.
- LAL et al. **The carbon sequestration potential of terrestrial ecosystems**. Journal of Soil and Water Conservation, v. 73, n. 6, p. 145A-152A, 2018.
- MOURA-BUENO, J.M. et al. **Stratification of a local VIS-NIR-SWIR spectral library by homogeneity criteria yields more accurate soil organic carbon predictions**. Geoderma, v.337, p.565–581, 2019.
- MOURA-BUENO, J.M. **Uso de bibliotecas espectrais para a predição do carbono orgânico do solo**. 2018. 201p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.
- RAMIREZ-LOPEZ, L. et al. **Sampling optimal calibration sets in soil infrared spectroscopy**. Geoderma. v. 226–227, p. 140–150, 2014.
- RAMIREZ-LOPEZ, L. R. et al. **The spectrum-based learner: A new local approach for modeling soil vis– NIR spectra of complex datasets**. Geoderma, v.195–196, p.268–279, 2013.
- R CORE TEAM. R: **A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing. 2016.
- SANCHEZ, P.A. et al. **Digital soil map of the world**. Science. v. 325, p. 680-681, 2009.
- SORENSEN, M.V. et al. **Draining the Pool? Carbon Storage and Fluxes in Three Alpine Plant Communities**. Ecosystems, v.21, n.2, p.316–330, 2018.
- SOUSA JUNIOR, J. G.; DEMATTÊ, J. A. M.; ARAÚJO, S. R. **Modelos espectrais terrestres e orbitais na determinação de teores de atributos dos solos: Potencial e custos**. Bragantia. v. 70, p. 610-621, 2011.
- STEVENS, A.; NOCITA, M.; TÓTH, G.; MONTANARELLA, L.; WESEMAEL, B. van. **Prediction of Soil**

**Organic Carbon at the European Scale by Visible and Near InfraRed Reflectance Spectroscopy.** PLoS ONE, v.8, n.6, e66409, 2013.

TERRA, F.S.; DEMATTÊ, J.Á.; VISCARRA-ROSSEL, R.A. **Spectral libraries for quantitative analyses of tropical Brazilian soils: Comparing vis-NIR and mid-IR reflectance data.** Geoderma, v.255, p.81-93, 2015.

VASQUES, G.M.; GRUNWALD, S.; SICKMAN, J.O. **Comparison of multivariate methods for inferential modeling of soil carbon using visible/near-infrared spectra.** Geoderma, v.146(1-2), p.14-25, 2008.

WIGHT, J. P.; ASHWORTH, A. J.; ALLEN, F. L.; **Organic substrate, clay type, texture, and water influence on NIR carbon measurements.** Geoderma. v. 261, p. 36-43, 2016.

## EFICIÊNCIA DE MÉTODOS MULTIVARIADOS NA PREDIÇÃO ESPACIAL DO TEOR DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

### **Taciara Zborowski Horst-Heinen**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
Santa Maria - RS

### **Ricardo Simão Diniz Dalmolin**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
Santa Maria - RS

### **Nicolas Augusto Rosin**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
Santa Maria - RS

### **Daniely Vaz da Silva-Sangoi**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
Santa Maria - RS

### **Jean Michel Moura-Bueno**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
Santa Maria - RS

### **Luciano Campos Cancian**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
Santa Maria - RS

### **Jordano Pereira Maffini**

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
Santa Maria - RS

### **João Pedro Moro Flores**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
(UFRGS); Porto Alegre - RS

### **Diego José Gris**

North Dakota State University; Fargo - EUA

dependendo do manejo. Além disso, o carbono orgânico do solo (COS) é um dos principais indicadores de qualidade do solo. Desse modo, conhecer a distribuição de COS na paisagem é fundamental. Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de diferentes métodos multivariados para predição espacial de COS em escala de propriedade rural. Foram coletados 313 pontos nas profundidades de 0-5, 5-15 e 15-30 cm em uma propriedade agrícola no Planalto do Rio Grande do Sul. A predição espacial foi realizada pelos métodos: Regressão Linear Múltipla (RLM), Random Forest (RF) e Boosted Regression Trees (BRT) utilizando 27 covariáveis ambientais representando a topografia, cobertura do solo e granulometria. Os melhores resultados foram alcançados pelo modelo BRT com  $R^2$  de 0,81 (0-5 cm), 0,74 (5-15 cm) e 0,73 (15-30 cm), os demais modelos demonstraram baixa acurácia para descrever a variação de COS na paisagem, com resultados entre  $R^2 = 0,17$  (RLM 0-5 cm) e 0,25 (RF 5-15 cm). O modelo BRT apresentou acurácia satisfatória para predição de COS.

**PALAVRAS-CHAVE:** modelagem espacial; Pedometria; Pedologia quantitativa.

**RESUMO:** O solo é o maior reservatório de carbono orgânico do planeta terra, atuando como fonte ou dreno de CO<sub>2</sub> da atmosfera

## EFFICIENCY OF MULTIVARIATE METHODS IN SPATIAL PREDICTION OF ORGANIC SOIL CARBON CONTENT

**ABSTRACT:** The soil is the largest reservoir of organic carbon on planet earth, acting as a source or drain of CO<sub>2</sub> from the atmosphere depending on the management. In addition, soil organic carbon (SOC) is one of the main indicators of soil quality. In this way, it becomes important to know the distribution of SOC in the landscape. This work aimed to evaluate the efficiency of different multivariate methods for SOC space prediction in rural property scale. A total of 313 points were collected at depths of 0-5, 5-15 and 15-30 cm at an agricultural estate in Plateau the Rio Grande do Sul. Spatial prediction was performed using the Multiple Linear Regression (RLM), Random Forest (RF) and Boosted Regression Trees (BRT) using 27 environmental covariates representing topography, soil cover and particle-size distribution. The best results were obtained by the BRT model with R<sup>2</sup> of 0.81 (0-5 cm), 0.74 (5-15 cm) and 0.73 (15-30 cm), the other models showed low accuracy to describe the variation of COS in the landscape, ranging from R<sup>2</sup> = 0.17 (RLM 0-5 cm) to 0.25 (RF 5-15 cm). The BRT model presented satisfactory accuracy for predicting SOC.

**KEYWORDS:** spatial modeling; Pedometry; Quantitative Pedology.

### 1 | INTRODUÇÃO

Segundo projeções da FAO, em 2050 a população mundial irá atingir a marca de nove bilhões de pessoas. Esforços serão necessários para suprir as demandas alimentares, de moradia e de energia para essa população. Diante disso, a pressão exercida sobre os recursos naturais, especialmente sobre o solo, tende a ser cada vez maior, por se tratar de um fator limitante para a produção. Essa projeção é ainda mais alarmante quando consideramos que 33% dos solos do mundo já estão degradados e de alguma forma deixaram de oferecer seus serviços ambientais (FAO, 2019). Somado a isso, cenário impactantes de mudanças climáticas reforçam a necessidade de um planejamento ambiental adequado.

Em decorrência disso, formas mais harmoniosas de produção agrícola, com equilíbrio entre a produtividade e a capacidade de uso das terras têm sido buscadas a fim de otimizar a utilização do solo, garantindo a perenidade dos recursos. Em função disso, a demanda por informações do solo e de suas propriedades em escala local, regional, nacional e global tem crescido constantemente nos últimos anos (McBRATNEY et al., 2014).

Dentre as inúmeras funções ambientais, o solo configura o maior reservatório de carbono do planeta terra (BATJES, 1996), atuando como fonte ou dreno de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, dependendo do manejo adotado (CARVALHO et al., 2010). O carbono orgânico do solo (COS), além de ser a componente chave no ciclo global do carbono e ser essencial para a qualidade e fertilidade do solo, assegura a capacidade de produção de alimentos e é considerado um bom indicador da saúde do solo. A

perda de COS, portanto, é considerada um indicativo eficiente de degradação do solo (GLOBAL SOIL PARTNERSHIP, 2017).

Em função disso existe uma demanda considerável por mapas de COS em escala detalhada, principalmente em áreas com potencial agrícola como no Planalto do Rio Grande do Sul, visando o planejamento agrícola mais sustentável. Porém, obter informações espaciais de COS, em escala suficientemente detalhada para fins de planejamento ambiental (DALMOLIN et al., 2004), demanda tempo e torna-se dispendioso. Uma das principais razões é a alta intensidade amostral requerida para representar adequadamente a distribuição do COS na paisagem. Essa variação é consequência dos fatores e mecanismos envolvidos nos processos de deposição, estabilização e transformação do COS que, por serem heterogêneos na paisagem, condicionam alta variabilidade espacial dessa propriedade.

Técnicas de mapeamento digital de solos (MDS) tem se mostrado como uma alternativa rápida e barata com elevado potencial para obtenção de informações de solos e suas propriedades em escala detalhada. Em relação ao COS, técnicas de MDS são utilizadas por meio de modelos matemáticos com capacidade de incorporar as covariáveis ambientais correlacionadas com a presença do COS na paisagem em prol de sua modelagem espacial (LAUB et al, 2018). Dentre as covariáveis utilizadas para esse fim, destacam-se as que representam as variações topográficas na paisagem, mapas de uso e cobertura do solo, bem como imagens de satélite e índices de vegetação (MINASNY et al.,2013), que podem representar critérios espaciais de deposição vegetal. Modelos digitais de elevação (MDEs) são fontes importantes de covariáveis, porém, dados oriundos de outras fontes também são aproveitados, como os índices derivados de imagens de sensoriamento remoto (ten CATEN et al., 2012). Essas covariáveis, além de gratuitas, são facilmente obtidas através do sensoriamento remoto e tem demonstrados correlação espacial com o conteúdo de COS.

Vários métodos quantitativos foram desenvolvidos para descrever, classificar e estudar os padrões de distribuição espacial dos solos, de maneira objetiva e precisa. Diferentes modelos multivariados vêm sendo testados, com diferentes combinações de covariáveis preditoras na predição espacial do COS. Dentre eles, os modelos Random Forest (BHERING et al., 2016; GUO et al., 2015; VAYSSE; LAGACHERIE, 2015; BONFATTI et al., 2016), Regressão Linear Múltipla (OLAYA-ABRIL et al., 2017; MEERSMANS et al., 2008). Porém, pouco se sabe sobre a capacidade preditiva do modelo Boosted Regression Trees (BRT) e sua habilidade de predizer o COS. Considerando a demanda de informações sobre o COS em escala de propriedade e que a construção de um modelo descreva a distribuição de COS na paisagem de maneira adequada. Isso depende do método de predição e da relação entre variável predita e covariáveis. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência de diferentes modelos de predição e o potencial de utilização de covariáveis ambientais topográficas, de cobertura de solo e pedológicas na predição espacial de COS em

escala de propriedade rural.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma propriedade rural de 940 ha localizada no município de Giruá, na região fisiográfica do Planalto do Rio Grande do Sul (Figura 1). O relevo varia de suave ondulado a forte ondulado, com declividade entre 3 e 10 %. A geologia é derivada da Formação Serra Geral, com predomínio das classes de solo: Latossolo Vermelho Distroférrico típico nas áreas altas da paisagem e Gleissolo Háplico Tb Distrófico típico nas áreas baixas e planas.

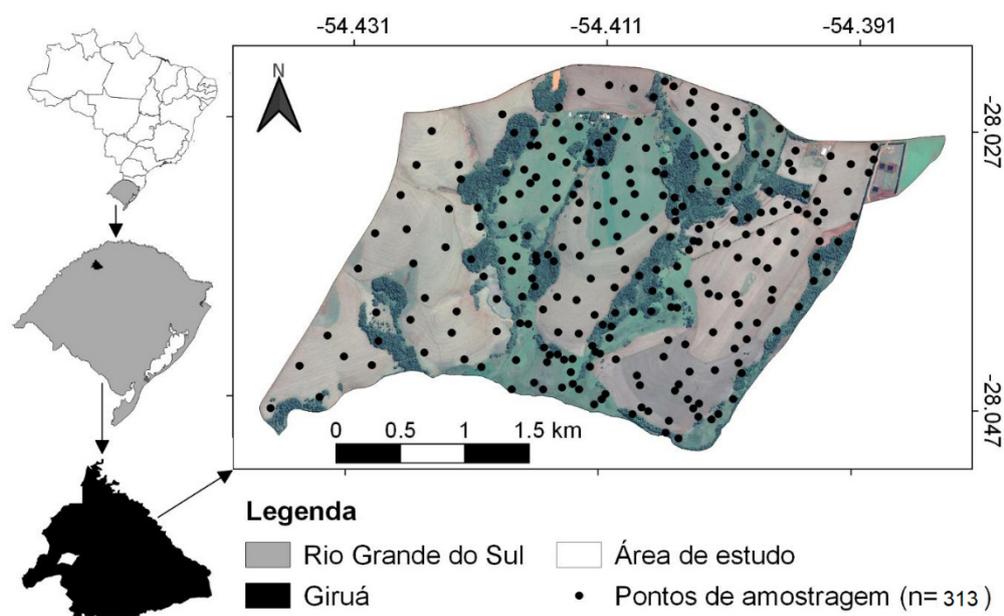


Figura 1 – Localização da área de estudos e pontos de amostragem.

Para amostragem do COS foram determinados intencionalmente 313 pontos, em que foram coletadas amostras nas profundidades 0 - 5, 5 - 15 e 15 - 30 cm (Figura 1). As amostras foram submetidas ao processo de secagem ao ar, destorroadas, passadas em peneira de malha 2 mm, e submetidas à análise em triplicata. O conteúdo de COS foi determinado por combustão úmida (0,5 g de solo + 10 ml  $K_2Cr_2O_7$  0,067 mol L<sup>-1</sup>) com aquecimento externo (YEOMANS; BREMNER, 1988). Os extratos do COS provenientes da combustão úmida foram titulados com  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  0,5 mol L<sup>-1</sup>, na presença de fenantrolina como indicador do fim da titulação.

Para a predição espacial foram utilizadas 27 covariáveis ambientais para representar as variações topográficas, de cobertura do solo e de distribuição das partículas do solo na área, em resolução de 30 m (Tabela 1). As covariáveis primárias que representam a topografia são oriundas do Topodata, sendo elas: elevação, declividade, orientação, curvatura horizontal, curvatura vertical e sombreamento do

relevo. Algumas covariáveis secundárias foram derivadas do MDE Topodata através do processamento no SAGA GIS, sendo elas: Índice de umidade, fator LS, insolação direta e insolação difusa. As covariáveis que representam a cobertura do solo foram obtidas através de uma imagem do satélite Landsat 8 e compreendem as bandas B4 (vermelho), B5 (infravermelho próximo), B6 (infravermelho de onda curta 1) e B7 (infravermelho de onda curta 2), a razão B5/B7. Além delas foi calculado o índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) no QGIS e o uso da terra traçado sobre uma imagem do Google Earth.

<b>Covariável</b>	<b>Descrição</b>	<b>Origem</b>
<i>Variáveis topográficas</i>		
Elevação	Obtida do Modelo Digital de Elevação (m)	Topodata
Declividade	Declividade do terreno (%)	Topodata
Orientação	Orientação da declividade (graus)	Topodata
Curvatura horizontal	Convergência/divergência (graus/m)	Topodata
Curvatura vertical	Convexidade/concavidade (graus/m)	Topodata
Sombreamento do relevo	Sob ângulo de 45° e azimute 0° (rad)	Topodata
Índice de umidade	Conteúdo de água na paisagem	SAGA GIS
Fator LS	Comprimento e ângulo da declividade	SAGA GIS
Insolação direta	Radiação solar potencial (kWhm <sup>-2</sup> )	SAGA GIS
Insolação difusa	Radiação solar potencial (kWhm <sup>-2</sup> )	SAGA GIS
<i>Cobertura do solo</i>		
B4	Vermelho	Landsat 8
B5	Infravermelho próximo	Landsat 8
B6	Infravermelho de onda curta 1	Landsat 8
B7	Infravermelho de onda curta 2	Landsat 8
B5/B7	Razão entre as bandas B5 e B7	QGIS
SAVI	Índice de vegetação ajustado ao solo	QGIS
Uso da terra	Traçado sobre imagem do Google Earth	QGIS
<i>Granulometria do solo</i>		
Areia	Mapas de granulometria obtidos por predição espacial com covariáveis ambientais usando o modelo BRT	R
Silte		
Argila		

Tabela 1 – Descrição das covariáveis ambientais utilizadas para a predição do COS, categorizadas de acordo com o tipo de informação fornecida, suas respectivas origens e abreviações.

VALERIANO; ROSSETTI (2011).

As covariáveis que representam a distribuição de partículas do solo foram

obtidas através do mapeamento digital da granulometria, utilizando o mesmo conjunto amostral, com dados de granulometria obtidos pelo método da pipeta (TEIXEIRA et al., 2011) e as covariáveis topográficas apresentadas na Tabela 1. A predição espacial de areia, silte e argila foi realizada pelo modelo BRT no ambiente R. As estatísticas de validação cruzada dos dados preditos de granulometria utilizados constam na tabela 2.

Para geração dos modelos de predição foram utilizadas 70% das amostras de cada conjunto para treinamento e 30% para validação. A técnica multivariada PLSR foi utilizada para ajustá-los, com auxílio do pacote estatístico R (R CORE TEAM, 2019). O desempenho dos modelos de predição foi avaliado pelos parâmetros  $R^2$ , raiz do erro quadrático médio (RMSE) e razão do desempenho pela distância interquartil (RPIQ).

<b>Granulometria</b>	<b>Profundidade (cm)</b>	<b><math>R^2</math></b>	<b>RMSE</b>
Areia	0-5	0,76	2,87
	5-15	0,71	2,91
	15-30	0,72	2,29
Silte	0-5	0,42	5,72
	5-15	0,36	4,56
	15-30	0,28	5,53
Argila	0-5	0,64	6,62
	5-15	0,59	5,60
	15-30	0,61	5,59

Tabela 2 – Estatísticas de validação cruzada dos dados de granulometria utilizados como covariáveis preditoras do COS.

Em que:  $R^2$ : coeficiente de determinação e RMSE: raiz quadrada do erro quadrático médio.

A predição espacial de COS foi realizada por 3 métodos multivariados, sendo eles: RLM, RF e BRT. A acurácia dos modelos foi avaliada pelos parâmetros estatísticos de validação cruzada leave-one-out: coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (equação 1) e a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) (equação 2).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (2)$$

Em que:  $\hat{y}$  = valor predito;  $\bar{y}$  = valor médio observado;  $y$  = valor observado;  $n$  = número de amostras com  $i = 1, 2, \dots, n$ .

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição dos teores de COS nas camadas é heterogênea (Figura 1 e Tabela 3), o que comumente é observado para esta propriedade do solo, devido aos diversos fatores que influenciam na sua distribuição e permanência na paisagem. Na camada 0 - 5 cm, o teor de COS varia de 1,08 % a 6,26 %, com média de 3,07 %. Entre 5 - 15 cm, por sua vez, o teor de COS varia entre 1,06 % e 5,45 %, com média de 2,09 %. Na camada superficial, o uso da terra e a cobertura vegetal influenciam diretamente na deposição de resíduos orgânicos, da mesma forma que as características do terreno e a insolação potencial condicionam as perdas por decomposição e erosão. Ainda, a argila exerce proteção sobre a matéria orgânica do solo, devido aos processos de sorção e proteção físico-química do COS.

A menor variação do teor de COS em superfície tem relação direta com os processos que condicionam a deposição e decomposição de restos culturais e material orgânico, que são praticamente homogêneas dentro de cada uso da terra. Com o aumento da profundidade, além de depender da deposição de material vegetal no local, o COS depende da migração de resíduos orgânicos em profundidade, o que é condicionado por diversos fatores, dentre eles as condições de relevo. Entre 15 - 30 cm o teor de COS varia entre 0,71 % e 4,55 % com média de 1,68 % (Tabela 3). O teor de COS das camadas mais profundas do solo, entretanto são dependentes da migração de camadas subjacentes, além de serem menos suscetíveis a perdas por decomposição.

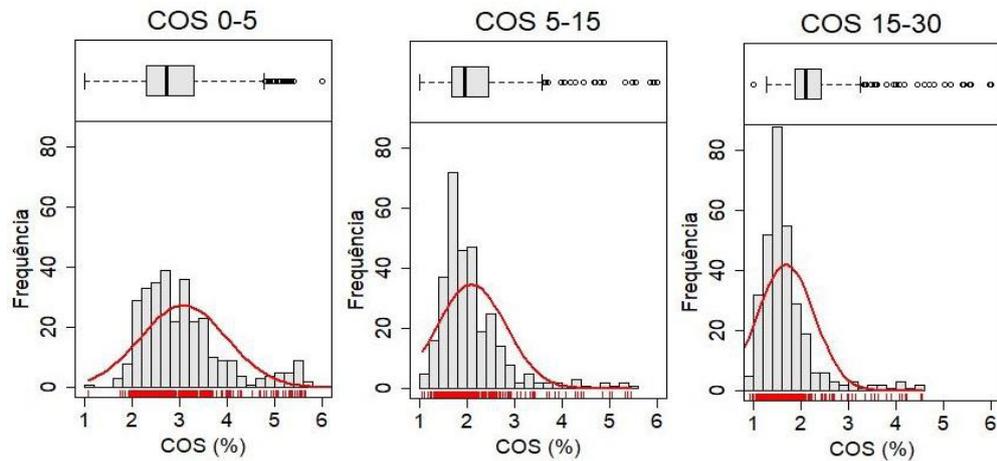


Figura 1 – Histograma de frequências e boxplots do conteúdo de COS.

Em relação a predição, o modelo BRT mostrou uma maior capacidade de predizer o conteúdo de COS na área de estudo, com um melhor ajuste, demonstrado pelos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variando de 0,81, 0,74, e 0,73 para as profundidades 0 - 5, 5 - 15, e 15 - 30 cm, respectivamente (Tabela 4). O modelo BRT também apresentou os menores erros de predição com valores de RMSE entre 0,54 %, para a camada 0 - 5 cm, 0,45 % na camada 5 - 15 cm e 0,36 % para a camada 15 – 30 cm. Os resultados obtidos na predição espacial do COS pelo modelo RF e RLM foram inferiores ao modelo BRT (Tabela 4), sendo os menores valores de  $R^2$  e maiores de RMSE observados para o modelo RLM.

Modelo	Camada (cm)	$R^2$	RMSE (%)
BTR	0-5	0,81	0,54
RF	0-5	0,23	0,79
RLM	0-5	0,17	0,84
BTR	5-15	0,74	0,45
RF	5-15	0,25	0,62
RLM	5-15	0,19	0,65
BTR	15-30	0,73	0,36
RF	15-30	0,22	0,52
RLM	15-30	0,20	0,53

Tabela 4 – Acurácia dos modelos de predição do conteúdo de COS.

Em que: BTR – *Boosted Regression Trees*; RF – *Random Forest*; RLM – *Regressão Linear Múltipla*;  $R^2$  – Coeficiente de determinação; RSME – Raiz quadrada do erro quadrático médio.

A maior acurácia preditiva foi observada na camada 0 - 5 cm (Tabela 4). Esse resultado pode ser reflexo do quanto as covariáveis são capazes de explicar

a variação do solo na paisagem. Isso porque os dados de sensoriamento remoto utilizados são uma representação da configuração do espaço no presente. Por isso, a distribuição do COS na superfície pode ser melhor explicado/representado por essas covariáveis, que proporcionam assim um melhor ajuste para o modelo e uma melhor previsão espacial. Contudo, a presença e a distribuição das propriedades na paisagem são reflexo de como as condições da paisagem variam no espaço e no tempo e, por isso, características de distribuição espacial do COS em camadas mais profundas tendem a ser mais difíceis de serem modeladas. Além disso, o carbono em profundidade possui menor variação temporal, ou seja, as dinâmicas dos fluxos das paisagens geram áreas de perdas e áreas de acúmulo que não se alteram, pelo menos a curto prazo, em decorrência da modificação de manejo.

O método Boosted Regression Trees (BRT) é um método robusto e não paramétrico, onde representa-se como uma classificação de árvores de regressão (BREIMAN et al. 1984), em particular, pode ser aplicado aos dados sem pré-processamento. O modelo final de BRT pode ser entendido como um modelo de regressão aditivo no qual termos individuais são árvores simples, ajustadas de maneira progressiva e em etapas. Ou seja, é um método adaptativo para combinar muitos modelos simples a fim de melhorar o desempenho. As árvores de regressão aumentadas incorporam vantagens importantes dos métodos baseados em árvores, tipos diferentes de variáveis preditoras e acomodando dados perdidos.

A capacidade de adaptação do modelo BRT a dados heterogêneos, e que não passaram por pré-processamento para padronização e remoção de *outliers* foram impactantes na boa acurácia apresentada pelo modelo. Eles não têm necessidade de prévia transformação de dados ou eliminação de *outliers*, pode ajustar relações não-lineares complexas e manipular automaticamente efeitos de interação entre preditores, principalmente em variáveis como o COS. Embora em BTR os modelos são complexos, eles podem ser resumidos de maneiras que fornecem uma boa visão, e seu desempenho preditivo é superior à maioria dos métodos tradicionais de modelagem (ELITH et al., 2008). Essas características do modelo BRT o tornam uma boa ferramenta para processamento de dados de solos que quase sempre são heterogêneos, na maioria das vezes sem a necessidade de pré-processamento dos dados.

Os mapas de distribuição espacial do COS preditos pelo BRT para as três camadas são apresentados na Figura 2. Os valores preditos do teor de COS foram realistas, variando entre 2,5 % a 4,5 % para a camada 0-5 cm, de 2,0 % a 3,0 % camada 5-15 cm e, de 1,5 % a 2,5 % para a camada 15-30 cm. Ao contrário do encontrado por Bhering et al. (2016), os maiores teores de COS estão presentes nas porções mais baixas da paisagem (Figura 2), associadas aos menores teores de argila nos solos, normalmente em áreas de fluxo acumulado de água e sedimentos em que predominam Gleissolos. Em contrapartida, os menores teores estão associados aos maiores teores de argila e em áreas de Latossolo.

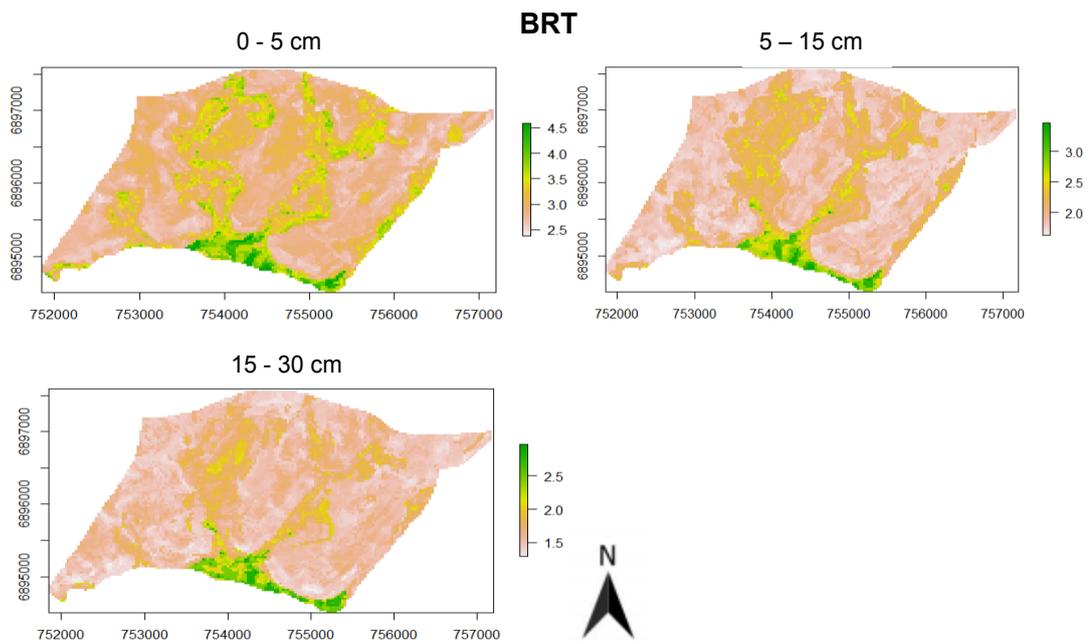


Figura 2 – Mapas de predição do conteúdo de COS pelo modelo BRT.

O método Random Forest superestimou o teor de COS na camada 0-5 cm e subestimou nas camadas 5-15 e 15-30 cm, principalmente nas áreas de floresta e campo nativo (Figura 3). Nesse método, as florestas aleatórias são semelhantes às árvores de classificação e regressão. No entanto, o RF é duplamente aleatório. Muitas árvores são cultivadas ou treinadas, independentemente, porque cada árvore é treinada com um novo *bootstrap*, selecionando aleatoriamente a amostra e um subconjunto aleatório de variáveis é usado para dividir cada nó. Porém, o método RF não requer uma boa representação da variação espacial da propriedade de interesse. Por isso, os resultados insatisfatórios de predição apresentados na tabela 3, podem estar relacionados ao menor número de amostras nas áreas de floresta e campo nativo.

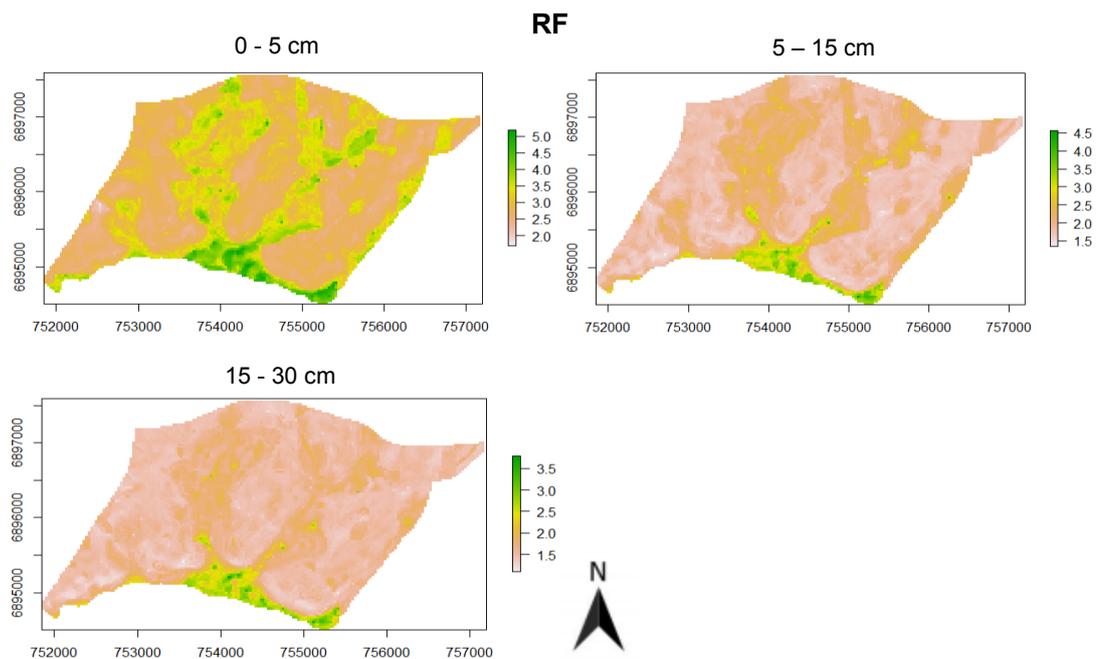


Figura 3 – Mapas de predição do conteúdo de COS pelo modelo RF.

O modelo RLM superestimou o conteúdo de COS nas três camadas mapeadas (Figura 4). Esse resultado está relacionado com as características do modelo RLM, que estabelece uma relação linear entre o conteúdo de COS e as covariáveis, exigindo que os dados atendam à uma série de pressupostos estatísticos. Sendo o principal deles a distribuição normal, além de variância e a covariância iguais, sendo a média dos valores das covariáveis a única diferença entre os valores de COS. A figura 1 mostra que os dados de COS não atendem a esses pressupostos, sendo isso a causa da menor acurácia observada. Além disso, a distribuição do COS na paisagem nem sempre apresenta uma relação linear com os covariáveis ambientais.

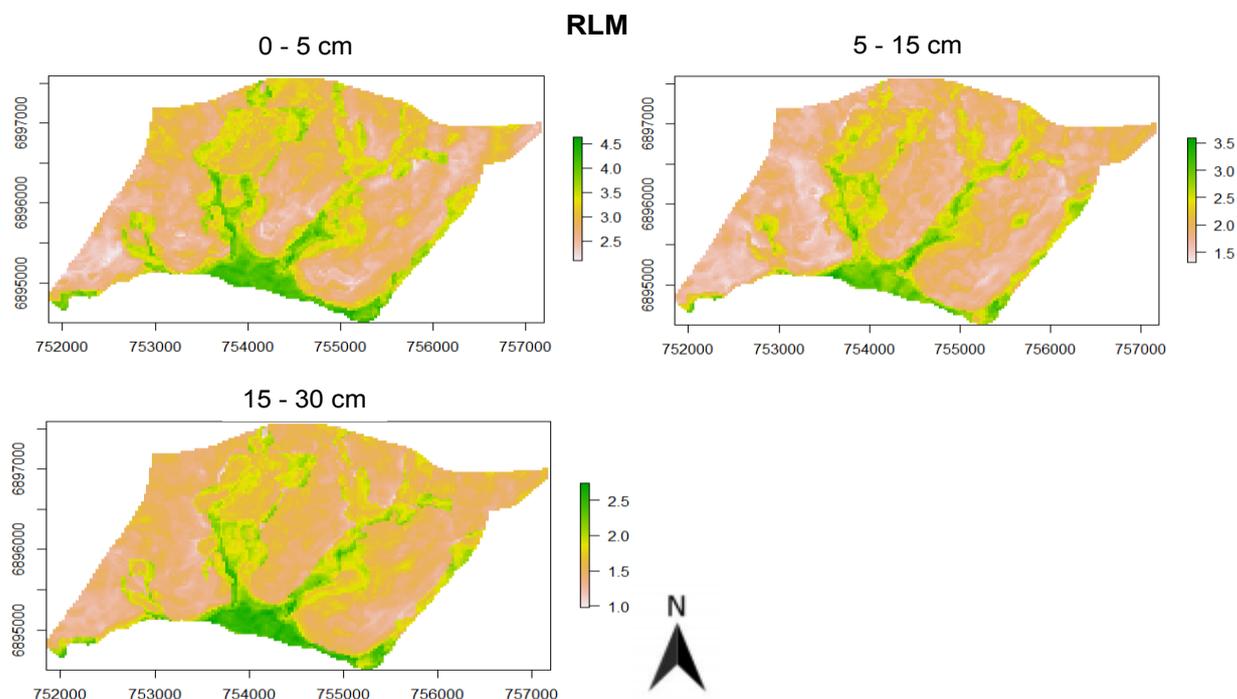


Figura 4 – Mapas de predição do conteúdo de COS pelo modelo RLM.

Em razão das características da área de estudo – relevo predominantemente plano e suave ondulado – e dos dados de solos limitados utilizados, considera-se que os resultados alcançados na predição do COS utilizando o modelo BRT com auxílio de variáveis ambientais é promissor. A melhoria destes resultados pode ser alcançada à medida que novos dados de solos sejam incluídos, e novas covariáveis sejam testadas. Os resultados encontrados neste estudo mostram, que o método multivariado tem influência na capacidade preditiva do COS e que técnicas de MDS são ferramentas com potencial para gerar mapas em escala detalhada de COS, quando usada de forma correta. Estudos futuros devem ser realizados abordando o efeito do número de amostras na acurácia das predições.

#### 4 | CONCLUSÕES

O modelo BRT apresentou o melhor desempenho, em todas as profundidades para predição de COS em escala de propriedade rural, conseguindo acurácia satisfatória para ser utilizado no mapeamento deste atributo com  $R^2$  de 0,81, 0,74 e 0,73 e RMSE de 0,54, 0,45 e 0,36 % para as camadas 0 - 5, 5 - 15 e 15 – 30 cm, respectivamente.

As covariáveis ambientais foram eficientes para a obtenção de informações acuradas de COS.

A técnica de MDS aplicada ao COS apresentou potencial para subsidiar o planejamento sustentável da atividade agrícola em nível de propriedade rural.

## REFERÊNCIAS

- 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.
- BREIMAN, L. et al. **Classification and Regression Trees**. 1. ed. New York: Routledge, 368 p., 1984.
- BHERING, S. B. et al. **Mapeamento digital de areia, argila e carbono orgânico por modelos Random Forest sob diferentes resoluções espaciais**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, n. 9, p. 1359-1370, 2016.
- BONFATTI, B.R. et al. **Digital mapping of soilcarbon in a viticultural region of Southern Brazil**. Geoderma, v. 261, p. 204-221, 2016.
- ten CATEN, A. et al. **Mapeamento digital de solos: características da abordagem brasileira**. Ciência Rural, v. 43, p.1989-1997, 2012.
- CARVALHO, J. L. N. et al. **Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil**. Revista. Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 277-289, 2010.
- DALMOLIN, R.S.D et al. **Relação entre as características e o uso das informações de levantamentos de solos de diferentes escalas**. Ciência Rural, 34:1479-1486, 2004.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. The Stateof Food Insecurity in the World 2015. **Meeting the 2015 international hunger targets: takingstock of uneven progress**. Rome: FAO, 2015. 62p. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4646e.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2019.
- GLOBAL SOIL PARTNERSHIP. **Global Soil Organic Carbon Map – Leaflet**. Roma: FAO, 5. p. 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/i8195en/l8195EN.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2019.
- GUO, P.T. et al. **Digital mapping of soil organic matter for rubber plantation at regional scale: An application of random forest plus residuals kriging approach**. Geoderma, v. 237-238, p. 49-59, 2015.
- ELITH J.; LEATHWICK J. R.; HASTIE T. **A working guide to boosted regression trees**. Journal of Animal Ecology, v. 77, n. 4, p. 802–813, 2008.
- LAUB, M. et al. **A mixed model for landscape soil organic carbon prediction across continuous profile depth in the mountainous subtropics**. Geoderma, v. 330, p. 177-192, 2018.
- OLAYA-ABRIL, A. et al. **Soil organic carbon distribution in Mediterranean areas under a climate change scenario via multiple linear regression analysis**. Science of the Total Environment, v.592, p. 134-143, 2017.
- MEERSMANS, J. et al. **A multiple regression approach to assess the spatial distribution of Soil Organic Carbon (SOC) at the regional scale (Flanders, Belgium)**. Geoderma, v. 143, n. 1-2, p. 1-13, 2008.
- MINASNY, B. et al. **Digital Mapping of Soil Carbon**. Advances in Agronomy. v. 118. p. 1-47. 2013.
- McBRATNEY, A B.; FIELD, D. J.; KOCH, A. **The dimensions of soil security**. Geoderma. v. 213, p. 203-213, 2014.
- R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2019. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>; Acesso em: 2 mai. 2019.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017, 573 p.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. **Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data**. Applied Geography, v. 32, n. 2, p. 300-309, 2011.

VAYSSE, K.; LAGACHERIE, P. **Evaluating digital soil mapping approaches for mapping GlobalSoilMap soil properties from legacy data in Languedoc-Roussillon (France)**. Geoderma Regional, v. 4, p. 20-30, 2015.

YEOMANS J.C.; BRENER J. M. **A rapid and precise method routine determination of organic carbon in soil**. Communications Soil Science Plant Analysis., v. 19, p. 1467-1476, 1988.

## ANÁLISE DE PARÂMETROS GEOTÉCNICOS DE SOLO OCUPADO POR ATERRO SANITÁRIO NA REGIÃO NOROESTE NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

### **Willian Fernando de Borba**

Universidade Federal de Santa Maria, Prof. Dr. do Departamento de Tecnologia e Engenharia Ambiental. Frederico Westphalen  
Rio Grande do Sul

### **José Luiz Silvério da Silva**

Universidade Federal de Santa Maria, Prof. Dr. do Departamento de Geociências  
Santa Maria – Rio Grande do Sul

### **Pedro Daniel da Cunha Kemerich**

Universidade Federal do Pampa, Prof. Dr. do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária  
Caçapava do Sul – Rio Grande do Sul

### **Éricklis Edson Boito de Souza**

Universidade Federal de Santa Maria, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Santa Maria – Rio Grande do Sul

### **Gabriel D’Avila Fernandes**

Universidade Federal de Santa Maria, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
Santa Maria – Rio Grande do Sul

### **Bruno Acosta Flores**

Grupo Dagoberto Barcellos, MSc. Engenheiro Ambiental e Sanitarista  
Caçapava do Sul – Rio Grande do Sul

### **Jacson Rodrigues França**

Faculdade Santo Ângelo, Prof. MSc. do Curso de Engenharia Civil e Engenharia Ambiental e Sanitária

Santo Ângelo – Rio Grande do Sul

### **Carlos Eduardo Balestrin Flores**

Consórcio Intermunicipal de Gestão de Resíduos Sólidos, MSc, Diretor técnico  
Seberi – Rio Grande do Sul

**RESUMO:** O desenvolvimento de estudos que visam analisar o suporte do meio ao desenvolvimento de atividades com potencial de contaminação, é de suma importância no meio científico. Essa pesquisa tem por objetivo analisar os parâmetros geotécnicos de um LATOSSOLO VERMELHO, localizado na área de um aterro sanitário, no Estado do Rio Grande do Sul. Para isso, foram coletadas amostras de três perfis de solo sem disposição de resíduos sólidos. Os resultados indicaram que a textura do solo é muito argilosa, com a presença de argila de baixa atividade. Já com base nos ensaios geotécnicos, esse solo foi classificado como altamente plástico, onde os valores estiveram de acordo com a bibliografia consultada. Assim, conclui-se que a área apresenta uma condição favorável a operação do aterro sanitário, com base nos resultados obtidos. Isso se deve principalmente pela composição argilosa do solo, além da geologia e hidrogeologia presente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Argila, Contaminação,

## ANALYSIS OF GEOTECHNICAL PARAMETERS OF SOIL EMPLOYED BY SANITARY LAND IN THE NORTHWEST REGION IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL

**ABSTRACT:** The development of studies that aim to analyze the environment support to the development of activities with potential of contamination, is of extreme importance in the scientific environment. This research aims to evaluate the geotechnical parameters of an Oxisol, located in the area of a landfill, in the State of Rio Grande do Sul. For this, samples of three soil profiles were collected without solid waste disposal. The results indicated that the soil texture is very clayey, with the presence of low activity clay. Based on the geotechnical tests, this soil was classified as highly plastic and the values were according to the bibliography consulted. Thus, it is concluded that the area presents a favourable condition for the operation of the landfill, based on the results obtained. This is mainly due to the clay composition of the soil, besides the geology and hydrogeology present.

**KEYWORDS:** Clay, contamination, Particle size distribution, Atterberg limits, Serra Geral.

### 1 | INTRODUÇÃO

Problemas relacionados com a contaminação de solos e águas subterrâneas são situações que assolam a humanidade. Essa contaminação pode ser oriunda de diversas atividades desenvolvidas pela sociedade no meio ambiente. Dentre as muitas, aquelas que envolvem áreas de disposição de resíduos sólidos urbanas merecem destaque no cenário atual.

No Brasil, essa questão começou a ganhar repercussão no ano de 2010, com a implementação da Política Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos, através da Lei Federal 12.305/2010 (Brasil, 2010). Assim, diversos estudos são desenvolvidos, principalmente em áreas de aterros sanitários, buscando analisar o suporte do meio à operação da atividade.

Nesse sentido, Tressoldi e Consoni (1998) dizem que a proteção do meio em relação a disposição de resíduos envolve duas questões, sendo a primeira relacionada a análise da migração dos contaminantes, já a segunda envolve a garantia da estabilidade do local utilizado para a disposição dos resíduos. Sendo que, estudos que avaliem as condições geotécnicas do solo são amplamente utilizados.

Souza et al. (2000) dizem que a consistência de um solo é uma das características mais importantes para a engenharia, pois determina o seu comportamento, relacionando-se, entre outros fatores, com a percolação de água pelo solo. Essa relação é de suma importância, principalmente em áreas de disposição de resíduos sólidos, pois pode indicar a percolação de contaminantes no perfil, ocasionando a contaminação deste ou do aquífero, por exemplo.

Diante desses fatos, esse estudo tem por objetivo analisar os parâmetros geotécnicos do solo de um aterro sanitário, localizado na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Essa área está inserida nas Rochas vulcânicas do Planalto, na Região da Bacia Sedimentar do Paraná.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo está localizada no município de Seberi (Figura 1), situado no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, na latitude  $27^{\circ} 28' 4''$  S e longitude  $53^{\circ} 24' 09''$ , oeste de Greenwich (IBGE, 2010). Situa-se em uma altitude média de 546 m acima do nível médio do mar, e abrange uma área de 301 km<sup>2</sup>, com uma população de 11.098 habitantes (IBGE, 2010).

O município pertence a região Hidrográfica do Rio Uruguai (U), Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea - U100 (SEMA, 2004). Segundo a classificação de Köppen, apresenta um clima cfa2, subtropical úmido (MORENO, 1961), com um total de chuvas anuais médias de 1.900 mm (SOTÉRIO et al., 2005), sendo que as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano.

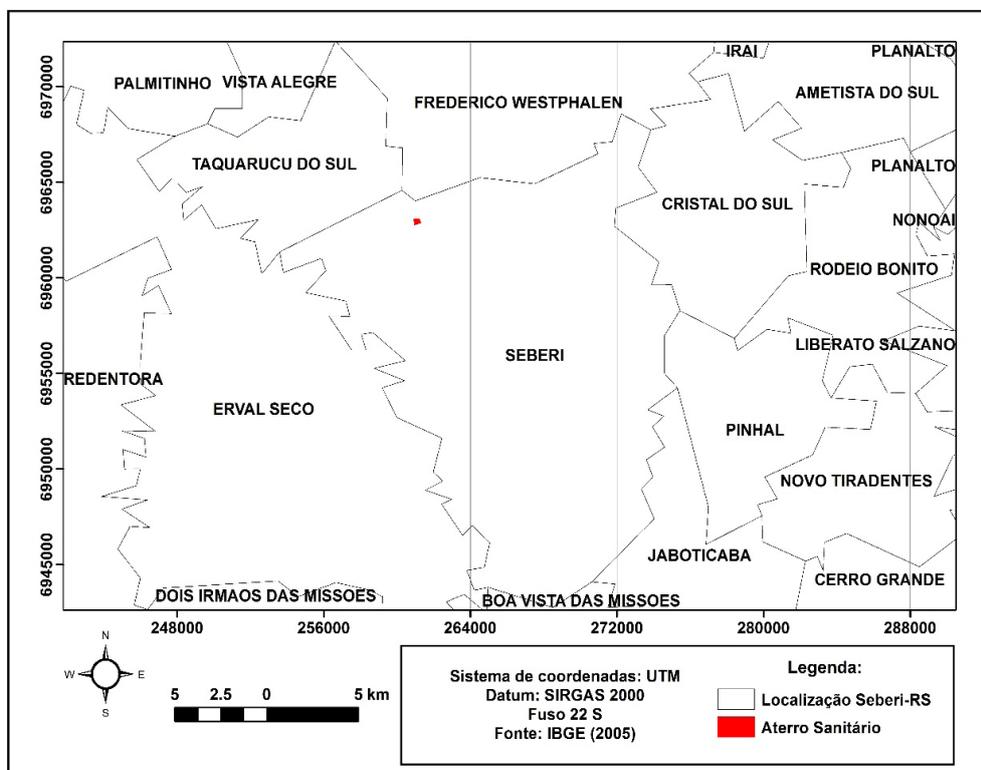


Figura 1 – Localização da área do aterro sanitário.

O município está situado em área de afloramento da Formação Serra Geral,

Fácies Paranapanema, constituída por derrames basálticos granulares finos, melanocráticos, contendo horizontes vesiculares, espessos preenchidos com quartzo (ametista), zeólitas, carbonatos, seladonita, cobre nativo e barita (CPRM, 2006). Portanto, os solos são originários do intemperismo de rochas vulcânicas da Província das Rochas Vulcânicas do Planalto (FEPAM, 2014).

Em relação a hidrogeologia, na área de estudo ocorre o Sistema Aquífero Serra Geral I (sg1). Segundo Machado e Freitas (2005) a unidade hidroestratigráfica sg1 delimita-se pelos municípios de Soledade, Tupanciretã, Santo Antônio das Missões, Santa Rosa, Tenente Portela, Nonoai, Erechim e Passo Fundo, onde constitui-se principalmente, de litologias basálticas, amigdalóides e fraturadas, capeadas por espesso solo avermelhado.

O aterro sanitário, está localizado as margens da rodovia BR 386/158, no distrito de Osvaldo Cruz, distante cerca de 5 km do perímetro urbano do município de Seberi - RS. Está situado na porção rural do município, onde localizam-se basicamente cultivos agrícolas para subsistência (soja, milho, trigo e feijão) além de pastagens. Sua área é de 7,7 há, sendo um dos pontos de amarração da área, tem coordenadas 27° 26'06,34" S de latitude e 53° 25'07,33" W de longitude.

A unidade é um consórcio público 30 municípios, atendendo cerca de 160 mil habitantes, sendo que destes, segundo IBGE (2010), 83.383 habitantes residem na zona urbana e 69.258 na zona rural. O empreendimento é responsável pelo processo de triagem, compostagem e destino final dos resíduos sólidos urbanos (RSUs). A unidade recebe entorno de 1.200 toneladas de resíduos sólidos urbanos mensalmente (KEMERICH et al., 2013).

## **2.2 Informações de Solo, Coleta de Amostras e Identificação dos Argilominerais**

No local o solo foi classificado, conforme EMBRAPA (2013), como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. Segundo Streck et al. (2008), os Latossolos são solos bem drenados, profundos, apresentando perfis bem homogêneos, além disso, são solos bem intemperizados. Esses solos, segundo EMBRAPA (2013), possuem uma evolução muito grande, resultante de uma intemperização intensa dos constituintes minerais primários, como os feldspatos (plagioclásios) e mesmo secundários menos resistentes, por exemplo as hematitas. Além disso, sua textura foi classificada como muito argilosa (LEMOS; SANTOS, 1986). Para a determinação da granulometria, seguiu-se a metodologia descrita pela NBR 7181/1984 (ABNT, 1984c).

Em relação aos parâmetros geotécnicos (limite de liquidez, limite de plasticidade e limite de contração), esses foram realizados nas amostras indeformadas coletadas nos perfis P1, P2 e P3. Esses situavam-se em locais ainda não utilizados para células de disposição de RSUs, e podem ser observados na Figura 8. Foram utilizadas as etapas descritas pela NBR 6459/1984 (ABNT, 1984a), NBR 7180/1984 (ABNT, 1984b) e NBR 7183/1982 (ABNT, 1982), respectivamente. Assim foi possível ter conhecimento dos parâmetros de estabilidade do Latossolo ocupado pelo aterro

sanitário.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 mostra a granulometria nos três perfis de solo analisados. Como pode ser observado, os valores obtidos nos ensaios granulométricos foram semelhantes nos três perfis, e mostram que o substrato rochoso, formado a partir do intemperismo de rochas vulcânicas é bastante homogêneo. Essa é uma característica dos Latossolos (STRECK et al. 2008; EMBRAPA, 2013).

A ascensão capilar é maior em solos argilosos (HEATH, 1982). Assim, acredita-se que nesse meio predominantemente argiloso não haja a formação de um lençol freático típico, como ocorre em arenitos de aquíferos livres (não confinados). Nas rochas vulcânicas existem anisotropias no meio subterrâneo (REGINATO et al., 2007), como fissuras amigdaladas, entre a zona intemperizada e rocha sã, onde não há um lençol freático típico.

Ponto/Horizonte	%		
	Areia	Silte	Argila
P1/HzA	4,80	7,30	87,90
P1/HzB	6,25	8,09	85,66
P2/HzA	6,55	7,01	86,44
P2/HzB	6,29	7,96	85,75
P3/HzA	5,10	8,75	86,15
P3/HzB	5,32	7,21	87,47
MÉDIA	5,78	7,63	86,29

Tabela 1 - Valores granulométricos nos perfis de solo analisados.

Esses solos argilosos intemperizados, tendem a apresentar menor dispersão de água (DENARDIN et al., 2001). Sendo assim, considera-se que a dispersão seria menor nas camadas superficiais, porém não muito desigual das camadas inferiores, não ocorrendo grande mudança nos valores relativos de argila entre os horizontes.

Em relação aos parâmetros de consistência do solo, a Tabela 2 ilustra os valores encontrados para Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Limite de Contração (LC) e IP (Índice de Plasticidade) em três perfis e nos seis horizontes de solos analisados.

Ponto/Horizonte	Limites médios (%)			Índice de plasticidade
	Liquidez	Plasticidade	Contração	
P1/HzA	70,00	35,05	28,71	34,95
P1/HzB	67,00	42,00	31,53	25,00
P2/HzA	74,00	42,00	30,00	32,00
P2/HzB	78,00	46,93	30,19	31,07
P3/HzA	64,00	39,46	25,31	24,54
P3/HzB	64,00	44,94	27,89	19,06
MÉDIA	68,83	41,73	28,94	27,10

Tabela 2 - Limites de consistência em três perfis e horizontes de solo analisados.

Notou-se que tanto o LP como o LC apresentaram o mesmo comportamento nos três perfis de solos, esses cresceram acompanhando a profundidade do terreno. Porém, IP apresentou comportamento distinto, com valores mais elevados na superfície do terreno, no P1. Como os solos argilosos tendem a apresentar maior capacidade de retenção de água (SERRAT et al., 2002) e, conforme a Tabela 1, os horizontes superficiais do solo apresentaram maiores valores de argila, justificase os valores superiores de IP nessa camada. Além disso, presume-se que nas camadas superiores de solo ocorrerá uma maior retenção de água em períodos de precipitação.

Chernicharo et al. (2008), dizem que os solos de aterros sanitários devem apresentar valores de LL e IP superiores a 30 e 15 %, respectivamente. Todas essas condições foram encontradas na área de estudo, conforme a Tabela 2. Analisando-se os valores obtidos, e comparando-se aos encontrados na literatura, pode-se considerar que esses parâmetros estão estritamente relacionados com os teores de argila do meio, além da atividade dessa fração. Com base na Tabela 2, esse solo pode ser classificado, segundo a classificação de Jenkins (CAPUTO, 1987), como altamente plástico, pois apresenta valores de IP superiores a 15 %. Já a Atividade Coloidal (AC), obtida entre a razão do IP e a porcentagem de argila, segundo classificação de Skempton (1953 apud CAPUTO, 1987, p. 23), essa fração seria considerada de baixa atividade (valores de AC menores do que 0,75).

Assim, a Tabela 3 ilustra a comparação entre os resultados obtidos neste estudo e algumas pesquisas que realizaram esses testes em áreas de aterros sanitários, solos usados como camada impermeabilizante e/ou de cobertura nas áreas de disposição de resíduos sólidos

Referência	Estado	Argila (%)	Limites médios (%)		Índice de plasticidade
			Liquidez	Plasticidade	
Almeida et al. (2010)	Ceará- CE	17,00	26,00	16,00	10,00
Bastos et al. (2008)	Rio Grande - RS	26,00	32,00	16,00	16,00
Belinassi et al. (2010)	Campinas - SP	54,00	45,30	-	17,10
	Campinas - SP	53,00	62,90	-	-
Borba (2006)	Nova Iguaçu - RJ	23,30	54,30	41,50	28,30
		13,30	41,50	23,80	17,70
Costa (2002)	Saipe - BA	18,00	23,00	15,00	8,00
		51,00	65,00	29,00	36,00
Franceschet et al. (2005)	Santa Catarina - SC	25,60	76,00	-	22,00
		7,80	67,00	-	14,00
		22,30	56,00	-	11,00
		64,20	71,80	-	6,80
Leme e Miguel (2014)	Campinas - SP	37,70	49,00	24,00	25,00
Lukiantchuki e Esquivel (2006)	São Paulo - SP	21,00	26,00	17,00	9,00

Tabela 3 – Valores encontrados em pesquisas para os Limites de Atterberg em diversas regiões climáticas do Brasil.

Fonte: Elaboração própria.

Como pode ser observado na Tabela 3, os valores de argila variaram de 7,80 a 54,00 %, de LL 23,00 a 76,00 % e de IP 8,00 a 36,00 %, respectivamente. Verifica-se a amplitude dos resultados obtidos, destacando-se aqueles de Franceschet et al. (2005), no qual os valores de argila e LL encontrados pelos autores foram de 7,8 e 67,0 %, respectivamente. Embora o baixo teor de argila, o valor de LL foi semelhante ao encontrado nessa pesquisa (média de 68,0 %). Esse fato pode estar relacionado com a Atividade  $A_c$ , segundo Skempton (1953 *apud* CAPUTO, 1987, p. 23), que relaciona o Índice de Plasticidade e a quantidade de fração argila, se classifica como de alta atividade, no estudo realizado por Franceschet et al. (2005). Assim, esse comportamento pode estar relacionado com a atividade dessa fração, e não necessariamente somente com os teores de argila do meio.

#### 4 | CONCLUSÃO

Na área estudada, o solo foi classificado como muito argiloso, o qual apresentou valores médios de argila na ordem de 86 %. Além disso, por ser um solo com altos valores dessa fração, tende a apresentar uma menor dispersão de água pelo perfil, reduzindo possíveis percolações de contaminação pelo perfil.

No que se refere aos parâmetros geotécnicos, esse foi classificado como altamente plástico, e sua atividade coloidal como de baixa atividade. Os parâmetros estiveram de acordo com os valores propostos pela bibliografia. Sendo assim,

os resultados indicam que o solo possui condições para suporte da atividade, desempenhando sua função filtro.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. NBR 6459: **Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 6p.a
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. NBR 7180: **Solo – Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 6p.b
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. NBR 7181: **Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 13p.c
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. NBR 7183: **Determinação do limite e relação de contração de solos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1982. 3p.
- ALMEIDA, F. T. R.; SANTOS, G. O.; SILVA, R. A. C.; GOMES, C. C. Caracterização física do solo utilizado em camada de cobertura no aterro sanitário de Caucaia - Ceará. In: Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, 2010, Maceió. **Anais...** IFRN: CONNEPI, Maceió, 2010.
- BASTOS, C. A. B.; SCHMITT, L. A.; VASCONCELOS, S. M. de; RABASSA, C. M.; SOUZA, E. W. Propriedades geotécnicas de um solo arenoso fino laterítico de barreira litorânea na Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul. **Teoria e Prática na Engenharia Civil (Online)**, Rio Grande, v. 12, p. 59-67, 2008.
- BORBA, S. M. P. **Análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudo de caso**. 2006. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- BELINASSI, L.; MIGUEL, M. G.; DOMINGUES, L. M.; FAGNANI, E.; NOUR, E. A. A. Caracterização física e química de lixiviado de aterro sanitário (chorume) antes e após a percolação em solo argiloso laterítico da região de Campinas/SP. In: XV Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2010, Gramado. **Anais...** Gramado: ABMS, 2010.
- BRASIL. Lei Federal nº 12305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 agos. 2010. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 10 fev. 2015.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 1987. 219p.
- CHERNICHARO, C. A. de L.; RUTKOWSKI, E. W.; VOLSCHAN JUNIOR, I.; CASSINI, S. T. A. **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento – nível 2**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 120p.
- COSTA, P. O. da S. **Avaliação em laboratório, do transporte de contaminantes no solo do aterro sanitário de Sauípe/BA**. 2002. 188f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Mapa geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000. CPRM: Brasília, 2006.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, N. D. Calagem compacta o solo? Fatos e hipóteses. In: II Simpósio Rotação Soja/Milho No Plantio Direto, 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafos, 2001.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Brasília: EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 353p.

FRANCESCHET, M.; CASTILHOS JÚNIOR, A. B. de.; MACCARINI, M.; PRIM, E. C. C.; FUNARI, C. Estudo dos solos utilizados para a impermeabilização da camada de base e de cobertura de aterros sanitários de Santa Catarina. In: XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, , 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande/MS: ABES, 2005.

HEATH, R. C. **Basic ground-water hidrology**. Denver: Water supply paper 2240 USGS, 1982. 86p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 12 mar. 2015.

KEMERICH, P. D. C.; FLORES, C. E. B.; BORBA, W. F.; FLORES, B. A.; PRETO, P. R. P.; DESCOVI FILHO, L. L. V.; BARROS, G.; RODRIGUES, A. C. Variação espacial das concentrações de cádmio e manganês em solo ocupado por aterro sanitário. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 17, n. 17, p. 3336-3345, Dez. 2013a.

LEME, M. A. G.; MIGUEL, M. G. Estudo geotécnico de uma mistura de solos utilizada em liner de aterros sanitários. In: XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2014, Goiânia/GO. **Anais...** São Paulo: ABMS, 2014.

LEMOS, R. C. de.; SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas: SBCS/CNPS, 1996. 84p.

LUKIANCHUKI, J. A.; ESQUIVEL, E. R. Estudo do emprego de solo-bentonita como barreira impermeabilizante em aterros sanitários. In: II Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos - Geo-Jovem e Mesa Redonda: Estabilização de Encostas na Região Serrana do Rio de Janeiro, 2006, Nova Friburgo. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS, 2006.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. Projeto mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul: escala 1:750.000, relatório final. Porto Alegre: CPRM, 2005.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Seção de Geografia. Secretaria da Agricultura. Porto Alegre, 1961. 42p.

REGINATO, P. A. R.; FINOTTI, A. R.; MICHELON, C. Comportamento hidrogeológico de poços tubulares associados a estruturas primárias das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. In: XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste, 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: ABAS, 2007.

SANTOS, A. P. G. dos. **Poluição dos solos: contaminação, remediação e prevenção**. 2004. 72f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.

SEMA. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Mapa das bacias hidrográficas e municípios do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEMA, 2004.

SOTÉRIO, P. W.; PEDROLLO, M. C. R.; ANDRIOTTI, J. L. Mapa de isoietas do Rio Grande do Sul. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005.

SOUZA, C. M. A. de; RAFULL, L. Z. L.; VIEIRA, L. B. Determinação do limite de liquidez em dois tipos de solo, utilizando-se diferentes metodologias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n.3, p. 460-464, 2000.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS – ASCAR, 2008. 222p

TRESSOLDI, M; CONSONI, A. J. **Disposição de resíduos**. In: OLIVEIRA, A. M. dos S; BRITO, S. N. A de. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: ABGE, 1998. 587p. Cap. 21.

## UMIDADE, DENSIDADE E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO SOB EXTRAÇÃO DE ARGILA, USO AGRÍCOLA E FLORESTAL NO MUNICÍPIO DE PALMITINHO/RS - RESULTADOS PRELIMINARES

**Joseane Sarmiento Lazarotto**

Engenheira Ambiental e Sanitarista (UFSM)  
mestranda de Engenharia Química, Departamento  
de Engenharia Química (UFSM). Palmitinho/RS

**RESUMO:** Este estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes usos do solo nas propriedades físicas e atividade microbiana do solo no município de Palmitinho/RS. Foram coletadas amostras de solos na profundidade de 0 a 10 cm em cinco áreas com diferentes usos e quatro repetições. Os tratamentos avaliados foram os seguintes: T1 – Área de extração de argila; T2 – Área com cultivo agrícola anual; T3 – Área em recuperação natural; T4 – Área com plantio de eucalipto; T5 – Área de mata ciliar. Foram avaliadas a umidade gravimétrica, densidade e respiração basal do solo. A respiração basal do solo foi sensível em demonstrar as alterações que ocorreram em função dos diferentes usos do solo. A área de extração de argila apresentou um aumento na densidade e redução na atividade microbiana do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** qualidade do solo; propriedades físicas do solo; respiração basal do solo.

**ABSTRACT:** This study aimed to evaluate the influence of different soil uses on physical

properties and soil microbial activity in the municipality of Palmitinho / RS. Soil samples were collected at depth of 0 to 10 cm in five areas with different uses and four replications. The treatments evaluated were as follows: T1 - Clay extraction area; T2 - Area with annual crop; T3 - Area in natural recovery; T4 - Area with eucalyptus plantation; T5 - Riparian forest area. Gravimetric moisture, soil density and basal respiration were evaluated. The basal respiration of the soil was sensitive in demonstrating the changes that occurred due to the different uses of the soil. The area of clay extraction showed an increase in density and reduction in the microbial activity of the soil.

**KEYWORDS:** soil quality; soil physical properties; basal respiration of the soil.

### 1 | INTRODUÇÃO

A qualidade ambiental é resultante de um conjunto de propriedades desejáveis que o solo, água e atmosfera devem possuir. Nesta situação, o solo desempenha papel importante, pois é um ambiente complexo, apresentando-se como uma mistura de componentes vivos e não vivos interagindo entre si e variando, naturalmente, no tempo e no espaço.

O solo tem propriedades químicas, biológicas e físicas que interagem de maneira

complexa, determinando sua qualidade e capacidade de uso. O ideal para o solo seria o uso e o manejo que estabelecessem uma associação conveniente dessas propriedades, de modo a possibilitar condições cada vez melhores para o desenvolvimento vegetal, promovendo, conseqüentemente, menores perdas de solo e de água e, por fim, maior produtividade associada à qualidade ambiental (Souza e Alves, 2003).

As atividades antrópicas como a extração da argila e a remoção da cobertura vegetal, tem um forte impacto negativo na microbiota do solo assim como, em outras propriedades do solo. Os sistemas agrícolas e florestais também tem influência na qualidade do solo e apresentam forte relação com a produção e decomposição dos restos culturais. A manutenção dos restos culturais no solo, com ou sem incorporação, e as práticas de conservação do solo enriquecem-no com matéria orgânica e reduzem impactos negativos que possam surgir pelo cultivo intensivo e sucessivo dessas áreas (Lanna e El Azhanki, 2007).

A cobertura florestal sobre um solo pode causar mudanças nas suas propriedades, especialmente pelo grau de proteção oferecido contra a erosão, pela capacidade do sistema radicular em penetrar no solo e extrair água e nutrientes e pela quantidade e qualidade da matéria orgânica produzida, que é gradualmente incorporada, aumentando o estoque de carbono orgânico (BRUN, 2008).

As propriedades físicas do solo são de fundamental importância para caracterização dos mesmos quanto ao uso e manejo, e também são parâmetros que nos permite inferir sobre os diversos fatores que atuam sobre o solo. Conforme Carvalho et al. (2007), atributos físicos como densidade e umidade são indicadores da qualidade do solo.

A degradação das propriedades físicas do solo é um dos principais processos responsáveis pela perda da qualidade estrutural e do aumento da erosão hídrica. Algumas práticas culturais e de manejo provocam alterações nas propriedades do solo, principalmente em suas características estruturais. Tais alterações podem manifestar-se de várias maneiras, influenciando o desenvolvimento das plantas (Rosa, 2010).

Os processos microbianos do solo atuam intensamente no funcionamento dos sistemas de produção, executando funções diretamente relacionadas com sua produtividade e sustentabilidade, tais como ciclagem de nutrientes, humificação, degradação de xenobióticos, controle de pragas e doenças (DE-POLLI E PIMENTEL, 2005).

A biota do solo é bastante dinâmica e facilmente influenciada pelas formas de uso e manejo do solo, ou qualquer outro distúrbio. Já as propriedades físicas e químicas do solo podem levar mais tempo para responder a essas alterações. Por essa razão, os organismos do solo e processos por eles realizados são bons indicadores para avaliação da qualidade do solo, pois além de apresentarem rápida resposta, também atuam em importantes processos ecológicos no solo (Nogueira e

Hungria, 2013).

Determinações da atividade microbiana são de grande utilidade como indicadores da qualidade biológica do solo. Estes indicadores respondem rapidamente a mudanças proporcionadas por variadas práticas de manejo, tornando sua análise uma importante ferramenta preditiva do efeito dessas práticas.

A respiração microbiana do solo pode ser usada como uma medida da atividade microbiana e empregada como indicadora de qualidade, tanto de ambientes agrícolas quanto de ambientes naturais. Esta característica é um indicador sensível e revela rapidamente alterações nas condições ambientais que porventura afetem a atividade microbiana (DE-POLLI e PIMENTEL, 2005). No entanto, a interpretação dos dados de respiração deve ser cautelosa, uma vez que o incremento na atividade respiratória pode ser desencadeado tanto pela alta produtividade de um determinado ecossistema quanto pelo estresse advindo de distúrbios ambientais (SILVA et al., 2007) ou de manejo do solo.

Considerando a influência das atividades antrópicas, agrícolas e florestais sobre as características do solo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades físicas e atividade microbiana de um solo sob diferentes usos, no município de Palmitinho/RS.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no município de Palmitinho na localidade da linha São João, na região Noroeste do Rio Grande do Sul. O clima dessa região, segundo a classificação de Koeppen, é subtropical úmido (Cfa).

O estudo foi conduzido em uma área de 15 hectares onde é realizada a extração de argila por uma fábrica local para produção de tijolos comercializados na região. Em uma área adjacente, está localizado um plantio de eucalipto (*Eucalyptus* spp) com 6 anos de idade, uma área que vem sendo cultivada anualmente com culturas de inverno/verão e no momento da coleta de solo estava sendo cultivada com soja (*Glycine max* L) e uma área em pousio por 6 anos sob revegetação natural. Como referência das condições naturais do solo foi utilizada uma área de mata ciliar.

Foram coletadas amostras de solos na profundidade de 0 a 10 cm nas cinco áreas (tratamentos), com diferentes usos do solo. Em cada área de coleta foram realizadas quatro repetições formadas por uma amostra composta.

Os tratamentos avaliados foram os seguintes:

T1 – Área de extração de argila – Área em que se realiza a extração da argila;

T2 – Área agrícola – Área com cultivo agrícola anual (soja);

T3 – Área de revegetação natural – Área sob pousio com revegetação natural por 6 anos;

T4 – Área com plantio de eucalipto – Área com plantio de eucalipto por 6 anos;

T5 – Área sob vegetação nativa – Área de mata ciliar.

As amostras coletadas foram homogeneizadas, passadas em peneiras de malha de 2 mm e limpas através da remoção cuidadosa de resíduos de plantas. Posteriormente as amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos e guardadas em geladeira até a realização da análise microbiológica no laboratório de Monitoramento Ambiental da UFSM - campus Frederico Westphalen/RS.

A respiração basal do solo foi determinada durante dez dias de incubação conforme Silva et al., (2007). As unidades experimentais foram constituídas de recipientes de vidro com tampa hermética. Foram utilizados 50 g de solo seco por recipiente, incubados a temperatura ambiente de 25 °C, com a umidade ajustada para 70% da capacidade de campo. O C-CO<sub>2</sub> produzido foi capturado por uma solução de NaOH 0,5 M e quantificado por titulação com HCl 0,3 M sendo adicionado anteriormente BaCl<sub>2</sub> 30% e utilizado fenolftaleína 1% como indicador.

As características físicas umidade gravimétrica do solo e densidade do solo foram analisadas no Laboratório de Análises Físicas do Solo da UFSM, campus Frederico Westphalen/RS.

A umidade gravimétrica do solo foi determinada segundo a metodologia da Embrapa, (1997). Para isso, uma porção de 50 g de solo de cada amostra foi pesada e colocada para secagem em estufa a 105 – 110 °C deixando nestas condições durante 24 horas ou até peso constante.

A densidade do solo foi avaliada utilizando o método do anel volumétrico. As amostras de solo foram coletadas com estrutura indeformada usando um anel de aço (Kopecky) com as bordas cortantes e volume interno de 50 cm<sup>3</sup>. Após, foram secas em estufa a 150 °C, por aproximadamente 48 horas, até peso constante, e, posteriormente foram pesadas (Embrapa, 1997).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando ocorreram diferenças significativas, foram utilizados testes de médias, utilizando-se o programa estatístico ASSISTAT versão 7.7 beta (SILVA, 2011).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de umidade gravimétrica do solo (Ug), densidade do solo (Ds) e respiração basal do solo (RBS) apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados (Tabela 01).

A umidade gravimétrica do solo variou entre 26,35% a 39,10% nos diferentes usos do solo e vegetação nativa com maior valor encontrado na área de revegetação natural e menor na área sob cultivo agrícola. Em geral, a Ug das áreas estudadas foi alta e esta sendo influenciada pela proximidade do rio Guarita com exceção, da área sob cultivo agrícola que por estar localizada mais distante do leito fluvial, esta sofrendo maior influência da ocorrência das chuvas da região.

A densidade do solo apresentou pouca variação entre as áreas estudadas com diferença significativa apenas para área de revegetação natural (Tabela 1).

Nos demais tratamentos, percebe-se que os valores de Ds, na profundidade estabelecida, independente do uso do solo, estão acima dos valores médios considerados ideais para Ds, os quais segundo Camargo & Alleoni (1997), estão compreendidos na faixa de 1,0 e 1,2 g.cm<sup>-3</sup>.

Ribeiro et al. (2010), observaram que o aumento da densidade do solo promoveu efeito depressivo no crescimento da cultura da soja e eucalipto em Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho e Amarelo, principalmente na maior densidade: 1,30 e 1,70 kg.dm<sup>-3</sup>; respectivamente.

Tratamentos	Ug	Ds	RBS
	%	g.cm <sup>-3</sup>	mgC-CO <sub>2</sub> .kg <sup>-1</sup> solo dia <sup>-1</sup>
Extração de argila	30,22ab <sup>1</sup>	1,43a	1,13 c
Cultivo agrícola	26,35b	1,39a	7,58 b
Revegetação natural	39,10a	1,13b	13,35a
Cultivo de Eucalipto	34,70ab	1,50a	13,62a
Vegetação nativa	28,89ab	1,38a	10,64ab
<b>CV%</b>	<b>17,25</b>	<b>8,29</b>	<b>19,87</b>

Tabela 1. Umidade gravimétrica do solo (Ug), densidade do solo (Ds) e respiração basal do solo (RBS) sob diferentes usos e vegetação nativa da região de Palmitinho/RS. (Profundidade 0 a 10 cm).

1. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Verificou-se em relação à vegetação nativa, aumento na Ds no cultivo de eucalipto e na área de extração de argila. Silva et al., (2009), também encontraram aumentos significativos na densidade do solo no plantio de eucalipto e pinus. Segundo Costa et al. (2003), vários fatores como tempo de utilização da área, pouca cobertura do solo, umidade do solo durante o período inicial de crescimento das plantas e arquitetura do sistema radicular podem contribuir para o aumento da densidade do solo em superfície nos sistemas florestais.

Os maiores valores encontrados na área de extração de argila, podem indicar uma maior degradação do solo uma vez que, a cobertura vegetal removida no início dos processos para o desenvolvimento dos trabalhos de extração e circulação de veículos deixa o solo exposto e susceptível à compactação e/ou adensamento. Longo et al. (2005), encontraram em área de piso de lavra de extração de cassiterita, maiores valores de densidade do solo (médias em torno de 1,47 g.cm<sup>-3</sup>), devido à grande compactação existente nessa situação.

A menor Ds encontrada na área de revegetação natural ( $1,13 \text{ g.cm}^{-3}$ ) pode ser um indicativo das alterações que estão ocorrendo em função do tempo de pousio do solo e da recuperação do mesmo. Porém, este indicador deve ser usado com cautela uma vez que, Mendes et al. (2006), relataram que a densidade de partículas, densidade do solo, volume total de poros e classe textural não foram considerados bons indicadores físicos da qualidade do solo em um estudo para avaliar as estratégias de recuperação de áreas degradadas em Itajubá/MG.

A respiração basal do solo em geral, foi baixa com valores entre 1,13 a 13,62  $\text{mgC-CO}_2.\text{kg}^{-1}$  solo  $\text{dia}^{-1}$  (Tabela 1). Batista et al. (2008), encontraram resultados para respiração microbiana do solo de 32 a 207  $\mu\text{g de CO}_2.\text{g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  entre os diferentes tratamentos com plantios puros e consorciados de eucalipto e sabiá em cava de extração de argila.

A maior atividade microbiana do solo foi observada nas áreas sob revegetação natural e cultivo de eucalipto seguido da vegetação nativa. Vários fatores podem estar relacionados à maior atividade microbiana nestas áreas como os teores de matéria orgânica, camada de serapilheira na sua superfície, além da quantidade e qualidade dos resíduos vegetais retornados ao solo uma vez que, a composição florística dessas áreas é diferenciada (Ribeiro & Walter, 1998).

A área de extração de argila apresentou a menor RBS entre os tratamentos avaliados. O solo exposto sofre com modificações nas suas características físicas, alterações na rugosidade superficial, na porosidade, na disponibilidade de água subsuperficial e na atividade biológica ali presente (PORTELA e GOMES, 2005), refletindo nos resultados encontrados neste estudo.

A influência dos tratamentos avaliados na respiração basal do solo ocorreu devido à grande sensibilidade dos microrganismos diante das atividades antrópicas no meio ambiente. Penã et al., (2005) utilizaram a respiração microbiana como indicador de qualidade do solo em ecossistema florestal e em solos de áreas degradadas e concluíram que, a respiração microbiana seria um bom indicador microbiológico para caracterizar a qualidade desses solos.

Outras análises, químicas e microbiológicas estão sendo realizadas para o melhor entendimento da dinâmica da população e atividade microbiana nos sistemas estudados assim como, sua integração com as características físicas e químicas. Quanto mais informações sobre as características do solo, maior o entendimento sobre a qualidade do mesmo e isto possibilita o planejamento do seu uso sustentável ao longo do tempo.

#### **4 | CONCLUSÃO**

A respiração basal do solo foi sensível em demonstrar as alterações que ocorreram em função do seu uso, possibilitando a utilização desta característica

como indicador de qualidade ambiental.

O uso intensivo do solo através da extração da argila contribui para o aumento da densidade e redução da atividade microbiana.

Outras características químicas e microbiológicas do solo devem ser avaliadas para o melhor entendimento da influência dos sistemas estudados na qualidade do solo e do ambiente.

## REFERÊNCIAS

- BATISTA, Q.R.; FREITAS, M.S.M.; MARTINS, M.A.; SILVA, C.F. **Bioqualidade de área degradada pela extração de argila, revegetada com *Eucalyptus* spp. e sabiá.** Caatinga, 21:169-178, 2008.
- BRUN, E. J. **Matéria orgânica do solo em plantios de *Pinus taeda* e *P. elliottii* em duas regiões do Rio Grande do Sul.** 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008
- CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas .** Piracicaba: USP/ESALQ, 1997.132p.
- CARVALHO, A.J.A.; SOUZA, E.H.; MARQUES, C.T.S.; GAMA, E.V.S.; NACIF, P.G.S. **Caracterização física dos solos dos quintais agroflorestais e cultivos monotípicos na região de Amargosa, Bahia.** Rev. Bras. de Agroecologia. vol.2, n.2. pag. 941-944. 2007.
- COSTA, A.M.; SOUZA, M.A.S.; SILVA JUNIOR, A.M.; FALQUETO, R.J.; BORGES, E.N. **Influência da cobertura vegetal na densidade de três solos da cerrado.** In: Anais. II Simpósio Regional de Geografia. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia – MG. 2003.
- DE-POLLI, HELVÉCIO; PIMENTEL, MÁRCIO SAMPAIO. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, ADRIANA MARIA; ASSIS, RENATO LINHARES (eds.) **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável.** Brasília-DF: Embrapa, 2005.p. 17-28.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo /** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p. : il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1)
- LANNA, A. C.; EL AZANKI, L. R. M. **Propriedades microbiológicas e bioquímicas do solo para validar alternativas de manejo.** Revista Anhangüera, Goiânia, v. 8, n. 1, p. 21-36, jan./dez. 2007.
- LONGO, R.M.; RIBEIRO, A.I.; MELO, W.J. **Caracterização física e química de áreas mineradas pela extração de cassiterita.** Bragantia, v.64, p.101-107, 2005.
- MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P.; MELLONI, R. **Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá-MG.** Cerne, v.12, p.211-220, 2006.
- NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. **Indicadores microbiológicos da qualidade do solo.** In: REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., Londrina. Sistemas conservacionistas de produção e sua interação com a Ciência do Solo: resumos. Londrina: IAPAR, 2013. p. 539-544.
- PEÑA, M.L.P., MARQUES, R., JAHNEL, M.C., ANJOS, A. **Respiração microbiana como indicadores da qualidade do solo em ecossistema florestal.** Floresta 2005; 35(1):117-126.
- PORTELA, M.O.B.; GOMES, J.M.A. **A extração de argila no bairro olarias (em Teresina – PI) e suas implicações socioeconômicas e ambiental.** In: VI Encontro Nacional de ECOECO, 2005, Brasília (DF).

RIBEIRO, M. A. V.; NOVAIS, R. F.; FAQUIN, V.; FERREIRA, M. M.; FURTINI NETO, A. E.; LIMA, J. M.; VILLANI, M. E. A. **Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 34, n. 04, p. 1157-1116.

RIBEIRO, J.F., WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano SM, Almeida SP (eds) **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, EMBRAPA. 556pp.1998.

ROSA, S. F. **Propriedades físicas e químicas de um solo arenoso sob o cultivo de *Eucalyptus* spp**. Santa Maria: UFSM, 2010. 92p. Dissertação de Mestrado.

SILVA, F. de A. S. **Assistat. Versão 7.7 beta (2011)**. Disponível em:< <http://www.assistat.com/indexp.html>>.

SILVA, E.E.; AZEVEDO, P.H.S. de; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>)**. EMBRAPA Produção de informação; Rio de Janeiro: Seropédica, 2007. (Comunicado Técnico, 99).

SILVA, L.G.; MENDES, I.C.; REIS-JUNIOR, F.B.; FERNANDES, M.F.; MELO, J.T.; KATO, E. **Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado sob plantio de espécies florestais**. Planaltina/DF:EMBRAPA – Cerrados.

SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. **Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos**. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 7:18-23, 2003.

## ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE AGREGADOS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO-RJ

### **Marcos Gervasio Pereira**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica – RJ

### **Luiz Alberto da Silva Rodrigues Pinto**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica – RJ

### **Sandra de Santana Lima**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica – RJ

### **Otavio Augusto Queiroz dos Santos**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica – RJ

### **Igor de Sousa Morais**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica – RJ

### **Robert Ferreira**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica – RJ

### **Wanderson Farias da Silva Junior**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica – RJ

### **Eduardo Carvalho da Silva Neto**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica – RJ

### **Hugo de Souza Fagundes**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica – RJ

### **Yan Vidal de Figueiredo Gomes Diniz**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,  
Seropédica – RJ

**RESUMO:** O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial emprego de coprólitos de minhocas e agregados como indicadores de qualidade do solo em áreas de Organossolos Tiomórficos sob coberturas vegetais e sistemas de cultivo distintos no município do Rio de Janeiro-RJ. O estudo foi realizado numa propriedade, localizada na Estrada Reta do Rio Grande, Bairro Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro-RJ. Foram separadas três áreas, sendo: MAN - área com cultivo de mandioca sob constante revolvimento do solo; MAA - área de mata submetida à ação antrópica sem revolvimento, há 20 anos; COQ - área com cultivo de coqueiros, há 15 anos com plantio de mandioca na entrelinha. Foram coletadas três tipos de amostras de agregados, à saber: coprólitos de minhocas (AGREG1) e amostras de solo indeformadas nas camadas 0-0,05 (AGREG2) e 0,05-0,10 m (AGREG3) de profundidade. Totalizando 4 repetições por área. Os maiores valores de DMP foram verificados para os coprólitos nas áreas MAA e COQ. O conteúdo de CT das áreas MAA e COQ foi superior ao observado na área MAN nos três tipos de agregados. Os coprólitos apresentaram maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  e os menores teores de  $\text{Al}^{3+}$  na área MAA. Os coprólitos de minhocas podem ser considerados potenciais indicadores de qualidade do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** coprólitos de minhocas,

## PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOIL AGGREGATES UNDER DIFFERENTS CULTIVATION SYSTEMS IN RIO DE JANEIRO-RJ

**ABSTRACT:** The aim of this study was to evaluate the potential use of earthworm casts and aggregates as indicators of soil quality in areas of Histosols under different vegetation cover and cultivation systems in Rio de Janeiro-RJ. The study was conducted on a property located on the Estrada Reta do Rio Grande, Santa Cruz District, in Rio de Janeiro-RJ. Three areas were separated: MAN – area with cassava cultivation under constant soil tillage, MAA – anthropized forest area without revolving for 20 years, COQ – area with coconut cultivation, 15 years ago with the planting of cassava between the lines. Three types of aggregate sample were collected: earthworm casts (AGREG1) and undisturbed soil samples at depths 0-0,05 (AGREG2) and 0,05-0,10 (AGREG3) m, totaling 4 repetitions per area. The highest DMP values were found in the earthworm casts in the MAA and COQ areas. The CT content of the MAA and COQ areas was higher than that observed in the MAN area in the three aggregate types. The earthworm casts presented the  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{K}^{+}$  contents and the lowest  $\text{Al}^{3+}$  contents in the MAA area. The earthworm casts presented higher nutrient and carbon content, could be considered as potential indicators of soil quality.

**KEYWORDS:** earthworm casts, soil management, Histosols.

### 1 | INTRODUÇÃO

Os Organossolos, anteriormente denominados solos Orgânicos, são definidos como solos constituídos por material orgânico apresentando teores de carbono orgânico  $\geq 80 \text{ g kg}^{-1}$  e espessura variável Santos et al. (2018). No estado do Rio de Janeiro esse solos ocorrem em maior expressão em planícies fluviais, formados em condições de drenagem impedida, sendo largamente utilizados com cultivos arroz alagado ou oleráceas. Por vez, para a sua utilização os Organossolos são drenados, e quando essa prática é feita de forma incorreta ocorre um processo denominado de subsidência que conduz a redução do volume do solo e diminuição dos teores de carbono orgânico em especial nas camadas superficiais do solo (Pereira et al., 2005).

Em função da sua fragilidade ambiental esses solos necessitam que sejam propostos indicadores de qualidade que contribuam para um melhor direcionamento do seu manejo, propiciando uma menor degradação. A partir do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar o potencial emprego de coprólitos de minhocas e agregados como indicadores de qualidade do solo em áreas de Organossolos Tiomórficos sob coberturas vegetais e sistemas de cultivo distintos no município do Rio de Janeiro-RJ.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado numa propriedade, localizada na Estrada Retra do Rio Grande, Bairro Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro-RJ (Figura 1). O clima da região é tropical úmido Aw, de acordo com a classificação de Köppen (Alvares et al., 2014), com estação chuvosa no verão e seca no inverno, sendo este frio e seco. Os valores médios mensais de precipitação e temperatura da região de estudo nos últimos 20 anos (CLIMATE-DATA.ORG, 2019) são apresentados na figura 2.

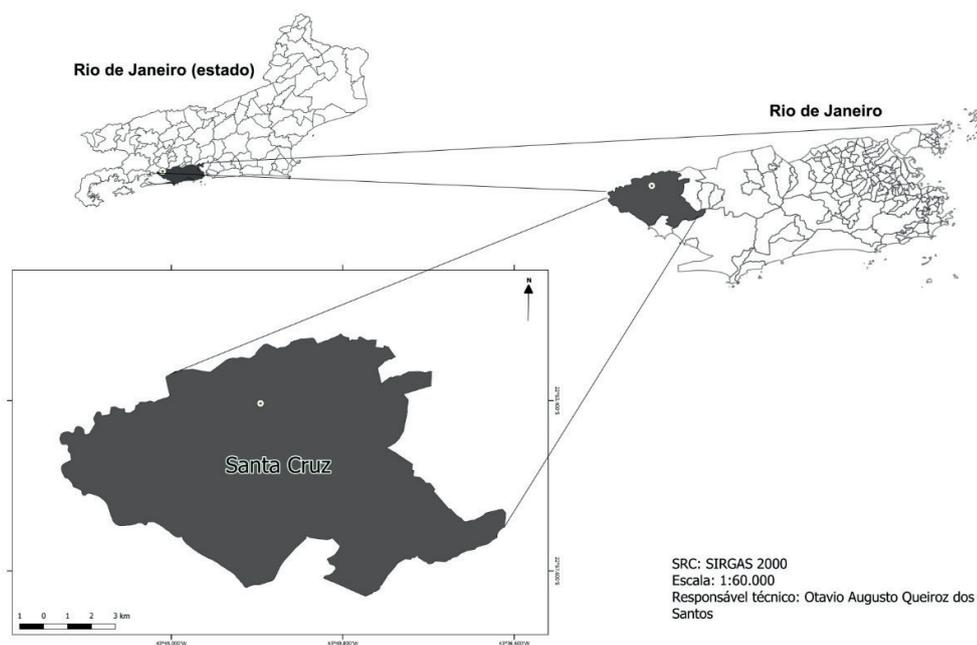


Figura 1. Área de estudo, localizada na Estrada Retra do Rio Grande, Bairro Santa Cruz, no município do Rio de Janeiro-RJ.

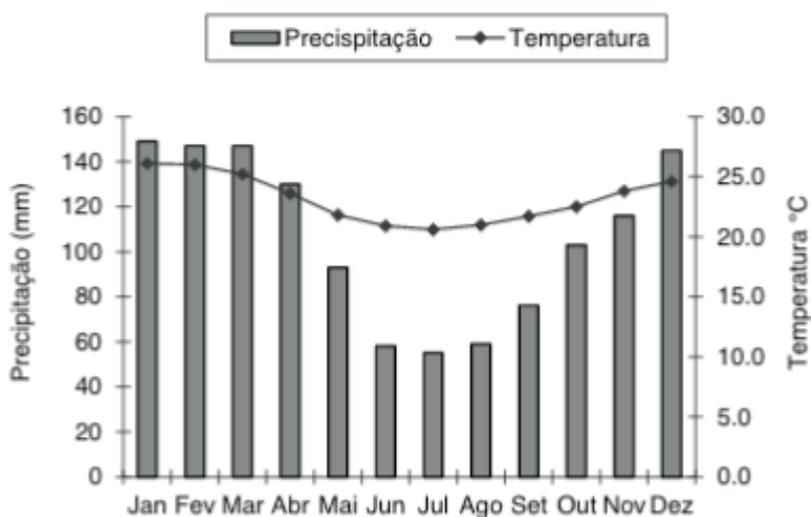


Figura 2. Variação da média mensal da precipitação e da temperatura durante o ano do estudo.

A propriedade possui aproximadamente 50 hectares, sob solos classificados como Organossolos Tiomórficos (Santos et al., 2018), que eram cultivados em sistema convencional para a produção de hortaliças, posteriormente foi adotado o uso de diferentes níveis de intensidade de cultivo para a produção agrícola. Foram selecionadas três áreas amostrais com distintas coberturas vegetais e sistemas de cultivo (Figura 3). A descrição detalhada das áreas amostrais selecionadas é apresentada na tabela 1.

Sistema de cultivo	Descrição
MAN	Área com cultivo de mandioca sob constante revolvimento do solo, totalizando de 20 ha, 5 m de altitude, localizada entre a latitude 22°53'31" (S) e longitude 43°42'42" (O).
MAA	Área de mata submetida à ação antrópica sem revolvimento, há 20 anos, totalizando de 0,025 ha, 5 m de altitude, localizada entre a latitude 22°53'32" (S) e longitude 43°42'41" (O).
COQ	Área com cultivo de coqueiros, há 15 anos com plantio de mandioca na entrelinha. Com o total de 30 ha, 3 m de altitude, localizada entre a latitude 22°53'23" (S) e longitude 43°42'37" (O).

Tabela 1. Histórico, descrição e localização das áreas de estudo.

A amostragem foi realizada em abril de 2019 sendo coletadas três tipos de amostras de agregados, à saber: coprólitos de minhocas (agregados biogênicos) (AGREG1), coletados por catação manual na superfície dos diferentes sistemas de cultivo com base em sua morfologia diferenciada; e amostras de solo indeformadas nas camadas 0-0,05 (AGREG2) e 0,05-0,10 m (AGREG3) de profundidade. Foram realizadas 4 repetições por área para cada tipo de amostra. Após a coleta, as amostras foram submetidas a peneiramento em conjunto de tamises de 8,0 e 4,0 mm de malha, sendo analisados os agregados retidos neste intervalo. Estes foram submetidos às análises físicas e químicas após secagem à sombra.

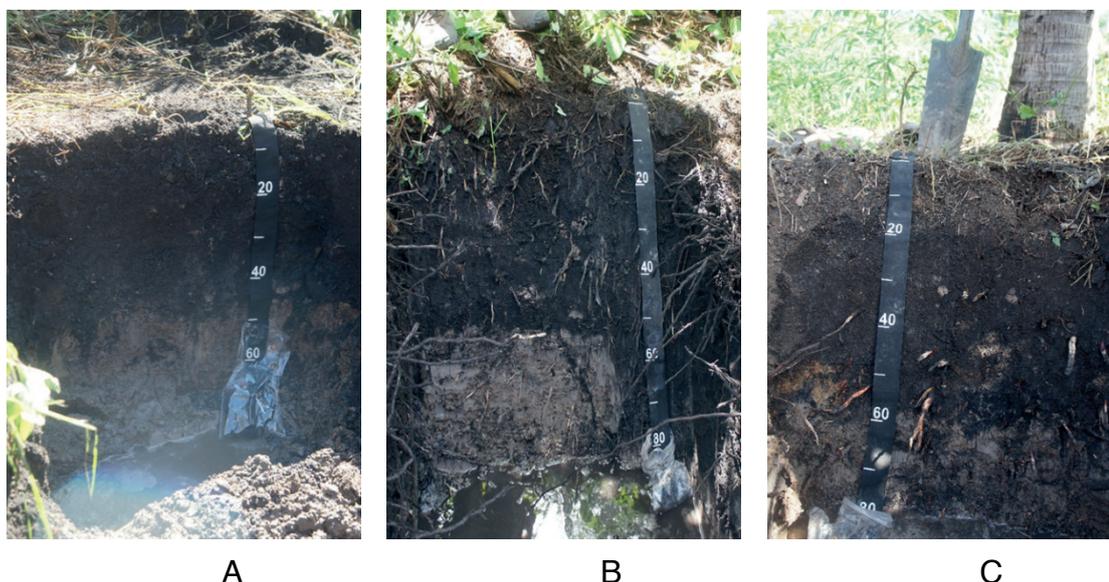


Figura 3. Foto do perfil de solo referente a cada área amostral, à saber: área com cultivo de mandioca (MAN) (A); área de mata submetida à ação antrópica (MAA) (B); e área com cultivo de coqueiros (COQ) (C).

Foto: Otavio Augusto Queiroz dos Santos, 2019.

Parte das amostras de agregados foi submetida à análise de estabilidade em meio aquoso, utilizando-se a técnica de tamisação vertical, compondo um conjunto de peneiras com diâmetro de malha decrescente, de 2,0; 1,0; 0,50; 0,25 e 0,105 mm, por 15 min no aparelho de Yooder. Transcorrido esse tempo, o material retido em cada peneira foi retirado, separado com jato d'água, colocado em placas de pétri previamente pesadas e identificadas, e levado à estufa a 105 °C, até a obtenção de massa constante. A partir dos resultados da massa dos agregados foi calculado o diâmetro médio ponderado (DMP) das amostras (Teixeira et al., 2018).

Posteriormente, outra parte das amostras de agregados foi destorroada e passada em peneira de 2,0 mm de malha, obtendo-se assim a fração terra fina seca ao ar (TFSA) na qual foram determinados os valores de pH em água, e teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{H}^+\text{+Al}$  e P, e em seguida calculados os valores do complexo sortivo, conforme Teixeira et al. (2018). Em sequência, foi quantificado o teor de carbono total (CT) das amostras de agregados pelo método de combustão a seco em analisador elementar Perkin Elmer 2400 CHN, realizada utilizando  $1,1 \pm 0,1$  mg de amostras pesadas em micro balança acoplada ao aparelho.

O modelo experimental utilizado foi o delineamento inteiramente casualidade (DIC), com 3 áreas amostrais (MAN, MAA e COQ), 3 tipos de amostras de agregados (AGREG1, AGREG2 e AGREG3), e 4 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o software Sisvar 4.3 e as médias comparadas através do teste Tukey a 5% de probabilidade.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em síntese, as amostras de agregados AGREG1 nas áreas MAA e COQ

apresentaram maior variabilidade nos resultados dos atributos avaliados.

Na comparação entre as áreas MAA e COQ, foram verificados os maiores valores de DMP em AGREG1, sendo observados agregados mais estáveis, por consequência destas áreas serem submetidas a pouco ou nenhum revolvimento (Figura 4). De forma geral, o revolvimento prejudica o equilíbrio do solo, por romper os agregados e expor a matéria orgânica protegida do processo de oxidação. O revolvimento também é indiretamente responsável pela aceleração dos processos erosivos, visto que, ao promover a destruição dos agregados reduz a infiltração de água favorecendo erosão hídrica (Skaraboto et al., 2018).

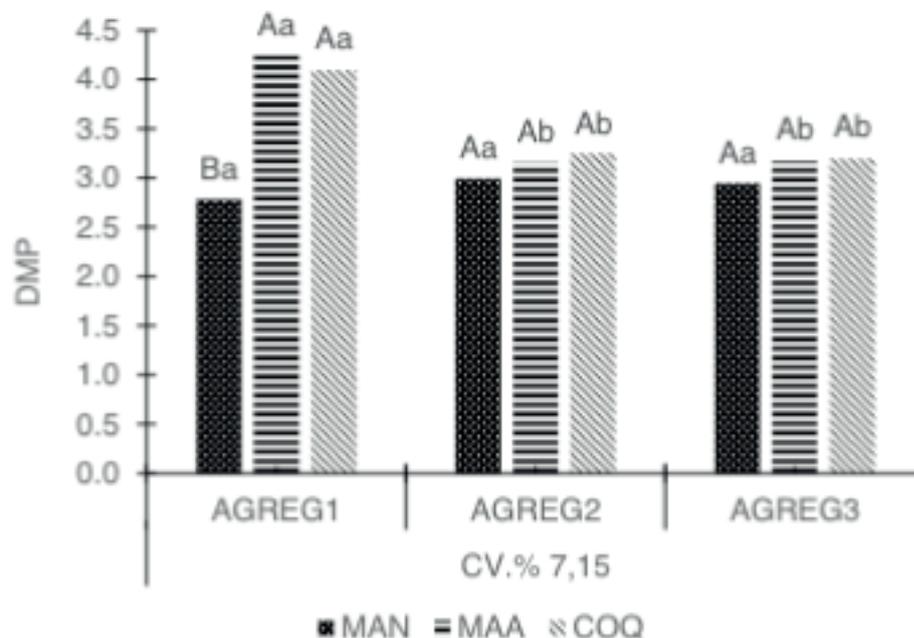


Figura 4. DMP de diferentes tipos de amostras de agregados em áreas sob diferentes sistemas de cultivo no município do Rio de Janeiro-RJ.

DMP: Diâmetro médio ponderado; MAN: Área com cultivo de mandioca sob constante revolvimento do solo; MAA: Área de mata antropizada sem revolvimento há 20 anos; COQ: Área com cultivo de coqueiro há 15 anos com plantio de mandioca na entrelinha.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre os sistemas de cultivo para o mesmo tipo de amostra de agregados e mesma letra minúscula não diferem entre os tipos de amostras de agregados para cada sistema de cultivo (teste de Tukey,  $p < 0,05$ ).

Na a comparação entre os agregados, verificou-se para a amostra AGREG1 maiores valores de DMP nas áreas MAA e COQ, indicando maior estabilidade dos coprólitos quando submetidos ao peneiramento por via úmida. As minhocas, tem papel fundamental na formação e estabilização dos agregados (agregados biogênicos). Esses animais alimentam-se de partículas do substrato ao mesmo tempo em que se movimentam no solo, deixando o solo mais poroso criando espaços por onde o

ar e a água circulam livremente (Bartz et al., 2007). Além disso, seus excrementos (coprólitos) são parte fundamental na formação de agregados estáveis e resistentes a forças desagregadoras.

As partículas (minerais e orgânicas) do substrato, ao serem ingeridas são misturadas ao muco no interior do sistema digestório das minhocas (Oyedele et al., 2006), esse processo é responsável pela formação de interações organo-minerais (matéria orgânica-íons-argila), possibilitando a formação de coprólitos mais estáveis (Silva Neto et al., 2010). De acordo com Fernandes et al. (2017), os coprólitos têm potencial para serem enquadrados como indicadores de qualidade do solo, associados a ambientes mais estruturados, capazes de manter os processos intrínsecos a sua formação.

Em relação aos teores de carbono total (CT), foram verificadas diferenças entre as áreas. O conteúdo de CT das áreas MAA e COQ foi superior ao observado na área MAN nos três tipos de agregados (Figura 5). Vale ressaltar, que os menores valores de DMP e CT foram observados na área MAN. Esse padrão pode ser decorrente da camada superficial do solo nessa área ser submetida à constante revolvimento, que contribui para a destruição dos agregados e exposição da matéria orgânica a degradação microbiana.

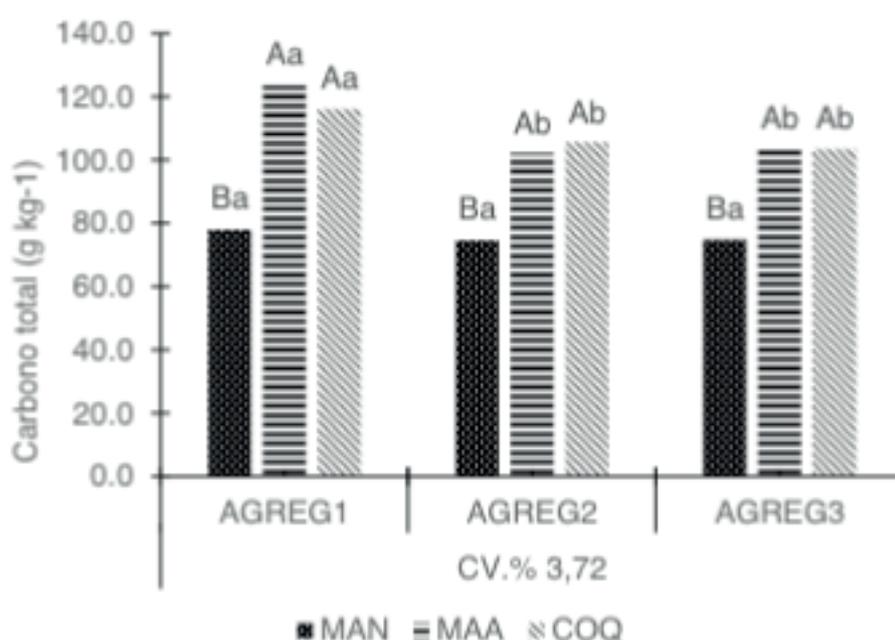


Figura 5. Carbono total (g kg<sup>-1</sup>) de diferentes tipos de amostras de agregados em áreas sob diferentes sistemas de cultivo no municípios do Rio de Janeiro-RJ.

DMP: Diâmetro médio ponderado; MAN: Área com cultivo de mandioca sob constante revolvimento do solo; MAA: Área de mata submetida à ação antrópica sem revolvimento há 20 anos; COQ: Área com cultivo de coqueiro há 15 anos com plantio de mandioca na entrelinha.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre os sistemas de cultivo para o mesmo tipo de amostra de agregados e mesma letra minúscula não diferem entre os tipos de amostras de agregados para cada sistema de cultivo (teste de Tukey,  $p < 0,05$ ).

Entre os agregados, nos AGREG1 foram verificados os maiores teores de CT nas áreas MAA e COQ em comparação aos agregados AGREG2 e AGREG3. De acordo com Silva Neto et al. (2010), os coprólitos contribuem mais efetivamente na proteção da matéria orgânica do solo, reduzindo suas taxas de decomposição e elevando o potencial de sequestro de carbono pelo solo.

Quanto aos atributos químicos, em resumo, os agregados AGREG1 da área MAA foram observados os maiores teores de cátions básicos trocáveis (Tabela 2).

Na comparação entre os agregados, em geral, foi verificado que os AGREG1 apresentaram maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  e os menores teores de  $\text{Al}^{3+}$  na área MAA, em sequência na área COQ, sendo estas as áreas com menor intensidade de manejo (Tabela 2). Para Buck et al. (1999), o maior teor de nutrientes nos coprólitos ocorre independente da espécie de minhoca, em diferentes tipos de coberturas vegetais e de sistemas de cultivos agrícolas. Tal afirmação não corrobora com os resultados verificados no presente estudo.

Áreas	pH			$\text{Ca}^{2+}$		
	AGREG1	AGREG2	AGREG3	AGREG1	AGREG2	AGREG3
	----- $\text{H}_2\text{O}$ -----			----- $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ -----		
MAN	5,30 Ba	4,88 Bb	4,81 Bb	3,60 Ba	2,66 Ba	2,66 Ba
MAA	5,91 Aa	5,27 Ab	5,41 Ab	5,90 Aa	4,03 Ab	4,56 Ab
COQ	5,08 Ba	4,70 Bb	4,52 Bb	3,53 Ba	1,53 Bb	1,46 Bb
CV.%	2,90			18,84		
Áreas	$\text{Mg}^{2+}$			$\text{Al}^{3+}$		
	AGREG1	AGREG2	AGREG3	AGREG1	AGREG2	AGREG3
	----- $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ -----			----- $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ -----		
MAN	2,40 Ba	2,80 ABA	2,30ABA	0,30 Aa	0,66 Aa	0,63 Ba
MAA	5,50 Aa	3,53 Ab	2,46 Ab	0,10 Aa	0,10 Ba	0,40 Ba
COQ	3,30 Ba	2,06 Bab	1,13 Bb	0,40 Ab	0,63 Ab	1,10 Aa
CV.%	21,06			40,64		
Áreas	$\text{K}^+$			P		
	AGREG1	AGREG2	AGREG3	AGREG1	AGREG2	AGREG3
	----- $\text{mg dm}^{-3}$ -----			----- $\text{mg dm}^{-3}$ -----		
MAN	667 Ba	459B ab	285 Ab	759Aab	907 Aa	613 Ab
MAA	1458 Aa	875 Ab	411 Ac	660 Aa	532 Ba	311 Bb
COQ	1023 Ba	280 Bb	308 Ab	175 Ba	174 Ca	168 Ba
CV.%	26,63			16,85		

Tabela 2. Caracterização dos atributos químicos de tipos de amostras de agregados em áreas sob diferentes sistemas de cultivo no município do Rio de Janeiro-RJ

MAN: Área com cultivo de mandioca sob constante revolvimento do solo; MAA: Área de mata submetida à ação antrópica sem revolvimento há 20 anos; COQ: Área com cultivo de coqueiro há 15 anos com plantio de mandioca na entrelinha; AGREG1: coprólitos de minhocas; AGREG2: agregados de 0-0,05 m; AGREG3: agregados de 0,05-0,10 m.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem entre os sistemas de cultivo para o mesmo tipo de amostras de agregados e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre os tipos de amostras de agregados para cada sistema de cultivo (teste de Tukey,  $p < 0,05$ ).

Os elevados teores de  $\text{Ca}^{2+}$  nos coprólitos podem ser decorrentes do enriquecimento do material durante o processamento pelo aparelho digestivo das minhocas em função da presença de glândulas calcíferas (Schrader & Zhang, 1997, citado por Silva Neto et al., 2010).

Os maiores teores de  $\text{K}^+$  nos coprólitos podem ser devido a liberação deste elemento dos materiais orgânicos, a partir da fragmentação ocorrida durante a digestão (Noguera et al., 2010). Consequentemente, para a soma de bases (valor S) e a capacidade de troca catiônica (valor T) dos agregados AGREG1 foram verificados valores médios superiores nas mesmas áreas citadas (Tabela 3).

Em estudo comparando coprólitos de *Chibui bari* e amostras de solo deformadas de áreas adjacentes sob diferentes coberturas vegetais, Fiuza et al. (2011), verificaram concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , P carbono orgânico total e CTC maiores e teores de  $\text{Al}^{3+}$  menores nos coprólitos em comparação as amostras de solo em todas as áreas avaliadas. De maneira geral, a maior parte destes resultados corroboram com os encontrados no presente estudo para os agregados AGREG1 da área MAA.

Vale ressaltar, que os coprólitos de minhocas são formados a partir de processos genéticos peculiares, contribuindo assim para que existam diferenças nos atributos químicos quando comparados aos agregados formados por outros mecanismos (Silva Neto et al., 2010).

Na comparação entre as áreas, na MAA foram observados os maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  nos três tipos de amostras de agregados. Essa área encontra-se aproximadamente há 20 anos sem revolvimento da superfície do solo, o que pode ter possibilitado a formação de agregados com elevada saturação por bases (S), como observado (Tabela 3). A área MAN submetida à maior intensidade de manejo da camada superficial, não diferiu da área COQ na maior parte dos atributos avaliados, exceto para P. Os teores de P encontrados nos três tipos de agregados na área MAN foram maiores quando comparados aos teores dos agregados das demais áreas. Contudo, os agregados da área COQ apresentaram maior acidez potencial (valor H), na comparação entre as áreas, influenciando nos maiores valores de capacidade de troca catiônica (valor T).

Áreas	H			S		
	AGREG1	AGREG2	AGREG3	AGREG1	AGREG2	AGREG3
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		
MAN	18,81 Ba	18,48 Ba	19,25 Ba	7,90 Ca	6,88 Bab	5,92 Bb
MAA	18,59 Ba	16,99 Ba	17,60 Ba	15,65 Aa	10,16 Ab	8,36 Ac
COQ	27,17 Aa	24,64 Aa	25,02 Aa	9,67 Ba	4,38 Cb	3,51 Cb
CV.%	7,60			8,86		

Áreas	T			V		
	AGREG1	AGREG2	AGREG3	AGREG1	AGREG2	AGREG3
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			----- % -----		
MAN	26,71 Ba	25,36 Ba	25,17 Aa	29 Ba	27 Ba	23 Ba
MAA	34,24 Aa	27,15ABb	25,96 Ab	45 Aa	37 Ab	32 Ab
COQ	36,84 Aa	29,02 Ab	28,54 Ab	26 Ba	15 Cb	12 Cb
CV.%	5,57			10,88		

Tabela 3. Valores do complexo sortivo de tipos de amostras de agregados em áreas sob diferentes sistemas de cultivo no município do Rio de Janeiro-RJ.

MAN: Área com cultivo de mandioca sob constante revolvimento do solo; MAA: Área de mata antropizada sem revolvimento há 20 anos; COQ: Área com cultivo de coqueiro há 15 anos com plantio de mandioca na entrelinha; Valor H: acidez potencial; Valor S: soma de bases trocáveis; Valor T: total de cátions adsorvidos, corresponde a CTC à pH 7; Valor V%: saturação de bases AGREG1: coprólitos de minhocas; AGREG2: agregados de 0-0,05 m; AGREG3: agregados de 0,05-0,10 m.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas não diferem entre os sistemas de cultivo para o mesmo tipo de amostras de agregados e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre os tipos de amostras de agregados para cada sistema de cultivo (teste de Tukey,  $p < 0,05$ ).

A ingestão de materiais minerais e orgânicos pelas minhocas, possibilita que seus coprólitos apresentem elevados teores de nutrientes (Fiuza et al., 2011), sendo assim, usados como potenciais indicadores da qualidade do solo, em virtude de sua sensibilidade aos diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo (Loss et al., 2014).

#### 4 | CONCLUSÃO

Os maiores valores do complexo sortivo na área MAA podem ser associados ao não revolvimento da área há 20 anos.

Para os coprólitos verificaram-se maiores valores de DMP, CT, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup> e os menores teores de Al<sup>3+</sup> nas áreas com menor intensidade de manejo. Os coprólitos de minhocas podem ser considerados potenciais indicadores de qualidade

do solo.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A., STAPES, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M., SPAROVEK, G. KOPPEN'S. **Climate classification map for Brazil**. (2014). Meteorologische Zeitschrift, 22, 6, 711–728.
- BARTZ, M.L.C; BROWN, G.G.; SOUZAJÚNIOR, I.G.; COSTA, A.C. S.; **Micronutrientes em Coprólitos de Minhocas Produzidos em um Latossolo Vermelho Distroférico sob Diferentes Sistemas de Manejo**. XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do solo, 5-10 ago., 2007.
- BUCK, C.; LANGMAACK, M. & SCHRADER, S. **Nutrient content of earthworm casts influenced by different mulch types**. Eur. J. Soil Biol., 35:23-30, 1999.
- CLIMATE-DATA.ORG, 2017. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-de-janeiro/rio-de-janeiro-853/>>. Acesso em junho de 2019.
- FERNANDES J. C. F.; PEREIRA, M. G.; NETO, E. C. S.; NETO, T. A. C.; **Caracterização de agregados biogênicos, intermediários e fisiogênicos em áreas sob domínio de mata atlântica**. Revista Caatinga, v. 30, n. 1, jan.-mar., 2017.
- FIUZA, S. S.; KUNDRA, J. F.; FURTADO, D. T. **Caracterização química e atividade microbiana de coprólitos de Chibui bari (Oligochaeta) e do solo adjacente**. Rev. Bras. Ci. Solo, 35:723-728.2011.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. L.; BEUTLER, S. J. **Soil fertility, physical and chemical organic matter fractions, natural 13C and 15N abundance in biogenic and physicogenic aggregates in areas under different land use systems**. Soil Research. v.52, p.685-697, 2014.
- NOGUERA, D.; RONDÓN, M.; LAOSSID, K.R.; HOYOSB, V.; LAVELLEA, P.; CARVALHO, M.H.C.; BAROT, S. **Contrasted effect of biochar and earthworms on rice growth and resource allocation in different soils**. Soil biology and Biochemistry, v.42, p.1017-1027, 2010.
- OYEDELE, D.J.; SCHJONNING, P.; AMUSAN, A.A. **Physicochemical properties of earthworm casts and undigested parent soil from selected sites in southwestern Nigeria**. Ecological Engineering, v.28, p.106–113, 2006.
- PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; VALLADARES, G.S. **Organossolos: Ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo**. In: VIDAL TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E.J. (Org.). Tópicos em Ciência do Solo. 4.ed. Viçosa v.4, p.233-276, 2005
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C; OLIVEIRA, J.B; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos. 5 ed. Revisada e Ampliada**. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.
- SCHRADER, S.; ZHANG, H. **Earthworm casting: stabilization or destabilization**. Soil Biochemistry, v.29, p.469–475, 1997.
- SILVA NETO, L. F; SILVA, I. F; INDA, A. V; NASCIMENTO, P. C; BORTOLO, L. **Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba**. Ciência agrotécnica. v.34, n.6, p.1365-1371, 2010.
- SKARABOTO, F. F.; LOPES, R. A. P.; PEREIRA, G. S.; SILVA, R. V. **Influência do tipo de preparo nas propriedades físicas do solo e da cultura da mandioca (euphorbiaceae)**. Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa, [S.l.], v. 34, n. esp., p. 269-281, set. 2018. 271p.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos. 3.ed.** Brasília: Embrapa, 2017. 573p.

## FÓSFORO LÁBIL E PH EM LATOSSOLOS REPRESENTATIVOS COM DIFERENTES USOS E MANEJO NO SEMIÁRIDO BAIANO

### Fátima de Souza Gomes

Discente do curso de Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi - BA

### Rafael Alves dos Santos

Discente do curso de Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi - BA

### Caio Henrique Castro Martins

Discente do curso de Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi – BA

### Eliton Rodrigues dos Santos

Discente do curso de Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi – BA

**RESUMO:** O uso e manejo geram mudanças no solo e alguns fatores como o fósforo (P) e o pH podem ser limitantes à produtividade dos agroecossistemas. Neste contexto, objetivou-se determinar o teor de fósforo lábil e o pH em Latossolos no semiárido baiano, e por meio da correlação estimar a dependência. As amostras são oriundas de áreas limítrofes, sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas, exceto o uso. As áreas são: A1 mata nativa; A2 culturas anuais; A3 palma forrageira; A4 cultivo de mamão (monocultivo) e A5 forragens. Constou de quatro tratamentos (áreas) e cinco repetições (amostras compostas). Determinou-

se o teor de fósforo lábil (P lábil = parte do P- lábil + P - solução) por Mehlich<sup>-1</sup> (mg dm<sup>-3</sup>) e o pH pela extração em solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. A comparação das médias efetuada pelo Teste de Tukey (P<0,05). Adicionalmente, estabeleceu análise de correlação de Pearson a 5%. Verificou que, A1 apresentou maior teor de P-lábil (68,9 mg dm<sup>-3</sup>). Para os valores de pH em A1, A3 e A4 notam-se maiores valores, 6,3, 6,2 e 6,0. Observou correlação positiva e significativa (r=0,98), na qual o teor de P- lábil aumentou com o pH, onde o pH 6,5 obteve o maior valor de fósforo, que oscilou de 22,5 mg/dm<sup>3</sup> para 74,1 mg/dm<sup>3</sup>. Em síntese os maiores teores de P- Lábil foram A1, A3 e A4. AA2 possui pH abaixo da faixa ideal, necessitando de correção. O P encontra em maior disponibilidade em pH entre 5,5 a 6,5.

**PALAVRAS-CHAVE:** Disponibilidade, fertilidade, solo.

### DIAGNOSIS OF THE PHOSPHORUS AND PH PHOSPHORUS IN REPRESENTATIVE LATOSOLS WITH DIFFERENT USES AND HANDLING

**ABSTRACT:** The use and management generate changes in the soil and some factors such as phosphorus (P) and pH can be limiting to the productivity of agro ecosystems. In this context, we aimed to determine the labile phosphorus content and the pH, and through the

correlation estimate the dependence between both. Soil samples come from bordering areas, under the same topographic and edaphoclimatic conditions, except for use. The areas are: A1 native forest; A2 annual crops; A3 forage palm and A4 papaya cultivation. It consisted of four treatments (areas) and five replicates (simple samples). The labile phosphorus content (labile P = part of the P- lab + P - solution) was determined by Mehlich<sup>-1</sup> (mg dm<sup>-3</sup>) and pH by extraction in KCl solution 1 mol L<sup>-1</sup>. The comparison of means was performed by Tukey test (P <0.05). Additionally, Pearson's correlation analysis was established at 5%. It found that, A1, presented higher P-labile content (68,9 mg dm<sup>-3</sup>). For the pH levels in A1, A3 and A4 are higher values, 6,3; 6,2 and 6,0. It observed a positive and significant correlation (r = 0,98), in which the P- labile content increased with pH, and pH 6,5 obtained the highest P- labile value, ranging from 22,5 mg / dm<sup>3</sup> to 74,1 mg / dm<sup>3</sup>. In short, the highest levels of P- Labile were obtained in A1, A3 and A4. The area A2 has pH below the ideal range, requiring correction. P is more available in pH between 5,5 and 6,5.

**KEYWORDS:** Availability, fertility, soil.

## 1 | INTRODUÇÃO

A alteração de sistemas agrícolas em substituição aos sistemas nativos tem causado alterações nas propriedades químicas do solo. Segundo Freitas et al. (2015) a intensificação do uso e manejo do solo têm provocado a degradação dos recursos naturais e redução da sua qualidade.

O semiárido brasileiro, possui uma área aproximada de 980.134 km<sup>2</sup>, abrange cerca de 12% do país e 63% da região Nordeste, compreendendo os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Sergipe e norte de Minas Gerais (INSA, 2017). A região semiárida é tipificada por temperaturas elevadas, chuvas mal distribuídas, com solos pouco desenvolvidos (MARINHO et al., 2016; NETO et al., 2017).

Marinho et al. (2016), destaca que, na região semiárida, os manejos agrícolas têm provocado danos significativos. Nos últimos anos, é crescente a importância dada a trabalhos associados à qualidade do solo (SILVA et al., 2014), principalmente aqueles relacionados a sua conservação (ALENCAR et al., 2015).

Gonçalo Filho (2015) e Arruda et al. (2015), comparando áreas com diferentes usos e manejos do solo com a vegetação nativa, comprovaram que esses sistemas influenciaram os valores médios dos atributos químicos do solo, reduzindo sua qualidade. Os atributos químicos do solo são indicadores que podem responder rapidamente aos efeitos causados pelos sistemas de manejo adotados (GONÇALO FILHO, 2015).

Para propor o uso mais adequado e racional do solo, é necessário conhecer bem seus atributos, e a partir disso propor técnicas de manejo mais adequadas para as condições locais (AZEVEDO; BUENO, 2016). Contudo, manter o nível

desejável de qualidade do solo não é uma tarefa fácil, visto os inúmeros fatores que lhe influenciam, tais como clima, solo, planta, manejo humano e as interações entre esses (CHERUBIN et al., 2015).

Por outro lado, quando a qualidade dos atributos do solo encontra-se em boas condições, acaba por propiciar condições adequadas e necessárias para o crescimento e desenvolvimento das plantas e a manutenção da diversidade de microrganismos que residem no solo (SILVA et al., 2015).

Os solos são organizados em classes e grupos, sendo as suas características químicas, físicas, morfológicas e mineralógicas usadas como critérios para sua classificação (SILVA et al., 2015). Dentre as 13 ordens de classificação de solos, o latossolo representa uma delas (EMBRAPA, 2013), ocupa uma área de 2.681.588,69 km<sup>2</sup> distribuídos em 31% do território nacional (LIMA et al., 2012).

Os latossolos diante da sua gênese possuem características decorrentes de intenso intemperismo como alta profundidade e homogeneidade no perfil, baixa troca de cátions (CTC) e pouco férteis (EMBRAPA, 2013), são comumente encontrados em áreas mais elevadas, com relevo plano a suave-ondulado, com declividade de no máximo 7%, de fácil manejo (SOUSA; LOBATO, 2017).

Segundo Baldotto et al. (2015), as principais limitações dos Latossolos, em geral, estão associadas à baixa capacidade de desenvolvimento de cargas elétricas negativas, alta adsorção e precipitação de P. A M.O. destes solos exerce grande influência sobre a CTC, na redução da fixação de fósforo. Estudos relacionados à qualidade de Latossolos cresceram nos últimos anos (RAMOS et al., 2015; BEUTLER et al., 2016; FERREIRA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2016; SILVA et al., 2016; TEIXEIRA et al., 2016; SILVA et al., 2017).

O fósforo (P) é um macronutriente com grande importância as culturas, pois este elemento é classificado como essencial as plantas, é também, um componente estrutural das macromoléculas, como a exemplo os ácidos nucleicos (RESENDE et al., 2011), e sua concentração nos solos do Brasil é bastante limitado (NOVAIS; SMYTH, 1999). Segundo Loganathan e Fernando (1980), quando se adiciona uma fonte solúvel de fósforo a determinado solo, mais de 90 % do total aplicado é adsorvido na primeira hora de contato com o solo.

Os sistemas de manejo do solo alteram a dinâmica do P e, dessa forma, modificações nos conteúdos das diferentes formas de P<sub>o</sub> têm sido observadas em decorrência de práticas agrícolas, tais como a adubação mineral e orgânica (GUARDINI et al., 2012). A adoção de sistemas de manejo do solo, visando a elevação do potencial hidrogeniônico do solo, por exemplo a aplicação de calcário, pode interferir no processo, reduzindo a adsorção/precipitação de fósforo no solo, aumentando sua disponibilidade para as plantas.

Os Latossolos do Estado da Bahia, como a grande maioria dos solos brasileiros, apresentam problemáticas quando se trata do fósforo e solos ácidos, isto faz com que o estudo do comportamento desse elemento e do pH seja importante,

com vistas a um adequado suprimento às plantas. Neste contexto, objetivou-se quantificar o teor de fósforo disponível e o valor do pH no solo e por meio da correlação estimar a dependência entre as duas variáveis.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Guanambi – BA, Micro Região da Serra Geral, com latitude de 14°17'21.73" sul, longitude de 42°41'36.54" oeste de Greenwich, altitude de 551 metros. O solo da área em estudo é classificado como Latossolo Vermelho – Amarelo distrófico, típico A fraco, de textura média, fase caatinga hipoxerófila, relevo plano a suave ondulado. O clima da região é semiárido, do tipo Aw pela classificação de Köppen, com médias anuais de precipitação de 680 milímetros e temperatura média de 26° C (DONATO et al., 2010) (figura 1).

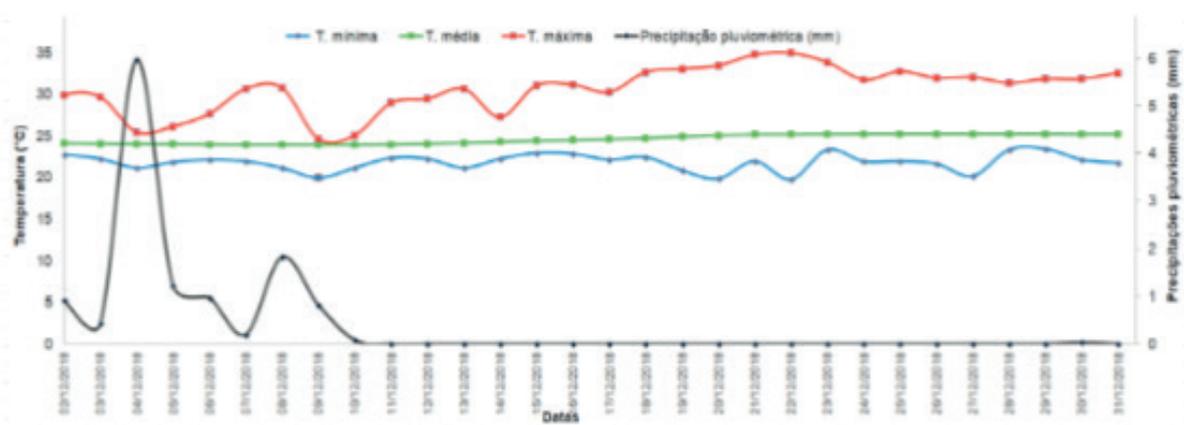


FIGURA 1. Precipitações pluviométricas e temperaturas registradas no mês de coleta das amostras de solo. FONTE: Estação meteorológica automática (2018).

No local de estudo foram selecionadas cinco áreas distintas, limítrofes, sob as mesmas condições topográficas e edafoclimáticas (mesmo solo e clima, textura média, relevo plano), diferenciando-se apenas no uso e manejo adotado. As áreas avaliadas foram: A1 sob mata nativa não perturbada; a A2 área com culturas anuais; A3 área com cultivo de palma forrageira adubada com esterco bovino; A4 sistema com cultivo de mamão (monocultivo) e área 05 com forragens.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizados, sendo constituído por cinco tratamentos e cinco repetições, totalizando 25 unidades experimentais, sendo, cada tratamento uma área com manejo distinto; e as repetições as amostras compostas de solo, a unidade experimental consistiu em uma porção de 50 g de solo.

As amostras de solo das áreas avaliadas foram coletadas no segundo semestre de 2018, durante o mês de dezembro. Coletou-se amostras compostas a 0,2 m de profundidade com auxílio de um trado tipo Uhland e uma marreta.

As amostras foram conduzidas ao Laboratório de Química do Solo do Instituto Federal Baiano, *Campus* Guanambi e foram analisadas as seguintes variáveis: teor de fósforo lábil (P lábil = parte do fósforo lábil + fósforo da solução) e o Potencial Hidrogeniônico (pH).

Em laboratório de análise de solos a disponibilidade de P foi avaliada utilizando a metodologia descrita pela Embrapa (2017) com extração por Mehlich<sup>-1</sup> e expresso em (mg dm<sup>-3</sup>). O pH foi obtido pela mensuração com eletrodo de vidro e com extração em solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, segundo determina a metodologia da Embrapa (2017).

Os resultados foram submetidos á análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05), executado pelo software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014), os dados foram ainda correlacionados entre si, através de correlações de Pearson a 5% de probabilidade de erro.

### 3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que, a área 01, A3 e A4 não diferiram entre si, e apresentaram os teores numericamente superiores de fósforo lábil nos Latossolos avaliados. Entretanto, foram diagnosticados estatisticamente menores teores de Fósforo lábil nas áreas A2 e A5, não diferindo entre ambas (Tabela 1).

Observa-se na tabela 1 que, para a área 01, A3 e A4, nota-se que os respectivos sistemas propiciou maiores teores de fósforo disponível, com valores médios de 68,9; 68,1 e 56,2 mg de P /dm<sup>-3</sup>, respectivamente, e ao tempo que a área 02 proporcionou menor média de P-lábil, 19,3 mg de P/dm<sup>-3</sup> e a A5 uma média de 21,4 mg de P/dm<sup>-3</sup>.

Áreas avaliadas	Teor de fósforo lábil	pH
	mg dm <sup>-3</sup>	
A1	68,9 A	6,3 A
A2	19,3 B	4,9 B
A3	68,1 A	6,2 A
A4	56,2 A	6,0 A
A5	21,4 B	4,8 B
Média	38,9	5,6
CV%	26,1	7,5

TABELA 01. Valores médios dos teores de fósforo lábil e valores de pH em Latossolos representativos com diferentes usos e manejo, Guanambi, BA, 2018.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de probabilidade de 5%. CV (%) – Coeficiente de variação. FONTE: Elaborado pela autora (2019).

No caso específico do P- Lábil esse fato pode ser explicado em virtude de, a

área 01 e na área 03 promovem a adição de matéria orgânica (MO) ao solo, que contribuem para o aumento de formas lábeis de P ao bloquear os sítios de adsorção no solo, conseqüentemente promovem acréscimos na disponibilidade de P para as plantas, gerando uma redução do processo de adsorção e precipitação desse elemento no solo, logo um aumento na atividade biológica e ciclagem de P orgânico.

Ainda convém lembrar que, o fato de o fósforo mover-se no solo por difusão, lhe acarreta pouca mobilidade.

A dinâmica das plantas para a obtenção de P através dos resíduos vegetais quando mineralizados tem alterado a ciclagem deste nutriente, e, por conseguinte, a sua disponibilidade no solo, principalmente nas camadas superficiais (SHIRADO; TAQUES, 2016), pois como se sabe, a disponibilidade do P no solo é um fator que compromete a nutrição adequada às plantas.

Rita (2012) compartilha deste ponto de vista ao afirmar que, em seus estudos obteve resultados positivos, onde ao comparar as frações de fósforo lábil em diferentes usos e manejos do solo, verificou maiores valores de fósforo lábil em áreas de matas nativas ( $4,8 \text{ mg kg}^{-1}$ ) evidenciando o potencial deste sistema em acumular formas mais disponíveis de P. Zaia et al. (2008) corroboram estes resultados ao constatar os maiores concentrações de fósforo em sistemas florestais, que possuem elevado aporte de M.O. ( $119,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e menores teores em pastagem ( $85,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ), como também foi obtido neste estudo.

Similarmente, Maranguit et al. (2017) estudando a dinâmica de P em monocultivos, verificaram a diminuição no monocultivo, em relação aos demais sistemas, indicando que as formas mais disponíveis de P estão associadas a M.O. Conforme Viero (2015), ao avaliar o efeito dos sistemas de manejo sobre os atributos químicos do solo, observou maiores teores de fósforo disponível em sistema conservacionista cerca de duas vezes superior ao observado em monocultivos, esse resultado estar relacionado ao maior aporte de resíduos orgânicos do sistema conservacionista em relação monocultivo.

Costa et al. (2016) confirmam os argumentos anteriores ao declararem que o conteúdo de P no solo, principalmente no que diz respeito às formas mais lábeis, está diretamente relacionado ao carbono orgânico do solo e que a sua labilidade está associada à mineralização da fração orgânica na qual o íon fosfato está adsorvido e que, em solos com baixas adições de fósforo, sua disponibilidade está relacionada à ciclagem da M.O.

Para a área 04 esse padrão pode ser atribuído ao fato das frequentes adições de adubação com formulações de P sintético que é alocada ao solo a cada ciclo para suprimento nutricional da cultura do mamoeiro, sem que houvesse um bom manejo do solo em relação a estas aplicações.

As adubações com P sintético atua como fonte de ortofosfatos para o meio da solução dos solos, onde provavelmente é adicionado fertilizante em doses maiores do que a capacidade de dreno do solo, que ocorrera à saturação superficial dos sítios

de adsorção, gerando teores significativos de fósforo nesta área. Nestes sistemas, os fertilizantes fosfatados adicionados na superfície do solo, que somado à adição de resíduos vegetais e a ausência de revolvimento do solo, intensifica a ciclagem de fósforo na camada superficial do solo por consequência menor adsorção.

Os teores reduzidos de fósforo lábil da área 02 se devem possivelmente pela menor quantidade de matéria orgânica apresentada pela área ou se deve também ao uso de baixas doses de fertilizante ao solo sob o cultivo anual, que influencia tal comportamento. Em condições como esta, o solo compete com a planta pelo P adicionado, caracterizando-se, neste caso, como um dreno (CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2003).

Para o menor teor em A5, há outro fator que deve ser considerado, que é o revolvimento do solo realizado antes da implantação das pastagens, o revolvimento do solo aumenta a deficiência de P, uma vez que o íon ortofostato consegue se adsorver aos colóides inorgânicos com maior facilidade devido à exposição dos novos sítios de adsorção e conseqüentemente gerando maiores valores de fósforo adsorvido (FRAGA; SALCEDO, 2004).

Cunha et al. (2007) observaram menores teores de fósforo em solos sob pastagem e maiores teores em solos sob coberturas florestais.

Em síntese, é importante manter manejos que visam o aumento ou a adição de matéria orgânica no solo, baseado nos resultados encontrados por Gubiani (2015) o sistema de plantio direto promove maior acúmulo de MO na superfície do solo por um longo período, e pode ser uma das maneiras de se elevar a quantidade de M.O., e conseqüentemente valores de P lábil.

Observa-se na tabela 1 que, os valores médios de pH de um modo geral foram altos e tiveram pequena variação entre as áreas 01 (6,3) , área 03 ( 6,2) e área 04 (6,0), esses respectivos valores estão dentro da faixa ideal de pH que é de 6,0 a 7,0, pois favorece a disponibilidade dos nutrientes para as culturas. Já a área 02 e A5, valores de 4,92 e 4,8, respectivamente (Tabela 1).

O pH é uma função logarítmica e, portanto, possui valores naturalmente pouco variáveis, o que pode explicar a baixa variação desse atributo no solo ( CARDOSO et al., 2014). Por analogia, Zanão Júnior et al. ( 20017) afirmam que o baixo acúmulo efetivo de hidrogênio na solução do solo e na matéria orgânica do solo, aliado a sua distribuição mais homogênea na área, justifica o resultado.

Estes valores também podem estar associados ao tipo de solo, pois os Latossolos geralmente são muito intemperizados e de característica ácida, com pH entre 4,5 e 6,0. Por analogia, Iwata et al. (2012) obteve em seus estudos resultados semelhantes a deste estudo, ao quantificar os valores de pH em diferentes usos do solo, verificaram valores de pH 6,10 em áreas sob mata nativa e de 4,8 sob monocultivo, discutindo que esses resultados podem estar relacionados com a maior disponibilidade de M.O. nesses sistemas.

Assim sendo, com base nos resultados, estes solos apresentam caráter ácido,

necessitando de calagem para a correção da acidez, e melhorar a absorção dos nutrientes. Pois o pH do solo afeta a disponibilidade dos nutrientes, no caso específico do P atua de duas formas principais: atuação nos compostos contidos nos fertilizantes e nos produtos da reação deles e atuação como fator no desenvolvimento do sistema radicular e da planta (PROCHNOW, 2004). Conforme corrobora QUAGGIO (2000), com o aumento do teor de pH do solo, condiciona o melhor aproveitamento do fósforo.

As variáveis, teor de fósforo lábil e pH, apresentaram correlação positiva e significativa ( $r = 0,98$ ), na qual a disponibilidade de P - Lábil no solo aumentou linearmente com a elevação do pH do solo (figura 2). De forma geral, a disponibilidade de P é maior em solos com pH na faixa de 5,8 a 6,5. Os valores de fósforo aumentaram com o pH do solo, onde observa-se no pH 6,5 encontrou-se resultados elevados para disponibilidade de fósforo que era de 22,5 mg/dm<sup>3</sup> e aumentou para 74,1 mg/dm<sup>3</sup> (figura 2).

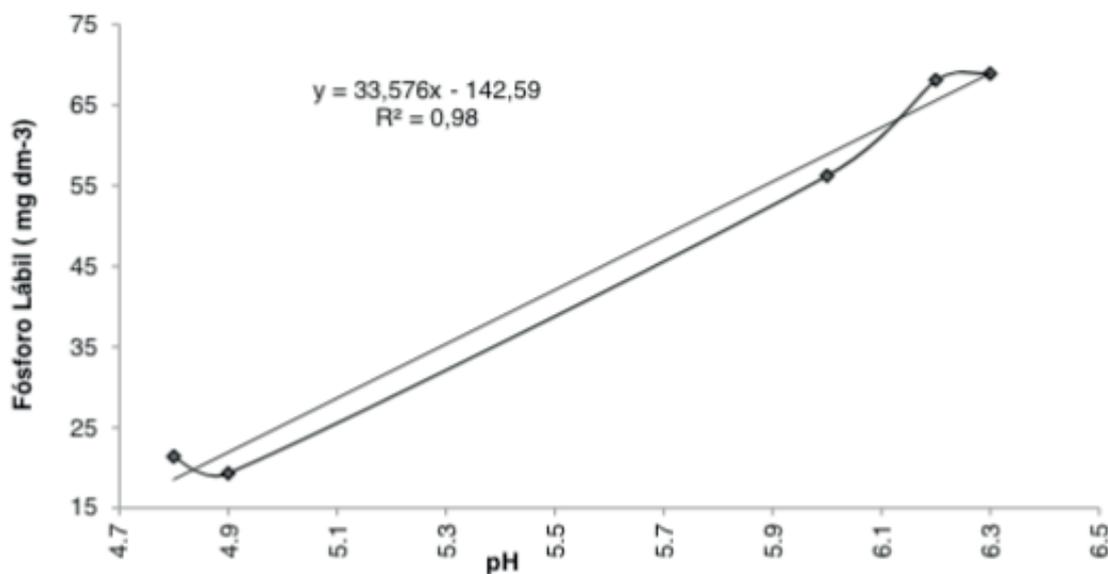


FIGURA 02. Teor de fósforo lábil (mg dm<sup>-3</sup>) em latossolos representativos com diferentes usos e manejo em função do pH. Guanambi, BA.

FONTE: Elaborado pela autora (2019).

Com o aumento do pH, a carga superficial de partículas do solo torna-se cada vez mais negativa, aumentando a repulsão (menor adsorção) entre fosfato e superfície adsorvente e diminuindo o potencial eletrostático do plano de adsorção (Haynes, 1984; Barrow, 1985). Como consequência, a adsorção de P pelo solo deve ser máxima com baixos valores de pH.

Os maiores teores de fósforo na solução será encontrada no pH onde em que conjuntamente os compostos fosfatados apresentem sua maior solubilidade, essa faixa é observada por Raij (2004) com valores de pH de 5,0 e 6,2. Viviane et al. (2010), ratifica estes resultados ao declarar que a disponibilidade de fósforo em dois latossolos, verificaram que os tores de fósforo disponível se elevaram em relação

ao aumento de potencial Hidrogeniônico do solo, atingindo maior teor disponível em pH de 6,8.

Assim sendo, é de suma importância um bom manejo ao solo e orientações eficientes no uso de adubações fosfatadas e calagem para evitar que ocorram danos na qualidade química, física e biológica do solo.

## 4 | CONCLUSÕES

O manejo e o uso do solo alteraram as variáveis analisadas. Os maiores teores de fósforo lábil foram A1, A3 e A4. Dos sistemas avaliados a A2 possui pH abaixo da faixa ideal, necessitando de correção. O fósforo encontra-se em maior disponibilidade em pH entre 5,5 a 6,5.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR, T. L.; CHAVES, A. F.; SANTOS, C. L. A.; JÚNIOR, R. N. A.; MOTA, J. C. A. Atributos Físicos de um Cambissolo Cultivado e Tratado com Biofertilizante na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n.3, p. 737 - 749, 2015.
- ARRUDA, L. E. V.; PORTELA, J. C.; DIAS, N. S.; PORTO, V. C. N.; NETO, M. F.; SILVA, S. Y. A.M.; DIAS, M. C. C.; FILHO, T. J. O. Oxisolphysical attributes under different agricultural uses in Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 48, p. 4331 - 4337, 2015.
- AZEVEDO, J. R.; BUENO, C. R. P. Potencialidades e limitações agrícolas de solos e assentamento de reforma agrária no Município de Chapadinha - MA. **Revista Scientia Agrária**, Curitiba, v. 17, n. 3, p.01 - 13, 2016.
- BALDOTTO, M. A.; VIEIRA, E. M.; SOUZA, D. O.; BALDOTTO, L. E. B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n.3, p. 301 - 309, 2015.
- BARROW, N.J. et al. **Reaction of anions and cations with variablecharge soils**. Adv. Agron. V. 38, p. 183 - 230, 1985.
- BEUTLER, S. J.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; PERIN, A.; SILVA, C. F. Edaphic attributes of a crop-livestock integration system in the Cerrado Biome. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 4, p. 892-900, 2016.
- CARDOSO, J. A.; LACERDA, M.P.C.; REIN, T. A.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G. S.; FIGUEIREDO, C. C. Variability of soil fertility properties in áreas planted to sugarcane in the state of Goiás, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 38, n. 2, p. 506 – 515, 214.
- CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; SILVA, R. F.; SILVA, V.R.; BASSO, C.J. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 615 - 625, 2015.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 893 - 900, 2003.
- DONATO, S. L. R.; LÉDO, A. A.; PEREIRA, M. C. T.; COELHO, E. F.; COTRIM, C. E.; Estado nutricional de bananeiras tipo prata sob diferentes sistemas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.09, p.980 - 988, 2010.

EBERHARDT, D. N.; VENDRAME, P. R. S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M. F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em Latossolos sob pastagens no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1009 - 1016, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ed. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, 353 p. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 3ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 573, 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciências e agrotecnologia**. (online), vol. 38, n. 2, p. 109 – 112, 2014. Disponível em: <ISSN 1413 – 7054. <http://dx.doi.org/10/1590/S1413-70542014000200001>>.

FERREIRA, E. A. B.; BUSTAMANTE, M. M. C.; RESCK, D. V. S.; FIGUEIREDO, C. C.; PINTO, A. S.; MALAQUIAS, J. V. Carbon Stocks in Compartments of Soil Organic Matter 31 Years after Substitution of Native Cerrado Vegetation by Agroecosystems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.40, p. 1-15, 2016.

FRAGA, V. S.; SALCEDO, I.H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsystems farming. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 1, pag. 215 – 224, 2004.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, V. M. R. **Atributos químicos de Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos**. Floresta, Curitiba, PR, v. 45, n. 2, p. 229 - 240, 2015.

GUARDINI, R.; COMIN, J. J.; SCHIMITT, D. E.; TIECHER, T.; BENDER, M. A.; RHEINHEIMER, D. S.; MEZZARI, C. P.; OLIVEIRA, B. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. **Accumulation of phosphorus fractions in typic Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system**. Nutrient Cycling in Agroecosystems, Ithaca, v. 93, n. 2, p. 215225, 2012.

GUBIANI, E. et al. **Estoque de carbono e nitrogênio em solos sob sistemas de manejo e culturas de inverno**. Santa Maria, RS, Brasil, 2015.

IWATA, B. D. F.; LEITE, L. F.; ARAÚJO, A. S.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.16, p. 730 - 38, 2012.

HAYNES, R. J. et al. Lime and phosphate in the soil-plant system. **Advances in Agronomy**, v.37, p.249 - 315, 1984.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO - INSA. Disponível em <[http://www.insa.gov.br/?page\\_id=26WH7Dw\\_ArLIU](http://www.insa.gov.br/?page_id=26WH7Dw_ArLIU)> Acessado em 17 de fevereiro de 2019.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R.; MELO, V. F. Conhecendo os principais solos do Paraná. **Revista Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Paraná, 2012.

LOGANATHAN, P.; FERNANDO, W. T. Phosphorus sorption by some coconutgrowingacid soils of Sri Lanka and its relationship to selected soil properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 31, n. 7, p. 709 - 717, 1980.

MARANGUIT, D.; GUILLAUME, T.; KUZYAKOV, Y. **Land-use change affects phosphorus fractions in highly weathered tropical soils**. Catena, n. 149, p. 385 - 93, 2017.

MARINHO, A. C. C. S.; PORTELA, J. C.; SILVA, E. F.; DIAS, N. S.; SOUSA JÚNIOR, F. S.; SILVA, A. C.; SILVA, J. F. Organic matter and physicochemical attributes of a Cambisol under different agricultural uses in a semi-arid region of Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, n. 1, p.32 - 41, 2016.

NETO, O. N. S.; DIAS, N. S.; LIRA, R. B.; SILVA, E. F.; FERREIRA, A.L.L.; FREITAS, J. J. R. Chemical attributes of traditional agriculture and Caatinga managed at different depths in an Inceptisol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, n.1, p.50 - 55, 2017.

NOVAIS, R. D.; RODRIGUES, L. A.; NEVES, H. E. P.; NOVAIS, J. C. L.; MENDONÇA, S. M.; MUNIZ, A. N.; NOVELINO, J. O. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, p.300, 1999.

OLIVEIRA, F. E. R.; OLIVEIRA, J. M.; XAVIER, F. A. S. Changes in Soil Organic Carbon Fractions in Response to Cover Crops in an Orange Orchard. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 1 - 12, 2016.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em áreas de Cerrado sob plantio direto, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 1 - 6, 2010.

PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. **Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados**. Fósforo na agricultura brasileira. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e o Fósforo, Piracicaba, cap. 23, p. 605 – 651, 2004.

GGIO, J. A. et al. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2000.

RAIJ, B. V. et al. Métodos de diagnose de fósforo no solo em uso no Brasil. **Simpósio sobre fósforo na agricultura brasileira**. São Pedro: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo. Piracicaba, p.563 - 588, 2004.

RAMOS, M. R.; UHLMANN, A.; MELO, V. F.; CURCIO, G. R.; CAGLIONI, E. Atributos de solos coesos e não coesos no Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro, Itaboraí – RJ. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.11 n.22, p. 360 - 375, 2015.

RESENDE, J. C. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; MARKEWITZ, D.; KLINK, C. A.; DAVIDSON, E. A. Phosphorus cycling in a small watershed in the Brazilian Cerrado: impacts of frequent burning. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 105, n. 1 - 3, p. 105 -118, 2011.

RITA, J. C. D. O.; GAMA, R. A. C.; ZAIA, F. C.; NUNES, D. A. D. Mineralization of organic phosphorus in soil size fractions under different vegetation covers in the north of Rio de Janeiro. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, n.37, p. 120 - 125, 2012.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GARCÍA, A. C.; PERIN, A.; GAZOLLA, P. R.; GONZÁLEZ, A. P. Fósforo em Cronossequência de Cana-de-Açúcar Queimada no Cerrado Goiano - Análise de Ácidos Húmicos. **Química Nova**, v. 36, n. 8, p. 1126 - 1130, 2013.

SILVA, A. P.; BRUAND, A.; TORMENA, C. A.; SILVA, E. M.; SANTOS, G. G.; GIAROLA, N. F. B.; GUIMARÃES, R. M. L.; MARCHÃO, R. L.; KLEIN, V. A. Indicators of soil physical quality: From simplicity to complexity. In: **Teixeira, W. B.; Ceddia, M. B.; Ottoni, M. V.; Donagemma, G. K. editors**. Application of soil physics in environmental analyses. New Delhi: Springer, p.201 - 21, 2014.

SILVA, G. F. et al. **Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano**. v. 2125, p. 25 – 35, 2015.

SILVA, F. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A.; FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; WARMLING, M.I. Physical Properties of a Hapludox after Three Decades under Different Soil Management Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 1 - 14, 2016.

SILVA, M. C. C.; ANDREOTTI, M.; COSTA, N. R.; LIMA, C. G. R.; PARIZ, C.M. SOIL Physical attributes and yield of winter common bean crop under a no-till system in the Brazilian cerrado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 1, p. 155 -163, 2017.

SHIRADO, E. Y. N.; TAQUES, M. M. **Produtividade e teores foliares de nutrientes em função de diferentes plantas de coberturas**. Mato Grosso do Sul, 2016.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Agência de informação EMBRAPA**: Bioma Cerrado Latossolo. Disponível em: <[http://www.agência.cnptia.embrapa.br/Agência16/AG01/arvore/AG01\\_96\\_10112005101956.html](http://www.agência.cnptia.embrapa.br/Agência16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html)> Acesso em: 19 de janeiro de 2019.

TEIXEIRA, R. B.; BORGES, M. C. R. Z.; ROQUE, C. G.; OLIVEIRA, M. P. Tillagesystems and cover crops on soil physical properties after soybean cultivation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n.12, p.1057-1061, 2016.

VIERO F. et al. **Características químicas e indicadores de qualidade de solos em sistemas conservacionistas de manejo de longa duração**. Rio Grande do Sul. p. 94, 2015.

VIVIANI, C. A.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; GONÇALVES, M. C. Disponibilidade de fósforo em dois Latossolos argilosos e seu acúmulo em plantas de soja, em função do aumento do pH. **Ciência Agrotecnologia**. v. 34, n. 1, p. 61-67, 2010.

ZAIA, F. C.; GAMA, R. C.; GAMA, R. E. F. Formas de fósforo no solo sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem no Norte Fluminense. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. n. 32, p. 119 -197, 2008.

ZANÃO, J. L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000 – 1007, 2007.

## COBRE NO SOLO E O CRESCIMENTO INICIAL DE ESPÉCIES DE EUCALIPTO

### Alex Negrini

Universidade Federal de Santa Maria – Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul

### Rodrigo Ferreira da Silva

Universidade Federal de Santa Maria – Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul

### Clovis Orlando Da Ros

Universidade Federal de Santa Maria – Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul

### Alexandre Couto Rodrigues

Universidade Federal de Santa Maria – Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul

### Andrea da Rocha Giovenardi

Universidade Federal de Santa Maria – Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul

### Hilda Hildebrand Soriani

Universidade Federal de Santa Maria – Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul

### Daniel Boeno

Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, Rio Grande do Sul

**RESUMO:** A contaminação do solo com cobre por meio das atividades antrópicas vem se intensificando em diversas áreas, afetando negativamente os processos fisiológicos das plantas cultivadas, comprometendo seu desenvolvimento. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito de doses de cobre no crescimento inicial de mudas de eucalipto. O trabalho foi

desenvolvido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado em fatorial (2 x 6), com duas espécies de eucalipto (*Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*) e seis doses de cobre (0; 80; 160; 240; 320 e 400 mg kg<sup>-1</sup> de solo), com oito repetições. Avaliou-se a altura, o diâmetro do colo e a massa seca da parte aérea e radicular das plantas. Os resultados evidenciam que pequenas doses de cobre aumentamos parâmetros analisados para *E. grandis* que teve ponto de máxima para altura e massa seca da parte aérea nas doses estimadas de 141 e 66 mg kg<sup>-1</sup> de solo, respectivamente. O crescimento em altura, diâmetro do colo e massa seca da parte aérea do *E. grandis* foi estimulado por pequenas doses de cobre, enquanto *E. saligna*, independente da dose de cobre utilizada, houve redução nos parâmetros de crescimento avaliados. Porém, apesar do efeito nutricional das doses iniciais de cobre nas mudas em *E. grandis*, houve maior toxidez na dose máxima utilizada (400 mg kg<sup>-1</sup>) em comparação com *E. saligna*, indicando menor tolerância em solos com elevada contaminação do metal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Metais pesados; Fitorremediação, Espécies exóticas.

**ABSTRACT:** Soil contamination with copper through anthropic activities has been intensifying in several areas, negatively affecting the physiological processes of cultivated plants, compromising their development. The aim of this study was to evaluate the effect of copper doses on the initial growth of eucalyptus seedlings. The work was carried out in a greenhouse, in a completely randomized factorial design (2 x 6), with two eucalyptus species (*Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna*) and six copper doses (0; 80; 160; 240; 320 and 400) mg kg<sup>-1</sup> soil), with eight repetitions. Height, neck diameter and shoot and root dry mass were evaluated. The results show that small doses of copper increased parameters analyzed for *E. grandis* that had maximum point for height and dry mass of shoots at the estimated doses of 141 and 66 mg kg<sup>-1</sup> of soil, respectively. Growth in height, neck diameter and shoot dry mass of *E. grandis* was stimulated by small doses of copper, while in *E. saligna*, regardless of the copper dose used, there was a reduction in the evaluated growth parameters. However, despite the nutritional effect of initial copper doses on *E. grandis* seedlings, there was higher toxicity at the maximum dose used (400 mg kg<sup>-1</sup>) compared to *E. saligna*, indicating lower tolerance in soils with high metal contamination.

**KEYWORDS:** Heavy metals; Phytoremediation, Exotic species.

### INTRODUÇÃO

O cobre é um constituinte natural de rochas e sedimentos, sendo que em condições naturais, a principal fonte desse elemento no solo é o material de origem. Contudo, a intensa atividade antrópica através da indústria, da agricultura e da urbanização favorece o aumento de metais no solo, provocando impactos no ambiente (ANDREAZZA et al., 2010). Nesse sentido, as fontes de contaminação com cobre são encontradas, sobretudo em atividades de mineração e fundição, em fertilizantes, fungicidas e biosólidos utilizados na agricultura e em lodos de estações de tratamento de esgoto (BASSO; KIANG, 2017).

O cobre é classificado como um metal pesado, entretanto é considerado como elemento essencial aos vegetais (YRUELA, 2009), sendo encontrado naturalmente no solo, podendo provocar toxidez quando em concentrações elevadas. No solo, o cobre se encontra principalmente adsorvido às frações da matéria orgânica e inorgânica, através de fortes ligações, denominadas de adsorção específica (SPOSITO, 2008), estando pouco disponível a absorção pelas plantas (GIROTTI et al., 2010).

O valor orientador como limite máximo para o cobre em áreas agrícolas é de 200 mg kg<sup>-1</sup> sem que ocorra intervenção (CONAMA, 2009), porém quando o cobre está presente no solo em altas concentrações pode prejudicar o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo agente de distúrbios provocados na estrutura das proteínas e inibindo o alongamento celular (YRUELA, 2013). Neste sentido, o excesso de cobre pode interferir na fotossíntese, síntese de pigmentos e outros

mecanismos importantes relacionados ao crescimento das plantas (SANCHEZ-PRADO et al., 2014).

Uma das alternativas para recuperação de solo contaminado com metais é a utilização de espécies florestais que toleram altas concentrações do contaminante. O uso de espécies arbóreas é uma técnica importante para a recuperação de áreas contaminadas com metais pesados, pois estas possuem grande capacidade de produzir biomassa e longo ciclo de crescimento (DOMÍNGUEZ et al., 2009). Resultados de pesquisa tem demonstrado efeito promissor de espécies de eucalipto em acumular metais, como o *Eucalyptus saligna* que teve maior acúmulo de zinco no sistema radicular, enquanto o *Eucalyptus urophylla* na parte aérea (MAGALHÃES et al., 2011). O *Eucalyptus grandis* demonstrou alta capacidade de acumular cobre na raiz, possibilitando seu uso para a fitoestabilização de solo contaminado (DE MARCO et al., 2017).

Plantas jovens de espécies arbóreas apresentam maior sensibilidade às condições desfavoráveis atribuídas por metais do que as plantas adultas (SOUZA et al., 2012). Desta forma, o uso de espécies florestais, na fase de muda, pode ser uma alternativa para estudos em área contaminada com cobre. Neste contexto, o gênero *Eucalyptus* se torna interessante, pois engloba mais de 600 espécies, apresenta boa adaptação às condições climáticas no Brasil, com crescimento e desenvolvimento relativamente rápido e grande produção de biomassa (MAGALHÃES et al., 2011).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de doses de cobre no crescimento inicial de mudas de *E. grandis* e *E. saligna*.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, pertencente à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), *campus* Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, durante 120 dias, entre os meses de outubro de 2015 e janeiro de 2016. O solo utilizado no experimento foi caracterizado como Latossolo Vermelho, com 5,6 de pH; 620 g kg<sup>-1</sup> de argila; 11 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica; 2,2 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de cálcio + magnésio; 6,5 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo disponível; 126,5 mg kg<sup>-1</sup> de potássio trocável e 12,7 de cobre trocável.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial (2 x 6), sendo duas espécies de eucalipto (*Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*) e seis doses de cobre (zero, 80, 160, 240, 320, 400 mg kg<sup>-1</sup>). As doses de cobre foram aplicadas 15 dias antes do transplante das mudas na forma de solução de sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O), sendo diluídas em 50 ml de água destilada para possibilitar homogeneização no solo por agitação em saco plástico.

As unidades experimentais foram compostas por sacos plásticos de polietileno com capacidade volumétrica de 600 cm<sup>3</sup>, contendo uma muda de eucalipto. A semeadura foi realizada em sementeiras, sendo repicadas em tubetes de 125 cm<sup>3</sup>

e ao apresentarem altura média de 20 cm, as mudas foram transplantadas nas unidades experimentais. Durante este período foram realizadas irrigações diárias, baseadas na pesagem das unidades experimentais, mantendo-se a umidade a aproximadamente 80% da capacidade de campo.

As fertilizações foram realizadas no plantio das mudas, aplicando-se o equivalente a 150 g de N, 700 g de  $P_2O_5$  e 100 g de  $K_2O$  por  $m^3$  de solo, e em cobertura, utilizando-se 20 g de N e 15 g de  $K_2O$  diluídos em 10 L de água. A aplicação em pós-semeadura foi realizada em três momentos: aos 30 dias após o transplante das mudas sendo aplicado N e K, aos 60 dias somente N e aos 90 dias aplicando-se N e K, seguindo as recomendações de Gonçalves e Benedetti (2005).

Avaliou-se a altura da parte aérea, medida com régua graduada do colo das mudas até o ápice caulinar; diâmetro do colo, medido com paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm; a massa seca do sistema radicular (MSR) e da parte aérea (MSPA), separadas na região do colo da muda e secos em estufa a  $60\pm 1^\circ C$ , até massa constante, pesadas em balança analítica com precisão de 0,001.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando apresentaram interação significativa foram submetidos à análise de regressão do fator quantitativo dentro de cada nível do fator qualitativo. Para os parâmetros sem interação significativa, foram desdobrados os efeitos simples, sendo as médias do fator qualitativo comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro e as médias do fator quantitativo submetido à análise de regressão pelo programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados evidenciaram interação significativa entre as espécies de eucalipto e doses de cobre para a altura, o diâmetro de colo e a massa seca da parte aérea das mudas. A altura da parte aérea das mudas *E. grandis* atingiu ponto de máxima na dose estimada de 141 mg de cobre  $kg^{-1}$  de solo, enquanto *E. saligna*, manifestou redução linear na altura das mudas com as doses de cobre (Figura 1). Isso indica um efeito nutricional inicial do cobre sobre *E. grandis*, com posterior efeito tóxico sobre a planta.

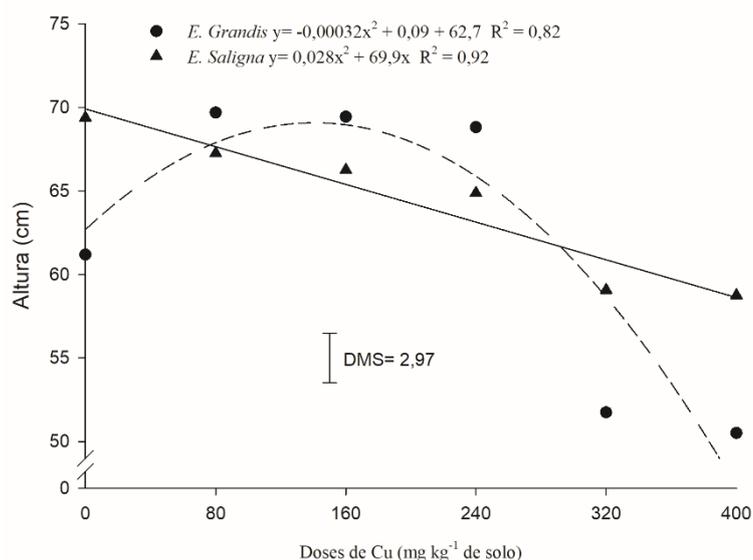
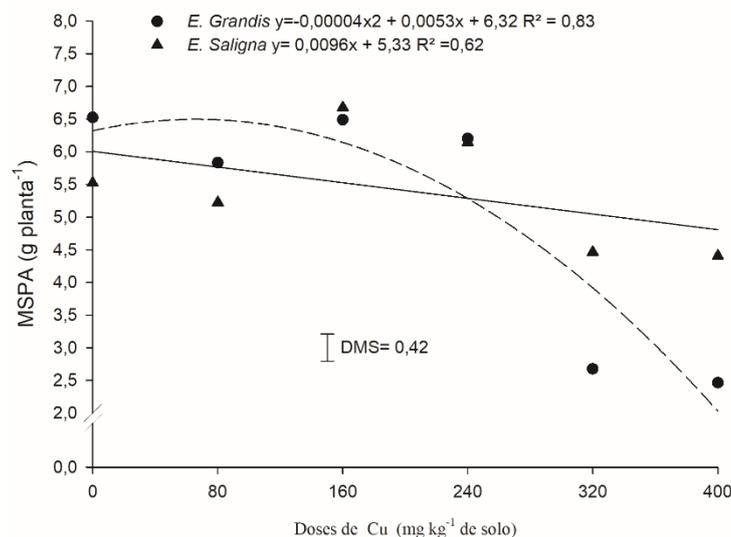


Figura 1. Altura de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em solo com diferentes doses de cobre. DMS: diferença mínima significativa.

O cobre é considerado um micronutriente essencial para o metabolismo dos vegetais, pois atua junto com enzimas no transporte de elétrons na cadeia respiratória e também como cofator de diversas reações (TAIZ e ZEIGER, 2004). O efeito do contaminante afeta a estrutura das proteínas e inibe o alongamento celular (YRUELA, 2013), tendo como consequência a redução do crescimento das plantas (SANCHEZ-PRADO et al., 2014). Concentrações de cobre no solo de 40 mg kg<sup>-1</sup> para solo arenoso e 100 mg kg<sup>-1</sup> para solo argiloso são consideradas tóxicas para o crescimento das plantas (ACCIOLY e SIQUEIRA, 2000).

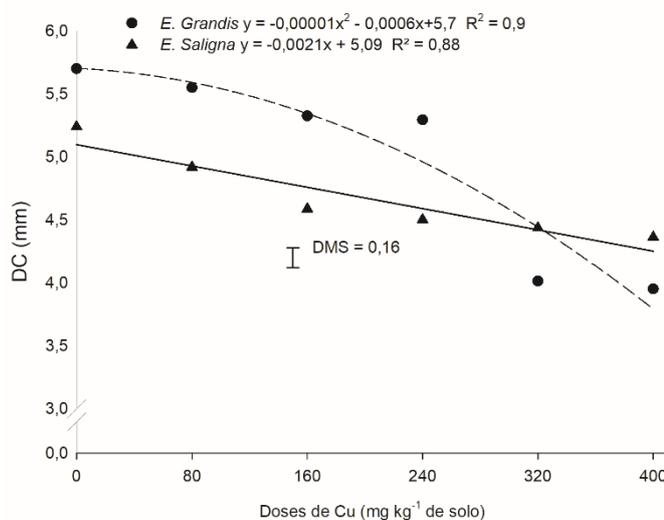
O diâmetro de colo foi reduzido linearmente com as doses de cobre no *E. saligna* e possibilitou um pequeno aumento até a dose estimada de 30 mgkg<sup>-1</sup> de solo no *E. grandis*. (Figura 2). Guo et al. (2010) ressaltaram que a sensibilidade a toxidez de cobre pode ser diferente entre as espécies de plantas provocando reações diferenciadas. De outra forma, Lequeux et al. (2010) evidenciaram que os efeitos apresentados entre as espécies são atribuídos às plantas desenvolverem mecanismos adaptativos aos efeitos tóxicos dos metais.

A massa seca da parte aérea apresentou efeito quadrático positivo com ponto de máxima na dose estimada de 66mg para *E. grandis* e redução linear para *E. saligna* (Figura 3). A resposta positiva para *E. grandis* pode ser devida ao efeito nutricional do micronutriente, o qual participa em diversos processos fisiológicos dos vegetais e o limite de tolerância é dependente de cada espécie vegetal (TAIZ et al., 2017). Dellai et al. (2014) trabalhando com mudas de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) também encontraram redução na massa seca da parte aérea em com o aumento de doses de cobre adicionadas no solo.



**Figura 2.** Massa seca da parte aérea de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em solo com diferentes doses de cobre. DMS: diferença mínima significativa.

Não houve interação significativa entre os fatores de variação espécie e dose para a massa seca radicular. Analisando o efeito simples evidenciou-se que as doses de cobre reduziram linearmente a massa seca radicular (Figura 4). Esses resultados corroboram com os encontrados por Soares et al. (2000), que trabalhando com duas espécies de eucalipto, constataram que as doses de cobre ocasionaram efeitos negativos na massa seca das raízes para ambas as espécies. Conforme Yruela (2009), o excesso de cobre afeta o sistema radicular devido aos distúrbios na estrutura das proteínas e inibição do alongamento celular causado pelo aumento na permeabilidade da membrana plasmática e lignificação da parede celular.



**Figura 3.** Diâmetro de colo de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em solo com diferentes doses de cobre. DMS: diferença mínima significativa.

Com relação ao fator de variação espécie, destacou-se *E. grandis* com maior

massa seca radicular em comparação com *E. saligna*, indicando maior capacidade de absorção de cobre em ambientes contaminados (Figura 5). As espécies florestais apresentam diferentes efeitos oriundos da ação do contaminante em relação ao desenvolvimento radicular, pois pode estar relacionado à tolerância da própria espécie ao metal, relacionada aos mecanismos que proporcionam adaptações bioquímicas permitindo à planta tolerar certas concentrações desse contaminante (TAIZ et al., 2017).

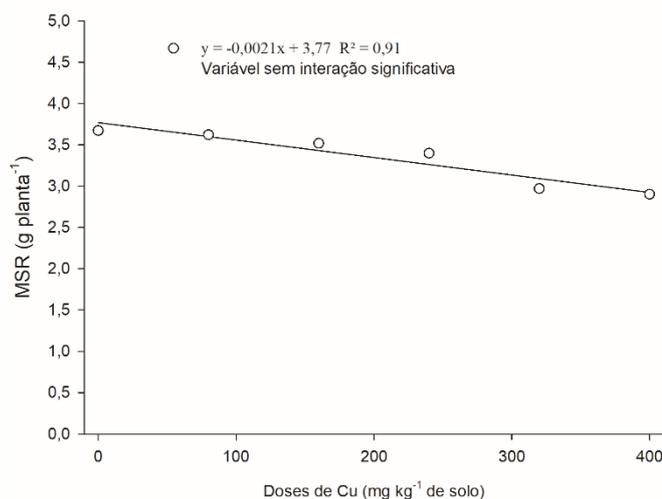


Figura 4. Efeitos simples das doses de cobre para massa seca radicular de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*.

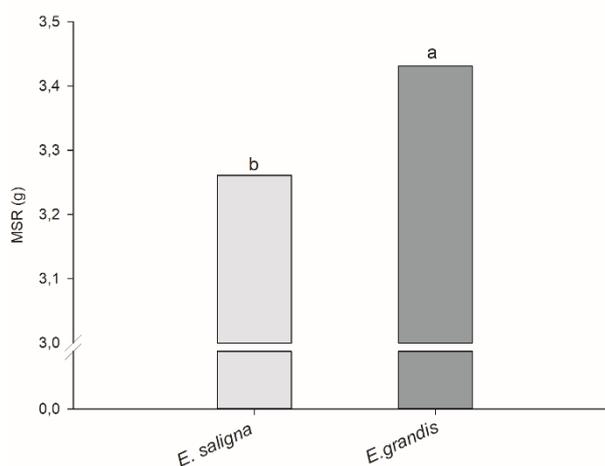


Figura 5. Efeito simples na massa seca radicular de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. As letras indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

O cobre é um elemento químico essencial ao desenvolvimento vegetal, pois atua diretamente nos processos fotossintéticos, constituição de enzimas e proteínas (TAIZ et al., 2017). Porém, quando em elevadas concentrações interfere na fotossíntese,

síntese de pigmentos, bem como induz a deficiência de outros nutrientes básicos através de relações antagônicas (ANDREAZZA et al., 2010) podendo provocar redução do crescimento das plantas.

As plantas respondem de forma diferenciada ao excesso de cobre no solo, bem como em nível de espécie, conforme evidenciado nesse trabalho para o eucalipto, no qual *E. grandis* teve seu crescimento inicial estimulado nas menores doses de cobre. Desse modo, é interessante o desenvolvimento de estudos que visem a seleção de espécies aptas a se desenvolver em solos com excesso deste metal, possibilitando o aproveitamento de áreas contaminadas e o de resíduos, que embora tenham excesso deste metal, contenha elevado valor nutricional para as plantas.

## CONSIDERAÇÕES

O crescimento em altura, diâmetro do colo e massa seca da parte aérea em *E. grandis* foi estimulado por pequenas doses de cobre, enquanto que *E. saligna*, independente da dose de cobre utilizada, houve redução nos parâmetros de crescimento avaliados. Porém, apesar do efeito nutricional das doses iniciais de cobre nas mudas de *E. grandis*, houve maior toxidez na dose máxima utilizada (400 mg kg<sup>-1</sup>) em comparação com *E. saligna*, indicando menor tolerância em solos com elevada contaminação do metal.

## REFÊRENCIAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: Novaes, R.F.; Alvarez, V.H.V.; Schaefer, C.E.G.R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, p. 299-352, 2000.

ANDREAZZA, R.; OKEKE, B. C.; LAMBAIS, M. R.; BORTOLON, L.; MELO, G. W. B.; CAMARGO, F. A. O. Bacterial stimulation of copper phytoaccumulation by bioaugmentation with rhizosphere bacteria. **Chemosphere**, p. 1149-1154, 2010.

BASSO, J. B.; KIANG, C. H. Coeficiente de distribuição (kd) de cobre, potássio e cloreto em solos residuais do subgrupo itararé no estado de São Paulo. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 1, p. 117-133, 2017.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 08 nov. 2016.

DE MARCO, R.; SILVA, R. F.; SCHEID, D. L.; DA ROS, C. O.; SILVA, V. R. Amenizante Orgânico e *Eucalyptus grandis* para fitoestabilização de solo contaminado com cobre. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

DELLAI, A.; SILVA, R. F.; PERRANDO, E. R.; JACQUES, R. J. S.; GROLLI, A. L.; DE MARCO, R. Óleo de eucalipto e *Pisolithus microcarpus* no crescimento de bracinga em solo contaminado por cobre. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 927-933, 2014.

DOMÍNGUEZ, M. T.; MADRID, F.; MARAÑÓN, T.; MURILLO, J. M. Cadmium availability in soil and retention in oak roots: potential for phytostabilization. **Chemosphere**, p. 480-486, 2009.

Ferreira, D. F. Sisvar - Sistema de análise de variância. Versão 5.3. Lavras-MG: **UFLA**; 2011.

GIROTTO, E.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; SANTOS, D. R.; SILVA, L. S.; LOURENZI, C. R.; LORENSINI, F.; RENAN VIEIRA, C. B.; CHMATZ, R. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p.955-965, 2010.

Guo, X. Y.; Zuo, Y. B.; Wang, B. R.; Ma, J. M.; Li, Y. B. Toxicity and accumulation of copper and nickel in maize plants cropped on calcareous and acidic field soils. **Plant Soil**, p. 365–373, 2010.

LEQUEUX, H. HERMANS C, LUTTS S, VERBRUGGEN N. Response to copper excess in *Arabidopsis thaliana*: Impact on the root system architecture, hormone distribution, lignin accumulation and mineral profile. **Plant Physiology and Biochemistry**, p. 673-682, 2010.

MAGALHÃES, M. O. L.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; SANTOS, F S.; MAZUR, N. Potencial de duas espécies de eucalipto na fitoestabilização de solo contaminado com zinco. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 805-812, 2011.

SÁNCHEZ-PARDO. B.; FERNÁNDEZ-PASCUAL. M.; ZORNOZA. P. Copper microlocalisation and changes in leaf morphology, chloroplast ultrastructure and antioxidative response in white lupin and soybean grown in copper excess. **Journal of Plant Research**, v. 127, n. 1, p. 119–129, 2014.

SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA J. O., CARVALHO J. G.; MOREIRA F.M. S.; GRAZZIOTTI P. H. Crescimento e nutrição mineral de *Eucalyptus maculatae* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva com concentração crescente de cobre. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, p. 213-225, 2000.

SOUZA, S. C. R.; ANDRADE, S. A. L.; SOUZA, L. A.; SCHIAVINATO, M. A. Lead tolerance and phytoremediation potential of Brazilian leguminous tree species at the seedling stage. **Journal of Environmental Management**, p. 299-307, 2012.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed; 2017.  
YRUELA, I. Copper in plants: Acquisition, transport and interactions. **Functional Plant Biology**, v. 36, n. 5, p. 409–430, 2009.

YRUELA, I. Transition metals in plant photosynthesis. **Metallomics**. v. 5. n. 9. p. 1090–1109. 2013.

## TEORES DE NITROGÊNIO NO SOLO E NA ÁGUA EM PROPRIEDADE SUINÍCOLA DE BRAÇO DO NORTE/SC

### **Eliana Aparecida Cadoná**

Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Departamento de Solos  
Pelotas – Rio Grande do Sul

### **Cledimar Rogério Lourenzi**

Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural. Florianópolis – Santa Catarina

### **Eduardo Lorensi de Souza**

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul,  
Regional IV. Três Passos – Rio Grande do Sul

### **Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares**

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Departamento de Microbiologia e Imunologia. Florianópolis – Santa Catarina

### **Arcângelo Loss**

Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural. Florianópolis – Santa Catarina

### **Paula Beatriz Sete**

Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural. Florianópolis – Santa Catarina

**RESUMO:** A atividade suinícola é uma importante fonte de renda para as propriedades agrícolas, principalmente nos estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul. No entanto, gera volumes significativos de dejetos que,

normalmente, são aplicados como fonte de nutrientes em áreas agrícolas, o que pode ocasionar quadros de contaminação ambiental, tanto do solo, como da água. O objetivo deste trabalho é avaliar a possível contaminação de corpos hídricos superficiais e subterrâneos por nitrogênio, no solo e na água, de acordo com a legislação vigente, em uma propriedade suinícola localizada no município de Baço do Norte/Santa Catarina. Foram realizadas cinco coletas de água, entre julho de 2015 e junho de 2016 e uma coleta de solo no mês de dezembro/2015 em propriedade suinícola, para avaliar a possível contribuição do solo na contaminação de corpos hídricos. Os teores de N ( $N-NH_4^+$  e  $N-NO_3^-$ ) no solo e na água foram determinados por destilação micro-kjedahl. Observou-se que a contaminação de corpos hídricos por N, especialmente em áreas agrícolas com uso intensivo de dejetos de suínos, é um problema recorrente no sul do Brasil. Apesar dos resultados do estudo de caso indicar contaminação em apenas algumas das avaliações realizadas, é importante destacar que as transferências de N para corpos hídricos são sazonais, ocorrendo especialmente logo após as aplicações dos dejetos nas áreas agrícolas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Amônio, Nitrito, Qualidade da Água.

## SOIL AND WATER NITROGEN LEVELS IN SWINE PROPERTY IN BRAÇO DO NORTE/SC

**ABSTRACT:** Pig farming is an important source of income for agricultural properties, especially in the states of Santa Catarina and Rio Grande do Sul. However, it generates significant amounts of manure that is normally applied as a source of nutrients in agricultural areas, which can lead to environmental contamination of both soil and water. The objective of this work is to evaluate the possible contamination of surface and underground water bodies by nitrogen, in soil and water, according to the current legislation, in a pig farm located in the municipality of Braço do Norte/Santa Catarina. Five water collections were carried out between July 2015 and June 2016 and a soil collection in December/2015 in pig farm, to evaluate the possible contribution of soil in the contamination of water bodies. The contents of N ( $\text{N-NH}_4^+$  and  $\text{N-NO}_3^-$ ) in soil and water were determined by micro-kjedahl distillation. It was observed that the contamination of water bodies by N, especially in agricultural areas with intensive use of swine manure, is a recurrent problem in southern Brazil. Although the results of the case study indicate contamination in only some of the evaluations carried out, it is important to highlight that the N transfers to water bodies are seasonal, occurring especially soon after the applications of the waste in the agricultural areas.

**KEYWORDS:** Ammonium, Nitrate, Water Quality.

### 1 | INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma atividade amplamente difundida e desenvolvida no Brasil, especialmente na região Sul, predominantemente nos estados de Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS), gerando volumes significativos de dejetos que necessitam de destino adequado. Por causa do seu potencial fertilizante, os dejetos de suínos podem suprir total ou parcialmente as necessidades nutricionais das plantas (LOURENZI et al., 2013), por isso são utilizados como fonte de nutrientes em áreas agrícolas cultivadas, normalmente, com culturas de grãos e/ou pastagens. Entretanto, por apresentarem elevadas concentrações de alguns elementos, como o nitrogênio (N), apresentam alto risco de contaminação ambiental, devido ao grande volume produzido e a limitação de áreas para aplicação, uma vez que a suinocultura é desenvolvida, predominantemente, em pequenas propriedades (SCHERER et al., 2010).

O manejo inadequado dos dejetos, como as sucessivas aplicações nas mesmas áreas, pode causar o acúmulo excessivo de nutrientes e contaminantes no solo, como o N, fósforo (P) (CERETTA et al., 2010a; LOURENZI et al., 2013) e metais pesados (BASSO et al., 2012), facilitando o transporte desses elementos para mananciais hídricos, especialmente, via escoamento superficial (CERETTA et al., 2010b; GIROTTO et al., 2010; LOURENZI et al., 2015), mas também via lixiviação

(GIROTTTO et al., 2013; LOURENZI et al., 2015). Em relação ao N, a contaminação de corpos hídricos por amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), oriundos do uso de dejetos em áreas de lavouras, tem se mostrado uma das maiores problemáticas e temas de diversas pesquisas desenvolvidas, especialmente, no Sul do Brasil (CERETTA et al., 2010b; GIROTTTO et al., 2013).

Em locais onde a atividade suinícola é intensiva e constante, torna-se necessário o acompanhamento de parâmetros de qualidade ambiental, principalmente no que tange a qualidade da água e do solo (GIROTTTO et al., 2010). No estado de Santa Catarina, especificamente no município de Braço do Norte, localizado no Sul do Estado, encontra-se a maior produção de suínos por  $\text{km}^2$  do Brasil, sendo a principal fonte de renda do município. Assim, a aplicação dos dejetos de suínos nas lavouras como fonte de nutrientes é um fator que contribui em grande parte para a poluição dos recursos hídricos na região (GOMES, 2009). Dessa forma, no presente capítulo será apresentado um estudo de caso realizado em uma propriedade suinícola, localizada no município de Braço do Norte (SC), onde o uso de dejetos em áreas de lavouras ocorre de maneira intensiva. A ênfase do referido estudo de caso foi avaliar a contaminação de diferentes corpos hídricos e do solo por formas de N ( $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$ ) em virtude do uso de dejetos de suínos em áreas agrícolas.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no município de Braço do Norte, em propriedade agrícola com criação intensiva de suínos, inserida na microbacia hidrográfica do Rio Coruja/Bonito. O trabalho foi conduzido no período de julho/2015 a junho/2016, sendo realizadas cinco coletas de água (jul/15, out/15, dez/15, mar/16 e jun/16). Na propriedade selecionada para o estudo foram identificados os seguintes corpos hídricos poço de abastecimento humano (PA), nascente (NA) e açude (AD), sendo as coordenadas dos pontos apresentadas na tabela 1.

ID	Corpo hídrico	Altitude	Coordenada
PA	Poço de abastecimento	405 m	28°11'786" S 49°04'770" O
NA	Nascente	410 m	28°11'888" S 49°04'612" O
AD	Açude	403 m	28°11'807" S 49°04'639" O

Tabela 1. Coordenadas geográficas dos pontos de coleta.

Em cada fonte de água foram coletados, aproximadamente, 300 mL de água em cada uma das cinco coletas realizadas. Posteriormente, as amostras foram

armazenadas em caixa de isopor com gelo, até a chegada ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Tecidos Vegetais da UFSC. No laboratório, foram determinados os teores de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  através de destilação micro-kjedahl, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Em dezembro de 2015 também foi realizada uma coleta de solo em locais próximos aos corpos hídricos avaliados. A coleta foi realizada em triplica, nas seguintes profundidades: 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. As amostras coletadas foram armazenadas em sacos plásticos e conduzidas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Tecidos Vegetais onde, imediatamente, foram submetidas a determinação dos teores de N mineral conforme metodologia de extração e destilação descrito em Tedesco et al. (1995). Os teores de N do solo foram submetidos a análise de variância e, quando verificada diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Para os teores de N ( $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$ ) na água foram avaliados para a contaminação conforme valores vigentes através da Resolução nº357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as amostras de solo avaliadas, não foi verificada diferença nos teores de N mineral em profundidade no PA e NA (Tabela 2), enquanto que para o AD os maiores teores de N mineral foram observados nas camadas superficiais (Tabela 2). Esses resultados de baixo acúmulo de N mineral no solo são justificados pela dinâmica do N no sistema solo, o qual apresenta baixa interação às cargas dos colóides, independente da forma com que o N se encontra no solo ( $\text{N-NH}_4^+$  ou  $\text{N-NO}_3^-$ ). Essa grande mobilidade das formas de N no solo favorecem as transferências desse elemento para mananciais hídricos, tanto por escoamento superficial (CERETTA et al., 2010) quanto por percolação (GIROTTI et al., 2013). Nesse sentido, Silveira et al. (2011) salientam que as perdas de N no solo ocorrem, principalmente, pelas formas minerais solúveis ( $\text{N-NH}_4^+$  ou  $\text{N-NO}_3^-$ ) geralmente em processos intensos de precipitação, podendo provocar processos de eutrofização em corpos hídricos após esses eventos.

Profundidade, cm	N mineral (mg kg <sup>-1</sup> )		
	PA	NA	AD
0-5	16,33 ns	26,44 ns	33,83 a <sup>1</sup>
5-10	11,08	20,12	32,08 a
10-20	8,94	21,58	12,83 b
20-40	6,59	34,22	26,31 ab
CV, %	49,72	25,83	24,04

**Tabela 2.** Teores de N-mineral em diferentes profundidades no solo em cada local avaliado.

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra minúscula da coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo.

Em relação as amostras de água avaliadas, no PA os valores variaram de 0,58 mg L<sup>-1</sup> a 4,67 mg L<sup>-1</sup>, para o NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, e de 2,33 mg L<sup>-1</sup> a 11,67 mg L<sup>-1</sup>, para o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Figura 1). Para a NA, os teores de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> variaram de 1,40 mg L<sup>-1</sup> a 7,00 mg L<sup>-1</sup>, enquanto que para o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> os teores variaram de 0,88 mg L<sup>-1</sup> a 5,25 mg L<sup>-1</sup>. No ponto AD, os teores variaram de 1,28 mg L<sup>-1</sup> a 5,25 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, para o N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, e variaram de 0,88 mg L<sup>-1</sup> à 3,50 mg L<sup>-1</sup>, para o NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

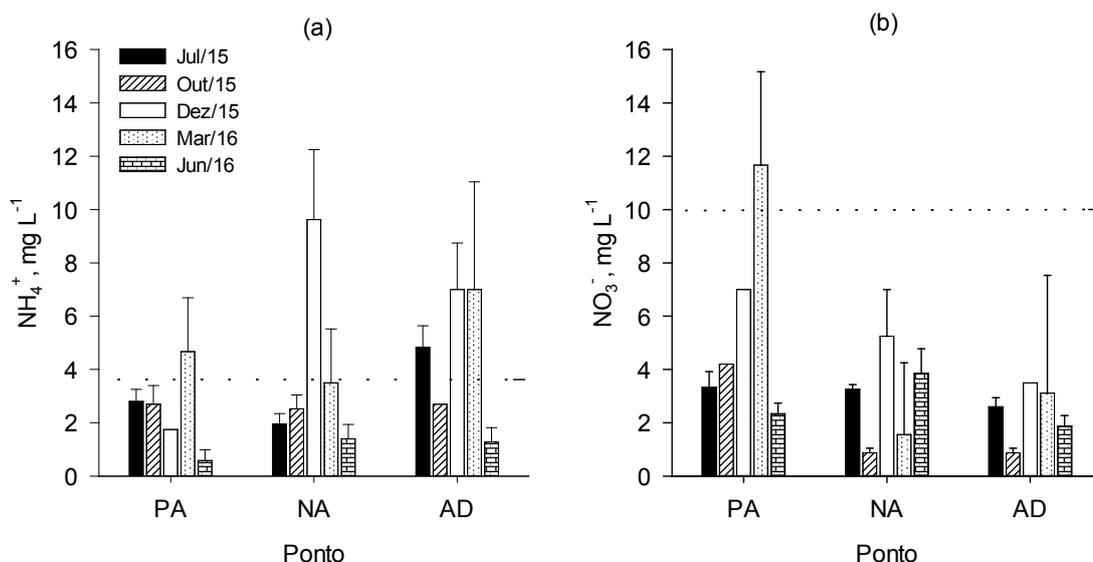


Figura 1. Teores de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (a) e NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (b) em corpos hídricos em propriedade suinícola.

Linha tracejada indica os teores limítrofes de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (3,7 mg L<sup>-1</sup>) e de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (10 mg L<sup>-1</sup>), conforme Resolução nº357/2005.

Após a avaliação das cinco coletas realizadas, verificou-se contaminação dos corpos hídricos por NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no PA, apenas na coleta de Mar/16, na NA, apenas na coleta de Dez/15, e os maiores índices de contaminação foram observados no AD, com teores acima daqueles estabelecidos pela legislação nas coletas realizadas em Jul/15, Dez/15 e Mar/16 (Figura 1a). Considera-se que um corpo hídrico está contaminado com N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> quando o mesmo, segundo resolução nº 357/2005 do CONAMA, apresenta teores de Nitrogênio Amoniaco Total superiores à 3,7 mg L<sup>-1</sup> para pH<7,5. Esses resultados podem ser explicados pelo fato dos corpos hídricos NA e AD estarem localizados em uma região mais baixa do terreno e, possivelmente, recebem aporte de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> via escoamento superficial de áreas agrícolas adjacentes, nas quais são realizadas aplicações de dejetos de suínos ao longo do ano.

A transferência de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> por escoamento superficial ocorre, normalmente, nos primeiros dias após a aplicação dos dejetos de suínos no solo, como observado por Ceretta et al. (2005). Esses autores, ao avaliarem a transferência de nutrientes por escoamento superficial em Argissolo Vermelho submetido a aplicação das doses de 0, 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos de suínos, verificaram que a presença de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na

solução escoada superficialmente não ultrapassou os 40 dias após a aplicação dos dejetos. Além disso, Ceretta et al. (2005) também observaram que as transferências de  $\text{N-NH}_4^+$  por escoamento superficial pode representar até 14 do total de N aplicado ao solo via dejetos de suínos, o que pode significar um grande potencial poluente para os corpos hídricos.

Para os teores de  $\text{NO}_3^-$  somente o PA, na coleta de Mar/16, apresentou teores acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº357/2005 (Figura 1b). No entanto, conforme CETESB (2005), quando os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  em corpos hídricos atingem o valor de  $5 \text{ mg L}^{-1}$  já é um indicio de que a água está sendo contaminada por N, causando degradação da qualidade da mesma e problemas de saúde pública. Já Bouchard et al. (1992) afirmam que quando a concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  atinge  $3 \text{ mg L}^{-1}$  indica contaminação por ação antropogênica, necessitando ações de monitoramento e recuperação das áreas contaminadas. Conceição et al. (2014) observaram que o  $\text{N-NO}_3^-$  é o composto nitrogenado que ocorre em maior frequência em corpos hídricos subterrâneos, podendo aumentar os casos de metahemoglobinemia e câncer. Em áreas com uso de dejetos de suínos, as transferências de  $\text{N-NO}_3^-$  por lixiviação podem chegar até 17% do total de N aplicado via dejetos, como observado por Girotto et al. (2013), sendo a presença de compostos nitrogenados, em diferentes estados de oxidação, indica condições higiênico-sanitárias insatisfatórias, principalmente em poços de abastecimento humano, aumentando os casos endêmicos relacionados a esses compostos (SOUZA et al., 2015).

A presença das formas de N nos corpos hídricos avaliados não apresentou correlação com os teores de N mineral do solo, conforme também observado por CADONÁ et al (2018). Isso ocorre pelo fato de que o N é um elemento muito dinâmico no solo, sofrendo diversas transformações e processos de perdas, como por volatilização de amônia (BASSO et al., 2004), escoamento superficial (CERETTA et al., 2010b), lixiviação (GIROTTTO et al., 2013) e emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  (GONZATTO et al., 2013), sendo que essas perdas são mais acentuadas, predominantemente, em momentos imediatamente após as aplicações de N no solo, independente da fonte de nutriente utilizada. Dessa forma, o acúmulo de N no solo é pequeno, não apresentando relação com a presença desse elemento em corpos hídricos.

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contaminação de corpos hídricos por N, especialmente em áreas agrícolas com uso intensivo de dejetos de suínos, é um problema recorrente no sul do Brasil. Apesar dos resultados do estudo de caso indicar contaminação em apenas algumas das avaliações realizadas, é importante destacar que as transferências de N para corpos hídricos são sazonais, ocorrendo especialmente logo após as aplicações dos dejetos nas áreas agrícolas.

## REFERÊNCIAS

- BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; PAVINATO, P.S.; SILVEIRA, M.J. **Perdas de nitrogênio de dejetos líquido de suínos por volatilização de amônia.** Ciência Rural, v.34, p.1773-1778, 2004
- BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; FLORES, E. M. de M.; GIROTTTO, E. **Teores totais de metais pesados no solo após aplicação de dejetos líquido de suínos.** Ciência Rural, v. 42, p. 653-659, 2012
- BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; FEY, E.; LANA, M. do C. **Perda de nutrientes via escoamento superficial no sistema plantio direto sob adubação mineral e orgânica.** Ciência Rural, v.41, 1914-1920, 2011
- BOUCHARD, D.C.; WILLIAMS, M.K.; SURAMPALLI, R. Y. **Nitrate contamination of groundwater, sources and potential health effects.** Journal of the American Water Works Associations, v.84, p. 85-90, 1992
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- CADONÁ, E.A; LOURENZI, C.R; SOUZA, E.L. de; RAMPINELLI, E.C.; SANTOS, M. L. dos; SETE, P.B.; SOARES, C.R.F.S. **Contaminação por Nitrogênio e fósforo de águas destinadas ao consumo humano em região com intensa atividade suinícola.** Geociências, v.37, p.377-396, 2018
- CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; VIEIRA, F.C.B.; HERBES, M.G.; MOREIRA, I.C.L.; BERWANGER, A.L. **Dejetos líquido de suínos: I – perdas de nitrogênio e fosforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto.** Ciência Rural, v.35, p.1296-1304, 2005
- CERETTA, C.A.; GIROTTTO, E.; LOURENZI, C.R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R.C.B.; BRUNETTO, G. **Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry.** Agriculture, Ecosystems & Environment, v.139, p.689-699, 2010b
- CERETTA, C.A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTTO, E.; GATIBONI, L.C.; LOURENZI, C.R.; TIECHER, T.L.; CONTI, L. de; TRENTIN, G.; MIOTTO, A.E. **Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos suínos em plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.45, p. 593-602, 2010
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Decisão de diretoria nº195-2005. Disponível em: < <https://www.agsolve.com.br/pdf/artigos/novatabelacetesb2005.pdf>>. Acesso em 10/06/2019 às 14:35.
- CONCEIÇÃO, F.T. da; MAZZINI, F.; MORUZZI, R.B.; NAVARRO, G.R.B. **Influências naturais e antrópicas na qualidade da água subterrânea de poços de abastecimento público na área urbana de Marília (SP).** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.19, p. 227-238, 2014
- GIROTTTO, E.; CERETTA, C.A.; DOS SANTOS, D.R.; BRUNETTO, G.; ANDRADE, J.G. de; ZALAMENA, J. **Formas de perda de cobre e fósforo em água de escoamento superficial e percolação em solo sob aplicações sucessivas de dejetos líquido de suínos.** Ciência Rural, v. 40, p.1948-1954, 2010
- GIROTTTO, E.; CERETTA, C.A.; LOURENZI, C.R.; LORENSINI, F.; TIECHER, T.L.; VIEIRA, R.C.B.; TRENTIN, G.; BASSO, C.J.; MIOTTO, A.; BRUNETTO, G. **Nutrient transfer by leaching in a no-tillage system through soil treated with repeated pig slurry applications.** Nutrient, Cycling Agroecosystems, v.95. p.115-131, 2013
- GOMES, A. V. **Potencial de geração de energia através da gestão dos dejetos na suinocultura a sub-bacia hidrográfica do Rio Coruja/Bonito em Braço do Norte-SC.** Trabalho de Conclusão de

Curso da Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2009, 64 p.

GONZATTO, R.; MIOLA, E.C.C.; DONEDA, A.; PUJOL, S.B.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. **Volatilização de amônia e emissão de óxido nitroso após aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo cultivado com milho.** Ciência Rural, v.43, p.1590-1596, 2013

LOURENZI, C.R.; CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; GIROTTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T.L.; DE CONTI, L.; TRENTIN, G.; BRUNETTO, G. **Nutrients in layers of soil under no-tillage treated with successive applications of pig slurry.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.37, p.157-167, 2013.

LOURENZI, C.R.; CERETTA, C.A.; TIECHER, T.L.; LORENSINI, F.; CANCIAN, A.; STEFANELLO, L.; GIROTTTO, E.; VIEIRA, R.C.B.; FERREIRA, P.A.A.; BRUNETTO, G. **Forms of phosphorus transfer in runoff under no-tillage in a soil treated with successive swine effluents applications.** Environmental, Monitoring & Assessment, v.187, p.1-16, 2015

FIOREZE, C.; CERETTA, C.A.; GIACOMINI, S.J.; TRENTIN, G.; LORENSINI, F. **Liberção do N em solos de diferentes texturas com ou sem adubos orgânicos.** Ciência Rural, v.42, p. 1187-1192, 2012

SCHERER, E.E.; NESI, C.N.; MASSOTTI, Z. **Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, n.34, p. 1375-1383, 2010

SILVEIRA, F. M.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F.M.; SILVA, E.D.B. **Dejeto líquido de bovino em plantio direto: perda de Carbono e Nitrogênio por escoamento superficial.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p. 1759-1767, 2011

SOUZA, J. A. R. de; MOREIRA, D. A.; CONDÉ, N.M.; CARVALHO, W. B. de; MIRANDA E CARVALHO, C.V. **Análise das condições de potabilidade das águas de surgências em Ubá, MG.** Ambiente e Água, v. 10, p. 614-620, 2015

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** Boletim Técnico nº 5, 2ª ed. rev. e amp., Porto Alegre: Departamento de Solo, UFRGS, 1995, 174 p.

## ESTADO NUTRICIONAL E PRODUTIVIDADE DA SOJA APÓS APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO COM E SEM REVOLVIMENTO DO SOLO

### **Valmor José Tomelero**

Engenheiro Agrônomo

Erebango - RS

### **Fabiana Schmidt**

Pesquisadora da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Estação Experimental de Campos Novos. Campos Novos - SC

### **Fabiano Daniel de Bona**

Pesquisador da Embrapa Trigo

Passo Fundo - RS

**RESUMO:** A aplicação de calcário e gesso agrícola promovem alterações na química do solo e podem influenciar na produção das culturas. Este estudo foi realizado para avaliar o estado nutricional e a produção de grãos da soja devido o uso de calcário e gesso aplicados isolada ou combinadamente em sistemas de preparo do solo plantio direto e preparo reduzido. O experimento foi estabelecido à campo nas safras de 2013/14 com localização em Erebangó, Estado do RS. O delineamento experimental utilizado foi o blocos ao acaso, com três repetições e design fatorial 4x2. Os tratamentos testados foram: sem aplicação de calcário e gesso agrícola (testemunha); 2.500 kg ha<sup>-1</sup> de calcário; 2.500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola e 2.500 kg ha<sup>-1</sup> de calcário + 2.500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola nos sistemas de preparo do solo

plantio direto e preparo reduzido. A aplicação dos tratamentos foi realizada antes da semeadura da soja. *O aproveitamento de nutrientes pela soja não foi prejudicado pela aplicação de calagem ou gesso em ambos os sistemas de preparo do solo. As concentrações de nutrientes nas folhas diagnósticas permaneceram dentro das faixas de suficiência para a cultura.* A aplicação de calcário combinado com o gesso agrícola comparativamente com a aplicação isolada de calcário ou de gesso proporcionou as mais altas produções de grãos na soja nos dois sistemas de preparo do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas de preparo do solo; Calagem e gessagem; *Glycine max*; nodulação; nutrientes nas folhas diagnósticas.

### NUTRITIONAL STATUS AND SOYBEAN PRODUCTIVITY AFTER LIMESTONE AND GYPSUM APPLICATIONS WITH AND WITHOUT SOIL REVOLVEMENT

**ABSTRACT:** The limestone and gypsum applications promote changes in soil chemistry and can influence in crop production. This study was carried out to evaluate the nutritional status and grain yield of soybeans due the use limestone and gypsum applied alone or in combination with no tillage and reduced tillage. The experiment was established in the field in 2013/14, with location in Erebangó, State of

RS. The experimental design was the randomized blocks, with three replicates and a factorial design 4x2. The treatments tested were: without application of limestone and gypsum (control); 2,500 kg ha<sup>-1</sup> of limestone; 2,500 kg ha<sup>-1</sup> of gypsum and 2,500 kg ha<sup>-1</sup> of limestone + 2,500 kg ha<sup>-1</sup> of gypsum in the systems of no-tillage and reduced tillage. The treatments were applied before soybean sowing. Nutrient utilization by soybean did not limited to liming or gypsum application in both soil tillage systems. The nutrient concentrations in the diagnostic leaves stayed within the ranges of sufficiency for the crop. The limestone combined with gypsum applications compared to the isolated applications of limestone or gypsum provided the highest grain yields in soybean in both systems of soil preparation.

**KEYWORDS:** Soil preparation systems; Liming and gypsum applications; *Glycine max.*; Nodulation; Nutrients in Diagnostic Leaves.

## 1 | INTRODUÇÃO

A soja é a cultura de verão que ocupa a maior área plantada com grãos no Planalto do Rio Grande do Sul, sendo cultivada principalmente em Latossolos ácidos sob sistema de plantio direto (SPD). O manejo inadequado do solo no SPD pode limitar a produção de grãos devido ao surgimento de impedimentos físicos e químicos para o aprofundamento do sistema radicular. A ausência de revolvimento dos solos por um longo período e a aplicação superficial dos corretivos de acidez e fertilizantes podem ocasionar entre várias situações o acúmulo de nutrientes na camada superficial do solo, a acidez subsuperficial aliada aos baixos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e presença do Al em profundidade (ESCOSTEGUY et al., 2013).

No SPD, o calcário é aplicado sobre a superfície do solo sem incorporação corrigindo a acidez da camada superficial (0-10 cm). Essa prática pouco influencia a acidez da camada subsuperficial (10-20 cm) em solos ácidos e argilosos (MARTINAZZO, 2006). A ausência da incorporação do calcário diminui a superfície de contato entre as partículas de solo e as do corretivo, retardando os efeitos da calagem e restringindo as reações aos centímetros superficiais do solo. Esta estratégia de manejo de aplicação calcário pode estar contribuindo para a formação de um perfil de solo com características químicas e físicas desfavoráveis ao desenvolvimento radicular e tem sido destacado como um dos principais limitantes para a manutenção de elevadas produtividades em Latossolos ácidos, apresentando um efeito mais acentuado nas culturas em situações de déficit hídrico de curta duração típicas nesta região do Estado (DALLA NORA & AMADO, 2013).

Além do problema relacionado à correção da acidez do subsolo que limita o crescimento radicular, a aplicação de calcário em superfície pode acarretar em surgimento de deficiência de Ca e Mg em subsuperfície. No entanto, a movimentação destes cátions no perfil do solo pode ser favorecida através da aplicação de

fertilizantes como o gesso agrícola que em sua reação no solo libera o ânion sulfato, que é um íon acompanhante do cálcio na sua lixiviação. No entanto, a intensidade com que esse fenômeno ocorre ainda não é bem conhecida.

As aplicações superficiais de calcário combinado com gesso têm sido avaliadas como alternativas para a melhoria da qualidade química do perfil do solo no SPD, sem necessidade de interrupção do sistema, proporcionando o aprofundamento do sistema radicular e a maior eficiência no uso da água do solo e, conseqüentemente, a manutenção de altas produtividades das culturas mesmo em anos de déficit hídrico.

Segundo Caires et al. (2003), a aplicação de gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto foi eficiente na melhoria do ambiente radicular e interferiu na nutrição da cultura da soja, porém, não afetou a produtividade da cultura provavelmente devido à ausência de déficit hídrico. Já Caires et al. (2004) observaram aumento na produtividade de milho em função da aplicação de gesso em superfície com calagem, mesmo com boa disponibilidade hídrica.

A resposta das culturas a aplicação de calcário combinado ou não ao gesso agrícola em condições onde a camada superficial foi previamente corrigida e a camada subsuperficial encontra-se muito ácida ainda não estão bem definidas. O mesmo ocorre com as respostas das culturas ao revolvimento ou não do solo nesta situação. Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar o estado nutricional e o rendimento de grãos da soja em função da aplicação do calcário e do gesso de forma isolada e combinada em solo manejado sobre plantio direto e preparo reduzido do solo.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no município de Erebango, em área experimental localizada nas coordenadas geográficas: latitude sul 27°50' 25.31" e longitude oeste 52°20'36.08" e altitude de 671 metros. A propriedade está localizada na Unidade de Mapeamento Estação, sendo o solo classificado como Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico (STRECK et al., 2008), relevo ondulado e substrato basáltico.

A condução do experimento ocorreu no período referente a safra agrícola 2013/2014, sendo utilizada na área experimental a sucessão das culturas aveia preta seguida do cultivo de soja. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos ao acaso, com quatro repetições. No experimento foram testados dois fatores: sistemas de preparo do solo (dois níveis) e aplicação de calcário e gesso agrícola de forma isolada e combinada (quatro níveis).

Os oito tratamentos testados foram: T1 - plantio direto sem aplicação de calcário e de gesso; T2 - plantio direto com aplicação de 2.500 kg ha<sup>-1</sup> de calcário; T3 - plantio direto com aplicação de 2.500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola; T4 - plantio direto com aplicação de 2.500 kg ha<sup>-1</sup> de calcário + 2.500 kg ha<sup>-1</sup> gesso agrícola. T5 - preparo reduzido sem aplicação de calcário e de gesso; T6 - preparo reduzido com aplicação

de 2.500 kg ha<sup>-1</sup> de calcário; T7 - preparo reduzido com aplicação de 2.500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola; T8 - preparo reduzido com aplicação de 2.500 kg ha<sup>-1</sup> de calcário + 2.500 kg ha<sup>-1</sup> gesso agrícola. Os tratamentos foram aplicados em 24 parcelas com dimensões de 3 x 5m (área total de cada parcela 15 m<sup>2</sup>).

Previamente à instalação do experimento foi realizada a coleta de amostras de solo para determinação dos atributos químicos, das camadas de 0-20 e 20-40 cm (Tabela 1). A aplicação de gesso e calcário foi realizada à lanço antes da semeadura da soja. O calcário utilizado foi do tipo Filler com PRNT de 100% e o gesso agrícola continha em sua composição de 16% de S e 20% de Ca.

Prof. (cm)	pH <sub>água</sub>	MO ---- % ----	V ----	CTC <sub>pH 7,0</sub> -----	Ca cmolc dm <sup>3</sup> -----	Mg -----	K -----	P -----	S -----	B -----	Cu	Zn	Mn
0-20	5,5	1,9	61,5	12,3	5,9	1,7	64,3	2,9	26,0	0,16	9,43	2,16	42,8
20-40	5,0	2,0	50,6	13,1	5,2	1,4	62,3	2,5	38,2	0,12	7,53	2,09	72,6

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área antes da instalação do experimento.

Os valores correspondem a média de três amostras.

A semeadura da soja ocorreu dentro do período de zoneamento da cultura, na data de 15 de novembro de 2013, utilizando a cultivar Apolo, na densidade 290.000 sementes aptas por hectare (poder germinativo de 90%), espaçamento de 38 cm entre fileiras e 11 sementes por metro linear, com tratamento de semente com fungicida e inseticida (Piraclostrobina+ (MetilTiofanato) + (Fipronil), na dose de 100 ml por hectare.

No momento da semeadura as sementes foram inoculadas com estirpes selecionadas de bactérias *Bradyrhizobium Elkanii*, na dose de 60 g por hectare. Como adubação de base utilizou-se o fertilizante comercial formulado NPK 02-23-23, na dose de 340 kg ha<sup>-1</sup>. Os tratamentos fitossanitários, como o controle de pragas e doenças e de plantas invasoras seguiram normas técnicas de manejo e controle sugeridas pela pesquisa.

A determinação da massa seca do sistema radicular da soja e a contagem do número de nódulos foi realizada através da amostragem ao acaso de uma planta por parcela. Nas plantas amostradas foram separadas as raízes e a parte aérea. As amostras foram acondicionadas separadamente em sacos de papel e colocadas para secar em estufa a 60°C durante 72 horas, seguidas de pesagem em balança analítica.

Para a avaliação das concentrações de N, K, P, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mn e B nas folhas diagnósticas foram coletados ao acaso 52 trifólios maduros com pecíolo no final da floração da soja, em cada parcela experimental. Essas amostras foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa a 60°C, por 72 horas, até atingir massa constante. O tecido vegetal da parte aérea foi moído e nele

foram determinadas as concentrações de nutrientes através de metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

A colheita dos grãos foi realizada manualmente na área útil de um metro quadrado (1 m<sup>2</sup>) de cada parcela, após realizou-se a limpeza, secagem e pesagem dos grãos. Para o cálculo da produtividade, a umidade dos grãos foi ajustada para 13%.

Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando significativa foi aplicado o teste de comparação de médias (Tukey) ao nível de 5% de probabilidade de erro. Para as interações significativas, realizou-se o respectivo desdobramento, visando comparar os efeitos da aplicação de gesso e calcário dentro de cada sistema de preparo do solo, e vice-versa. Na ausência de interação, avaliaram-se os efeitos isolados do fator manejo do solo e dos fatores aplicação de gesso e calcário isolada e combinadamente.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Diagnose Foliar

As concentrações dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S e dos micronutrientes B, Cu, Zn e Mn nas folhas diagnósticas das plantas de soja cultivadas com a aplicação de calcário, gesso, calcário+gesso e sem aplicação de gesso e calcário ficaram dentro da faixa de suficiência para a cultura (Tabelas 2 e 3).

Sistema de preparo do solo	Concentração nas folhas diagnósticas (g kg <sup>-1</sup> )					
	N	K	P	Ca	Mg	S
<b>Plantio direto</b>						
Sem aplicação de calcário e gesso	53,38	14,85	3,49	9,66	3,08	1,87
2.500 kg de calcário	49,36	14,85	2,92	9,15	2,88	1,73
2.500 kg de gesso agrícola	45,69	13,89	2,98	9,85	2,82	1,50
2.500 kg de calcário + gesso	48,64	14,85	3,04	9,25	2,89	1,54
<i>Média</i>	<b>49,27a</b>	<b>14,61a</b>	<b>3,11a</b>	<b>9,48b</b>	<b>2,92b</b>	<b>1,66a</b>
<b>Preparo reduzido</b>						
Sem aplicação de calcário e gesso	47,57	13,89	2,83	13,03	3,43	2,24
2.500 kg de calcário	49,27	14,37	2,96	11,82	3,36	1,66
2.500 kg de gesso agrícola	48,87	13,41	2,85	10,36	3,01	1,79
2.500 kg de calcário + gesso	45,87	13,89	3,04	11,19	3,23	1,75
<i>Média</i>	<b>47,90a</b>	<b>13,89a</b>	<b>2,92a</b>	<b>11,60a</b>	<b>3,26a</b>	<b>1,86a</b>

Tabela 2- Efeito do calcário e do gesso agrícola nas concentrações de macronutrientes nas folhas diagnósticas da soja cultivada em diferentes sistemas de preparo de solo.

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna diferem significativamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5%.

A aplicação de calcário na superfície do solo, incorporado ou não, não afetou a absorção de nutrientes pela soja. Da mesma forma, a utilização do gesso agrícola incorporado ou não ao solo também não promoveu alterações significativas nas

concentrações foliares de nutrientes (Tabelas 2 e 3). A ausência de resposta significativa da aplicação de gesso nas concentrações de S nas folhas diagnósticas da soja provavelmente tenha ocorrido devido a disponibilidade de S no solo já se encontrar alta (26 mg dm<sup>-3</sup> na camada de 0-20 cm) antes da aplicação da fonte de S (Tabela 1).

O preparo reduzido do solo possibilitou melhor aproveitamento do Ca, Mg, Mn e Zn pela soja, sendo as concentrações destes nutrientes mais altas nas folhas diagnósticas das plantas neste preparo do solo comparativamente as cultivadas no sistema de plantio direto (Tabela 3).

Sistema de preparo do solo	Concentração nas folhas diagnósticas (mg kg <sup>-1</sup> )			
	B	Cu	Zn	Mn
Sem aplicação de calcário e gesso	32,87	19,23	37,73	84,38
2.500 kg de calcário	34,12	14,75	34,24	81,77
2.500 kg de gesso agrícola	38,96	8,50	35,67	86,34
2.500 kg de calcário + gesso	39,93	11,40	35,51	83,40
<b>Média</b>	<b>36,47a</b>	<b>13,47a</b>	<b>35,79b</b>	<b>83,97b</b>
<b>Preparo reduzido</b>				
Sem aplicação de calcário e gesso	37,99	8,83	43,69	124,94
2.500 kg de calcário	32,91	13,08	44,80	116,43
2.500 kg de gesso agrícola	32,67	15,98	47,58	108,91
2.500 kg de calcário + gesso	30,01	8,27	42,90	115,78
<b>Média</b>	<b>33,40a</b>	<b>11,54a</b>	<b>44,74a</b>	<b>116,52a</b>

Tabela 3- Efeito do calcário e do gesso agrícola nas concentrações de micronutrientes nas folhas diagnósticas da soja cultivada em diferentes sistemas de preparo de solo.

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna diferem significativamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5%.

## Nodulação da Soja, Massa Seca do Sistema Radicular e Produtividade de Grãos

Os sistemas diferenciados de preparo do solo não afetaram significativamente a massa seca das raízes e o número de nódulos por planta de soja (Tabela 4). A formação de nódulos na soja foi favorecida pela aplicação de calcário e de calcário combinado com gesso agrícola em comparação a aplicação isolada de gesso agrícola e ausência de aplicação de gesso e calcário (Tabela 4). Estes resultados apontam para o efeito da calagem em garantir o pH do solo favorável para a nodulação da soja que é o valor próximo a pH 6,0.

Sistema de preparo do solo	Massa seca de raízes por planta (g)				Média
	Testemunha	Calcário	Gesso	Calcário+ Gesso	
Plantio direto	5,31	6,43	4,25	6,04	<b>5,51A</b>
Preparo reduzido	4,14	8,85	7,56	7,89	<b>7,11A</b>
<i>Média</i>	<b>4,73b</b>	<b>7,64a</b>	<b>5,91ab</b>	<b>6,97a</b>	
Sistema de preparo do solo	Número de nódulos por planta				Média
	Testemunha	Calcário	Gesso	Calcário+ Gesso	
Plantio direto	21,0	27,7	23,0	31,0	<b>25,7 A</b>
Preparo reduzido	22,0	30,0	24,0	28,7	<b>26,2 A</b>
<i>Média</i>	<b>21,5 b</b>	<b>28,8 a</b>	<b>23,5 b</b>	<b>29,8 a</b>	

Tabela 4- Efeito do calcário e do gesso agrícola na massa seca de raízes e nodulação da soja cultivada em diferentes sistemas de preparo de solo.

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na coluna e minúsculas na linha diferem significativamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5%.

As produções de massa seca da parte aérea e de grãos na soja aumentaram significativamente com a aplicação de calcário combinado com o gesso agrícola quando comparadas com a aplicação isolada de calcário ou de gesso (Tabela 4). Esta resposta foi observada nos dois sistemas de preparo do solo.

Entretanto, quando avaliada a produção de grãos de soja por hectare, as plantas crescidas no sistema plantio direto apresentaram produção significativamente superior ao sistema de preparo reduzido, sendo alcançado um acréscimo de 400 kg de grãos por hectare para o sistema plantio direto (Tabela 5).

Sistema de preparo do solo	Produção de massa seca da parte aérea (kg ha <sup>-1</sup> )				Média
	Testemunha	Calcário	Gesso	Calcário+ Gesso	
Plantio direto	3.493	5.670	4.620	6.930	<b>5.178 A</b>
Preparo reduzido	3.087	4.515	4.914	6.300	<b>4.704 A</b>
<i>Média</i>	<b>3.290 c</b>	<b>5.092 b</b>	<b>4.767 b</b>	<b>6.615a</b>	
Sistema de preparo do solo	Produção de grãos (kg ha <sup>-1</sup> )				Média
	Testemunha	Calcário	Gesso	Calcário+ Gesso	
Plantio direto	2.540	2.941	2.789	3.377	<b>2.911 A</b>
Preparo reduzido	1.909	2.666	2.361	3.123	<b>2.514 B</b>
<i>Média</i>	<b>2.224 c</b>	<b>2.803 b</b>	<b>2.575 bc</b>	<b>3.250 a</b>	

Tabela 5- Efeito do calcário e do gesso na produção de massa seca e de grãos da soja cultivada em sistemas de preparo de solo.

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na coluna e minúsculas na linha diferem significativamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5%.

## 4 | CONCLUSÕES

A aplicação de calcário combinado com o gesso agrícola aumenta a produtividade da soja. O revolvimento do solo prejudica a produtividade da soja, porém aumenta as concentrações de Ca, Mg, Zn e Mn nas folhas diagnósticas.

## REFERÊNCIAS

- CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. **Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. 27:275-286, 2003.
- CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; PADILHA, J.M. **Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. 28: 125-136, 2004.
- DALLA NORA, D.; AMADO, T.J.C.; GIRARDELO, V.C.; MERTINS, C. **Gesso: Alternativa para redistribuir verticalmente nutrientes no perfil do solo sob sistema plantio direto.** Revista Plantio Direto. 133: 8-20, 2013.
- ESCOSTEGUY, P. A. V.; HÄNEL, J.; ROHRIG, R. **Acidez e calagem em culturas de grãos em plantio direto.** Revista Plantio Direto, Passo Fundo, Ed. 135 e 136, 2013.
- MARTINAZZO, R. **Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado.** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2006. 83p. (Dissertação de Mestrado).
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2.ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** 2a ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995. (Boletim Técnico, 5).

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**LEONARDO TULLIO** Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais- CESCAGE/2009), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR/2016). Atualmente, doutorando em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná – UFPR, é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia e Geotecnologia. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Amônio 99, 101

Argila 6, 9, 10, 12, 13, 16, 18, 38, 39, 40, 42, 46, 48, 52, 53, 54, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 72, 92

### C

Calagem 56, 85, 86, 88, 107, 108, 109, 112, 114

Contaminação 48, 49, 54, 56, 90, 91, 97, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105

Coprólitos de minhocas 66, 67, 69, 74, 75, 76

### D

Diagnóstico 17, 114

Disponibilidade 19, 63, 78, 80, 82, 83, 84, 85, 86, 89, 109, 112

### E

Espécies exóticas 90

Espectroscopia 22, 23, 32

### F

Fertilidade 3, 17, 18, 35, 78, 86, 114

Fitorremediação 90

### G

Gessagem 107

*Glycine max* 60, 107, 108

Granulometria 32, 34, 38, 39, 49, 51, 52, 87

### L

Limites de Aterberg 49

### M

Manejo do solo 10, 59, 60, 67, 75, 79, 80, 83, 111

Mapeamento 21, 22, 23, 24, 32, 36, 39, 45, 46, 109

Metais pesados 90, 92, 100, 105

Modelagem espacial 34, 36

Morfologia de solos 1

### N

Nitrato 99, 101

Nodulação 107, 112, 113

Nutrientes 4, 19, 59, 73, 75, 84, 85, 89, 97, 99, 100, 101, 103, 105, 107, 108, 111,

112, 114

## **O**

Organossolos 3, 66, 67, 69, 76

## **P**

Pedogênese 1, 4, 5, 19

Pedologia 1, 2, 19, 34

Pedometria 22, 34

Perfil de solo 1, 7, 9, 10, 70, 108

Propriedades do solo 22, 23, 24, 59

## **Q**

Qualidade 22, 28, 31, 34, 35, 58, 59, 60, 63, 64, 66, 67, 72, 75, 79, 80, 86, 88, 89, 99, 101, 104, 105, 109

## **R**

Respiração basal do solo 58, 61, 62, 63

## **S**

Serra Geral 37, 49, 50, 51, 56, 81

Sistemas de preparo 107, 109, 111, 112, 113

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-634-8



9 788572 476348