

# Elementos da Natureza e Propriedades do Solo 4

Alan Mario Zuffo  
Fábio Steiner  
(Organizadores)

 **Atena** Editora

Ano 2018

Alan Mario Zuffo  
Fábio Steiner  
(Organizadores)

# **Elementos da Natureza e Propriedades do Solo 4**

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Edição de Arte e Capa:** Geraldo Alves

**Revisão:** Os autores

### **Conselho Editorial**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
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  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall'Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

E38 Elementos da natureza e propriedades do solo – Vol. 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Alan Mario Zuffo, Fábio Steiner. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.  
7.638 kbytes – (Elementos da Natureza; v.4)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-03-1

DOI 10.22533/at.ed.031182507

1. Agricultura. 2. Ciências agrárias. 3. Solos. 4. Sustentabilidade.  
I. Zuffo, Alan Mario. II. Steiner, Fábio. III. Título. IV. Série.

CDD 631.44

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

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.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

E-mail: [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “Elementos da Natureza e Propriedades do Solo” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu volume IV, apresenta, em seus 21 capítulos, os novos conhecimentos tecnológicos para Ciências do solo nas áreas de biologia do solo, física do solo, química do solo, morfologia e classificação do solo.

O solo é um recurso natural abundante na superfície terrestre, sendo composto por propriedades biológicas, físicas e químicas. Por outro lado, a água também é essencial os organismos vivos e, para a agricultura. Nas plantas, a água é responsável por todo o sistema fisiológico. Ambos os elementos, juntamente com os nutrientes são imprescindíveis para os cultivos agrícolas, portanto, os avanços tecnológicos na área das Ciências do solo são necessários para assegurar a sustentabilidade da agricultura, por meio do manejo, conservação e da gestão do solo, da água e dos nutrientes.

Apesar da agricultura ser uma ciência milenar diversas técnicas de manejo são criadas constantemente. No tocante, ao manejo e conservação da água e do solo, uma das maiores descobertas foi o sistema de plantio direto (SPD), criado na década de 80. Esse sistema é baseado em três princípios fundamentais: o não revolvimento do solo, a rotação de culturas e a formação de palhada por meio do uso de plantas de cobertura. Tais conhecimentos, juntamente com a descoberta da correção do solo (calagem) propiciaram o avanço da agricultura para áreas no Bioma Cerrado, que na sua maior parte é formado por Latossolo, que são solos caracterizados por apresentar o pH ácido, baixa teor de matéria orgânica e de fertilidade natural. Portanto, as tecnologias das Ciências do solo têm gerado melhorias para a agricultura.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas Ciências Agrárias, os agradecimentos dos Organizadores e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para as áreas de biologia do solo, física do solo, química do solo, morfologia e classificação do solo e, assim, garantir incremento quantitativos e qualitativos na produção de alimentos para as futuras gerações de forma sustentável.

Alan Mario Zuffo

Fábio Steiner

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES DE RENDIMENTO DO MILHO ( <i>Zea mays</i> L.) EM SISTEMAS DE CULTIVO COM UTILIZAÇÃO DE ADUBAÇÃO BIOLÓGICA E BIOESTIMULANTE	
<i>Elston Kraft</i>	
<i>Carolina Riviera Duarte Maluche Baretta</i>	
<i>Leandro do Prado Wildner</i>	
<i>André Junior Ogliari</i>	
<i>Patrícia Nogueira</i>	
<i>Matheus Santin Padilha</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>19</b>
BIODIVERSIDADE DE RIZOBACTÉRIAS PRESENTES NO EXOESQUELETO DE FORMIGAS CORTADEIRAS DO GÊNERO ATTA SPP	
<i>Guilherme Peixoto de Freitas</i>	
<i>Lucas Mateus Hass</i>	
<i>Luana Patrícia Pinto</i>	
<i>Alexandre Daniel Schneider</i>	
<i>Marco Antônio Bacellar Barreiros</i>	
<i>Luciana Grange</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>30</b>
BIOMASSA MICROBIANA EM SOLOS DE DIFERENTES ESTADOS DE CONSERVAÇÃO NA SUB-REGIÃO DO PARAGUAI, PANTANAL SUL MATO-GROSSENSE	
<i>Mayara Santana Zanella</i>	
<i>Romário Crisóstomo de Oliveira</i>	
<i>Sebastião Ferreira de Lima</i>	
<i>Marivaine da Silva Brasil</i>	
<i>Hellen Elaine Gomes Pelissaro</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>37</b>
COMPOSIÇÃO DE ESPÉCIES DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (GLOMEROMYCOTINA) EM ÁREAS DE CERRADO SOB DIFERENTES ESTÁGIOS DE REGENERAÇÃO	
<i>Bruna Iohanna Santos Oliveira</i>	
<i>Khadija Jobim</i>	
<i>Florisvalda da Silva Santos</i>	
<i>Bruno Tomio Goto</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>52</b>
DENSIDADE E DIVERSIDADE DE RIZOBACTÉRIAS SOB APLICAÇÃO DE BIOFERTILIZANTE	
<i>Luana Patrícia Pinto</i>	
<i>Diego Silva dos Santos</i>	
<i>Jhonatan Rafael Wendling</i>	
<i>Elisandro Pires Frigo</i>	
<i>Marco Antônio Barcelar Barreiros</i>	
<i>Luciana Grange</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>61</b>
DESENVOLVIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE MILHO UTILIZANDO <i>Trichoderma</i> sp. ASSOCIADO OU NÃO A UM REGULADOR DE CRESCIMENTO VEGETAL COMO PROMOTORES DE CRESCIMENTO	
<i>Sônia Cristina Jacomini Dias</i>	
<i>Rafael Fernandes de Oliveira</i>	
<i>Warley Batista da Silva</i>	

**CAPÍTULO 7 ..... 74**

ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO SOB O CULTIVO DE CITRUS

*Amanda Silva Barcelos*  
*Athos Alves Vieira*  
*Kleber Ramon Rodrigues*  
*Leopoldo Concepción Loreto Charmelo*  
*Alessandro Saraiva Loreto*  
*João Luiz Lani*

**CAPÍTULO 8 ..... 79**

CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO EM DIFERENTES TEMPOS DE ADOÇÃO DO SISTEMA PLANTIO DIRETO

*Matheus de Sousa*  
*Helton Aparecido Rosa*  
*Silene Tais Brondani*  
*Leonardo Saviatto*  
*Guilherme Mascarello*

**CAPÍTULO 9 ..... 89**

CARACTERIZAÇÃO MICROMORFOLÓGICA E SUA RELAÇÃO COM ATRIBUTOS FÍSICOS EM CAMBISSOLOS DA ILHA DA TRINDADE – SUBSÍDIOS A RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

*Eliane de Paula Clemente*  
*Fábio Soares de Oliveira*  
*Mariana de Resende Machado*

**CAPÍTULO 10 ..... 104**

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS, ESPECTROSCÓPICAS E TÉRMICAS DE SOLO DA BACIA DO RIO CATORZE

*Elisete Guimarães*  
*Leila Salmória*  
*Julio Caetano Tomazoni*  
*Nathalia Toller Marcon*

**CAPÍTULO 11 ..... 115**

EVALUATION OF CROP MANAGEMENT THROUGH SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES UNDERSUGARCANE ON SYSTEMS: NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL TILLAGE

*Oswaldo Julio Vischi Filho*  
*Ingrid Nehmi de Oliveira*  
*Camila Viana Vieira Farhate*  
*Lenon Henrique Lovera*  
*Zigomar Menezes de Souza*

**CAPÍTULO 12 ..... 120**

QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

*Carlos Levi Anastacio dos Santos*  
*Antonio Mauricélio Duarte da Rocha*  
*Raimundo Nonato de Assis Júnior*  
*Jaedson Cláudio Anunciato Mota*

**CAPÍTULO 13 ..... 129**

AMOSTRA INFINITAMENTE ESPESSE DE SOLO E DE PLANTA PARA ANÁLISE POR ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

*Elton Eduardo Novais Alves*  
*Pablo de Azevedo Rocha*  
*Mariana Gonçalves dos Reis*  
*Liovando Marciano da Costa*

**CAPÍTULO 14..... 140**

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM USO DE PLANTAS DE COBERTURA

*Bruna Bandeira Do Nascimento*  
*Everton Martins Arruda*  
*Leonardo Santos Collier*  
*Rilner Alves Flores*  
*Leonardo Rodrigues Barros*  
*Vanderli Luciano Silva*

**CAPÍTULO 15..... 149**

AValiação DA FERTILIDADE DO SOLO PARA A CULTURA DO COQUEIRO NO VALE DO JURUÁ, ACRE

*Rita de Kássia do Nascimento Costa*  
*Edson Alves de Araújo*  
*Maria Antônia da Cruz Félix*  
*Sílvia Maria Silva da Costa*  
*Hugo Ferreira Motta Leite*  
*Genilson Rodrigues Maia*

**CAPÍTULO 16..... 166**

CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS DO TERRITÓRIO SERTÃO PRODUTIVO

*Symone Costa de Castro*  
*Elcivan Pereira Oliveira*  
*Priscila Alves de Lima*  
*Felizarda Viana Bebé*

**CAPÍTULO 17 ..... 178**

DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES EM LATOSSOLO VERMELHO APÓS O USO DE SORGO E CROTALÁRIA NA ADUBAÇÃO VERDE

*Cláudia Fabiana Alves Rezende*  
*Thiago Rodrigues Ramos Faria*  
*Simone Janaina da Silva Moraes*  
*Luciana Francisca Crispim*  
*Kamilla Menezes Gomides*  
*Karla Cristina Silva*

**CAPÍTULO 18..... 190**

EFEITO DO BIOSSÓLIDO SOBRE A FERTILIDADE DO SOLO DE PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS DO MUNICÍPIO DE SEROPÉDICA - RJ

*Nágila Maria Guimarães de Lima Santos*  
*Oclizio Medeiros das Chagas Silva*  
*Ernandes Silva Barbosa*  
*Fernando Ramos de Souza*  
*Gean Correa Teles*  
*Lucas Santos Santana*

**CAPÍTULO 19..... 199**

RENEWAL OF THE ADSORPTIVE POWER OF PHOSPHORUS IN OXISOL

*Gustavo Franco de Castro*  
*Jader Alves Ferreira*  
*Denise Eulálio*  
*Allan Robledo Fialho e Moraes*  
*Jairo Tronto*  
*Roberto Ferreira Novais*

**CAPÍTULO 20 ..... 215**

ANÁLISE DE SOLOS EM TOPOSSEQUÊNCIA NA FAZENDA EXPERIMENTAL DO CENTRO UNIVERSITÁRIO DE CARATINGA-MG

*Athos Alves Vieira*

*Kleber Ramon Rodrigues*

*Leopoldo Concepción Loreto Charmelo*

*Alessandro Saraiva Loreto*

*João Luiz Lani*

**CAPÍTULO 21 ..... 224**

ENSAIOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA E DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DE SOLOS EM ÁREA DEGRADADA POR EROÇÃO LINEAR

*Alyson Bueno Francisco*

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 233**

**SOBRE OS AUTORES ..... 234**

## CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS DO TERRITÓRIO SERTÃO PRODUTIVO

### **Symone Costa de Castro**

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano  
Guanambi – BA

### **Elcivan Pereira Oliveira**

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano  
Guanambi – BA

### **Priscila Alves de Lima**

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais  
Almenara – MG

### **Felizarda Viana Bebé**

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano  
Guanambi – BA

**Resumo:** As isotermas de adsorção descrevem quantitativamente a adsorção de fosfato à superfície dos minerais. A isoterma de Langmuir é a mais utilizada neste estudo, por permitir o cálculo da capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP). O objetivo do trabalho foi avaliar os parâmetros das isotermas de adsorção de P (Langmuir) e relacioná-la com atributos físicos e químicos de solos do Território Sertão Produtivo. Foram coletadas seis amostras de solo na camada de 0–20 cm, com variação dos atributos físicos e químicos. As amostras foram denominadas neste trabalho de A, B, C, D, E e F; sendo A e B coletadas no município de Candiba-BA e C, D,

E e F em Urandi-BA, em que os teores de argila variaram de 260, 220, 247, 265, 40 e 160 g k<sup>-1</sup>, respectivamente. Foram determinados os teores de fósforo remanescente (P-rem), os parâmetros da equação de Langmuir em que obteve-se a CMAP e EAP (energia de adsorção de fosfato). A CMAP determinada para os solos apresentaram maiores valores quando os teores de argila também foram maiores o mesmo ocorreu para a EAP nos solos. Dos resultados obtidos, o P-rem e o teor de argila foram adequados para estimar a capacidade máxima de adsorção de fósforo. Vale ressaltar que não se obteve grande amplitude de CMAP entre os solos avaliados A e B com valores próximos, o que foi atribuído ao teor de argila similar entre os mesmos. Assim sendo, pode-se utilizar dos parâmetros que se correlacionaram com a CMAP para basear a reposição de fósforo no solo, desde que os atributos químicos e físicos dos solos sejam semelhantes aos deste estudo.

**Palavras-Chave:** fertilidade, argila, P-remanescente.

### 1 | INTRODUÇÃO

O fósforo é um dos macronutrientes primários essenciais ao crescimento das plantas, sendo absorvido pelas mesmas nas formas dos íons inorgânicos ortofosfatos ( $\text{HPO}_4^{2-}$  e  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) (CORRALES, 2013). Apesar de ser o menos

absorvido pelas plantas, é o mais utilizado nas adubações, devido à deficiência natural deste elemento na maioria dos solos de regiões tropicais.

A carência de P em solos está relacionada à baixa concentração nas rochas que deu origem a estes solos, além da fixação aos colóides. Dentre os fatores que afetam a disponibilidade de fósforo para as plantas, destaca-se a adsorção específica ou quimiossorção, onde o fosfato presente no solo reage com os óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al). Além disso, a composição mineralógica dos solos, variações no pH (Potencial hidrogeniônico) e na quantidade de matéria orgânica (MO) influenciam neste processo (CHAVES et al., 2007).

O fósforo total no solo encontra-se nas formas orgânicas (Po) e inorgânicas (Pi), sendo o Po um reservatório importante na nutrição de plantas, principalmente em solos intemperizados e argilosos onde o fenômeno de adsorção se torna mais acentuado, devido à forte interação entre o fósforo e os óxidos de ferro e alumínio – presentes na fração argila. Estas ligações apresentam alta energia de ligação de fosfato (EAP) e conseqüentemente, maiores capacidades máximas de adsorção deste elemento (PINTO, 2012).

Para compreender a interação do fósforo (P) entre a fase sólida e a fase líquida do solo, são utilizadas isotermas de adsorção. Estas descrevem quantitativamente a adsorção de fosfato à superfície dos minerais. A isoterma de Langmuir é a mais utilizada neste estudo, por permitir o cálculo da capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP).

A análise da CMAP do solo permite a utilização dos adubos fosfatados de forma sustentável, uma vez que a avaliação de apenas um parâmetro do solo, como o teor de argila, não é suficiente para a determinação da quantidade de adubo a ser aplicada ao mesmo (PINTO, 2012). Quando há a utilização de apenas um atributo do solo na recomendação da adubação, ocorrem usos de quantidades desnecessárias, acarretando em danos ao ambiente, seja na contaminação de rios e lagos (eutrofização) ou mesmo na diminuição e/ou extinção das fontes de fosfatos naturais.

Devido à alta complexidade do fósforo no solo, muitos trabalhos têm sido realizados em diversas regiões do país (BOEIRA DE OLIVEIRA et al., 2014; CORRÊA et al., 2011; CRISPIM VILAR et al., 2010; FARIAS et al., 2009; RANNO et al. 2007). Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar os parâmetros das isotermas de adsorção de P (Langmuir) e relacioná-la com atributos físicos e químicos de solos do Território de Identidade Sertão Produtivo.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em amostras de solos provenientes de áreas de cultivo da agricultura familiar em dois municípios do território de identidade Sertão Produtivo (Figura 1). Foram utilizadas seis amostras, as quais foram denominadas neste trabalho de A, B, C, D, E e F; sendo A e B do município de Candiba e C, D, E e F de Urandi.

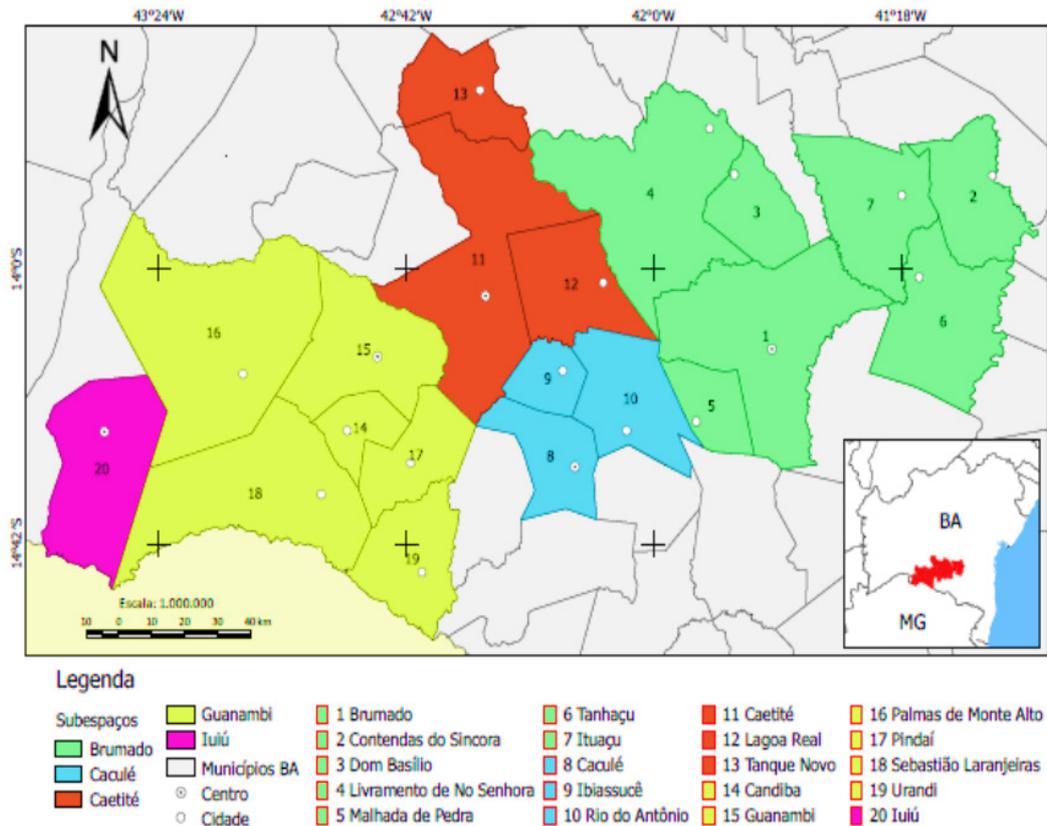


Figura 1. Mapa de localização do Território Sertão Produtivo. Fonte: PDTRSS (2016).

A amostragem do solo foi feita de forma aleatória na camada de 0-20 cm. Em cada área foram coletadas 5 amostras simples de solo com estrutura deformada com auxílio de um trado coletor tipo holandês. Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao laboratório de Química e Física do Solo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Campus Guanambi.

Foram determinados os seguintes atributos químicos: pH em água (1:2,5) determinado por potenciometria; Cálcio trocável -  $\text{Ca}^{2+}$  ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), Magnésio trocável -  $\text{Mg}^{2+}$  ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), Alumínio -  $\text{Al}^{3+}$  ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), extraídos do solo com solução de KCl; Potássio trocável -  $\text{K}^+$  ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), Sódio trocável -  $\text{Na}^+$  ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), extraídos do solo com solução de Mehlich 1 e determinados por fotometria de chama; Fósforo disponível - P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), extraído com Mehlich-1; Alumínio + Hidrogênio - Al+H ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), determinada pelo método do acetato de sódio e acetato de amônio  $1 \text{ mol L}^{-1}$ ; conforme métodos descritos pela Embrapa (2009). Em seguida, foi determinada a capacidade de troca de cátions - T ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) de acordo com a equação 1:

$$T = S + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}) \quad (1)$$

Em que:

S = é a soma das bases  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

O teor de matéria orgânica do solo - MO (dag/kg) foi determinado conforme o método adaptado de Yeomans & Bremner utilizado por Mendonça & Matos (2005), enquanto que análise granulométrica foi feita de acordo com Ruiz (2010). Após as análises químicas e físicas, as unidades experimentais apresentaram os atributos da tabela 1.

Atributo	Solos					
	A	B	C	D	E	F
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	670	730	729	695	800	680
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	70,0	50,0	24,0	40,0	160	160
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	260	220	247	265	40,0	160
pH <sup>(1)</sup>	6,40	6,40	6,18	4,81	6,27	5,28
Ca <sup>2+</sup> ( <sup>2</sup> ) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,90	1,40	1,20	1,50	1,40	0,80
K <sup>+</sup> ( <sup>3</sup> ) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,24	0,40	0,00	0,00	0,10	0,01
Na <sup>+</sup> ( <sup>4</sup> ) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,05	0,06	2,28	2,40	0,00	0,00
Mg <sup>2+</sup> ( <sup>5</sup> ) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,50	0,50	0,90	1,30	-	2,10
Al <sup>3+</sup> ( <sup>6</sup> ) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,10	0,10	-	-	-	-
H + Al( <sup>7</sup> ) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,00	2,31	0,66	0,49	3,16	2,31
P( <sup>8</sup> ) (mg dm <sup>-3</sup> )	12,2	7,56	3,56	0,12	0,36	0,96
T( <sup>9</sup> ) (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,00	4,71	5,04	5,69	-	5,37
MO( <sup>10</sup> ) (dag kg <sup>-1</sup> )	0,30	0,35	2,17	1,64	0,45	0,34

Tabela 1. Atributos Químicos e Físicos das unidades experimentais.

<sup>(1)</sup> pH em água; <sup>(2)</sup> Ca<sup>2+</sup> = cálcio trocável; <sup>(3)</sup> K<sup>+</sup> = potássio trocável; <sup>(4)</sup> Na<sup>+</sup> = sódio trocável; <sup>(5)</sup> Mg<sup>2+</sup> = magnésio trocável; <sup>(6)</sup> Al<sup>3+</sup> = alumínio trocável; <sup>(7)</sup> H + Al = acidez potencial; <sup>(8)</sup> P = fósforo disponível (extraído com Melhich-1); <sup>(9)</sup> T = capacidade de troca de cátions (CTC); <sup>(10)</sup> MO = Matéria Orgânica; (-) = Valores não determinados.

A metodologia empregada para a determinação do fósforo remanescente (P-rem) foi a descrita por Alvarez et. al (2000), onde a mistura solo (4,0 g) mais solução de cloreto de cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup> + P 60 mg (40 mL) foi deixada sob agitação durante 5 minutos e posteriormente decantada e feita a leitura do P na solução de equilíbrio. Os valores obtidos serviram de base para a determinação das doses utilizadas para a obtenção da capacidade máxima de adsorção (CMAP).

Para estimar a adsorção de fósforo, aproximadamente 4 g de TFSA (terra fina seca ao ar) dos diferentes solos foram mantidos em contato mediante agitação por 24 horas com 40 mL de solução de cloreto de cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup>, contendo 0; 5; 10; 20; 40; 60; 80 e 100 mg de P, na forma de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (dihidrogenofosfato de potássio); o fósforo no sobrenadante foi determinado por espectrofotometria e o fósforo adsorvido foi determinado por meio da equação 2, conforme (CASAGRANDE & SOARES, 2009):

$$[ ]_{\text{ads.}} = [V_{\text{solução}}(C_0 - C_e)]/M_{\text{solo}} \quad (2)$$

Em que:

[ ]<sub>ads.</sub> = concentração de fósforo adsorvida (mg kg<sup>-1</sup>);

V<sub>solução</sub> = volume da solução (L);

C<sub>0</sub> = concentração inicialmente adicionada (mg L<sup>-1</sup>);

C<sub>e</sub> = concentração remanescente na solução de equilíbrio (mg L<sup>-1</sup>);

M<sub>solo</sub> = massa da amostra de solo (kg).

Os valores de fósforo adsorvido e da concentração remanescente na solução de equilíbrio foram ajustados à equação de Langmuir, onde se pôde estimar a CMAP e a energia de adsorção do fósforo (EAP), utilizando-se a equação 3:

$$x/m = KbC/(1+KC) \quad (3)$$

Em que:

$x/m$  = quantidade do íon adsorvida na fase sólida;

$C$  = concentração do íon na solução de equilíbrio com a fase sólida;

$K$  = constante – relacionada à energia de ligação;

$b$  = capacidade máxima que a fase sólida pode adsorver do íon em estudo – CMAP do solo.

Os resultados obtidos, nas análises de adsorção de fósforo dos solos, foram ajustados a isoterma de Langmuir com o auxílio do programa Sigmaplot versão 10.0, um software que tem como objetivo obter os parâmetros da equação de Langmuir (SYSTAT SOFTWARE, 2006). Posteriormente, fez-se as correlações entre a Capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) obtida pela equação de Langmuir e alguns atributos químicos e físicos dos solos, utilizando a correlação simples de Pearson.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As quantidades de fósforo remanescente (P-rem) encontradas foram bastante próximas para os solos avaliados (com variação entre 44,7 a 59,7 mg L<sup>-1</sup>), indicando que os mesmos apresentam capacidade de adsorção de fósforo similares. Este fato foi observado principalmente entre os solos A, B, C e D (tabela 2), o que pode ser atribuído aos teores de argila próximos entre os mesmos, com variação entre 220 e 265 g Kg<sup>-1</sup>, uma vez que estudos indicam à argila como a principal responsável pelo fenômeno de adsorção de fósforo em solos (BOEIRA DE OLIVEIRA et al., 2014; MOREIRA et al., 2006; RANNO et al., 2007). Contudo, no presente estudo o solo com maior concentração de argila não foi o que apresentou maior CMAP, o que evidencia a influência do tipo de argila, óxidos e hidróxidos de Fe e Al na adsorção de fósforo.

SOLOS	P – rem <sup>(1)</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	CMAP (mg kg <sup>-1</sup> )	EAP <sup>(2)</sup>	r <sup>2(3)</sup>
A	45,9	300	0,121	0,98
B	49,3	310	0,115	0,90
C	46,6	330	0,149	0,98
D	44,7	329	0,142	0,97
E	55,9	222	0,041	0,95
F	59,7	117	0,061	0,82

Tabela 2. Fósforo remanescente, Capacidade máxima de adsorção de fósforo, Energia de adsorção de fosfato e coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>) das unidades experimentais.

<sup>(1)</sup> P-rem = Fósforo remanescente; <sup>(2)</sup> EAP = Energia de Adsorção de Fosfato; <sup>(3)</sup> r<sup>2</sup> – Equação de Langmuir.

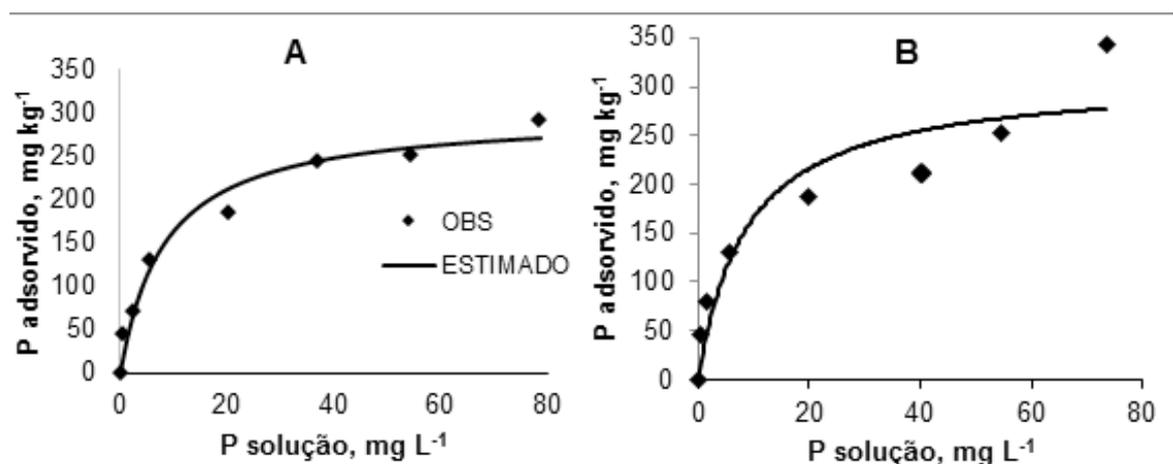
O teor de argila é muito importante para o estudo do solo, pois devido à sua grande área de superfície específica e carga, a argila é um local propício à ocorrência de diversas reações químicas e físicas (WHITE, 2009). No que se refere a quimiossorção de fósforo

(como é melhor denominado o processo de adsorção deste elemento no solo), esta ocorre devido a existência de cargas elétricas de superfície, comuns nos argilominerais e nos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

Além da quantidade, o tipo de argila é muito importante na análise da CMAP, pois as mesmas diferem na quantidade de minerais presentes (a fração argila é uma mistura de filossilicatos e de óxidos). Outro fator a se considerar é o pH, que afeta o tipo de carga existente no mineral. A caulinita (mais comum em solos de regiões tropicais), argilomineral de estrutura neutra, por exemplo, pode apresentar cargas positivas e negativas a depender do pH do meio (MEURER, 2012). De posse destas informações, infere-se que a pequena variação entre a CMAP e o teor de argila (tabelas 1 e 2) entre os solos E e F, deve-se possivelmente ao tipo de argila, que pode apresentar baixo teor de óxidos de ferro e alumínio.

Fazendo um comparativo entre dados obtidos no presente estudo e os obtidos por Ranno et al. (2007), fica evidente a contribuição do tipo de argila na adsorção de fósforo; para o solo C deste estudo, com teor de argila igual a  $247 \text{ g kg}^{-1}$  obteve-se uma CMAP de  $330 \text{ mg kg}^{-1}$  enquanto que o autor citado, estudando a adsorção de fósforo em solos de Várzea do Estado do Rio Grande do Sul obtiveram uma CMAP de  $593 \text{ mg kg}^{-1}$ , para um solo com teor de argila igual a  $245 \text{ g kg}^{-1}$ . Isso demonstra que a adsorção está relacionada ao tipo de coloide presente no solo, mais do que com a concentração de argila, o que é plausível, pois o solo C do presente estudo é de sequeiro, enquanto o solo de Várzea é alagado, indicando que o mesmo é mais intemperizado e conseqüentemente apresenta maior quantidade de óxidos de ferro e alumínio.

O solo com maior CMAP foi também o que apresentou maior EAP (Energia de Adsorção de Fosfato). Falcão e Silva (2004), estudando a adsorção de fósforo em solos da Amazônia central também evidenciaram este fato, ou seja, constataram uma correlação significativa e positiva entre a CMAP e a EAP. Esta energia representa a “força” das ligações entre o fósforo e os minerais do solo. Assim sendo, é de se esperar que solos com maiores capacidades de adsorção de fósforo apresentem maior energia de ligação. As isotermas de adsorção de Langmuir, utilizadas para determinar a capacidade máxima de adsorção de fósforo bem como a energia de adsorção de fosfato estão apresentadas na Figura 2.



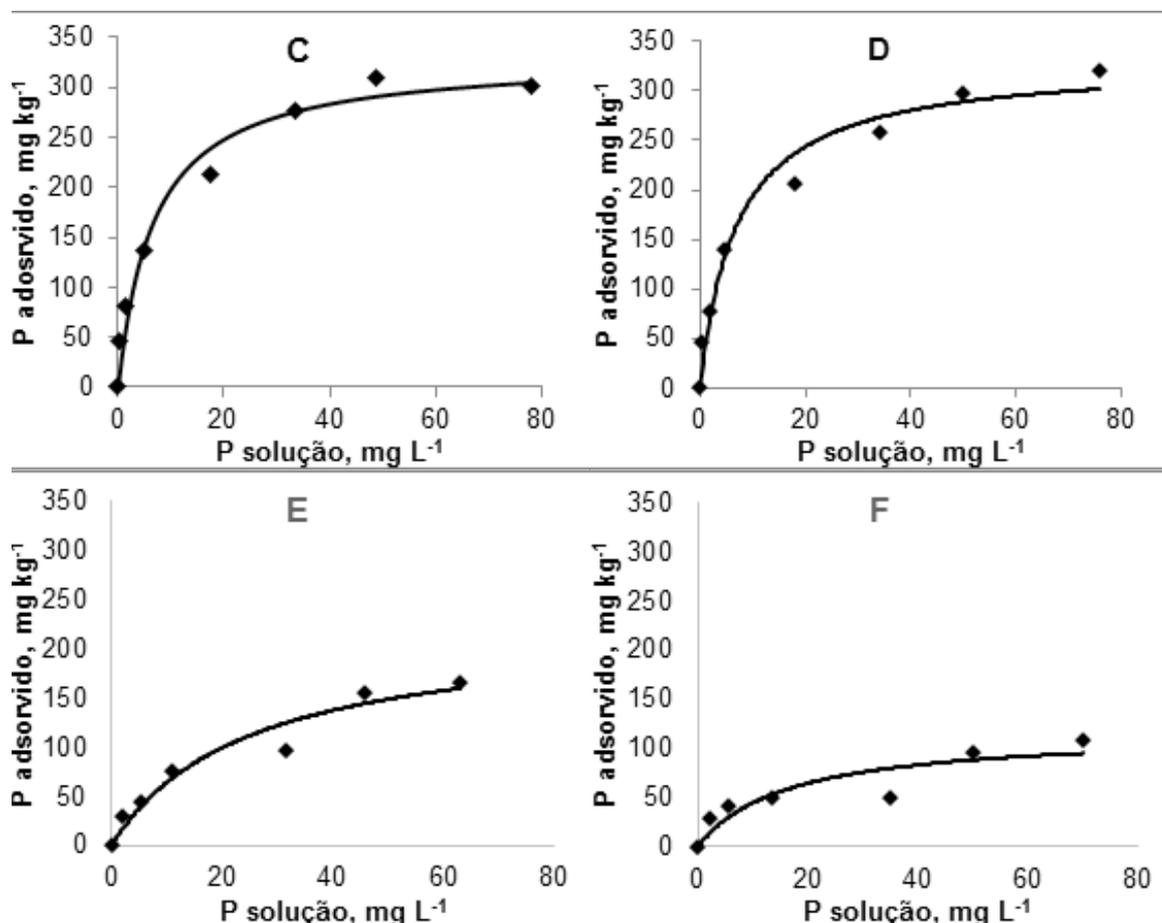


Figura 2. Isotermas de adsorção de fósforo obtidas em razão de diferentes doses deste elemento aplicadas aos solos.

Os dados referentes às correlações obtidas entre a capacidade máxima de adsorção de fósforo e alguns atributos químicos e físicos dos solos estão apresentados na tabela e figura 3. Estes dados foram obtidos utilizando-se a correlação linear simples de Pearson. Neste trabalho, considerou-se positiva as correlações cujas equações do gráfico CMAP versus atributo do solo obteve-se  $r^2$  maior que 0,70, pois foram capazes de estimar a CMAP dos solos.

ATRIBUTO	OBS*.	r
Argila	6	0,63
Ca <sup>2+</sup>	6	0,52
CTC	5	-0,23
P-rem	6	-0,95
P	6	0,43
H + Al	6	-0,48
MO	6	0,54

Tabela 3. Coeficientes de correlação linear simples (r) entre a CMAP e alguns atributos químicos e físicos dos solos.

\*OBS = quantidade de solos avaliados.

O atributo do solo que melhor se relacionou com a CMAP foi o fósforo remanescente

(P-rem); a relação foi inversa ( $r = -0,95$ ), indicando que quanto menor a CMAP maior o P-rem. A explicação para esta observação reside no fato de que o P-rem indica a quantidade de fósforo que permanece na solução de equilíbrio em resposta a uma concentração do mesmo adicionada ao solo (DONAGEMMA et al., 2008), ou seja, quanto maior a quantidade de fósforo que resta na solução de equilíbrio menor a quantidade adsorvida à fase sólida do solo.

Além do P-rem, a argila se correlacionou positivamente com a CMAP. A obtenção de correlação positiva e direta entre a CMAP e o teor de argila é encontrada em muitos trabalhos; Corrêa et al. (2011), por exemplo, estudando a adsorção de fósforo em dez solos do estado de Pernambuco encontrou uma correlação de 0,92, indicando que quanto maior o teor de argila maior a CMAP. No presente trabalho, de maneira geral, os solos com maiores CMAP foram também os que apresentaram maior concentração de argila, o que evidencia a contribuição dessa fração do solo neste processo.

Outro atributo que teve correlação com a CMAP foi o cátion trocável  $\text{Ca}^{2+}$  ( $r = 0,52$ ), mantendo para alguns dos solos, uma relação direta com a CMAP, ou seja, para um alto valor de  $\text{Ca}^{2+}$  tem-se também um valor alto de CMAP, isso porque o fosfato pode reagir com o cálcio, presente no solo na forma de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , formando compostos insolúveis. A precipitação de fosfatos pelo hidróxido de cálcio, ocorrerá em pH elevado, do contrário, a precipitação terá maior influência do ferro e do alumínio (PINTO, 2012).

O pH exerce grande influência nas reações que ocorrem no solo, uma vez que no mesmo existem cargas dependentes de pH. Apesar dessa relação, não se obteve uma correlação entre a CMAP e esta variável do solo. Era de se esperar uma correlação positiva, pois a superfície dos óxidos de ferro e alumínio exibem carga positiva em condições de solos ácidos, por exemplo, atraindo ânions, principalmente os fosfatos. Moreira et al. (2006) avaliando a adsorção de fósforo em quatro solos do Ceará, também não encontrou correlação entre o pH e a CMAP, atribuindo o fato a maior influência dos óxidos de ferro no processo de adsorção.

Quanto a correlação entre a CMAP e a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) dos solos, também não se obteve correlação ( $r = -0,23$ ). A capacidade de troca de cátions, que é uma medida da quantidade de cátions trocáveis presentes no solo, pode ser obtido por meio da soma dos cátions ( $\Sigma = \text{K}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Na}^+$ ) em condições de solos calcários (WHITE, 2009). Com o aumento da troca de cátions, haverá conseqüentemente, uma maior incidência de cargas negativas no solo, o que repelirá os ânions fosfatos. Desta forma, infere-se que solos com maior capacidade de troca de cátions terá menor CMAP. Os solos avaliados não apresentaram grande variação de CTC, o que permite constatar maior influência de outros fatores na CMAP destes solos, como a argila, por exemplo.

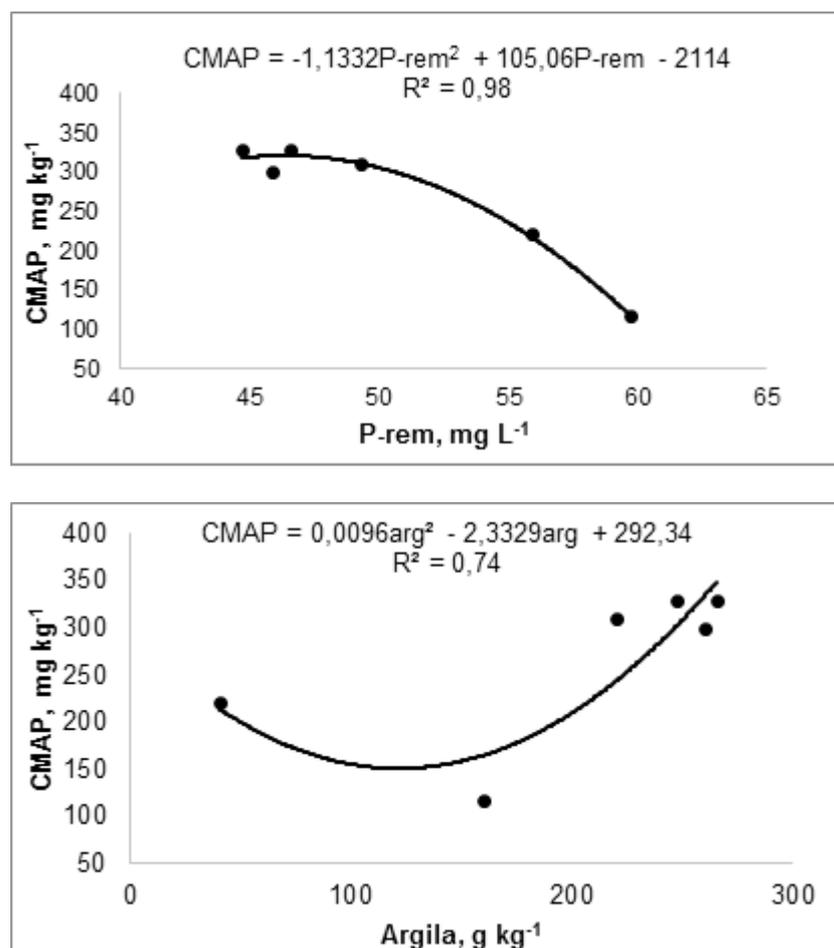
Outros atributos dos solos que não se correlacionaram com a CMAP foram a acidez potencial ( $\text{H} + \text{Al}$ ), a matéria orgânica e o fósforo disponível. Contudo, foi observado que os solos com maiores CMAP apresentaram maiores valores de acidez potencial. A acidez potencial correspondente aos compostos e às substâncias que liberam  $\text{H}^+$  (íons hidrogênio) ao solo, acidificando o meio (MEURER, 2012). A presença de  $\text{Al}^{3+}$  por exemplo, é mais

comum em solos ácidos e consequentemente com maiores CMAP.

Os solos que apresentaram maior teor de Matéria Orgânica (MO) foram os solos C e D, ambos, com maiores valores de CMAP. Segundo Souza et al. (2006), o aumento da MO pode interferir no processo de adsorção, reduzindo o mesmo, uma vez que as substâncias presentes na MO bloqueiam os sítios de carga positiva dos minerais secundários da fração argila. No entanto, no presente estudo isto não foi evidenciado, provavelmente, devido ao caráter ácido dos solos avaliados.

O fósforo disponível (extraído com solução extratora mellich-1) que representa a quantidade do elemento prontamente assimilável pelas plantas, apresentou ampla variação (0,12 - 12,2 mg dm<sup>-3</sup>), não se correlacionando com a CMAP, pois o solo D com CMAP de 329 mg kg<sup>-1</sup>, apresentou o menor valor de fósforo disponível. Este fato justifica-se possivelmente, pela alta energia de adsorção de fósforo que este solo apresenta, impedindo que este elemento retorne à solução do solo.

Os gráficos, bem como as equações obtidas das correlações entre a CMAP e os atributos do solo (fósforo remanescente, argila e cálcio) podem ser vistas na figura 3. Ajustando-se as equações obtidas com estas correlações é possível estimar a CMAP.



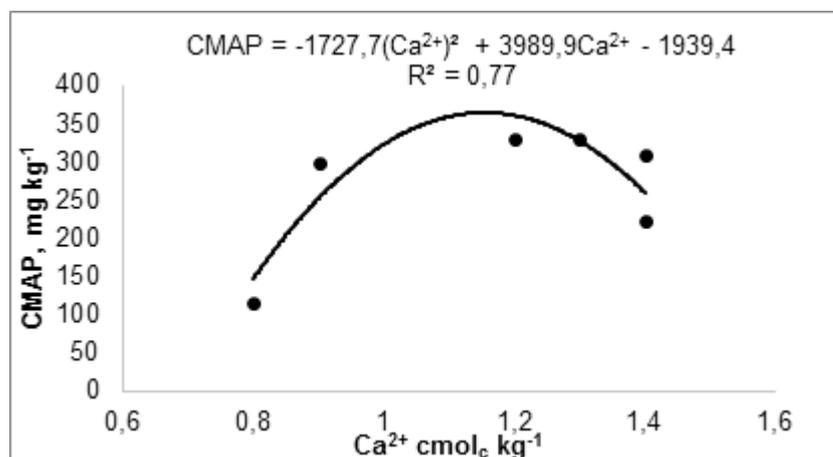


Figura 3. Correlações entre a Capacidade Máxima de Adsorção de fósforo e os atributos do solo: fósforo remanescente (P-rem), argila e cálcio (Ca<sup>2+</sup>).

Desta forma, fica evidente que compreender a dinâmica do solo é de fundamental importância para um manejo adequado do mesmo. Assim sendo, a caracterização química e física do solo se faz necessária para uma melhor avaliação deste ambiente como meio para o crescimento das plantas. Além disso, auxilia na investigação da necessidade de adição de fertilizantes, uma vez que os nutrientes presentes no mesmo sofrem processos que podem diminuir a sua disponibilidade às plantas, como no caso do fósforo, que é adsorvido pela fase sólida do solo através dos óxidos de ferro e alumínio presentes na fração argila.

#### 4 | CONCLUSÃO

O fósforo remanescente (P-rem) foi o parâmetro mais adequado para estimar a capacidade máxima de adsorção de fósforo, seguido do teor de argila e do cátion trocável Ca<sup>2+</sup>.

Os parâmetros que se correlacionaram com a CMAP poderão ser utilizados como base para reposição de fósforo, em solos com atributos químicos e físicos semelhantes aos deste estudo, nas adubações fosfatada.

#### REFERÊNCIAS

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F. de; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.27-32, 2000.

BOEIRA DE OLIVEIRA, C. M.; COLPO GATIBONI, L.; MIQUELLUTI, D. J.; JOT SMYTH, T.; ALMEIDA, J. A. Capacidade máxima de adsorção de fósforo e constante de energia de ligação em Latossolo Bruno em razão de diferentes ajustes do modelo de langmuir. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, 2014.

CASAGRANDE, J. C; SOARES, M. R. Modelos Químicos de adsorção In: MELO, V. F & ALLEONI, L. R.

- F. (eds.) **Química e Mineralogia do Solo**. v. 2, 1º Ed., Viçosa, MG: SBSC, p. 131 – 160. 2009.
- CASTELLAN, G. W. **Fundamentos de físico-química**. Tradução: CRISTINA, M.P; ROBERTO, B.F. Rio de Janeiro, LTC, 2012.
- CHAVES, L. G; CHAVES, I. B.; MENDES, J. S. Adsorção de fósforo em materiais de Latossolo e Argissolo. **Revista Caatinga**, v. 20; p. 104-111, 2007.
- CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W; ROCHA, A. T. Adsorção de fósforo em dez solos do Estado de Pernambuco e suas relações com parâmetros físicos e químicos. **Acta Scientiarum Agronomy. Maringá**, v. 31, n. 1, p. 153-159, 2011.
- CORRALES, R. A. Avaliação e Calibração de extratores de fósforo em três diferentes ordens de solo da Costa Rica. **Dissertação (mestrado)** – Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”. Piracicaba, 2013.
- CRISPIM VILAR, C.; SARAIVA DA COSTA, A. C.; HOEPERS, A.; SOUZA JUNIOR, I. G. D. Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, 2010.
- DONAGEMMA, G. K. et al. Solution equilibrium phosphorus in clay and silt fractions of oxisols after particle size analysis pre-treatments. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 04, p. 1785-1791, 2008.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.
- FARIAS, D. R.; OLIVEIRA, F. H.; SANTOS, D.; ARRUDA, J. A.; HOFFMANN, R. B. & NOVAIS, R. F. Fósforo em Solos Representativos do Estado da Paraíba. I – Isotermas de Adsorção e Medidas do Fator Capacidade de Fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:623-632, 2009.
- KLEIN, C. & AGNE, S. A. A. Fósforo: de nutriente à poluente. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, V. 8, 2012. (e-ISSN: 2236-1170).
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análise**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.
- MEURER, E. J. **Fundamentos da Química do Solo**. 3ª ed. Porto Alegre, Evangraf, 2012. 580p.
- MOREIRA, F. L. M.; MOTA, F. O. B.; CLEMENTE, C. A.; AZEVEDO, B. M. A.; BOMFIM, G. V. Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. **Revista Ciências Agrônômica**, v. 37, n.1, p. 7-12, 2006.
- NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES, E. I. & IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do alto Parnaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:953-964, 2004.
- PINTO, F.A. Sorção e dessorção de fósforo em solos de cerrado. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, 2012.

PDTRSS. **Plano de Desenvolvimento Territorial Rural Sustentável e Solidário do Território Sertão Produtivo**. Guanambi: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, 2016, 60p.

RANNO, S. K.; SILVA, L. S.; GATIBONI, L. C.; RHODEN, A. C. Capacidade de Adsorção de Fósforo em Solos de Várzea do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31: 21-28, 2007.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (SILTE + ARGILA). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:297-300, 2005.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e Adubação Orgânica: Influência na Adsorção de Fósforo em Solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:975-983, 2006.

SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W. **Química Inorgânica**. (Tradução: Maria Aparecida B. Gomes). 3° ed. Bookman, 2003.

VALLADARES, G. S.; PERERIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia, Campinas**, Vol. 6, n. 1, p. 111-118, 2003.

WHITE, R. **Princípios e Práticas da Ciência do Solo: O solo como um recurso natural**. 4ª ed. Andrei Editora, São Paulo, 2009.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-03-1

