

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS LONDRINA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**MARIANA LOURENÇO**

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO DE  
FÓSFORO NA FRAÇÃO ARGILA DE LATOSSOLOS DA REGIÃO DO  
TRIÂNGULO MINEIRO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA  
2020**

**MARIANA LOURENÇO**

**AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO DE  
FÓSFORO NA FRAÇÃO ARGILA DE LATOSSOLOS DA REGIÃO DO  
TRIÂNGULO MINEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami

**LONDRINA**

**2020**

09/02/2021



SEI/UTFPR - 1754812 - Graduação: Termo de Aprovação TCC Aluno  
Ministério da Educação  
**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
DEP. ACADEMICO DE AMBIENTAL-LD

---

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC**  
**AValiação DA CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO NA FRAÇÃO ARGILA DE**  
**LATOSSOLOS DA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO**

Por  
MARIANA LOURENÇO

Monografia apresentada às 9 horas 00 min. do dia 02 de dezembro de 2020 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Joseane Débora Peruço Theodoro	Membro
Prof. Dr. Janksyn Bertozzi	Membro
Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami	Orientador
Prof. Dr. Orlando Carvalho Junior	Professor(a) responsável TCCII

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiro a Deus por ter me abençoado durante este projeto de pesquisa com saúde, força e sempre cercada de pessoas boas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a conclusão do curso.

Sou grata à minha família pelo apoio que sempre me deram e nunca deixaram eu desanimar, à minha mãe Míriam Pinholi Ferreira Lourenço e meu pai Walkyr de Oliveira Lourenço devo todas as conquistas de minha vida. À minha irmã Marília Lourenço agradeço a parceria e amizade e sou grata por termos a possibilidade de viver esse período juntas.

Agradeço minha amiga e parceira Ingrid Cardozo Botelho, com quem pude dividir o meu dia a dia, o curso, a casa e todos os bons e maus momentos da vida universitária, do primeiro até o último dia. À Beatriz Genda Gílio e Ricardo Gabriel Junqueira Mateus por ouvirem tantos desabafos e sempre me darem força.

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador Professor Marcelo Hidemassa Anami, pelo incentivo e pela dedicação do seu tempo ao meu projeto de pesquisa, principalmente nos meses de pandemia.

Também quero agradecer à Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Londrina, aos membros da banca Professora Joseane Theodoro e Professor Janksyn Bertozzi, e a todos os professores do meu curso.

## RESUMO

LOURENÇO, Mariana. **Avaliação da capacidade máxima de adsorção de fósforo na fração argila de Latossolos da região do Triângulo Mineiro**. 2020. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2020.

Os Latossolos são solos caracterizados por avançado estágio de intemperismo e sua composição influencia na baixa disponibilidade de nutrientes para esse tipo de solo, o que pode limitar a produtividade nessas áreas. Para minimizar esse problema, a aplicação de fertilizantes fosfatados pode ser necessária. A rocha fosfatada é a principal matéria prima utilizada na produção dos fertilizantes e sua exploração gera grandes impactos ambientais negativos. A utilização de forma racional de adubos fosfatados demanda conhecer a capacidade máxima de adsorção de fósforo pelos solos. Assim este trabalho teve por objetivo avaliar a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) de três classes de solos da região do Triângulo Mineiro, Latossolo Vermelho eutroférico (LVef), Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) e Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), nas profundidades de 20 centímetros e em 1 metro, correlacionar os valores com teor de argila dos solos e encontrar o Ponto de Carga Zero (PCZ). A concentração de fósforo na solução sobrenadante para a análise da CMAP, foi determinada pelo método colorimétrico e os valores de fósforo adsorvidos foram submetidos ao ajuste da isoterma de Langmuir. Os resultados mostraram que os valores de CMAP nas três classes de solo variaram de 43,77 (LVdf – 20 cm) à 132,16 mg hg<sup>-1</sup> (LVAd – 1 m). O teor de argila foi obtido pelo método da pipeta, sendo as classes LVAd e LVef classificadas como muito argilosas e LVdf classificada como argila arenosa. A comparação entre CMAP e teor de argila resultou em um ajuste de regressão linear adequado com coeficiente de determinação igual a 0,89. O Ponto de Carga Zero indica o pH no qual o balanço de cargas nos colóides do solo é nulo, e os valores dos solos estudados variaram entre 3,23 e 4,26. Com os resultados encontrados neste trabalho conclui-se que os valores de CMAP possuem relação com o teor de argila dos solos, com a matéria orgânica e com o pH, e com isso mostra a importância de estudar esses parâmetros ao utilizar técnicas para diminuir a adsorção de fósforo no solo e aumentar sua disponibilidade para a absorção vegetal.

**Palavras-chave:** CMAP. Fosfato. Análise textural. Ponto de carga zero.

## ABSTRACT

LOURENÇO, Mariana. **Evaluation of the maximum phosphorus adsorption capacity in the clay fraction of Oxisols in the Triângulo Mineiro region.** 2020. 52 p. Project Final Paper (Undergraduate) – Bachelor degree in Environmental Engineering. Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2020.

Oxisols/latosols are soils characterized by an advanced weathering stage their composition influences the low availability of nutrients for this type of soil, which can limit productivity in these areas. To minimize this problem, the application of phosphate fertilizers may be necessary. Phosphate rock is the main raw material used in the production of fertilizers and its exploitation generates major negative environmental impacts. The rational use of phosphate fertilizers requires knowing the maximum phosphorus adsorption capacity for soils. Thus, this work aimed to evaluate the maximum phosphorus adsorption capacity (CMAP) of three classes of soils in the Triângulo Mineiro region, Dystrophic Red-Yellow Latosol (LVAd), Dystrophic Red Latosol (LVdf) and Eutrophic Red Latosol (LVef in the depths of 20 centimeters and in 1 meter, correlate the values with clay content of the soils and find the Zero Charge Point (PCZ). The concentration of phosphorus in the supernatant solution for the analysis of CMAP, was determined by the colorimetric method and the adsorbed phosphorus values were submitted to the Langmuir isotherm adjustment. The results showed that the CMAP values in the three soil classes ranged from 43.77 (LVdf - 20 cm) to 132.16 mg hg<sup>-1</sup> (LVAd - 1 m). The clay content found classified LVAd and LVef as very clayey soils and LVdf as sandy clay. The comparison between CMAP and clay content resulted in an adequate linear regression adjustment with a determination coefficient of 0.89. The Zero Load Point (PCZ) indicates the pH at which the load balance in the soil colloids is zero, and the values of the studied soils varied between 3.23 and 4.26. With the results found in this work it is concluded that the CMAP values are related to the clay content of the soils, with the organic matter and with the pH, showing the importance of studying these parameters when using techniques to decrease adsorption phosphorus in the soil and increase its availability for plant absorption

**Key-words:** Maximum phosphorus adsorption capacity. Phosphate. Soil texture. Zero Charge Point.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil do $P_2O_5$ no Brasil entre 2002 e 2016	16
Figura 2- Latossolo Vermelho Distrófico Nitossólico	21
Figura 3 - Localização esquemática da amostragem dos solos com base no mapa de solos do Estado de Minas Gerais.	25
Figura 4 –Região do Triângulo Mineiro, estado de Minas Gerais	25
Figura 5 – Garrafas PET com solo para obtenção da fração argila	27
Figura 6 - Curva de calibração de P	29
Figura 7 - Análise da classe textural do solo	30
Figura 8 - Triângulo para determinação de classes texturais	32
Figura 9 - Amostras para análise do Ponto de Carga Zero	33
Figura 10- Relação entre pH e disponibilidade de elementos no solo	44

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – CMAP do LVAd 20 cm	34
Gráfico 2 – CMAP do LVAd 1 m	35
Gráfico 3 – CMAP do LVdf 20 cm	35
Gráfico 4 – CMAP do LVdf 1 m	36
Gráfico 5 – CMAP do LVef 20 cm	36
Gráfico 6 – CMAP do LVef 1 m	37
Gráfico 7 – Relação entre teor de argila e CMAP	39
Gráfico 8 – PCZ do LVAd 20 cm	40
Gráfico 9 – PCZ do LVAd 1 m	41
Gráfico 10 – PCZ do LVdf 20 cm	41
Gráfico 11 – PCZ do LVdf 1 m	42
Gráfico 12 – PCZ do LVef 20 cm	42
Gráfico 13 – PCZ do LVef 1 m	43



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Municípios que foram realizados as coletas de solo e coordenadas	24
Tabela 1 – Resultados da análise de solo	26
Tabela 3 - Dados para realização da CMAP e leitura no espectrofotômetro	28
Tabela 4 - Tempo necessário, a diferentes temperaturas, para sedimentação de partículas de solo para argila	31
Tabela 5 – CMAP das classes de solos estudadas e suas respectivas profundidades	37
Tabela 6 - Resultados da análise textural	38
Tabela 7 - Resultados dos ensaios de determinação do PCZ	43

## LISTA DE SIGLAS

Al	Alumínio
Ca	Cálcio
CaCl <sub>2</sub>	Cloreto de Cálcio
CMAP	Capacidade Máxima de Adsorção de Fósforo
CTA	Capacidade de troca de ânios
CTC	Capacidade de troca de cátions
Fe	Ferro
H <sup>+</sup>	Cátion Hidrogênio
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Di-hidrogenofosfato
HCl	Ácido clorídrico
K	Potássio
KCl	Cloreto de Potássio
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Fosfato monopotássico
LVA <sub>d</sub>	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico
LV <sub>d</sub> f	Latossolo Vermelho distroférico
LV <sub>e</sub> f	Latossolo Vermelho eutroférico
M.O	Matéria Orgânica
Mg	Magnésio
MgCl <sub>2</sub>	Cloreto de Magnésio
NaOH	Hidróxido de Sódio
(NaPO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>	Hexametafosfato de sódio
OH <sup>-</sup>	Ânion Hidroxila
P	Fósforo
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pentóxido de Fósforo
PCZ	Ponto de Carga Zero
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinação
Rpm	Rotação por minuto
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
3.1. FÓSFORO .....	15
3.2. ADSORÇÃO .....	17
3.3. ISOTERMAS.....	18
3.4. LATOSSOLOS.....	20
3.5. PONTO DE CARGA ZERO .....	22
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA.....	24
4.2. SEPARAÇÃO DA FRAÇÃO ARGILA .....	26
4.3. CAPACIDADE MÁXIMA DE ADOSRÇÃO DE FÓSFORO .....	27
4.4. CLASSE TEXTURAL .....	30
4.5. PONTO DE CARGA ZERO .....	32
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>34</b>
5.1. CMAP FRAÇÃO ARGILA.....	34
5.2. CLASSE TEXTURAL .....	38
5.3. PONTO DE CARGA ZERO .....	40
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>
6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	46
6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	46
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A exploração da rocha fosfatada modifica a paisagem natural e causando impactos ambientais negativos. Desde o início do processo da extração do minério, com as escavações das jazidas há perdas de vegetação nativa existente, além da interceptação dos cursos de rios para a construção de represas e perda da biodiversidade (SANTOS; BARBIERI, 2019). Na etapa de beneficiamento da rocha fosfática os impactos continuam, com a grande geração de resíduos sólidos, onde o volume de rejeitos gerados normalmente ocupam áreas agricultáveis ou de conservação (KULAIF, 2009).

Mesmo possuindo grandes reservas, o Brasil ainda tem necessidade de importar concentrado fosfático para fertilizantes. Nos anos anteriores a 2008, o volume de rocha fosfática demandada pelo Brasil foi superior a 1.290 mil de t/ano, nesse mesmo ano houve um aumento nas exportações dos segmentos fosfatados comparado com 2007, no entanto os gastos com importação praticamente triplicaram para o concentrado e para o ácido fosfórico (SOUZA; FONSECA, 2009).

Os Latossolos são solos constituídos por material mineral, em avançado estágio de intemperização, onde predominam os minerais de argila 1:1, como a caulinita e os óxidos de ferro (Fe), hematita e goethita, e de alumínio (Al), gibbsita, que possuem alta capacidade de adsorção de fósforo (P), se tornando um dos principais fatores da insolubilização desse nutriente em solos tropicais e conseqüentemente, limitando a produtividade dessas áreas (SOUZA *et al.*, 2006).

Para diminuir ou evitar perdas na produção de culturas, torna-se necessário um suprimento adequado dos nutrientes essenciais, e atualmente, com a crescente demanda por produtividade, a exigência desses nutrientes no solo também aumenta, fazendo-se necessária a adubação ou aplicação de fertilizantes (RESENDE; FURTINI NETO, 2007).

Com o aumento do pH ocorre a “desprotonação de hidroxilas de radicais orgânicos e daquelas expostas na superfície das argilas”, fazendo com que haja maior repulsão entre o fosfato e superfície adsorvente, permitindo maior absorção do P pelas plantas (SOUZA *et al.*, 2006).

Considerando a necessidade de diminuir a fixação do fósforo no solo para aumentar a disponibilidade às plantas, se tornou relevante o estudo da capacidade máxima de adsorção de fósforo na fração argila, pois esta apresenta maior potencial

de adsorção desse composto. Foram analisadas três classes de solos da região do Triângulo Mineiro, Latossolo Vermelho eutroférico (LVef), Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) e Latossolo Vermelho distroférico (LVdf).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Determinar a capacidade máxima de adsorção de fósforo no solo e na fração argila, em três diferentes classes de solos na região do Triângulo Mineiro: Latossolos Vermelho eutroférico (LVef), Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), nas profundidades de 20 centímetros e 1 metro.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Separar a granulometria da fração argila dos Latossolos;
- Lavar com água destilada a argila separada para remoção de sais;
- Congelar as amostras e liofilizar;
- Avaliar a CMAP – Capacidade Máxima de Adsorção de Fósforo da fração argila;
- Avaliar o Ponto de Carga Zero;
- Avaliar a classe textural dos solos.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. FÓSFORO

Sabe-se que nos solos altamente intemperizados, como por exemplo os Latossolos, há o predomínio de fósforo na forma inorgânica, ligado à fração mineral com alta energia de ligação, e há a forma orgânica, estabilizadas física e quimicamente. Esse solo é caracterizado pela intensa interação com o fósforo, por isso é um dos macronutrientes essenciais menos absorvidos pelas plantas (VILAR; VILAR, 2013).

O tipo de solo, a quantidade de minerais presente na fração argila, a matéria orgânica (MO) do solo e a reação do solo (avaliada pelo seu pH e teores de cálcio e alumínio), podem influenciar a fixação de fósforo no solo (MARQUES, 2016).

Os compostos do fósforo mais comuns são encontrados na forma de sais, e denominados fosfatos, que são compostos ativos e não encontrados livres na natureza. O fosfato natural ou rocha fosfática, comercialmente expresso sob a forma de pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) e absorvido pelas plantas sob a forma de ânions  $H_2PO_4^-$  (di-hidrogenofosfato) em solos ácidos, e é o grande responsável pela geração de energia para a produção vegetal, participa do processo de crescimento e sustentação corporal dos vegetais e é de grande importância para a fotossíntese e para a reprodução (DAMINATO; BENITIZ, 2015).

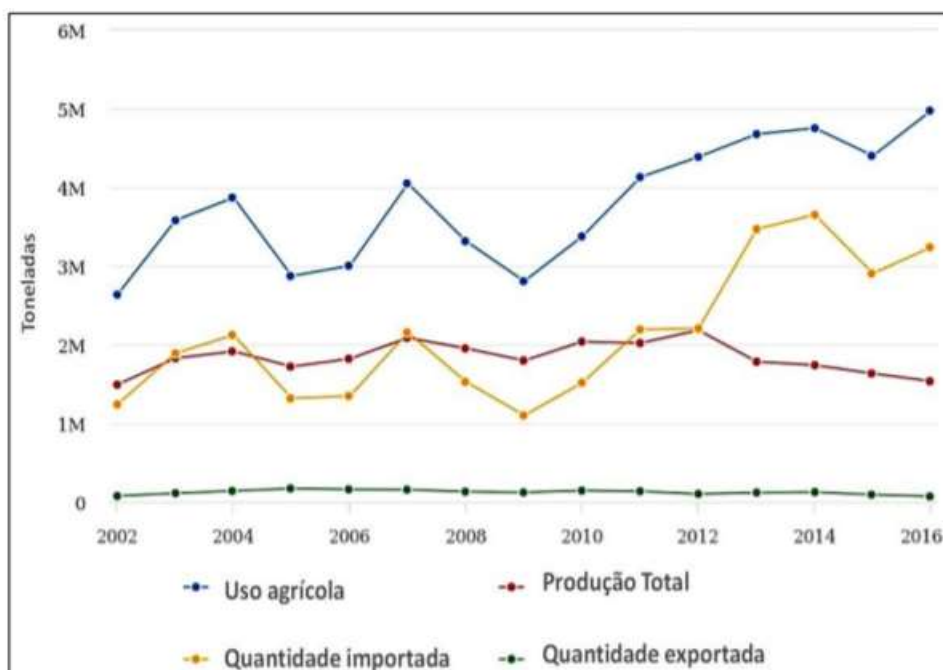
A rocha fosfática é a única fonte de fósforo viável no mundo, e ela pode ter origens sedimentares (em torno de 85% da oferta mundial), ígneas (próximo de 15%) e biogenéticas. As de origens biogenéticas possuem menor importância econômica, são concentrações orgânicas nitrogenadas, originadas pelos dejetos de aves. Já as de origens sedimentares e ígneas são as mais importantes do ponto de vista econômico. Os minérios de fosfatos originados de sedimentos marinhos estão localizados nos Estados Unidos, sudeste do México, Marrocos e Noroeste do Saara e Oriente Médio, já os minérios de fosfatos originários de depósitos ígneos estão localizados no Brasil, África do Sul, Rússia, Finlândia (SOUZA; FONSECA, 2009).

A rocha fosfatada é a principal matéria prima utilizada na produção de fertilizantes fosfatados. Eles são produtos do processamento de rochas naturais ricas em fosfato e podem ser mais solúveis ou menos solúveis, dependendo da

tecnologia utilizada, como Fontes Convencionais de Nutrientes (FCN) - os de alta solubilidade e concentração e Fontes Alternativas de Nutrientes (FAN) - rocha, termofosfatos e outros (DIAS; LAJOLO, 2010).

Em 2018, o Índice da Produção Mineral (IPM), que visa auferir a variação no quantum da produção brasileira, mostrou redução na produção do fosfato, enquanto o uso e a importação do fosfato usado na agricultura brasileira cresceram, revelando a insuficiente produção interna de insumos para fabricação de fertilizantes (SCHUELER; DOURADO; RIZZO, 2019). A Figura 1 mostra os dados de uso, produção e importação do fosfato usado na agricultura brasileira ao longo dos últimos anos (2002-2016).

Figura 1 - Perfil do  $P_2O_5$  no Brasil entre 2002 e 2016.



Fonte: Schueler, Dourado e Rizzo (2019)

Sabe-se que o consumo mundial de rocha fosfática é bastante concentrado, os principais consumidores são os países que mais investem na produção de fertilizantes, com a indústria de ácido fosfórico e produzindo fosfatos solúveis, sendo China, Índia e Estados Unidos detentores de extensas reservas de rocha fosfática, e o Brasil o 4º maior consumidor mundial de fertilizante em 2010 (KULAIF, 2009).

A projeção para 2030 foi feita com cenários de economia variando entre crescimento frágil, vigoroso e inovador, o consumo de rocha fosfática tende a



aumentar em 70%, 100% e 200% respectivamente. Esses dados mostram a necessidade de novos investimentos para o suprimento dessas demandas (OGASAWARA; KULAIF; FERNANDES, 2010).

### 3.2. ADSORÇÃO

O processo de adsorção é uma operação de transferência de massa, onde há adesão de moléculas de um fluído no solo às partículas sólidas, possibilitando a separação de componentes desse fluído. Adsorvato é o componente líquido ou gasoso que se acumula na substância sólida, também conhecida como adsorvente (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

As forças que atraem o adsorvato podem ser de natureza química ou física. A adsorção física, ou fisissorção, ocorre através de forças de Van der Waals, que são parecidas com forças de coesão molecular. É caracterizada por ter baixo calor envolvido, abaixo de 10 kcal/mol, e ser reversível, pois ocorre a partir de forças de atração intermoleculares fracas. Diferentemente da adsorção química, ou quimissorção, onde a troca de elétrons entre o adsorvato e o adsorvente resultam em uma reação química, formando uma nova ligação química, por isso sua interação é mais forte (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

A quimissorção possui características mais específicas, pois nem todas as moléculas podem ser adsorvidas nesse caso, apenas as que são capazes de se ligar ao sítio ativo, região onde pode ocorrer reação química, e nem todas as superfícies sólidas possuem sítios ativos capazes de adsorver quimicamente o adsorvato. Já a fisissorção ocorre em toda superfície do adsorvente, por isso é chamada de não localizada (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Área superficial, temperatura do sistema e pH do meio são fatores que influenciam o processo de adsorção, além da natureza do adsorvente, do tamanho de seus poros, da densidade, dos grupos funcionais presentes na superfície e da hidrofobicidade do material (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Os fosfatos podem ser considerados como lábeis ou não lábeis dependendo do seu grau de estabilidade, onde a fração lábil é o composto que pode rapidamente repor a solução do solo quando é absorvido pelas plantas ou microrganismos. Ela depende do grau de intemperização do solo, em que quanto mais avançado, mais o

solo compete com a planta pelo composto. (GODINHO, 2015; SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

A adsorção do fósforo ocorre quando suas formas solúveis interagem com a fase sólida do solo, tornando-se menos disponível para as plantas. Estudos mostram que isso ocorre com maior facilidade dependendo do teor e mineralogia da fração argila, teor de coloides amorfos, pH, alumínio trocável e matéria orgânica (CHAVES; CHAVES; MENDES, 2007).

Sabe-se também que há baixa disponibilidade de fósforo em solos bem drenados devido a formação de compostos de alta energia de ligação e baixa solubilidade em com a fase sólida mineral do solo, principalmente com óxidos e hidróxidos de Fe e Al (RANNO *et al.*, 2008). Além da adsorção nesses óxidos, a difusão em microporos e camadas de argila, a sua transformação em estados mais estáveis e a incorporação da biomassa microbiana também são explicações para essa imobilização do P (GODINHO, 2015).

O fósforo é um dos macronutrientes mais exigidos pelas plantas, no entanto, um dos fatores limitantes da sua adsorção é o teor de argila. Um maior teor de argila não significa valor de capacidade máxima de adsorção, isso depende da qualidade da argila, onde os óxidos de Ferro e Alumínio são partes da fração argila que melhor adsorvem o fósforo em relação às argilas silicatadas (CHAVES; CHAVES; MENDES, 2007).

Além disso, a deficiência de fósforo nos solos tropicais é influenciada pelo pH ácido. Os óxidos de Fe e Al possuem carga líquida positiva em meios ácidos. Essa característica provoca uma baixa adsorção dos cátions macronutrientes principais, cálcio, magnésio e potássio, e conseqüentemente uma alta adsorção de ânions essenciais às plantas (VILAR, 2010).

### 3.3. ISOTERMAS

Segundo Olsen e Watanabe (1957), isotermas de adsorção são modelos que traduzem a relação de equilíbrio entre a quantidade de um elemento adsorvido e a quantidade remanescente na solução final, através de parâmetros como temperatura, pressão e sistema sólido fluido. As chamadas curvas isotermas são obtidas quando, em temperatura constante, a capacidade de adsorção varia com a

concentração (LOUREIRO, 2012). É um modo de estudar o comportamento de adsorção de fósforo no solo, pois também é possível determinar o grau de adsorção, comparar o seu comportamento e ainda prever a adsorção em outros sistemas (BALDIN, 2014).

Existem vários tipos de representações das isotermas de adsorção, que dependendo da natureza do adsorvente e do adsorvato podem fornecer diferentes informações.

Algumas equações de isotermas utilizam um ou mais parâmetros para ajustar os dados experimentais das curvas de quantidade do soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio, versus a concentração do adsorvato no equilíbrio. Dentre essas, podemos citar as equações de Langmuir, Freundlich, Redlich-Peterson, Temkin e Dubinin–Radushkevich (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Uma das mais conhecidas devido sua simplicidade e grande aplicabilidade é a isoterma de Langmuir, que retrata uma afinidade relativamente alta entre o adsorbato e o adsorvente e, normalmente, é indicativa de processo de quimissorção (CARVALHO; FUNGARO; IZIDORO, 2010). Ela assume que as superfícies são homogêneas e que a adsorção ocorre em uma monocamada. Além disso considera um número definido de sítios ativos e que eles possuem afinidade igual pelo adsorvato e, portanto, não afetam a adsorção do sítio adjacente, comportando apenas uma molécula adsorvida em cada sítio (LOUREIRO, 2012; NASCIMENTO *et al.*, 2014).

A Equação 1 representa a isoterma de Langmuir:

$$q = \frac{q_{max} * K_L * C_e}{1 + K_L * C_e} \quad (1)$$

Em que:

q = quantidade do soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio (mg g<sup>-1</sup>);

q<sub>max</sub> = capacidade máxima de adsorção (mg g<sup>-1</sup>);

K<sub>L</sub> = constante de interação adsorvato/adsorvente (L g<sup>-1</sup>);

C<sub>e</sub> = concentração do adsorvato no equilíbrio (mg L<sup>-1</sup>).

A isoterma de Freundlich é usada para descrever a relação entre a quantidade de material adsorvido e a concentração do material na solução. Diferente

de Langmuir, descreve o equilíbrio em superfícies heterogêneas, com a adsorção ocorrendo em multicamadas (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Como não existe interação considerável entre as moléculas do adsorvato, pode-se assumir uma distribuição exponencial para caracterizar os tipos de sítios, pois possuem diferentes energias adsorptivas. Como se trata de um modelo empírico, a equação considera que a capacidade de adsorção tende ao infinito com o aumento da concentração inicial do soluto. Segue a Equação 2:

$$Q_e = K_f * C_e^{1/n} \quad (2)$$

Onde:

$q_e$  = quantidade de soluto adsorvido ( $\text{mg g}^{-1}$ );

$C_e$  = concentração de equilíbrio em solução ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$1/n$  = constante relacionada à heterogeneidade da superfície;

$K_f$  = constante de capacidade de adsorção de Freundlich ( $\text{mg g}^{-1}$ ) ( $\text{L mg}^{-1}$ )( $1/n$ ).

O valor de  $n$  refere-se à força de ligação entre adsorvato e o adsorvente, e mostra se a isoterma será favorável ou não favorável, em que quanto menor for  $1/n$ , a interação é mais forte. E quanto maior  $1/n$ , mais próximo de 1, indica que “a adsorção é linear, ou seja, as energias são idênticas para todos os sítios de adsorção” (NASCIMENTO *et al.*, 2014, p. 36)

### 3.4. LATOSSOLOS

O Latossolo é uma classe de solo em estado avançado de intemperização decorrente de transformações energéticas do material. É caracterizado por possuir quantidades reduzidas de variações de minerais, por cargas de altas superfícies variáveis, alta capacidade de troca de ânion (CTA) e baixa capacidade de troca de cátion (CTC) da fração argila (EMBRAPA, 2006). Segundo Sousa e Lobato (2019), os Latossolos são formados por um processo chamado latolização, que consiste na remoção da base sílica e das bases do perfil ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , e etc), quando os minerais primários são transformados.

São solos profundos, com espessura normalmente superior à 2 metros e com baixa heterogeneização nas sequências dos horizontes A, B e C, como é possível

ver na Figura 2, que mostra o corte de um Latossolo até 80 cm de profundidade (horizonte B). Possuem cor mais escura no horizonte A, mais vivas em B e mais claras em C, dependendo da natureza, forma e quantidade dos constituintes minerais, principalmente dos óxidos e hidróxidos de ferro. O aumento do teor de argila é pouco expressivo de A para B, mas de modo geral aumenta gradativamente com a profundidade ou podem até permanecer constantes (EMBRAPA, 2006; SOUSA; LOBATO, 2019).

Figura 2- Latossolo Vermelho Distrófico Nitossólico



Fonte: Santos, Zaroni, Clemente (2020)

Em geral são solos ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos (SOUSA; LOBATO, 2019), podendo ocorrer, no entanto, em zonas de estação seca definidas, saturação por bases médias e até alta (EMBRAPA, 2006).

A flocculação da argila, que passa a se comportar funcionalmente como silte ou areia fina, faz com que o latossolo tenda a formar crostas superficiais, o que pode ser evitado mantendo a cobertura vegetal da área (SOUSA; LOBATO, 2019).

No território brasileiro, a classe de solo de maior ocorrência é a dos Latossolos, que segundo a Embrapa correspondem a 31,49% do total. No estado de

Minas Gerais a predominância é maior, ocorrendo em 47,48% de sua área total (CASTRO, 2002).

De acordo com as características dos Latossolos, somado à cor e aos teores de ferro, pode-se dividir em Classes do 2º nível categórico (subordens): Latossolos Brunos, Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho-Amarelos (EMBRAPA, 2006).

O Latossolo Vermelho é reconhecido por cor vermelha acentuada, em razão dos maiores teores e da natureza dos óxidos de ferro. São encontrados principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste, e possui a produção de grãos como destaque, pois são áreas predominantemente de relevo plano ou ondulado suave. Apresentam boas condições para o desenvolvimento radicular pois são profundos e porosos, mas em contrapartida possuem baixos níveis de fósforo em condições naturais (SANTOS, ZARONI, CLEMENTE, 2020).

Um terceiro nível categórico classifica os Latossolos Vermelhos de acordo com as implicações para uso e manejo, o Latossolo Vermelho distroférico significa solo de baixa fertilidade e alto teor de ferro, e o eutroférico é um solo de alta fertilidade e com alto teor de ferro (SANTOS, ZARONI, CLEMENTE, 2020).

O Latossolo Vermelho-Amarelo normalmente ocorre em locais bem drenados, possui características uniforme de cor, textura e estrutura em profundidade. Em condições naturais, os teores de fósforo são baixos e a adubação fosfatada vem a ser indicada. Outra limitação ao uso desta classe de solo é a baixa quantidade de água disponível às plantas (SANTOS, ZARONI, CLEMENTE, 2020).

### 3.5. PONTO DE CARGA ZERO

“O ponto de carga zero (PCZ) é o valor de pH em que a adsorção de íons determinantes de potencial ( $H^+$  e  $OH^-$ ) é igual. ” (PÉREZ, CAMPOS, TEIXEIRA, 2017, p 259). É um ponto de referência para analisar as propriedades eletroquímicas do sistema, como o sinal da carga líquida da superfície ao pH atual do solo, indicando se ela está carregada positivamente ( $pH < PCZ$ ) ou negativamente ( $pH > PCZ$ ), e em pH igual a zero não há predominância de cargas (BALDOTTO; VELLOSO, 2013)

O pH do meio ser maior do que o PCZ significa predominância de cargas elétricas negativas, e representa a capacidade de troca de cátions (CTC), já quando o valor de pH do meio é menor do que o PCZ, predomina cargas elétricas positivas, representando a capacidade de troca de ânions (CTA) (BALDOTTO; VELLOSO, 2013).

Conhecer essas reações é importante pois elas influenciam na fertilidade do solo e na nutrição das plantas, pois os valores obtidos podem apresentar a composição mineralógica do solo analisado. A presença de óxidos de Fe e Al tendem a aumentar o PCZ, para óxidos de Fe (hematita e goethita), os valores de PCZ variam de 7 a 9 (PARKINS & BRUYN, 1962) e para o óxido de Al (gibbsita) 7,5 a 9,5. Por sua vez, a presença de minerais de argila silicatada e de matéria orgânica tende a diminuir o PCZ, com o PCZ da caulinita em torno de 3,5 (PARKS & BRUYN, 1962).

O conhecimento dessa propriedade é relevante para compreender o desenvolvimento pedogenético e com isso o comportamento do solo quanto à dissolução de minerais.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA

As coletas das amostras foram realizadas em três municípios do Triângulo Mineiro, região oeste do estado de Minas Gerais. São cidades situadas próximas aos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul, Capinópolis, Ituiutaba e Tupaciguara, localizadas nas coordenadas apresentadas na Tabela 1 e numeradas conforme a Figura 3. É conhecida por ser uma região agricultável, com rotação de culturas de soja e milho, é caracterizada por seu clima quente o ano todo e com maior precipitação nos meses de outubro a abril e sua localização está indentificada na Figura 4.

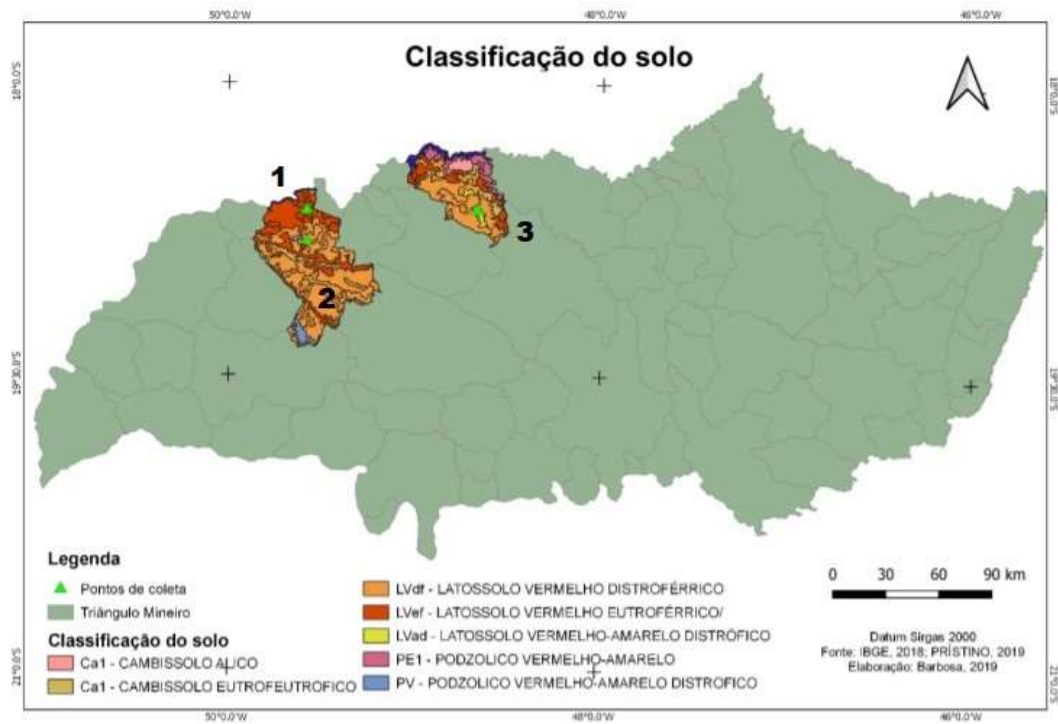
Tabela 1 - Municípios que foram realizados as coletas de solo e coordenadas.

Número	Município	Coordenadas (UTM?)
1	Capinópolis	S 18°39,065' W 49°34,967'
2	Ituiutaba	S 18°48,809' W 49°34,824'
3	Tupaciguara	S 18°38'57,8" W 48°39'55,6"

Fonte: Autoria própria (2020).



Figura 3 - Localização esquemática da amostragem dos solos com base no mapa de solos do Estado de Minas Gerais.



Fonte: Barbosa (2019).

Figura 4 –Região do Triângulo Mineiro, estado de Minas Gerais



Fonte: Abreu (2006).

Utilizando um trado motorizado foram coletadas 6 amostras no total, com aproximadamente 5 kg de amostra do horizonte A, em 20 cm de profundidade, onde há presença de folhas, raízes e preparação do solo; e 5 kg do horizonte B, em 1 metro de profundidade, onde não há ação antrópica, todas extraídas de áreas rurais. As amostras coletadas foram classificadas como LATOSSOLO VERMELHO eutroférico (LVef), LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico (LVAd) e LATOSSOLO VERMELHO distroférico (LVdf) (BARBOSA, 2019).

As análises foram realizadas no Laboratório de Solos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR campus Londrina. A terra fina seca ao ar (TFSA) foi obtida por Barbosa (2019), após secagem na estufa a 105°C e peneiramento em peneiras com abertura de 2 mm. Posteriormente as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenados em local fresco com sombra, em temperatura ambiente. A Tabela 2 mostra os resultados das análises químicas de rotina da TFSA para serem considerados nos resultados obtidos.

Tabela 2 – Resultados da análise de solo

Classes de Solos	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O g dm <sup>-3</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	Ca + Mg	Ca	K	Al	H + Al	CTC
				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					
LVef – 20 cm	4,93	32,95	4,09	5,3	0,5	0,04	0	7,7	13,04
LVef – 1m	5,29	8,59	1,06	3,5	3,0	0,003	0	12,4	15,90
LVdf - 20 cm	4,46	24,23	2,37	2,0	1,1	0,01	0	8,0	10,01
LVdf - 1m	4,98	5,51	0,00	0,9	0,5	0,003	0	9,7	10,60
LVAd - 20cm	4,30	18,08	1,14	1,3	0,5	0,01	0	20,4	22,20
LVAd - 1m	4,40	10,13	0,00	0,7	0,4	0,003	0	16,3	17,00

Fonte: Barbosa (2019).

## 4.2. SEPARAÇÃO DA FRAÇÃO ARGILA

Para a realização das análises de CMAP e classe textural foi necessário obter a fração argila, para isso 100 g da TFSA foram colocadas em frascos de polietileno e agitados por 8 horas com 100 mL de agente dispersante de hidróxido de sódio (NaOH) 0,02 mol L<sup>-1</sup> (20 g de hidróxido de sódio em 5 litros de água destilada) (EMBRAPA, 2009).

Após o tempo de agitação, o conteúdo foi transferido para garrafas de Polietileno Tereftalato (PET) de 1,5L, conforme Figura 5. As garrafas foram completadas com água e os conteúdos foram agitados novamente e sifonados nos primeiros 10 centímetros após o tempo de sedimentação das partículas conforme a Lei de Stokes (VILLAR *et al.* 2010).

Nos frascos das argilas separadas foram adicionados cloreto de magnésio ( $MgCl_2$ ) 1,0 M para que ocorresse a floculação das argilas. Após a floculação, as argilas foram lavadas com água destilada para retirar o excesso de sais de magnésio, congeladas e liofilizadas.

Figura 5 – Garrafas PET com solo para obtenção da fração argila



Fonte: Barbosa (2019).

#### 4.3. CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO

As análises da capacidade máxima de adsorção de P foram obtidas nas amostras das frações argila, conforme metodologia de Vilar (2010). A determinação da CMAP ocorreu através da análise de uma sequência de 12 tubos para cada tipo

de solo (Lvef, Lvdf e LVad) e para cada profundidade (20 centímetros e 1 metro), onde foi adicionado cerca de 0,5 grama de amostra de solo em cada tubo.

Para iniciar o processo, os tubos foram descontaminados com água e sabão e posteriormente colocado no ácido clorídrico 10% por 2 horas e enxaguado com água deionizada.

Em cada série de tubos foram adicionados 5,0 mL de solução de cloreto de Potássio ( $\text{KCl } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ), pH 6, respeitando a relação solo:solução na ordem de 1:10. Os tubos eram contidos por 0; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 60; 80; 120 e 240  $\text{mg L}^{-1}$  de P, na forma de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , com as devidas diluições listadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados para realização da CMAP e leitura no espectrofotômetro

Tubo	Concentração Final de P	Diluição	KCl 0,01M (mL)	P 1000 ppm (mL)
1	0	0	250	0
2	5	0	248,75	1,25
3	10	0,5	247,5	2,5
4	15	0,5	246,25	3,75
5	20	0,5	245	5
6	25	0,5	243,75	6,25
7	30	0,5	242,5	7,5
8	40	0,5	240	10
9	60	0,2	235	15
10	80	0,2	230	20
11	120	0,1	220	30
12	240	0,1	190	60

Fonte: Autoria própria (2020).

Em seguida o conjunto foi colocado em mesa agitadora a 160 oscilações/minuto, durante 4 horas. Após 24 horas de contato material-solução, os tubos foram centrifugados por 10 minutos a 3000 rpm. A concentração de P na solução sobrenadante foi determinada através do método colorimétrico (EMBRAPA, 2009).

Para dar continuidade do processo, foram preparadas curvas de calibração para as seguintes concentrações de P, em  $\text{mg L}^{-1}$ : 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; e

10,0 na forma de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Em seguida diluiu-se 300 mL de molibdato concentrado em uma proveta de vidro de 1000 mL com água deionizada, onde 10 mL dessa solução era acrescentado à 5 mL de cada concentração da curva e à aproximadamente 30 mg de ácido ascórbico. A mistura foi realizada em copos descartáveis de 50 mL e sua leitura feita em um espectrofotômetro no comprimento de onda de 660 nm (Figura 6).

Figura 6- Curva de calibração de P



Fonte: Autoria Própria (2020).

Posteriormente foram realizadas as análises das concentrações de P de cada tipo de solo, onde 5 mL do sobrenadante das amostras, seguindo as diluições da Tabela 3, foram somados à 10 mL de molibdato diluído e 30 mg de ácido ascórbico para realização da leitura no espectrofotômetro no comprimento de onda de 660 nm.

A diferença entre as concentrações iniciais e as concentrações da solução de equilíbrio determinou as quantidades de fósforo adsorvidas. As concentrações de equilíbrio ( $C_{eq}$ ) e os respectivos valores de P adsorvidos foram submetidos ao ajuste da isoterma de Langmuir (OLSEN; WATANABE, 1957), onde as concentrações iniciais escolhidas para constituição das isotermas variaram entre as amostras. Após o ajuste da isoterma, foi obtida a equação para estimar o valor da CMAP utilizando o software Origin.

#### 4.4. CLASSE TEXTURAL

A análise granulométrica das amostras foi determinada pelo método da pipeta, baseando-se na velocidade de queda das partículas do solo, seguindo a metodologia de Camargo *et al.* (2009), com adaptações.

Uma solução dispersante foi feita dissolvendo 20 g de hidróxido de sódio em 5 litros de água destilada e adicionando 50 g de hexametáfosfato de sódio ((NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>), agitando a solução até a dissolução completa do reagente. Após pesados 20 g de solo, adicionou-se 100 mL da solução dispersante em frascos de vidro e agitados em mesa agitadora por 16 horas a 160 rpm. Foram efetuadas três repetições de cada amostra de solo e uma prova em branco.

A suspensão foi toda transferida para provetas de 500 mL, conforme mostra a Figura 7, onde a proveta 1 trata-se da prova em branco, 2, 3 e 4 são as triplicatas de LVAd 20 cm e 5,6,e 7 são triplicatas de LVAd 1m. As provetas foram completadas com água e agitadas durante um minuto com um bastão com tampa na extremidade inferior.

Figura 7 - Análise da classe textural do solo



Fonte: Autoria Própria (2020).

Para sedimentação da argila+silte após um minuto de repouso, introduziu uma pipeta de 10 mL a uma profundidade de 10 cm.

Para a sedimentação da argila, foi medida a temperatura da amostra para verificar o tempo necessário da sedimentação de partículas do solo, que foi de 3 horas e 38 minutos para 24°C, segundo a Tabela 4. Após o tempo descrito foram extraídos 10 mL de solução com um a pipeta a uma profundidade de 5 cm.

Tabela 4 - Tempo necessário, a diferentes temperaturas, para sedimentação de partículas de solo para argila

Temperatura °C	Tempo	Temperatura °C	Tempo
10	5h 11'	23	3h 43'
11	5h 03'	24	3h 38'
12	4h 55'	25	3h 33'
13	4h 47'	26	3h 28'
14	4h 39'	27	3h 24'
15	4h 33'	28	3h 19'
16	4h 26'	29	3h 15'
17	4h 20'	30	3h 10'
18	4h 12'	31	3h 07'
19	4h 06'	32	3h 03'
20	4h 00'	33	2h 52'
21	3h 54'	34	2h 55'
22	3h 48'	35	2h 52'

Fonte: Camargo *et al.*(2009).

As alíquotas foram transferidas para béqueres previamente tarados e numerados, e armazenados em estufa a 105°C por aproximadamente 20 horas. Em seguida foram colocados em um dessecador para esfriar e serem novamente pesados em balança com precisão de décimo milésimo de grama para realização dos cálculos da porcentagem de argila, silte e areia.

A fração silte foi obtida por diferença entre a massa da fração silte+argila e a massa da fração argila e a massa desse dispersante foi descontada das frações argila e silte, já que ele estava presente na pesagem. Com isso, foram determinados os valores de areia, silte e argila presentes na fração argila pelas expressões 3, 4, 5 e 6 de Camargo *et al.* (2009) com alterações e resultados em g Kg<sup>-1</sup>.

$$\text{Argila} + \text{Silte} = \left( \frac{\text{peso da argila} + \text{silte} + \text{dispersante} - \text{peso dispersante}}{0,04} \right) * 1000 \quad (3)$$

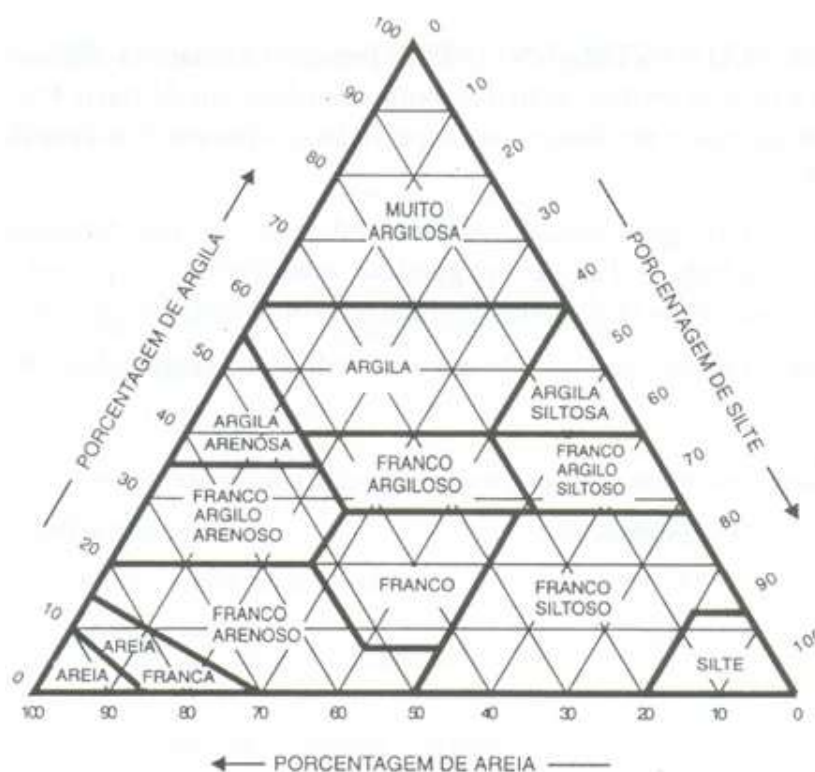
$$\text{Argila} = \left( \frac{\text{peso da argila} + \text{dispersante} - \text{peso dispersante}}{0,04} \right) * 1000 \quad (4)$$

$$\text{Silte} = (\text{peso da argila} + \text{silte}) - (\text{peso da argila}) \quad (5)$$

$$\text{Areia} = 1000 - (\text{peso da argila} + \text{silte}) \quad (6)$$

Posteriormente, de acordo com as porcentagens de areia, silte e argila, os solos foram agrupados em classes texturais, obtidas pelo triângulo do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) na Figura 8.

Figura 8 - Triângulo para determinação de classes texturais



Fonte: Camargo *et al.* (2009).

#### 4.5. PONTO DE CARGA ZERO

O Ponto de Carga Zero é obtido pelo cruzamento de três curvas de titulação potenciométricas em soluções eletrolíticas de sais formados por íons indiferentes (KCl).



O procedimento foi realizado segundo a metodologia descrita em Pérez, Campos, Teixeira (2017), com modificações, onde foram utilizados 45 béqueres para cada tipo de solo e profundidade, ordenados em três filas de 15 (A, B, C) com 4,0 g de solo cada, como visto na Figura 9. Foi adicionado 10 mL de KCl 0,002M, 0,02M e 0,2M respectivamente em cada fila. Nos béqueres de 1 a 7 adicionou-se: 3; 2,5; 2; 1,5; 1; 0,5 e 0,25 mL de HCl 0,1M, e nos de 9 a 15: 0,25; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 e 3 mL de NaOH 0,1M. Posteriormente todos foram completados com água até totalizar o volume de 20 mL e agitados. Por fim permaneceram 4 dias em repouso para que o pH das suspensões fosse determinado utilizando um pHmêtro portátil

Figura 9 - Amostras para análise do Ponto de Carga Zero



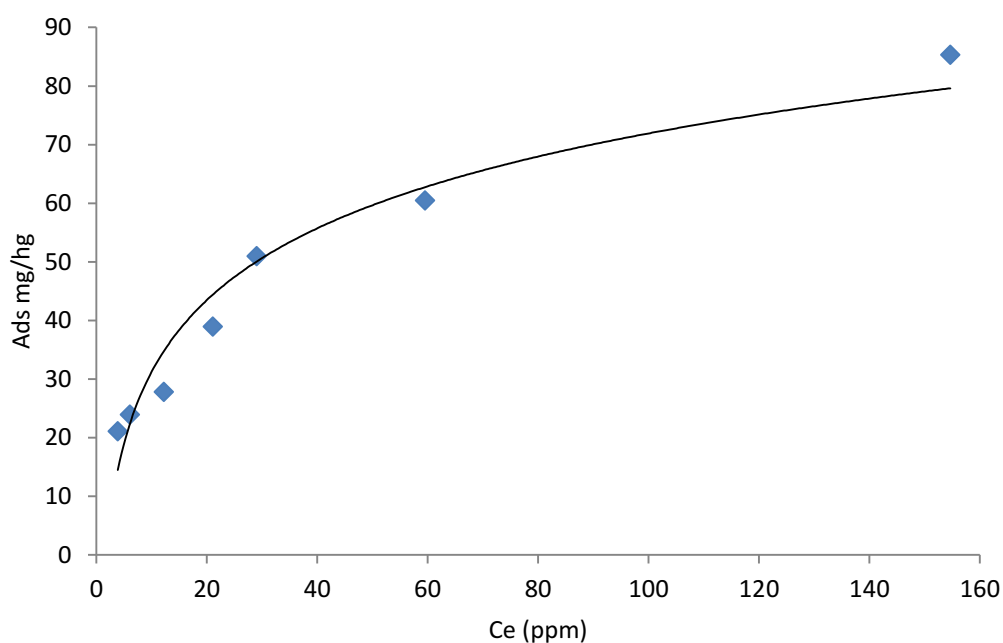
Fonte: Autoria Própria (2020).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. CMAP FRAÇÃO ARGILA

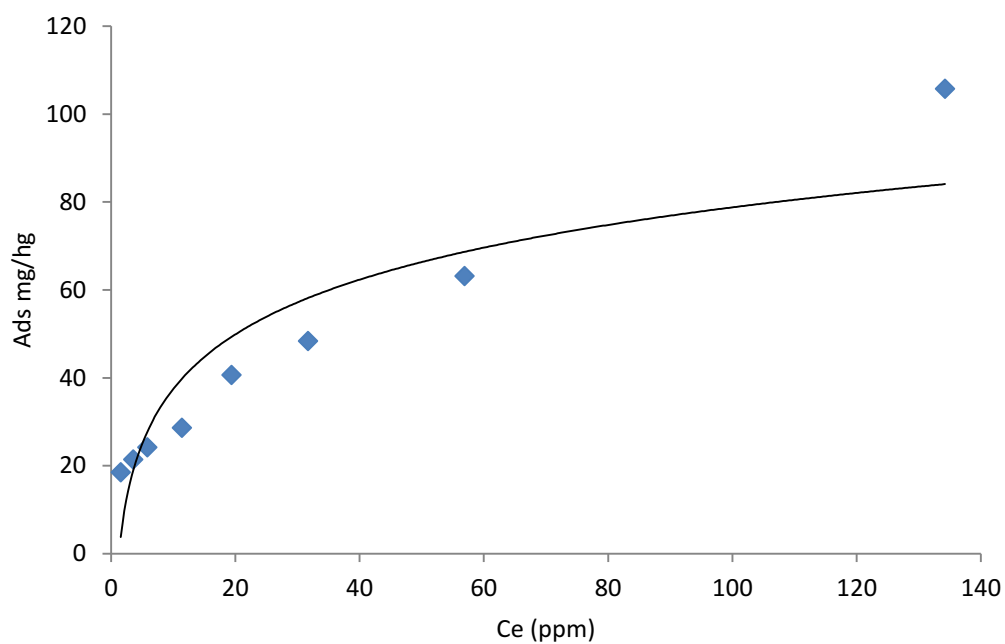
Análises feitas por Barbosa (2019), com amostras de solo TFSA, mostraram diversidade nas variações dos atributos químicos como visto na Tabela 2, consequência das diferentes condições de relevo e do material de origem. Por esse motivo era esperado variação também na CMAP da fração argila, estando os resultados da adsorção de P da solução pelo solo (em mg de P por grama de adsorvente) pela concentração do adsorvato no equilíbrio, apresentados nos Gráficos 1, 2, 3, 4, 5, e 6, e na Tabela 5.

Gráfico 1 – Fósforo adsorvido x Concentração do adsorvato no equilíbrio do LVAd 20 cm



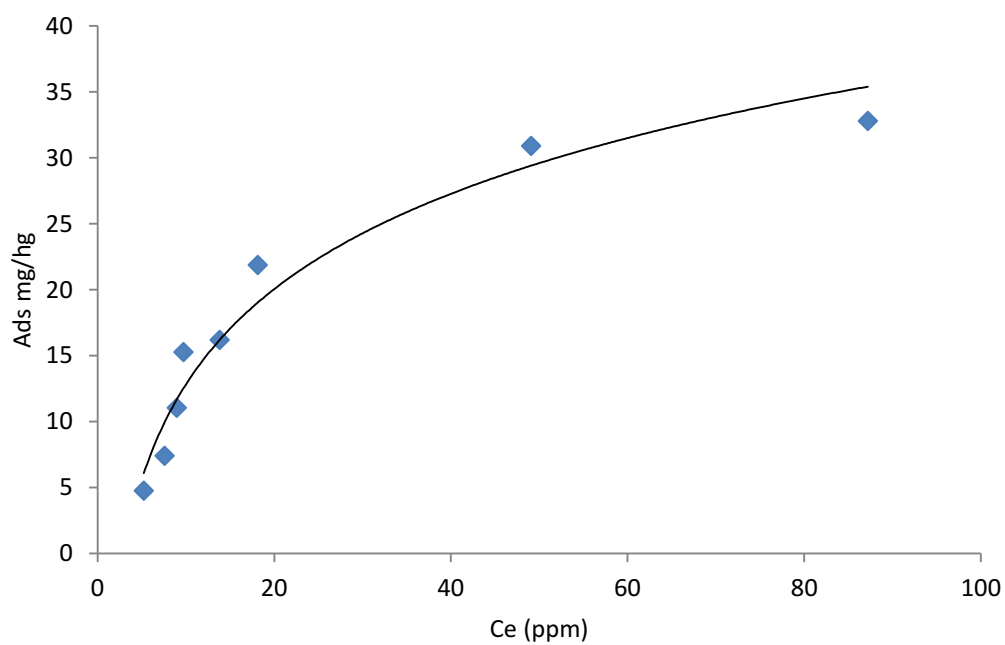
Fonte: Autoria Própria (2020).

Gráfico 2 - Fósforo adsorvido x Concentração do adsorvato no equilíbrio do LVAd 1 m



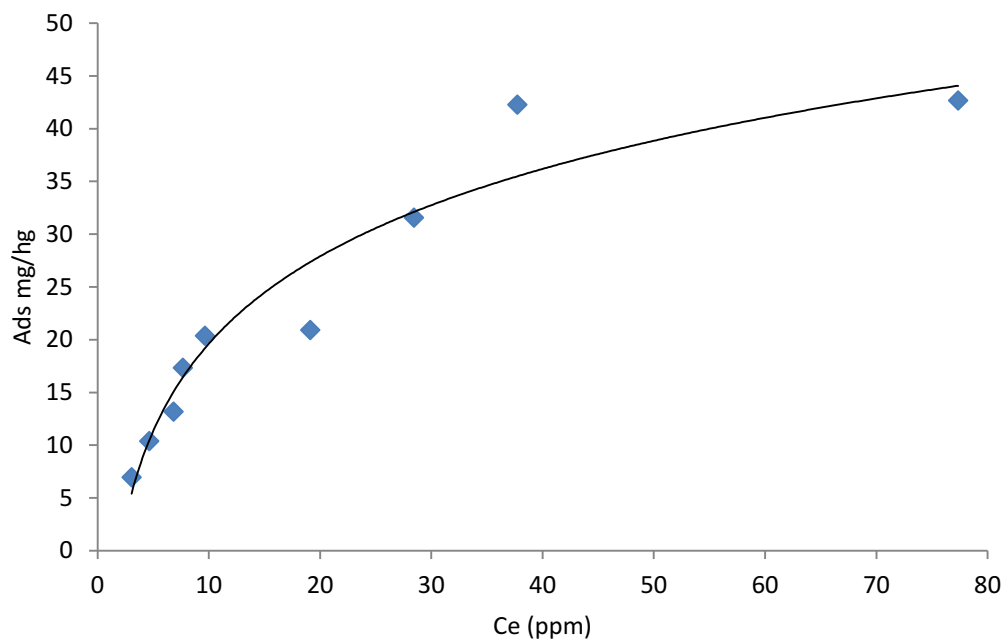
Fonte: Autorial Própria (2020).

Gráfico 3 - Fósforo adsorvido x Concentração do adsorvato no equilíbrio do LVdf 20 cm



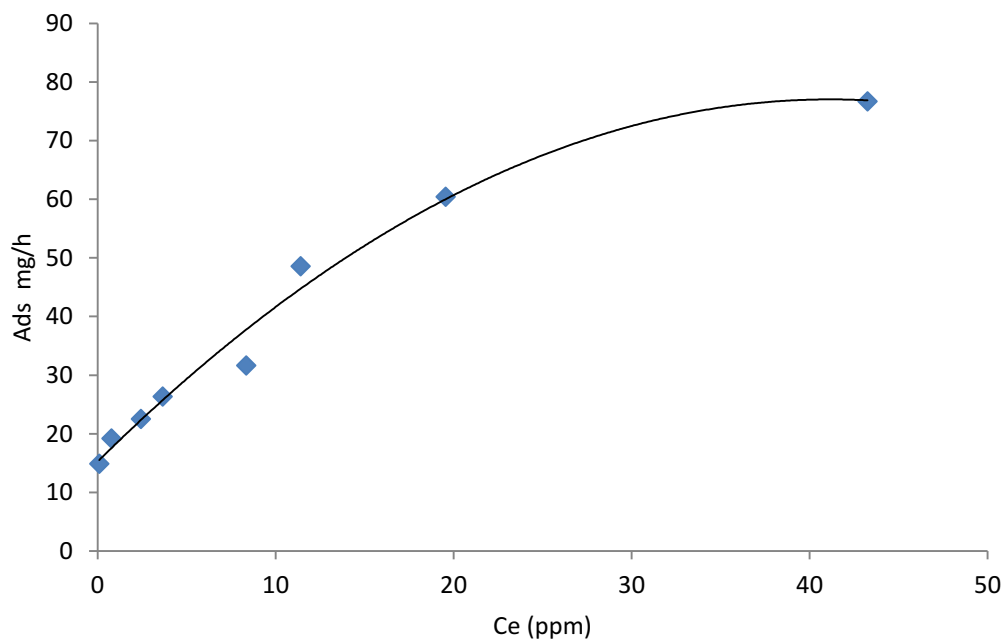
Fonte: Autorial Própria (2020).

Gráfico 4 - Fósforo adsorvido x Concentração do adsorvato no equilíbrio do LVdf 1 m



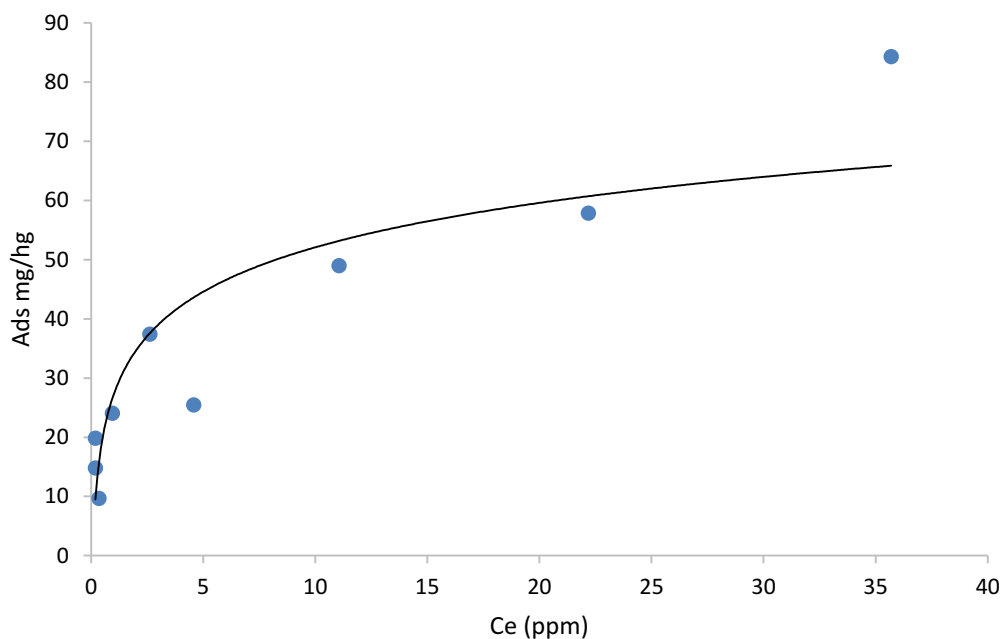
Fonte: Autoria Própria (2020).

Gráfico 5 - Fósforo adsorvido x Concentração do adsorvato no equilíbrio do LVef 20 cm



Fonte: Autoria Própria (2020).

Gráfico 6 - Fósforo adsorvido x Concentração do adsorvato no equilíbrio do LVef 1 m



Fonte: Autorial Própria (2020).

Tabela 5 – CMAP das classes de solos estudadas e suas respectivas profundidades.

Classes de solos e suas profundidades	CMAP (mg hg <sup>-1</sup> )	Desvio Padrão	K	Desvio Padrão	R <sup>2</sup>
LVAAd – 20 cm	94,57979	8,75431	0,03882	0,00951	0,93317
LVAAd – 1m	132,16331	23,43058	0,02207	0,00871	0,87945
LVdf – 20 cm	43,77296	4,52646	0,04233	0,00983	0,93605
LVdf – 1m	55,97381	6,23168	0,04906	0,01265	0,92746
LVef – 20 cm	91,36839	16,00713	0,09994	0,04452	0,83297
LVef – 1m	104,92413	14,14004	0,09541	0,04165	0,83015

K= constante de energia de ligação

Fonte: Autorial Própria (2020).

Os valores da CMAP da fração argila variaram de 43,77 a 132,16 mg hg<sup>-1</sup> entre as amostras, sendo o LVAAd a classe que mais sofreu variação. A isoterma de adsorção de Langmuir foi escolhida pois é a que melhor estima a capacidade máxima de adsorção de fósforo e a constante relacionada com a energia de adsorção (OLSEN; WATANABE, 1957).

Os Latossolos são conhecidos por serem mais homogêneos, com pouca diferenciação entre os horizontes, mas é possível observar que os valores de CMAP nos sub-horizontes (1 metro) são maiores que em 20 centímetros. A camada superior apresenta maior teor de matéria orgânica, onde há formação de pontes de

cátions com o Al, Fe e Ca, que competem com o solo os sítios de adsorção de P, resultando em menores valores de CMAP (BARBOSA, 2019).

A maioria dos solos de regiões do estado de Minas Gerais, estudados por Guilherme *et al.* (2000), se enquadram nas classes de alta (50 a 100 mg hg<sup>-1</sup>) e muito alta (> 100 mg hg<sup>-1</sup>) adsorção de fósforo, coincidindo com os valores das classes LVAd e LVef visto da Tabela 4.

Em Valladares, Pereira e Anjos (2003), a variação da CMAP entre os horizontes A e B também foi baixa para as amostras do LVdf, de 45,5 a 66,7 mg hg<sup>-1</sup>. O fato das análises do LVdf apresentarem as menores capacidade de adsorção de fósforo sugere ser essa, entre as três classes de solos estudadas, a menos argilosa, visto que aumentando os teores de argila ocorre o aumento da capacidade máxima de adsorção de fósforo.

## 5.2. CLASSE TEXTURAL

Os resultados apresentados na Tabela 6 evidenciam pouca variação nos teores de argila nas amostras de 20 cm e 1 m, o que era esperado pois os Latossolos costumam apresentar uniformidade textural em profundidade (SANTOS *et al.*, 2008).

Tabela 6 - Resultados da análise textural

Classes de Solos Profundidade	Argila (g.kg <sup>-1</sup> )	Desvio Padrão	Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	Desvio Padrão	Areia (g.kg <sup>-1</sup> )	Desvio Padrão	Classe textural
LVAd – 20 cm	719	8,33	103	7,88	178	2,65	Muito
LVAd – 1m	747	17,30	83	7,38	170	12,9	argiloso
LVdf - 20 cm	406	7,80	72	6,91	522	1,13	Argila
LVdf - 1m	458	5,01	82	8,43	459	3,44	arenosa
LVef - 20cm	601	21,23	205	11,70	194	23,22	Muito
LVef - 1m	655	19,80	181	18,53	163	3,41	Argiloso

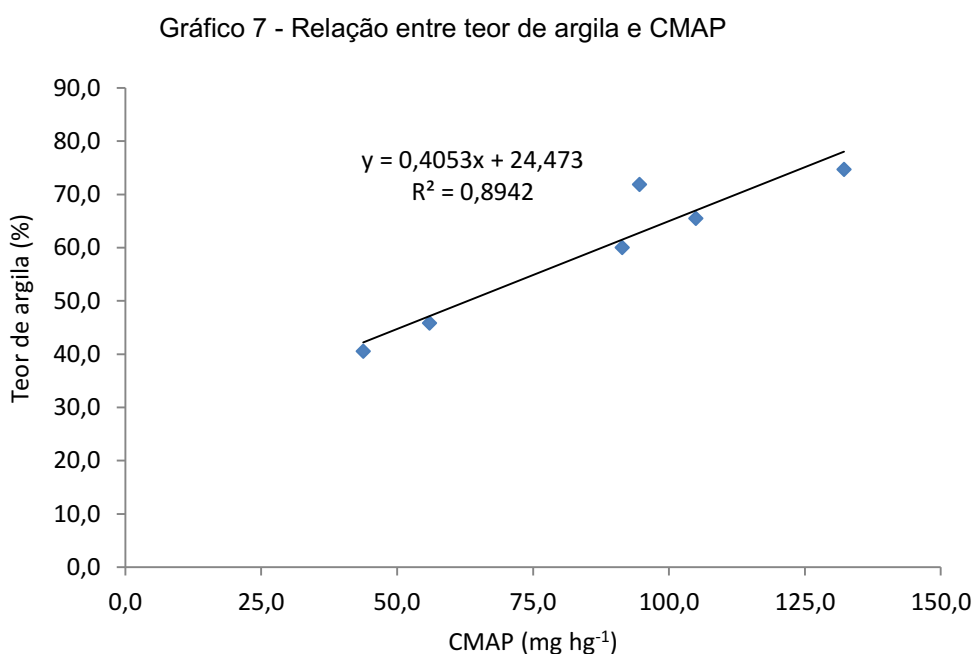
Fonte: Aatoria Própria (2020).

Em relação à granulometria da fração argila, observa-se predominância da fração areia sobre argila nas amostras de LVdf, enquanto que em LVef e LVAd a predominância foi de teor de argila. Após a determinação das porcentagens das

frações areia, silte e argila, as três classes de solos foram classificadas quanto à sua textura (Tabela 5) utilizando-se o triângulo textural IAC (Figura 7).

Os resultados da análise textural apresentados pela Tabela 5, indicaram textura muito argilosa nas classes LVef e LVAd, enquanto que o solo LVdf resultou em textura argila arenosa.

Ao compararmos os teores de argila com a CMAP, obteve-se um ajuste de regressão linear com coeficiente de determinação em 0,89 (Gráfico 7).



Fonte: Autoria Própria (2020).

É possível observar relação positiva entre o teor de argila e o P adsorvido no solo. Essa correlação valida a dinâmica do P com a presença de colóides no solo. (SANTOS *et al.*, 2015).

As análises elaboradas nesse estudo mostram que as amostras que apresentaram maior CMAP também apresentaram maiores teores de argila, podendo significar uma maior quantidade de constituintes capazes de adsorver moléculas de fosfato.

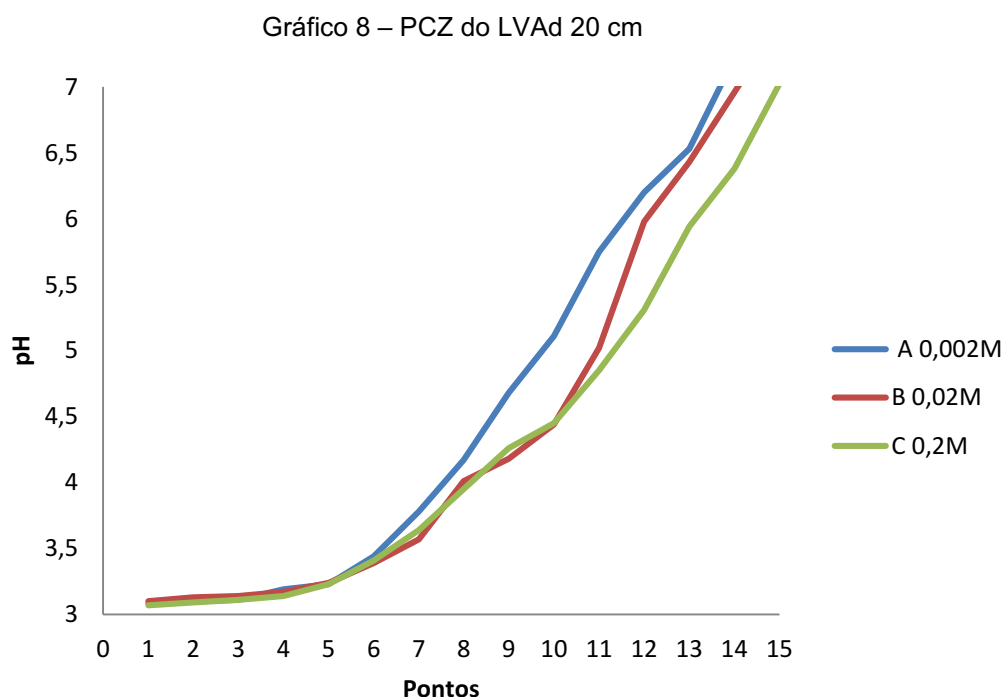
Nas análises de Valladares, Pereira e Anjos (2003), o menor valor de CMAP (48 mg kg<sup>-1</sup> / 4,8 mg hg<sup>-1</sup>) foi encontrado no perfil Argissolo Vermelho distrófico, que possui teor de argila igual a 60 g kg<sup>-1</sup> e como material originário de sedimentos

argilo-arenosos, demonstra a influência da textura na dinâmica de adsorção do fósforo.

Em Silva *et al.* (2015), as amostras de LVef e LVdf apresentaram maior teor de argila, e conseqüentemente maior área específica de adsorção de íons fosfato, com isso concluiu que a amplitude de adsorção de P pode variar dentro de uma mesma mineralogia, sendo afetada positivamente pela qualidade e teor da argila.

### 5.3. PONTO DE CARGA ZERO

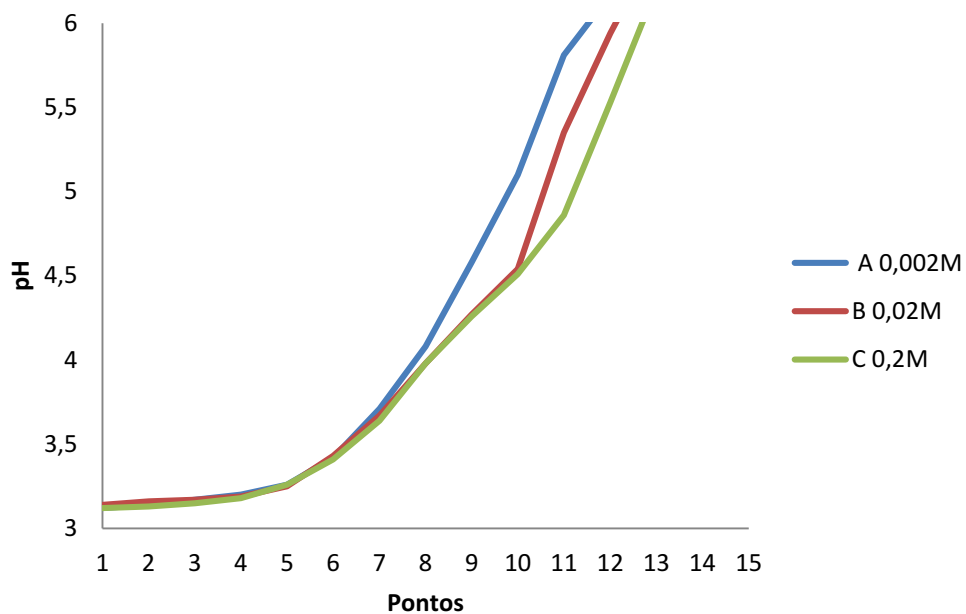
O PCZ é igualdade entre a quantidade de cargas negativas e cargas positivas e quando isso ocorre é possível determinar o potencial da dupla camada e a distribuição de cargas elétricas do solo. Os gráficos 8, 9, 10, 11, 12 e 13 apresentam a relação entre o pH inicial e o final das soluções após ser adicionada as concentrações de NaOH e HCl. E na Tabela 7 encontra-se os valores de ponto de carga zero, que foi estimado após o cruzamento entre as curvas eletrolíticas dos pontos em diferentes concentrações de KCl, 0,002, 0,02 e 0,2 M, A,B e C respectivamente, em que o pH final se mantém constante.



Fonte: Aatoria Própria (2020).

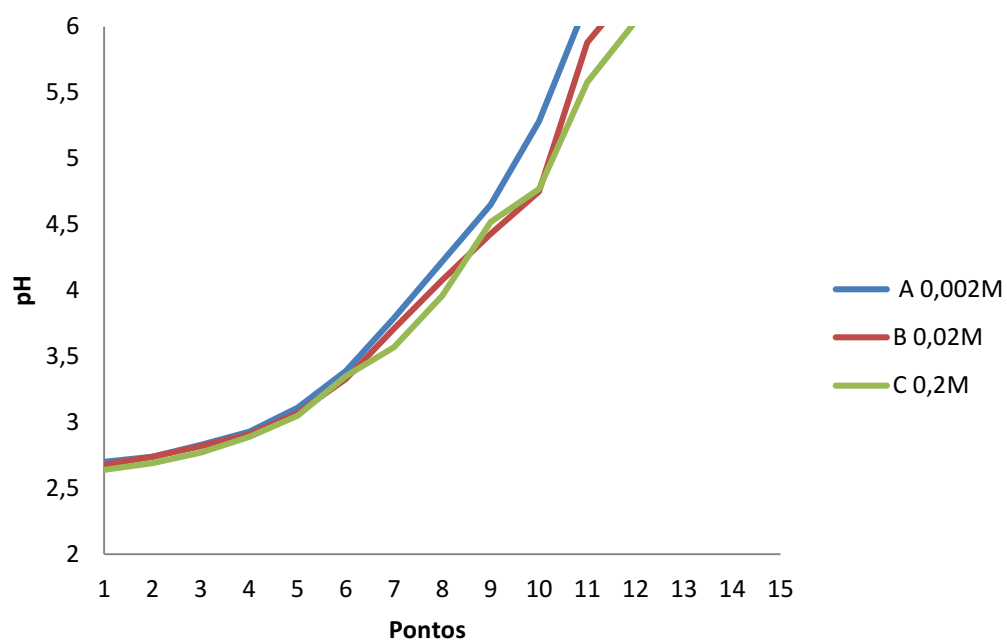


Gráfico 9 - PCZ do LVAd 1m



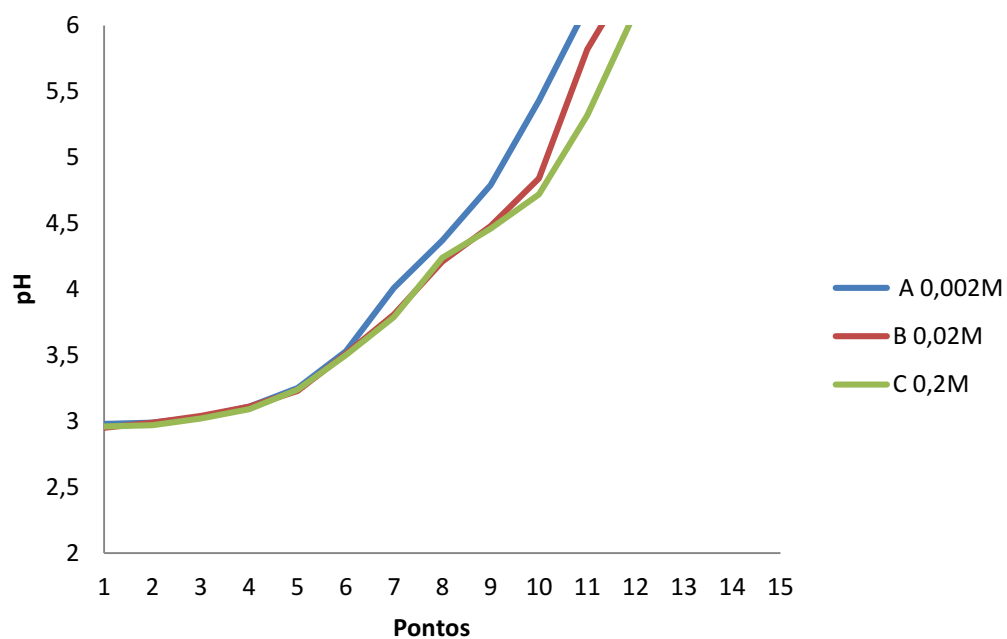
Fonte: Autoria Própria (2020).

Gráfico 10 – PCZ do LVdf 20 cm



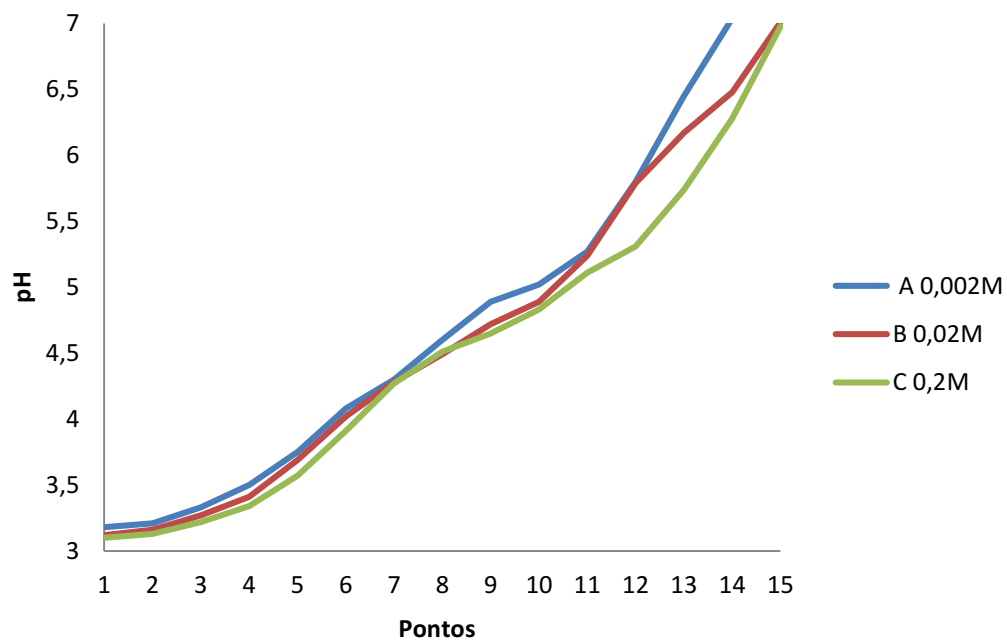
Fonte: Autoria Própria (2020).

Gráfico 11 - PCZ do LVdf 1m



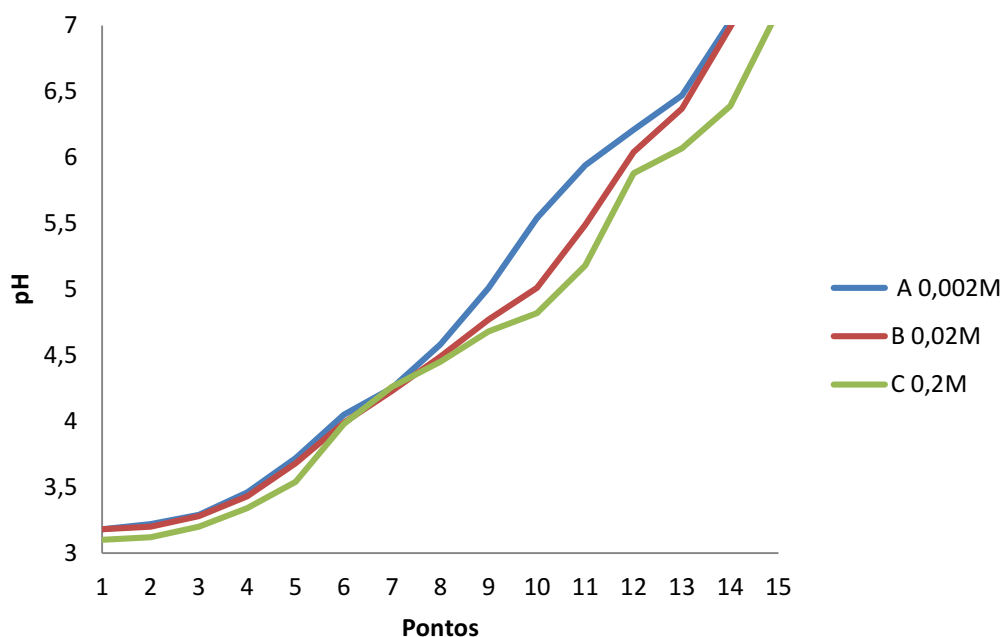
Fonte: Autoria Própria (2020).

Gráfico 12 - PCZ do LVef 20 cm



Fonte: Autoria Própria (2020).

Gráfico 13 - PCZ do LVef 1m



Fonte: Autoria Própria (2020).

Tabela 7 - Resultados dos ensaios de determinação do PCZ

Classe de solos	PCZ
LVA <sub>d</sub> 20 cm	3,23
LVA <sub>d</sub> 1 m	3,39
LV <sub>d</sub> f 20 cm	2,91
LV <sub>d</sub> f 1 m	3,30
LV <sub>e</sub> f 20 cm	4,27
LV <sub>e</sub> f 1m	4,26

Fonte: Autoria Própria (2020).

A Tabela 6 mostra pouca variação nos valores de PCZ entre as profundidades estudadas, com aumento dos valores em LVA<sub>d</sub> e LV<sub>d</sub>f. O aumento do PCZ em profundidade era esperado pois normalmente a superfície possui maiores teores de matéria orgânica, que é um fator que ajuda a manter cargas negativas no solo (BATISTA et. al, 2013).

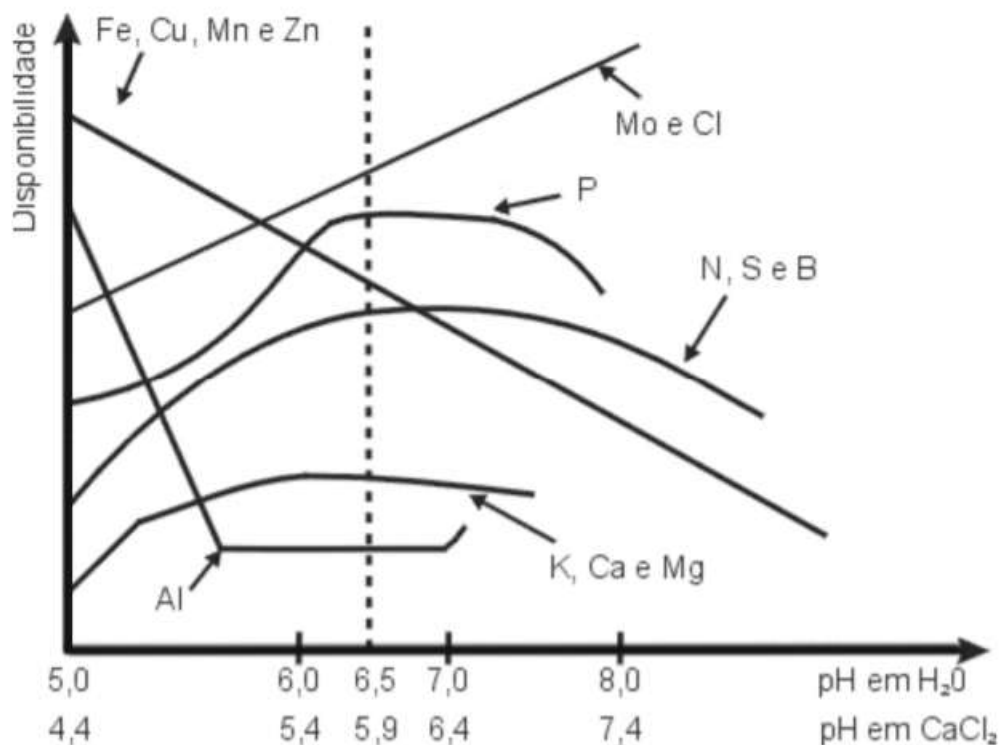
Ao contrário do esperado, o LV<sub>e</sub>f teve seu valor de PCZ reduzido em profundidade em uma unidade, que pode ser explicado por haver mais cargas elétricas positivas no subhorizonte (CORINGA; WEBER, 2008).

Passos (2012) constatou que as menores amplitudes foram encontradas em um Latossolo Vermelho de textura argilosa, ao comparar com uma área de vegetação nativa.

Na maioria dos casos, os Latossolos são caracterizados por minerais de cargas variáveis como caulinita, óxidos de ferro e alumínio e matéria orgânica, e possuem PCZ próximo a 4,0 (superfície) a próximo de 5,0 (em profundidade), em Machado *et al.* (2013) o valor de PCZ estimado também ficou um pouco abaixo do valor citado em literatura, o que pode ser explicado pela combinação desses materiais que possuem capacidade de gerar efeitos diferenciados na fração coloidal, nesse caso, a baixa densidade de carga negativa dos colóides.

O desenvolvimento das plantas é influenciado, principalmente, pelos efeitos indiretos do pH. Solos mais intemperizados, como as classes estudadas, geralmente são ácidos, pobres em nutrientes e muitas vezes com elevadas saturações de alumínio trocável, ferro e manganês, essa relação é mostrada na Figura 10.

Figura 10 - Relação entre pH e disponibilidade de elementos no solo



Fonte: Malavolta *et al.* (1997)

Pode-se dizer então que o pH é um dos fatores que mais influencia a disponibilidade dos nutrientes pois afeta a condição ideal para a raiz da planta

absorver a solução do solo. O aumento do pH promove o aumento de íons  $\text{OH}^-$ , que favorece a troca catiônica, ou seja, a adsorção nos colóides desses solos é principalmente de cátions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$ ) e como o fosfato é um ânion, é repelido pelos colóides do solo e fica disponível para as plantas, sendo entre 6 e 7, o nível ótimo de disponibilidade para as plantas.

## 6. CONCLUSÃO

### 6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os resultados são adequados, pois obedecem uma relação com a profundidade da coleta das amostras, com o teor de argila dos solos e com a CMAP, onde os maiores valores de CMAP foram encontrados nas amostras com maior teor de argila, localizadas nas maiores profundidades.

As amostras de LVAd apresentaram maior CMAP e maior teor de argila, e ao comparar sua coloração, é a mostra mais amarelada. Essas características podem indicar probabilidade de maior quantidade de goethita, componente da fração argila responsável pela adsorção de P.

Todas as análises realizadas na profundidade 0-20 cm apresentaram menores valores de CMAP e fração argila, confirmando que necessidade da adição de fósforo na superfície poderá ser menor.

O PCZ aumentou com a profundidade em LVAd e LVdf, e apresentou uma variação no geral das amostras de 3,23 a 4,27. Todos os valores de PCZ encontrados são menores que os valores de pH, confirmando se tratar de solos carregados com cargas negativas.

Com os resultados obtidos, somados ao fato dos solos argilosos normalmente terem maior capacidade de adsorção de fósforo, fazendo com que a adsorção vegetal desse macronutriente seja menor, é possível constatar que há necessidade de técnicas de manejo que aumentem o teor de MO e o pH do solo, como a aplicação de fertilizantes, adubação fosfatada ou calagem. Valendo-se do complemento de outros estudos será possível avaliar quantidades ideais, evitando insuficiências ou excessos, aspecto que pode acarretar em contaminação do solo e lençol freático.

### 6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho além de trazer dados e informações sobre adsorção do fosfato em Latossolos possibilitou levantar questões a serem estudadas em trabalhos futuros, como a determinação da composição mineralógica dos solos, a realização

de ensaios com aplicação de calcário em doses crescentes, a aplicação de fosfatos naturais ou a combinação de ambos.

A necessidade da adição do calcário não está em somente aumentar o pH, mas também a capacidade de troca de cátions (CTC), ou capacidade tampão, onde o calcário promove maior mineralização da matéria orgânica, formando ânions.

Assim, além de aumentar o pH e a saturação por bases, a calagem promove a neutralização do manganês, do ferro e do alumínio no solo, aumentando a atividade biológica e a eficiência dos fertilizantes, resultando ainda em diminuição na capacidade de fixação via precipitação do P, favorecendo, conseqüentemente, o desenvolvimento vegetal (VITTI; PRIORI, 2009).

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU R.L. Map locator of Minas Gerais' Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba mesoregion. Criado em 27 abr 2006. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista\\_de\\_mesorregi%C3%B5es\\_e\\_microrregi%C3%B5es\\_de\\_Minis\\_Gerais#/media/Ficheiro:MinasGerais\\_Meso\\_TrianguloMineiroAltoParaiba.svg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_mesorregi%C3%B5es_e_microrregi%C3%B5es_de_Minis_Gerais#/media/Ficheiro:MinasGerais_Meso_TrianguloMineiroAltoParaiba.svg) Acesso em: 08 dez 2020.

ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F.; CANTARUTTI, R.B.; TEIXEIRA, P.C.; CAMPOS, D.V.B. Fósforo Remanescente. In: TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. (Ed.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017. Cap. 25. p. 337-342. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/173618/1/Pt-2-Cap-25-Fosforo-remanescente.pdf> Acesso em: 8 nov. 2019.

BALDIN, M.G. **ADSORÇÃO DE FOSFATO PROVENIENTE DE ÁGUA RESIDUARIA DE SUINOCULTURA POR GOETHITA SINTÉTICA**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Curso Superior de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Londrina, 2014.

BALDOTTO, M.A; VELLOSO, A.C.X. Pontos de carga zero, potenciais da dupla camada elétrica e eletroquímica do húmus de solos tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Anais [...]**. [S.l]: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013.

BARBOSA, Andreia Costa. **Capacidade máxima de adsorção de fósforo em Latossolos da região do Triângulo mineiro**. 2019. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.

BATISTA, J.A.S *et al.* **Ponto de efeito salino nulo e cargas elétricas em um Latossolo Vermelho Amarelo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Anais [...]**. Cuiabá: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013. Disponível em: <https://www.eventosolos.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/851.pdf>. Acesso em: 22 out. 2020.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas, 2009. (Boletim técnico, 106).

CARVALHO, T.E.M; FUNGARO, D.A; IZIDORO, J.C. Adsorção do corante reativo laranja 16 de soluções aquosas por zeólita sintética. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 358-363, jan. 2010. Disponível em: [http://static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/Vol33No2\\_358\\_22-AR09210.pdf](http://static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/Vol33No2_358_22-AR09210.pdf) Acesso em: 04 dez. 2020.

CASTRO, B.A.C. **Caracterização Geotécnica de Solos da Região Central de Minas Gerais para Aplicação em Obras Rodoviárias**. 230 f. Dissertação



(Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

CHAVES, L.H.G.; CHAVES, I.B.; MENDES, J.S. Adsorção de fósforo em materiais de Latossolo e Argissolo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 3, p.104-111, jul/set. 2007.

CORINGA, E.A.O.; WEBER, O.L.S. Ponto de efeito salino nulo de Latossolos da microbacia Chico Nunes, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Cuiabá, v. 32, n. 1, p. 441-448, fev. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000100042>.

DAMINATO, B.; BENITIZ, L. **Caracterização das movimentações de fertilizantes no Brasil**. 2015. Departamento de Economia, Administração e Sociologia, Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2015.

DIAS, E.G; LAJOLO, R.D. O meio ambiente na produção de fertilizantes fosfatados no Brasil. In: FRANCISCO REGO CHAVES FERNANDES (Rio de Janeiro). **AGROMINERAIS PARA O BRASIL**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2010. Cap. 6. p. 105-124. Disponível em: <https://www.cetem.gov.br/agrominerais/novolivro/cap6.pdf> Acesso em: 27 ago. 2019.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Análises laboratoriais: Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In: Fábio Cesar da Silva (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. Cap. 1. p. 107-190.

GODINHO, T.O. **Fertilidade e frações de fósforo em solos sob povoamentos mono-específicos e mistos de *Eucalyptus* e *Acacia mangium***. 99 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2015.

GUILHERME, L. R. G. *et al.* Adsorção de fósforo em solos de várzea do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 27-34, Mar. 2000. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832000000100004](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832000000100004). Acesso em: 22 set. 2020

KULAIF, Y. **Perfil do Fosfato**: relatório técnico 53. Ministério de Minas e Energia-MME, 2009. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/36108/448620/P29\\_RT53\\_Perfil\\_do\\_Fosfato.pdf/d0366864-7115-b860-bf5a-ba0ae39f97?version=1.0](http://www.mme.gov.br/documents/36108/448620/P29_RT53_Perfil_do_Fosfato.pdf/d0366864-7115-b860-bf5a-ba0ae39f97?version=1.0) . Acesso em: 26 set. 2019

LOUREIRO, L.F. **AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO DO HERBICIDA 2,4-D EM CARVÃO ATIVADO EM PÓ E GRANULAR POR MEIO DE ANÁLISES DE ISOTERMAS DE ADSORÇÃO UTILIZANDO DIFERENTES QUALIDADES DE ÁGUA.** 128 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

MACHADO, A.T.S *et al.* **Cargas superficiais de um Latossolo após aplicação de adubos orgânicos, inorgânicos e resíduos industriais.** In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2013, Maringá. Ed: Unicesumar, 2013. Disponível em: [http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2013/oit\\_mostra/alini\\_taichi\\_da\\_silva\\_machado\\_2.pdf](http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2013/oit_mostra/alini_taichi_da_silva_machado_2.pdf). Acesso em: 13 out. 2020.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2 ed., rev. e atual. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARQUES, J.S. **ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM LATOSSOLO E ARGISSOLO MISTURADO COM CARBONO PIROLISADO.** 2016. 44 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2016.

MOURA, J.B. DE; VENTURA, M.V; CABRAL, J.S.R.; AZEVEDO, W.R. Adsorção de Fósforo em Latossolo Vermelho Distrófico sob Vegetação de Cerrado em Rio Verde-Go. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science.** v. 4, n.3, p. 199-208, 20 dez. 2015.

NASCIMENTO, R.F.; LIMA, A.C.A.L.; VIDAL, C.B.; MELO, D.Q.; RAULINO, G.S.C. **ADSORÇÃO: aspectos teóricos e aplicações ambientais.** Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. p. 13-50. Disponível em: [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10267/1/2014\\_liv\\_rfdnascimento.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10267/1/2014_liv_rfdnascimento.pdf). Acesso em: 20 ago. 2019.

OGASAWARA, E.; KULAIF, Y.; FERNANDES, F.R.C. A Indústria Brasileira de Fertilizantes (Cadeia NPK, enxofre, rocha fosfática e potássio) – Projeções de 2010 a 2030. In: FRANCISCO REGO CHAVES FERNANDES (Rio de Janeiro). **AGROMINERAIS PARA O BRASIL.** Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2010. Cap. 8. p. 145-168

OLSEN, S.R.; WATANABE, F.S. **A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm.** Soil Science Society of American Proceedings, Madison, v.21, p.144-149, 1957.

Parks, G. A. & Bruyn, P. L. **The zero point of charge of oxides.** J. of Phys. Chem., 66:967-973, 1962.

PASSOS, G.O. Carbono orgânico e eletroquímica de Latossolo submetido a sistemas de manejo no Cerrado. (Trabalho de conclusão de curso), Universidade de Brasília – UnB, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, 46p., 2012.

PÉREZ, D.V.; CAMPOS, D.V.B; TEIXEIRA, P.C. Ponto de Carga Zero (PCZ). In: TEIXEIRA, Paulo César *et al* (ed.). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília, Df: Embrapa Solos, 2017. Cap. 9. p. 249-254.

RANNO, S.K.; SOUSA DA SILVA, L.; COLPO, L.G.; CLAYTON RHODEN, A. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p.21-28, 2007.

RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E. **Aspectos Relacionados ao Manejo da Adubação Fosfatada em Solos do Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007.

SANTOS, D.B; BARBIERI, E. **Fósforo: da Alquimia à Agroecologia!** Disponível em: <[https://www.pesca.sp.gov.br/DaAlquimia\\_a\\_Agroecologia2014.pdf](https://www.pesca.sp.gov.br/DaAlquimia_a_Agroecologia2014.pdf)> Acesso em: 28 out. 2019.

SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p.576-586, abr. 2008.

SANTOS, F.C *et al*. Dinâmica da fertilidade em solos frágeis. In: CASTRO, S.S (ed.). **Solos Frágeis: Caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2015. Cap. 1. p. 168-170. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/141736/1/Dinamica-fertilidade.pdf>> Acesso em: 16 set. 2020.

SANTOS, H.G., ZARONI, M.J.; CLEMENTE, E.P. **Árvore do conhecimento: solos tropicais**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html). Acesso em: 20 ago. 2020.

SCHUELER, T.A.; DOURADO, M.L.; RIZZO, A.C.L. **Processos biotecnológicos para a solubilização de rochas fosfáticas** – O estado da arte. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2019

SILVA, L.C. *et al*. Capacidade máxima de adsorção de fósforo em solos do nordeste do estado de São Paulo. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2015, Natal. Disponível em: <https://www.eventosolos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/348.pdf>. Acesso em 1 out. 2020.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Latossolos**. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01\\_96\\_10112005101956.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html)> Acesso em: 28 set. 2019.

SOUZA, A.E.; FONSECA, D.S. Mineração para o Agronegócio: Fosfato. In: RODRIGUES, Antonio Fernando da Silva (Org.). **Economia Mineral do Brasil**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral - Dnpm, 2009. Cap. 7. p. 546-568.

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**, [s.l.], v. 30, n. 6, p.975-983, dez. 2006.

VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**. Campinas[S.L.], v. 62, n. 1, p. 111-118, 2003.

VILAR, C.C.; VILAR, F.C.M. Comportamento do fósforo em solo e planta. **Campo Digital**, Campo Mourão, v. 8, n. 2, p.37-44, dez. 2013.

VILAR, C.C. **Interação entre atributos físicos, químicos e mineralógicos com a capacidade máxima de adsorção de fósforo e chumbo de amostras do horizonte A e B de Latossolos do estado do Paraná tratadas com calcário e fosfato**. 159 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

VITTI, G.C.; PRIORI, J.C. Calcário e gesso: os corretivos essenciais ao Plantio Direto. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 9, p.30-34, dez. 2009. Semestral. Disponível em: <<https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Fertilidade01.pdf>> Acesso em: 11 nov. 2019.