



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



PEDRO HENRIQUE DE MELO CAVALCANTE

**ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DE LANGMUIR PARA FÓSFORO EM SOLOS
DE ALAGOAS**

RIO LARGO, AL

2022

PEDRO HENRIQUE DE MELO CAVALCANTE

**ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DE LANGMUIR PARA FÓSFORO EM SOLOS
DE ALAGOAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Campus de
Engenharias e Ciências Agrárias como
parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.
Orientador: Professor Dr. Gilson Moura
Filho

RIO LARGO, AL

2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

C376u Cavalcante, Pedro Henrique de Melo
Isotermas de adsorção de langmuir para fósforo em solos de Alagoas. /
Pedro Henrique de Melo Cavalcante. – 2022.
44 f.; il.

Monografia de Graduação em Agronomia (Trabalho de Conclusão de
Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e
Ciências Agrárias. Rio Largo, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Gilson Moura Filho

Inclui bibliografia

1. Absorção de fósforo. 2. Langmuir. 3. Química dos solos. I. Título.

CDU 631.4

FOLHA DE APROVAÇÃO

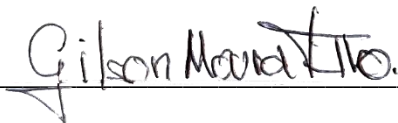
PEDRO HENRIQUE DE MELO CAVALCANTE

ISOTERMAS DE ADSORÇÃO DE LANGMUIR PARA FÓSFORO EM SOLOS DE ALAGOAS

Monografia apresentada ao curso de
Agronomia da Universidade Federal de
Alagoas, como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Agronomia.

Aprovado em: 08/06/2022

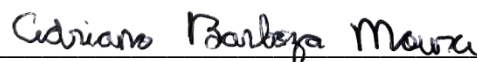
Banca Examinadora:



Prof.º Dr. Gilson Moura Filho - Universidade Federal de Alagoas (Orientador)



Prof.ª Dr.ª Leila Cruz da Silva Calheiros - Universidade Federal de Alagoas



Dr. Adriano Barboza Moura - Universidade Federal de Alagoas

*“Um bom pensamento vale mais do que um grande número de palavras com as
quais nada tenha o coração”*

Allan Kardec

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e meu irmão pelo apoio e incentivo.

Ao campus de engenharias e ciências agrárias.

Aos professores Gilson Moura Filho, Leila Cruz da Silva Calheiros e Adriano Barboza Moura, pela oportunidade de trabalharmos juntos no laboratório, no qual obtive muitos conhecimentos, tantos científicos como para a vida.

A minha colega de laboratório Julia Omena, pela colaboração na realização deste trabalho.

A todo pessoal e funcionários do setor de Solo e Nutrição de plantas, pela ajuda e companheirismo durante toda essa caminhada na graduação.

A todos os amigos que fiz durante essa jornada na graduação: Philipe Pontes, João Paulo Fernandes, Natália Helena, Elenilton Lessa e Iana Ribeiro, que tornaram essa caminhada um pouco mais leve e agradável.

E em especial a minha companheira Itanamara Matias Ciríaco, que nos momentos mais difíceis estava ali para me incentivar e apoiar.

RESUMO

A baixa disponibilidade de fósforo nos solos do estado de Alagoas, mostra quanto é importante o estudo do comportamento desse elemento no solo. A recomendação de adubação de fosfatos, para as culturas no Estado de Alagoas, tem sido feita sem levar em consideração as características de adsorção do solo. O objetivo desse trabalho é conhecer os valores da Capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) e as relações com os demais atributos dos solos, tais como a argila, P-remanescente, Capacidade de troca de cátions (CTC), teores de Al e Fe pelos modelos da isoterma de Langmuir. Nesse sentido foram coletadas 11 amostras de solos representativas do Estado de Alagoas, das regiões do Sertão, Agreste e Leste Alagoano, na camada de 0-20 cm, para determinação dos atributos físicos (areia, silte e argila), atributos químicos (pH, P, K, Na, Ca, Mg, H+Al, matéria orgânica, CTC), P remanescente, Fe e Al determinados pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e pelo oxalato de amônio e os valores de Capacidade Máxima de Adsorção de P, definida pela isoterma de Langmuir. O melhor resultado encontrado e descrito pelos modelos estudados foi com o modelo 2 da isoterma Langmuir, como observamos na literatura várias referências do modelo de Langmuir obtendo resultados satisfatórios sobre outras isotermas.

Palavras-chave: Adsorção de Fósforo; P- Remanescente; Langmuir.

ABSTRACT

The low incidence of phosphorus in the soils of the state of Alagoas shows how important it is to study the behavior of this element in the soil. The recommendation of phosphate fertilization for crops in the State of Alagoas has been made without considering the adsorption characteristics of the soil. The objective of this study is to know the Maximum phosphorus adsorption capacity (MPAC) values and the relationships with other soil attributes, such as clay, P-remnant, Cation exchange capability (CEC), Al and Fe contents by the Langmuir isotherm models. In this context, 11 soil samples representing the State of Alagoas, Sertão, Agreste and East Alagoas regions were collected, in the 0-20 cm layer, to determine the physical attributes (sand, silt and clay), chemical attributes (pH, P, K, Na, Ca, Mg, H+Al, organic matter, CEC), remaining P, Fe and Al determined by sodium dithionite-citrate-bicarbonate and ammonium oxalate and the values of Maximum P Adsorption Capacity, defined by the Langmuir isotherm. The best result found and described by the models studied was with model 2 of the Langmuir isotherm, as we observed in the literature several references of the Langmuir model obtaining satisfactory results on other isotherms.

Keywords: Phosphorus Adsorption; P- Remnant; Langmuir.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Precipitação, formas iônicas de Al, Fe e Ca.....	17
Figura 2- Quantidade de P precipitado em níveis diferentes de pH.....	17
Figura 3- Mapa do Estado de Alagoas e demais municípios onde foram coletadas.	21
Figura 4- Estufa para secagem das amostras	24
Figura 5- Destorroamento e peneiramento das amostras	24
Figura 6- Peneira de 2mm e sacola de papel para amostras	24
Figura 7- Amostras devidamente peneiradas, etiquetadas e prontas para retirada das análises	24
Figura 8- Soluções utilizadas para o estudo.....	26
Figura 9- Soluções utilizadas para o estudo.....	26
Figura 10- Vidraria para solução.	26
Figura 11- Soluções utilizadas para o estudo.....	27
Figura 12- Centrifuga	28
Figura 13- Soluções por Colorimetria.....	28
Figura 14- Agitador vertical onde as duplicatas foram postas.	28
Figura 15- Gráfico de Capacidade máxima de adsorção de fósforo obtida pela isoterma de Langmuir (CMAP) estimada pelo modelo de regressão linear múltipla, do Neossolo Quartzarênico.....	30
Figura 16- Gráfico de Capacidade máxima de adsorção de fósforo obtida pela isoterma de Langmuir (CMAP) estimada pelo modelo de regressão linear múltipla, do Argissolo vermelho-amarelo.....	32
Figura 17-Gráfico de Capacidade máxima de adsorção de fósforo obtida pela isoterma de Langmuir (CMAP) estimada pelo modelo de regressão linear múltipla, do Latossolo amarelo Distrocoeso.	32
Figura 18- Capacidade máxima de adsorção de fósforo obtida pela isoterma de Langmuir (CMAP) estimada pelo modelo de regressão linear múltipla, do Latossolo amarelo.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação, localização, atributos químicos e P-Rem das amostras de solo estudadas.....	22
Tabela 2- Atributos físicos das amostras de solo estudadas.	23
Tabela 3- Equações dos modelos da isoterma de Langmuir de adsorção nas formas linearizadas e não-linearizadas.....	29
Tabela 4- Fósforo remanescente (P-rem) das amostras de solo estudadas.....	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISAO DE LITERATURA.....	15
2.1	Solos do Brasil	15
2.2	Solos de Alagoas	15
2.3	Fósforo.....	16
2.4	Capacidade Máxima de adsorção de Fósforo (CMAP).....	18
2.5	Isoterma de adsorção	19
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1	Coleta e preparo das amostras de solo.....	21
3.2	Determinações do P-remanescente e da capacidade máxima de adsorção de fósforo	25
3.3	Determinação de CMAP.....	27
3.4	Modelos da Isoterma de Langmuir	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1	Isoterma de Langmuir	30
4.2	P-Remanescente	34
5	CONCLUSÃO	36
6	REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um macronutriente primário fundamental para o desenvolvimento das plantas, pois interfere em vários processos celulares, tais como fotossíntese, respiração celular, transferência e armazenamento de energia e crescimento celular.

Ele pode ser encontrado no solo sob as formas orgânicas (Po) e inorgânicas (Pi), que diferenciam entre si pelo grau de estabilidade ou solubilidade, portanto, com diferentes disponibilidades à absorção vegetal. O Pi pode se encontrar em solução (P-solução), precipitado com Al, Fe e Ca ou adsorvido aos óxidos de Fe e Al da fração argila, ambos em equilíbrio com a solução e compondo a fração lábil de P no solo, nas formas (H_2PO_4 e $H_2PO_4^{2-}$) sendo as formas mais absorvidas pela planta.

Os solos brasileiros apresentam por natureza baixos teores de P, devido ao material de origem dos solos, grau de intemperismo e sua interação com o solo, portanto, para se ter um bom desenvolvimento das plantas e alcançar alta produtividade é de suma importância a adubação fosfatada (CARNEIRO et al., 2011; SILVA et al., 2015). Nesse contexto, há poucos estudos envolvendo os solos de Alagoas, no tocante a sua capacidade máxima de adsorção de fosfatos e suas relações com os demais atributos dos solos (Argila, P-rem, CTC, teores de Fe e Al etc.).

Nem todo o P aplicado ao solo fica disponível para as plantas, isso por que parte do nutriente pode ser fixado ao solo, processo conhecido como adsorção de P. Esse fenômeno pode ser influenciado por parâmetros físicos e químicos (CORRÊA et al., 2011). A textura do solo, por exemplo, interfere significativamente na disponibilidade de P no solo. MACHADO et al. (2011) observaram que disponibilidade de P diminui ao longo do tempo, sendo mais evidenciado no solo de textura média, seguido pelo de textura argilosa, e por último, pelo solo de textura arenoso.

O teor de argila é um dos principais atributos para indicar adsorção de P no solo. Dentre os componentes da fração argila, a goethita e caulinita mostraram maior correlação com a adsorção de P (BAHIA FILHO et al., 1983; MOREIRA et al., 2006). Contudo, outros atributos químicos também se

correlacionam, como acidez potencial (H+Al), teores de ferro (Fe) e alumínio (Al) presentes no solo, pH, matéria orgânica, CTC do solo, capacidade de campo (CC), saturação por bases (V%).

Vários atributos podem influenciar a adsorção de P, e conseqüentemente, o P disponível na solução do solo, onde as plantas absorvem o nutriente para o seu desenvolvimento (MOREIRA et al., 2006; VILARR et al., 2010; CORRÊA et al., 2011).

Existem alguns métodos para quantificar a adsorção são usadas as chamadas isotermas de adsorção, que são equações matemáticas usadas para descrever em termos quantitativos, a adsorção de solutos por sólidos, a temperatura constante. Uma isoterma de adsorção mostra a quantidade de um determinado soluto adsorvida por uma superfície adsorvente, em função da concentração de equilíbrio do soluto. Dentre as isotermas conhecidas destacam-se o modelo de Langmuir.

A técnica usada para gerar os dados de adsorção é, a princípio, bastante simples, pois uma quantidade conhecida do soluto é adicionada ao sistema contendo uma quantidade conhecida de adsorvente. Admite-se que a diferença entre a quantidade adicionada e a remanescente na solução encontra-se adsorvida na superfície adsorvente (CORRÊA et al., 2011; OLIVEIRA et al. 2014).

Isotermas de adsorção são equações matemáticas usadas para descrever, em termos quantitativos, a adsorção de solutos por sólidos, a temperaturas constantes. Uma isoterma de adsorção mostra a quantidade de um determinado soluto adsorvida por uma superfície adsorvente, em função da concentração de equilíbrio do soluto.

A técnica usada para gerar os dados de adsorção é, a princípio, bastante simples, pois uma quantidade conhecida do soluto é adicionada ao sistema contendo uma quantidade conhecida de adsorvente. Admite-se que a diferença entre a quantidade adicionada e a remanescente na solução encontra-se adsorvida na superfície adsorvente.

Dentre as isotermas de adsorção mais utilizadas, destaca-se a de Langmuir. Esta equação tornou-se mais atrativa por permitir a estimativa de um parâmetro quantitativo, a capacidade máxima de adsorção de fosfato pelo solo, e um qualitativo que expressa a constante relacionada com a energia de adsorção. OLSEN E WATANABE (1957) foram os primeiros a utilizar a equação de Langmuir para descrever a adsorção de fosfato em solos.

Diante destes aspectos, conduziu-se o presente trabalho com objetivo de determinar o P remanescente dos solos, aplicar os valores a isoterma de Langmuir para quantificar a adsorção de fósforo e determinar a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) em onze amostras de solos em Alagoas.

2 REVISAO DE LITERATURA

2.1 Solos do Brasil

No Brasil, a diversidade e variação de solos se dá pelos tipos de relevo, clima, tempo, organismo do solo e material de origem. São cerca de 13 classes de solos representativos em todo o território nacional, predominante em Latossolos, Agrissolos e Neossolos, correspondendo a cerca de 70% do solo brasileiro (EMBRAPA, 2006).

Os solos brasileiros em sua maioria são deficientes em fósforo, essa ausência do nutriente se dá principalmente pelo material de origem e sua interação com o solo. A baixa mobilidade de P resulta em sua adsorção aos coloides pela forma não trocável, essa não disponível às plantas, e mesmo em sua forma trocável, sua liberação ocorre lentamente.

2.2 Solos de Alagoas

Os solos de Alagoas apresentam uma variabilidade enorme na distribuição de solos, fato que ocorre devido as consequências diretas de fatores de formação, como o clima, material de origem, organismos, relevo e o tempo decorrido (EMBRAPA, 2006).

O Estado divide-se em cinco regiões eco fisiográficas: Litoral, Zona da Mata, Agreste, Sertão e Vale do São Francisco. Estas regiões apresentam diversidade de clima, relevo, solo e vegetação. Esta diversidade de condições ambientais proporcionou o desenvolvimento de diferentes tipos de solos.

Entre as principais características químicas do solo que são reconhecidamente diferentes entre estas cinco regiões, está a capacidade de troca de cátions do solo (CTC). As diferenças encontradas na CTC são decorrentes dos diferentes tipos e teores de minerais que predominam na fração argila e da natureza e teor de matéria orgânica. (SANTOS et al. 2009).

Em solos de regiões tropicais úmidas, os valores de CTC são normalmente baixos, visto que, nestes a caulinita e os óxidos de ferro e alumínio, dominam na fração argila. Por outro lado, é bastante comum os solos de textura argilosa das regiões semiáridas apresentarem valores elevados de CTC, devido ao intemperismo de menor intensidade, favorecendo a ocorrência de minerais de

argila do tipo 2:1; enquanto os solos de textura arenosa, mesmo nas regiões áridas, apresentam valores baixos de CTC (BURGOS et al. 1998).

Com relevo predominantemente marcado por depressões e planaltos, a oeste do território, observam-se as feições características da depressão do São Francisco. Pelo norte e nordeste, estende-se o Planalto da Borborema, enquanto, a leste, estão as Planícies e Tabuleiros Litorâneos e sua variação climática, semiárida e tropical. (GUITARRARA, 2021).

Em geral, Alagoas é rico em solos profundos, com textura média argilosa, bem drenados, com relevo plano e suave ondulado, tais como os Latossolos e Argissolos, que respondem bem ao nível de manejo, o que resulta em uma alta produtividade de cana-de-açúcar (RAMALHO FILHO E BEEK, 1995).

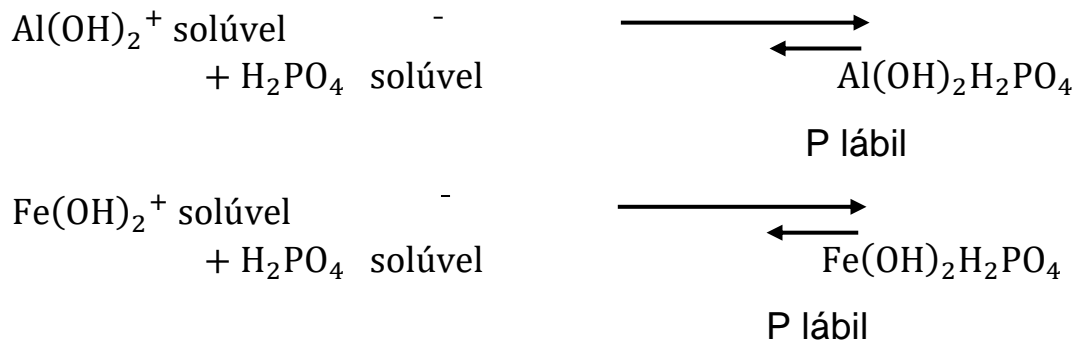
2.3 Fósforo

Dentre os macronutrientes, o fósforo (P) é o exigido em menores quantidades pelas plantas. No entanto, é um dos nutrientes amplamente utilizados na fertilização no Brasil. A explicação para essa afirmação se deve ao fato de a disponibilidade de fósforo nos solos do Brasil é baixa, visto que o fósforo aplicado ao solo também pode reagir facilmente com as formas de baixa solubilidade.

As plantas necessitam de suprimento contínuo de fósforo na solução do solo, sendo ele um macronutriente primário de fundamental importância para o desenvolvimento das plantas devido a sua interferência em vários processos celulares como a fotossíntese, respiração, transferência e armazenamento de energia e crescimento celular (FURTINI NETO et al. 2001).

A maioria dos nossos solos têm forte capacidade de converter o fósforo assimilável em fósforo precipitado, ou seja, fixado por ligações com outros elementos como cálcio, ferro ou alumínio, formando compostos não assimiláveis pelas plantas (P- não lábil). A fração não-lábil é composta pelo P sob a forma de compostos de baixa solubilidade (P mineralogicamente estável) ou adsorvido às partículas do solo, não estando estas formas, em equilíbrio imediato com o P em solução (NOVAIS E SMYTH, 1999).

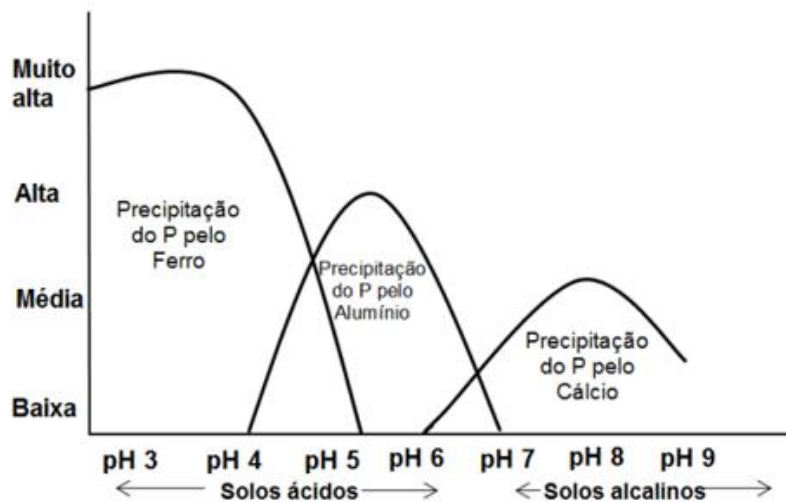
Figura 1- Precipitação, formas iônicas de Al, Fe e Ca.



Fonte: Adaptado pelo Autor, 2022.

Dependendo do pH do solo, os óxidos de alumínio participam diretamente da retenção de ânion e cátions, sendo um dos minerais que mais adsorve P. (EBERHARDT et al.,2008). Além disso, os óxidos de Al exercem maior influência nos atributos físico-químico do solo do que os óxidos de Fe (PEDROTTI et al., 2003).

Figura 2- Quantidade de P precipitado em níveis diferentes de pH.



Fonte: Lopes,1989.

O “fator intensidade” (I), que depende de reposição do P lábil, representado pelo “fator quantidade” (Q), ou a reserva de P no solo (GUNARY E

SUTTON, 1967). O “fator capacidade”, definido pela razão de equilíbrio entre a quantidade de P (Q) e o P em solução (I), é conhecido como “poder-tampão” de fosfato, que é uma medida de capacidade do solo em manter um nível determinado de P na solução (BECKETT E WHITE, 1964).

A baixa disponibilidade de fósforo é considerada a principal limitação da produção agrícola em condições úmidas, tropicais e subtropicais. A maioria dos ambientes naturais apresentam condições subestimadas relacionadas aos recursos, principalmente, no que diz respeito ao fósforo (LÓPEZ-BUCIO et al, 2000; HISINGER, 2001; FAN et al. 2003).

Vários trabalhos demonstraram que além da quantidade de argila, em sua constituição mineralógica, é de vital importância na adsorção de fósforo pelos solos justificado pela energia de ligação entre os átomos do elemento e a superfície ativa de cada fração adsorvente (MOTTA et al., 2012).

De acordo com NOVAIS E SMYTH (1999), comumente encontra-se relação direta entre os teores de matéria orgânica no solo e a capacidade de adsorção do fósforo, tendo em vista que os radicais orgânicos recobrem as superfícies dos óxidos de Fe e Al, formando uma barreira física.

Desta forma, a fertilidade do solo independentemente da natureza química é dividida de acordo com a facilidade com que se repõe a solução do solo. A separação do fósforo em formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis, mesmo que essa subdivisão seja imprecisa, ajuda no entendimento da dinâmica da disponibilidade do fósforo (SANTOS et al. 2008).

2.4 Capacidade Máxima de adsorção de Fósforo (CMAP)

A capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) é um parâmetro útil para caracterizar a força de retenção do fósforo (P) em compartimentos do solo, que tornam o fósforo parcialmente ou completamente indisponível as plantas.

OLSEN E WATANABE (1957) ressaltaram que, um dos atributos a serem observados na avaliação da interação do P com os coloides do solo é a capacidade máxima de adsorção de P, que podem perfeitamente serem calculados pela isoterma de Langmuir.

Há uma grande variedade de atributos do solo que podem influenciar a adsorção de fósforo, sendo os principais: o tipo e teor de argila, de colóides amorfos e de matéria orgânica (NOVAIS & SMYTH, 1999).

De acordo com BARROW (2008), no processo de adsorção, o nutriente adicionado na solução é adsorvido pela fase sólida, sendo a velocidade de adsorção e a quantidade total adsorvida dependentes das características químicas e mineralógicas do material sorvente e das características químicas do adsorbato. A adsorção e dessorção de P do solo consideram dois compartimentos interligados, a solução do solo e a fase sólida, armazenam o nutriente que abastece a primeira.

A cinética de como o primeiro compartimento é abastecido pelo segundo, chamado fator capacidade, representa o poder tampão de P, o qual é controlado, entre outras coisas, pela energia de ligação do nutriente na fase sólida.

2.5 Isoterma de adsorção

As isotermas de adsorção descrevem as relações de equilíbrio entre a quantidade de um elemento adsorvido e a quantidade remanescente na solução final, sendo úteis para quantificar a adsorção de íons no solo (OLSEN e WATANABE, 1957; NOVAIS e SMYTH, 1999). São curvas que indicam a forma como o adsorvente efetivamente adsorverá o soluto, se a purificação requerida pode ser obtida e fornece informação que determinam se o adsorvente pode ser economicamente viável para a purificação do líquido.

Entre os diversos modelos que descrevem a adsorção dos elementos no solo, os mais comumente citados na literatura são aqueles propostos por Langmuir e por Freundlich (SPOSITO, 1989).

A teoria de Langmuir se baseia no fato da adsorção ocorrer em sítios uniformes com recobrimento em monocamada e afinidade iônica independentemente da quantidade de material adsorvido (ATKINS, 1994).

Representada pela equação 1:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m}$$

¹ q_m Máxima capacidade de adsorção na monocamada (mg g⁻¹);

² k_L Constante de Langmuir (L mg⁻¹);

³ C_e : concentração de Fosfato em equilíbrio (mg/g);

⁴ q_e : quantidade de fosfato em equilíbrio (mg/g);

⁵ R_L Fato de separação.

Como mostra na equação 2:

$$R_L = \frac{1}{1+k_L c_0}$$

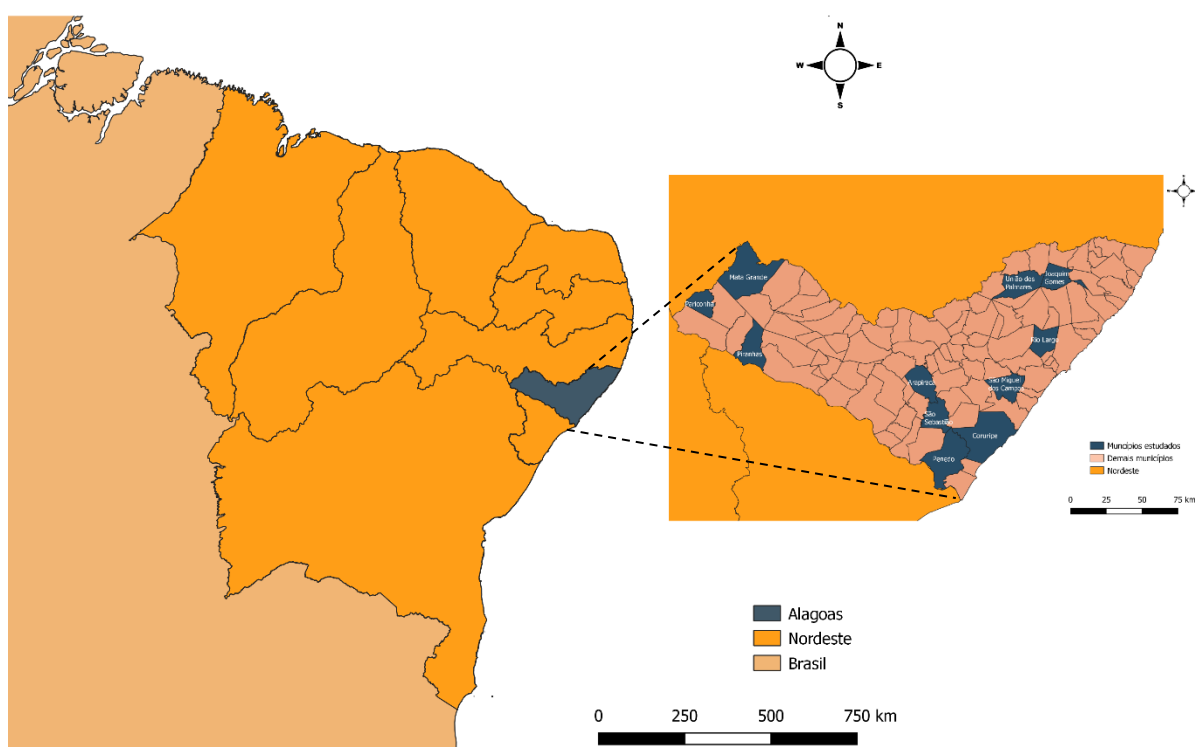
Valores de $R_L > 1$ indicam que o processo é desfavorável, $R_L = 1$ indica uma isoterma linear, $0 < R_L < 1$ indica que o processo é favorável a $R_L = 0$ indica que o processo é irreversível (DOTTO, L. et al., 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta e preparo das amostras de solo

Foram coletadas, com o auxílio de um trado holandês de inox, onze amostras compostas de solo na profundidade de 0 a 20 cm em locais de mata nativa, nos municípios Alagoanos de Pariconha, Mata Grande, Penedo, Piranhas, Coruripe, Arapiraca, São Miguel dos Campos, São Sebastião, União dos Palmares, Rio Largo e Joaquim Gomes (Figura 3).

Figura 3- Mapa do Estado de Alagoas e demais municípios onde foram coletadas.



Fonte: Autor, 2022.

As determinações de análise de fertilidade e granulométrica seguirão os procedimentos adotados no laboratório de Solos, Água e Planta (LABSAP) do CECA/UFAL (Tabela 1 e 2).

Resultados obtidos através das análises de fertilidade das amostras de cada solo (Tabela 1) feitas no LABSAP CECA/UFAL.

Tabela 1-Classificação, localização, atributos químicos e P-Rem das amostras de solo estudadas.

Solo	Classificação	Local (AL)	pH ⁽¹⁾	Ca	Mg	K	Al	H+Al	S ⁽²⁾	T ⁽³⁾	V ⁽⁴⁾	MO	Na	P	P-Rem
				----- cmol _c dm ⁻³ -----					%	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	mg L ⁻¹			
1	Neossolo Regolítico (RRed)	Pariconha	7,3	9,10	5,30	244	0,00	2,90	15,87	18,77	85,0	39,9	195,0	60,0	56,1
2	Neossolo Quartzarênico (RQo)	Mata Grande	5,0	0,40	0,20	29	0,60	2,40	0,70	3,60	18,8	6,8	-	11,7	55,6
3	Argissolo Amarelo Distrocoeso (PAd ₁)	Penedo	4,7	0,50	0,30	30	0,70	2,60	0,99	3,59	27,0	10,7	25,0	4,0	54,5
4	Planossolo Háplico (SXe)	Piranhas	6,3	5,20	1,70	213	0,00	3,60	7,50	11,00	67,7	35,8	-	68,0	43,5
5	Argissolo Amarelo Distrocoeso (PAd ₂)	Coruripe	4,9	1,40	0,70	32	0,80	4,90	2,38	7,28	33,0	28,7	45,0	4,0	49,8
6	Latossolo Vermelho (LVe)	Arapiraca	5,6	3,20	1,70	128	0,25	4,31	5,36	9,67	55,0	22,0	30,0	3,0	48,3
7	Argissolo Amarelo Distrocoeso (PAd ₃)	São Miguel dos Campos	4,8	1,00	0,50	40	1,00	4,80	1,71	6,51	26,0	26,3	25,0	5,0	39,2
8	Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAd ₁)	São Sebastião	5,7	1,20	0,80	126	0,00	2,80	2,45	5,25	47,0	16,2	30,0	3,0	51,6
9	Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd)	União dos Palmares	5,3	1,80	0,80	54	0,30	4,90	2,85	7,75	37,0	29,5	25,0	7,0	36,4
10	Latossolo Amarelo Distrocoeso (LAd ₁)	Rio Largo	5,2	2,10	0,80	42	0,70	6,90	3,16	10,06	31,0	43,3	35,0	4,0	21,7
11	Latossolo Amarelo (LVAd ₂)	Joaquim Gomes	4,6	0,90	0,50	58	1,30	8,50	1,68	10,18	16,0	44,5	30,0	4,0	23,2

pH em água⁽¹⁾; S: soma de bases⁽²⁾; T: capacidade de troca de cátions⁽³⁾; V: saturação por bases⁽⁴⁾.

Resultados obtidos através das análises de granulométrica das amostras de cada solo (Tabela 2) feitas no LABSAP CECA/UFAL.

Tabela 2- Atributos físicos das amostras de solo estudadas.

Solo (Classe)	Areia	Silte g kg⁻¹	Argila	Classe Textural
1 (RRed)	570	210	50	Franco-Arenosa
2 (RQo)	920	20	60	Areia
3 (PAd ₁)	840	40	120	Areia-Franca
4 (SXe)	710	160	130	Franco-Arenosa
5 (PAd ₂)	690	150	160	Franco-Arenosa
6 (LVe)	660	100	240	Franco-Argiloarenosa
7 (PAd ₃)	650	90	260	Franco-Argilosarenosa
8 (LVAd ₁)	610	90	300	Franco-Argilosa
9 (PVAd)	460	200	340	Franco-Argilosa
10 (LAd ₁)	540	80	380	Argilo-Arenosa
11 (LVAd ₂)	400	140	460	Argilosa

RRed- Neossolo Regolítico; RQo- Neossolo Quartzarênico; PAd₁- Argissolo Amarelo Distrocoeso; SXe- Planossolo Háptico; PAd₂- Argissolo Amarelo Distrocoeso; LVe- Latossolo Vermelho; PAd₃- Argissolo Amarelo Distrocoeso; LVAd₁- Latossolo Vermelho-Amarelo; PVAd- Argissolo Vermelho-Amarelo; LAd₁- Latossolo Amarelo Distrocoeso; LAd₂- Latossolo Amarelo.

Na caracterização física foram determinados: a composição granulométrica pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997). Na caracterização química do solo, foi medido o pH em água (1:2,5). Os teores de P, de potássio (K) e de sódio (Na) foram determinados com extrator Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997).

O fósforo disponível foi dosado por colorimetria (BRAGA, DEFELIPO, 1974). Os cátions trocáveis K e Na foram determinados por fotômetro de chama. Acidez potencial (H+Al) foi extraído com solução SMP. Os elementos trocáveis cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) foram extraídos com solução de cloreto de potássio a 1mol⁻¹ e determinado por titulação de neutralização (EMBRAPA, 1997).

Com os resultados das análises, foram calculados a soma de bases (SB), a saturação por bases (V%), a saturação por alumínio (M%) e a capacidade de troca de cátions (CTC)

As amostras foram devidamente identificadas e secas à 30 °C em estufa de ventilação forçada de ar por 4 dias (Figura 4). Em seguida foram passadas em peneira com abertura de 2mm de 10 mesh (Figura 5) e acondicionadas em sacos

plásticos para posterior realização das análises (Figura 6 e 7). Para as determinações, foram preparadas as seguintes soluções:

Figura 4- Estufa para secagem das amostras



Fonte: Autor, 2022.

Figura 5- Destorroamento e peneiramento das amostras



Fonte: Autor, 2022.

Figura 6- Peneira de 2mm e sacola de papel para amostras



Fonte: Autor, 2022.

Figura 7- Amostras devidamente peneiradas, etiquetadas e prontas para retirada das análises



Fonte: Autor, 2022.

3.2 Determinações do P-remanescente e da capacidade máxima de adsorção de fósforo

Solução de CaCl_2 0,01M: em um béquer de 1000 mL pesou-se 147,01 g de Cloreto de Cálcio; dissolveu-se em água destilada com o auxílio de um bastão de vidro; passou-se para um balão volumétrico de 1000 mL e completou-se o volume com água destilada; estocou-se em frasco escuro.

Solução de CaCl_2 0,01 M: Pipetou-se 10 mL da solução de CaCl_2 0,01M para um balão volumétrico de 1000 mL e completou-se com água destilada.

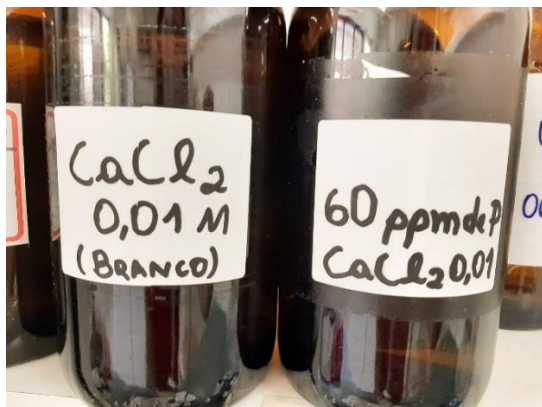
Soluções de CaCl_2 com diferentes concentrações (0 a 60 mg dm^{-3}) de P: Pipetou-se 50 mL da solução de CaCl_2 0,01M e pipetou-se diferentes volumes, que variaram de 0 a 200 mL, da solução de 300 mg dm^{-3} de P para um balão volumétrico de 1000 mL e completou-se com água destilada.

Soluções de CaCl_2 com diferentes concentrações (0 a 100 mg dm^{-3}) de P: Pipetou-se 50mL da solução de CaCl_2 0,01M e pipetou-se diferentes volumes, que variaram de 0 a 50 mL, da solução de 500 mg dm^{-3} de P para um balão volumétrico de 250 mL e completou-se com água destilada.

Soluções de CaCl_2 com diferentes concentrações (0 a 135 mg dm^{-3}) de P: Pipetou-se 50mL da solução de CaCl_2 0,01M e pipetou-se diferentes volumes, que variaram de 0 a 67,5 mL, da solução de 500 mg dm^{-3} de P para um balão volumétrico de 250 mL e completou-se com água destilada.

Solução 725: em um béquer de 1000 mL adicionou-se 1,0 g de Subcarbonato de Bismuto e, em seguida, 138 mL de H_2SO_4 concentrado. Em béquer separado, foi dissolvido 20,0 g de Molibdato de Amônio e adicionou-se ao béquer. Transferiu-se essa solução para um balão volumétrico de 1000 mL e completou-se o seu volume com água destilada.

Figura 8- Soluções utilizadas para o estudo.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 9- Soluções utilizadas para o estudo.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 10- Vidraria para solução.



Fonte: Autor, 2022.

Reagente de Trabalho (Figura 11): foi utilizada a proporção adequada para 50 amostras, em que se utilizou 50 mL de solução 725 e 0,40 g de ácido ascórbico dissolvido em água destilada, transferiu-se para balões volumétricos em que o volume final fosse igual a 450 mL e completou-se o seu volume com água destilada (Figura 10).

Figura 11- Soluções utilizadas para o estudo.



Fonte: Autor, 2022.

3.3 Determinação de CMAP

O P-rem foi determinado na solução de equilíbrio obtida após agitação de uma amostra de solo de $2,5 \text{ cm}^3$ com 25 mL de solução de CaCl_2 0,01M, contendo 60 mg L^{-1} de P, durante 1h em agitação vertical. Após centrifugar por 5 min a 3000 rpm (Figura 12), retirou-se alíquotas de 1ml, adicionou-se 9ml de reagente de trabalho (Figura 11) e o P-rem em solução foi dosado colorimetricamente (Figura 13).

Os valores de P-rem serviram de base para determinações das doses utilizadas na análise da CMAP (ALVAREZ, et. Al; 2000).

A determinação da Capacidade Máxima de Adsorção de P conforme ALVAREZ et. Al; (1990) foram com doses crescentes de P (0 a 135 ppm), de acordo com os valores de P remanescente, determinado pelo método padrão. Em duplicata, retirou-se $2,5 \text{ cm}^3$ de solo, com 25 mL da solução de CaCl_2 0,01 M, contendo doses crescentes de P, agitados por 24h, em agitador horizontal (Figura 14), em seguida centrifugadas por 5 min a 3000 rpm para a determinação do P em solução colorimetricamente (Figura 12 e 13).

Figura 12- Centrifuga



Fonte: Autor, 2022.

Figura 13- Soluções por Colorimetria.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 14- Agitador vertical onde as duplicatas foram postas.



Fonte: Autor, 2022.

O P adsorvido foi calculado pela diferença entre as quantidades de P adicionadas e as quantidades encontradas na solução de equilíbrio (sobrenadante), após o período de agitação. Os valores da CMAP e da energia de adsorção de fosfato serão avaliados e ajustados a isoterma de adsorção, estimada pela equação de Langmuir linearizada e de Langmuir não linearizada.

3.4 Modelos da Isoterma de Langmuir

Equações matemáticas utilizadas para construir e avaliar os dados obtidos de cada modelo de isoterma (Tabela 3):

Tabela 3- Equações dos modelos da isoterma de Langmuir de adsorção nas formas linearizadas e não-linearizadas.

Modelo	Equação	Forma Linear
Langmuir-1		$\frac{1}{q_e} = \left[\frac{1}{q_m K_L} \right] \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m}$
Langmuir-2		$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m}$
Langmuir-3	$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e}$	$q_e = q_m - \left[\frac{1}{K_L} \right] \frac{q_e}{C_e}$
Langmuir-4		$\frac{q_e}{C_e} = K_L q_m - \frac{1}{K_L} \frac{q_e}{C_e}$
Langmuir-5		$\frac{1}{C_e} = K_L q_m \frac{1}{q_e} - K_L$

A quantidade de fosfato em equilíbrio (q_e , mg g⁻¹) será calculada pela equação:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

Onde, C_0 e C_e (mg L⁻¹) correspondem a e de equilíbrio, respectivamente. O V (L) é o volume da solução e m (g) é a massa do adsorvente.

Para o modelo de Langmuir, as constantes obtidas são: q_m (mg g⁻¹ de P) relacionadas com a capacidade máxima de adsorção de fosfato e K_L (L mg⁻¹) com a energia de adsorção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Isoterma de Langmuir

Durante os processos de adsorção, normalmente é preferível escolher equações que tenham a característica de ser facilmente linearizáveis e conseqüentemente avaliar os parâmetros graficamente, o modelo habitualmente empregado é o de Langmuir.

Os valores obtidos em laboratório de P adsorvido aos solos e as curvas alcançadas a partir dos valores estimados pelos modelos de Langmuir, são apresentados nos gráficos abaixo. A maior aproximação das curvas atingida através do modelo 2 de Langmuir aos dados obtidos em laboratório, confirma o que foi apresentado anteriormente com respeito a este modelo se adequando melhor às concentrações de P adsorvidas, tendo como base os coeficientes de correlação.

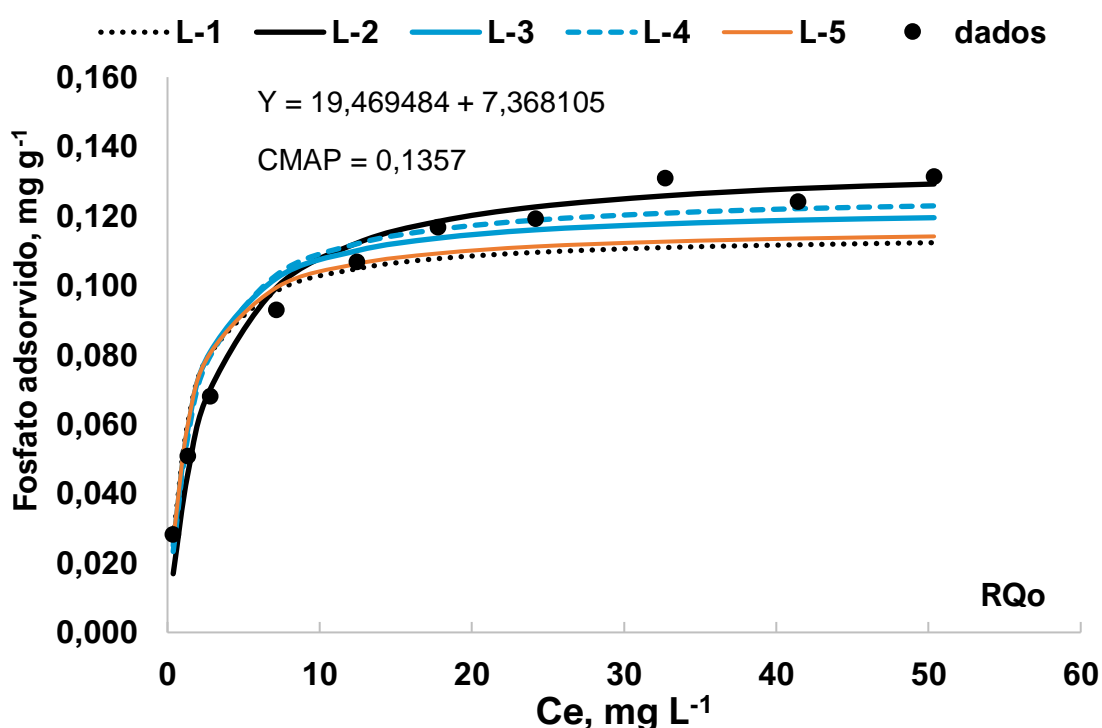


Figura 15- Gráfico de Capacidade máxima de adsorção de fósforo obtida pela isoterma de Langmuir (CMAP) estimada pelo modelo de regressão linear múltipla, do Neossolo Quartzarênico.

O menor valor de CMAP encontrado no modelo 2, foi 0,1357 mg g⁻¹, no Neossolo Quartzarênico (Figura 15), foi verificado um teor de argila igual a 60

g.kg^{-1} (Tabela 3) e com material originário de sedimentos de areia, demonstrando a influência da textura argilosa na dinâmica de adsorção do fósforo.

É comum encontrar na literatura correlação significativa e positiva entre o teor de argila e a CMAP dos solos (LIMA, 2001; VALLADARES et al., 2003; FALCÃO; SILVA, 2004; MOREIRA et al., 2006). Do mesmo modo que os autores MENDOZA, 1986; SINGH; GILKES, 1991; MOUGHLI et al. 1993, consideram que o teor de argila é o principal responsável por variações de fixação de fósforo, sendo comumente encontradas relações significativas e positivas entre o teor de argila e a CMAP dos solos.

A fração argila é a porção mais ativa para determinar o parâmetro CMAP devido à sua alta área superficial específica nos coloides do solo (NOVAIS; SMYTH, 1999; VALLADARES et al., 2003).

A partir dos dados obtidos para capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP), dentre os cinco modelos de Langmuir estudados, o modelo 2 foi o que obteve melhor ajuste com o Argissolo Vermelho-Amarelo (PVAd) $0,6238 \text{ mg g}^{-1}$ (Figura 16), Latossolo Amarelo Distrófico (LAd₁) $1,2787 \text{ mg g}^{-1}$ (Figura 17) e Argissolo Amarelo (LAVd₂) $0,8528 \text{ mg g}^{-1}$ (Figura 18) apresentando maiores valores de CMAP (Figura 15) e conseqüentemente teor de argila mais elevado, quando comparados aos demais.

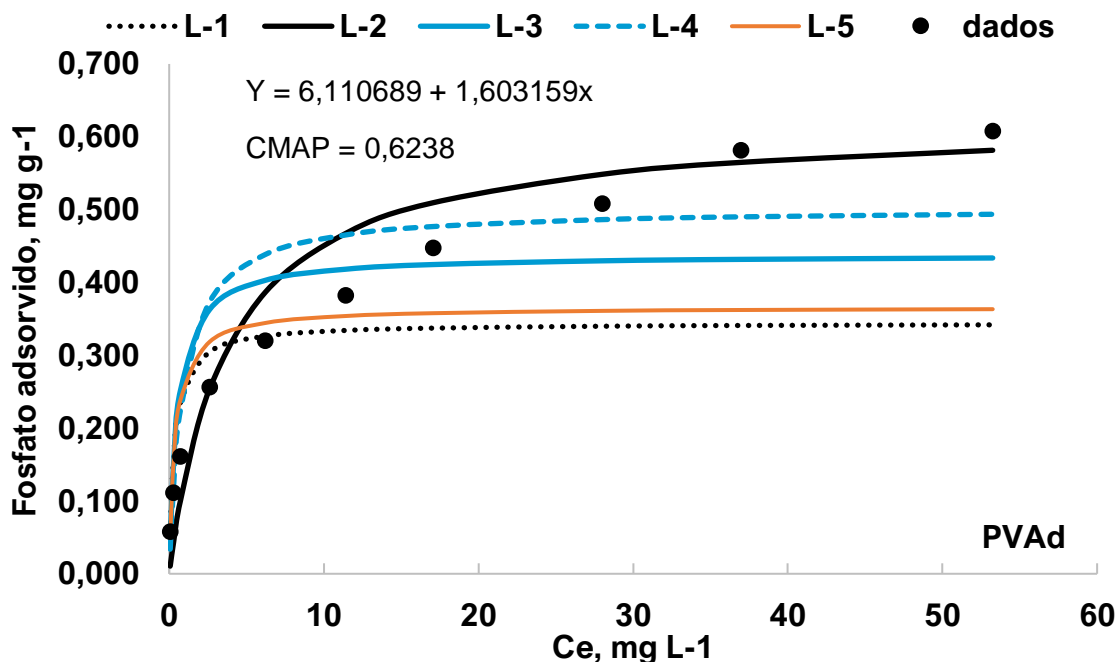


Figura 16- Gráfico de Capacidade máxima de adsorção de fósforo obtida pela isoterma de Langmuir (CMAP) estimada pelo modelo de regressão linear múltipla, do Argissolo vermelho-amarelo.

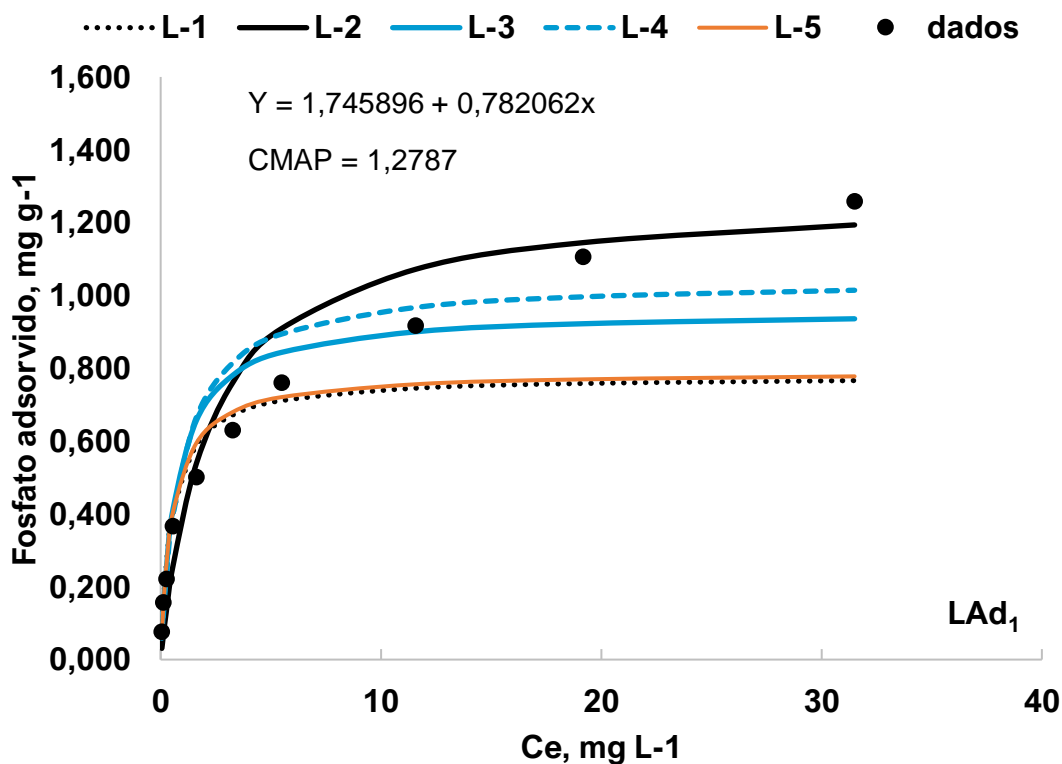


Figura 17-Gráfico de Capacidade máxima de adsorção de fósforo obtida pela isoterma de Langmuir (CMAP) estimada pelo modelo de regressão linear múltipla, do Latossolo amarelo Distrocoeso.

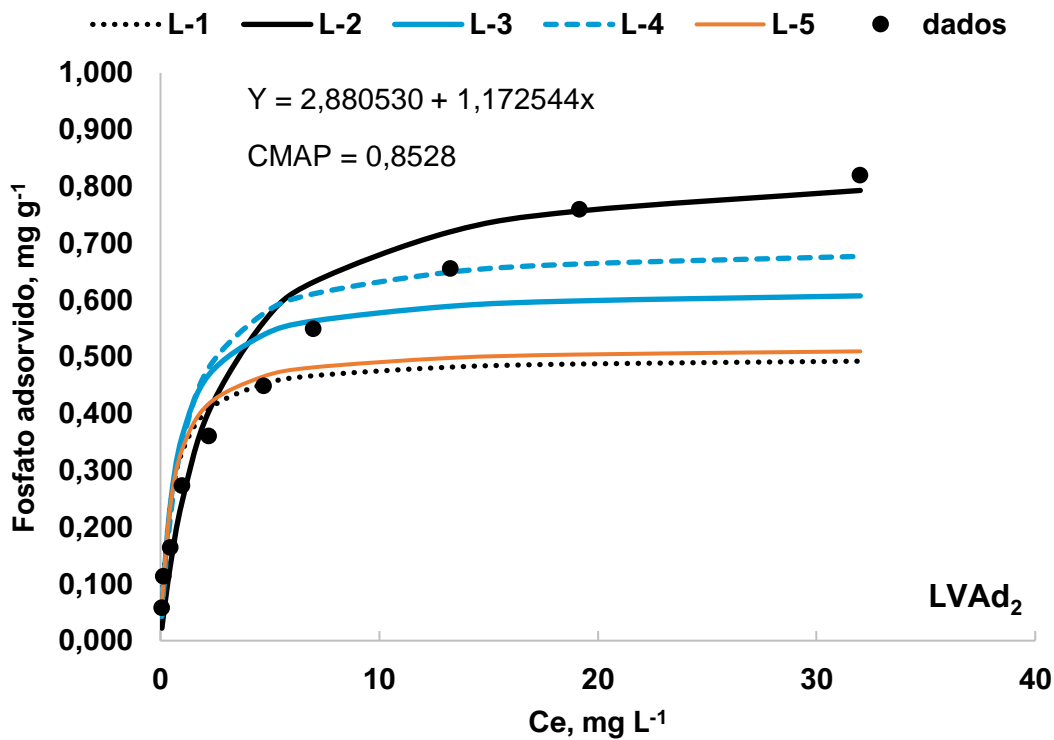


Figura 18- Capacidade máxima de adsorção de fósforo obtida pela isoterma de Langmuir (CMAP) estimada pelo modelo de regressão linear múltipla, do Latossolo amarelo.

Mostrando CMAP superior em solos com teores de argila mais altos, ao contrário do Neossolo Quartzarênico (RQo) 0,1357 mg g⁻¹, onde foi verificado o menor valor de CMAP entre os modelos estudados, mostrando que solos com menores teores de argila apresentam baixa CMAP. Com estes valores de CMAP e estudos preliminares, pode-se fazer recomendação de adubação fosfatada (Woodruff & Kamprath, 1965).

Resultados obtidos por outros autores tiveram valores semelhantes, como no caso de RANNO et al. 2007, onde indicaram correlação entre o teor de argila e a CMAP demonstrando a dependência do processo de adsorção de P e da dinâmica na presença de colóides no solo, ou seja, a escalada da sorção depende da quantidade capaz de sorver as moléculas de fosfato. Assim como também foi observado esse mesmo comportamento em BOSCHETTI et al. 1998; FALCÃO; SILVA, 2004; VALLADARES et al. 2003.

mostrando com clareza que o modelo 2 da isoterma de Langmuir obteve melhores resultados na capacidade máxima de adsorção de fósforo, com destaque

para Latossolo Amarelo Distrófico (LA) que dentre todos modelos e solos estudados teve maior valor de CMAP 1,2787 mg g⁻¹.

Desta forma, o tipo de argila e o P-remanescente é um parâmetro muito importante para estimar a CMAP, porém, havendo bastante variação a partir do tipo de argila no solo.

Os teores de Fe e Al extraídos pelo ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Fed e Ald), denominados de formas cristalinas e pelo oxalato ácido de amônio a pH 3 no escuro (Feo e Alo), denominadas de formas amorfas ou pobremente cristalinas, têm mostrado boa correlação com CMAP (Hernández & Meurer, 1998). Os teores de Al também têm apresentados boas correlações com a CMAP para alguns solos de outras regiões. As interações envolvendo os minerais dos solos com a CMAP tem sido bastante complexa e não pode ser extrapolada de uma região para outra.

4.2 P-Remanescente

Tabela 4- Fósforo remanescente (P-rem) das amostras de solo estudadas.

Solo (Classe)	Teor de Argila g/Kg⁻¹	P-remanescente mg. L⁻¹
1 (RRed)	50	56,1
2 (RQo)	60	55,6
3 (PAd ₁)	120	54,5
4 (SXe)	130	43,5
5 (PAd ₂)	160	49,8
6 (LVe)	240	48,3
7 (PAd ₃)	260	39,2
8 (LVAd ₁)	300	51,6
9 (PVAd)	340	36,4
10 (LAd ₁)	380	21,7
11 (LVAd ₂)	460	23,2

Os valores de P-rem apresentaram uma ampla diferença entre si de acordo com o seu teor de argila. Sendo ordenados em ordem decrescente (Tabela 4), e os valores de teor de argila de forma crescentes, os resultados de P-rem foram mais

elevados quando a argila estava em menor concentração, enquanto, que com o maior teor de argila, menores foram os valores de P-rem encontrados.

Os valores de P-rem apresentados (tabela 4) entre 21,7 mg. L⁻¹ (Latosolo amarelo distrófico) e 56,18 mg. L⁻¹ (Neossolo Regolítico) indicando que os solos estudados ofereceram uma capacidade de fixação de fósforo muito diferente, entretanto, observou-se uma correlação com CMAP. O Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAd₁), que mesmo com teor de argila alto conseguiu um valor de P-rem relativamente elevado (51,6 mg. L⁻¹), quando comparado com os demais. Isso pode se da por diversos fatores, um deles é a diversidade de características da matéria de origem que pode estar interferindo.

Resultados semelhantes foram observados no presente trabalho para a variável P-rem foram obtidos por Valladares et al. (2003), que avaliaram possíveis correlações entre atributos físicos e químicos do solo e a CMAP em solos com argila de atividade baixa de diferentes regiões do Brasil, utilizando amostras de horizontes superficiais e subsuperficiais de 16 perfis de solos.

Para os horizontes superficiais, os valores de P-rem situaram-se entre 20,0 mg L⁻¹ em amostra de um Latossolo Bruno distrófico e 40,8 mg L⁻¹ em Argissolo Amarelo distrófico, resultados semelhantes, porém abaixo dos encontrados no estudo do presente trabalho.

5 CONCLUSÃO

A capacidade máxima de adsorção de fosfato (CMAP) e o P-remanescente são variáveis confiáveis para se caracterizar a adsorção de P pelos solos. Pela sua praticidade de determinação o P-rem é a variável mais indicada.

O melhor modelo entre todos avaliados foi o modelo 2 de Langmuir, obtendo valores significativos e se compararmos a outros trabalhos na mesma linha de pesquisa, foi o que mais se assemelhou.

Os solos de textura mais argilosa apresentaram maior capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP), com destaque para o Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo Distrófico e o Argissolo Amarelo.

A fração argila (óxidos de ferro e alumínio) é responsável pelo fenômeno de adsorção específica de P e desse modo estabelece uma relação direta com a CMAP.

Os solos com textura arenosa foi o que apresentou maiores valores de P-Rem, indicando a capacidade sortiva diferencial de P dos solos em função da textura. O P-rem apresentou valores elevados com solos de teores de argila mais baixo, exceto o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), que mesmo com teor de argila alto conseguiu um valor de P-rem relativamente elevado, quando comparado com os demais.

6 REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, M.A.K; CAMARGO, O.A. Isotermas de adsorção de freundlich para cromo (III) em latossolos. **Scientia Agricola**, v.58, n.3, p.567-572, jul./set. 2001.
- ALVAREZ V., V.H.; FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para a determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfato e para ensaios de casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p, 49-55, 1990.
- ALVARES V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira da Ciência do Solo**, v25, p.27-32, 2000.
- Atkins, P.W. **Physical chemistry**. 5.ed. Oxford: Oxford University Press, 1994.1072p.
- BARBOSA, A.C. **Capacidade máxima de adsorção de fósforo em latossolos da região do triângulo mineiro**. Londrina. p. 32, 2019.
- BURGOS, N., SANTOS, J. C. P., ARAÚJO FILHO, J. C., CAVALCANTI, A. C. **SOLOS: caracterização e ocorrência**. In: RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO: 2ª aproximação. Recife – PE, p.3-28, 1998.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v.21, p.73-85, 1974.
- BECKETT, P.H.T.; WHITE, R.E. Studies on the phosphate potentials of soils. III. The pool of labile inorganic phosphate. **Plant and Soil**, The Hague, v.21, p.253- 282, 1964.
- BROGGI, F.; et al. **Fato capacidade de fósforo em solos de Pernambuco mineralogicamente diferentes influências do ph na capacidade máxima de adsorção**. Universidade Federal Rural de Pernambuco/UFRPE. **Ciências agrotecnica.**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 77-83, jan./fev. 2011.

BASTOS, A.L.; DA COSTA, J.P.V; DA SILVA, I, DE F.; RAPOSO, R.W.C.; SOUTO, J.S. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.12, n.2, p.136–142, 2008.

BARROW, N.J. The description of sorption curves. **Eur. J. Soil Sci.**, 59:900-910, 2008.

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.12, n.2, p.136–142, 2008.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v.21, p.73-85, 1974.

CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO. 7°. **Efeito dos níveis de fósforo sobre o desenvolvimento do eucalyptus urophylla na região de Itaporanga, SE**. SBS - SBEF: set. p. 244, 1993.

CHEN, X. Modeling of experimental adsorption isotherm data. **Information**, v.6, p.14-22, 2015. doi: 10.3390/info6010014.

CARNEIRO, L.F.; RESENDE, A.V.; NETO, A.E.F.; SANTOS, J.Z.L.; CURI, N.; REIS, T.H.P.; VALLE, L.A.R. Frações de fósforo no solo em resposta à adubação fosfatada em um latossolo com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.483-491, 2011.

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, 2007.

CORRÊA, R.M.; NASCIMENTO, C.W.A.; 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.33, ed.1, p.153-159, 2011.

CLIMATOLOGIA DO ESTADO DE ALAGOAS. Recife: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2012-ISSN 1678-0892.

CERQUEIRA, W.; FRANCISCO. Sub-regiões do Nordeste, Brasil Escola, 2021. Disponível em: < As Sub-regiões do Nordeste - Brasil Escola (uol.com.br) >. Acesso em: 16 de outubro de 2021.

SILVA, A.B. da; AMARAL, A.J.; SANTOS, J.C.P. dos; GOMES, E.C.; MARQUES, F.B.; OLIVEIRA NETO, M.B. de. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. XXXIV, 2013, Florianópolis- SC. **Potencial do estado de Alagoas para o cultivo de cana-de-açúcar em manejo com alta tecnologia.** p. 4. 2013.

COSTA, J.P.V. da; BASTOS, A.L.; REIS, L.S.; MARTINS, G.O. de; SANTOS, A.F. dos. DIFUSÃO DE FÓSFORO EM SOLOS DE ALAGOAS INFLUENCIADA POR FONTES DO ELEMENTO E PELA UMIDADE. Mossoró: **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3; p. 225-231, 2009. 0100-316X.

DOTTO, G.L. **Remoção dos corantes azul brilhante, amarelo crepúsculo e amarelo tartrazina de soluções aquosas utilizando carvão ativado, terra ativada, terra diatomácea, quitina e quitosana: estudos de equilíbrio e termodinâmica.** Química para um mundo melhor. Universidade Federal do Rio Grande, v.34, n. 7, p. 1193-1199, 2011.

Dotto, G.L.; Souza, V.C.; Pinto, L.A.A. Drying of chitosan in a spouted bed: The influences of temperature and equipment geometry in powder quality. **LWT–Food Sci. and Technol.**, 44 (2011), 1786–1792

EBERHARDT, D.N. et al. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em Latossolos sob pastagens no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1009-1016, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, **EMBRAPA**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA - CNPS, 2006.

ENDOZA, R. E. Isotermas de adsorción de fósforo en suelos argentinos. II- Aplicabilidad de las isotermas e interrelación de sus parâmetros com variâbles de suelo y planta. **Ciencia del Suelo**, Santa Fe, v. 2, p.117-124, 1986.

FALCÃO, N.P.S & SILVA, J.R.A. **Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central**. Acta Amaz., V. 34; p.337-342, 2004.

FAN, M.; ZHU, J.; RICHARDS, C.; BROWN, K.M. & LYNCH, J.P. Physiological roles of aerenchyma in phosphorus-stressed roots. **Functional Plant Biology**, 30:493-506, 2003.

FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A.C. Relação entre adsorção e componentes mineralógicos da fração argila de latossolos do planalto central. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 7:221-226, 1983.

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 252p, 2001.

GUILHERME L. R.; et al. **Adsorção de fósforo em solos de várzea do estado de minas gerais**. Lavras: UFLA, 2000. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 24; p.27-34, 2000.

GUNARY, D.; SUTTON, C.D. Soil factors affecting plant uptake of phosphate. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.18, n.1, p.167-173, 1967.

HERNÁNDEZ, J.; MEURER, E.J. Adsorção de fósforo e sua relação com formas de ferro em dez solos do Uru-guai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.223-230, 1998.

HINSINGUER, P. Biology availability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, 237:173-195, 2001.

BASTOS, A.L.; COSTA, J.P.V. da; SILVA, I.F. da; RAPOSO, R.W.C.; SOUTO, J.S. INFLUÊNCIA DE DOSES DE FÓSFORO NO FLUXO DIFUSIVO EM SOLOS DE ALAGOAS. Paraiba: UFPB, 2008. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.12, n.2, p.136–142, 2008.

JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; PESSÔA, S.C.P.; SILVEIRA, C.O. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Alagoas**.

Recife, EMBRAPA, Centro de Pesquisas Pedológicas, 1975. ilustr. (Brasil. EMBRAPA. Centro de Pesquisas Pedológicas. Boletim técnico, 35). Brasil. SUDENE, DRN. Divisão de Recursos Renováveis, 5.

LABORSOLO. **Determinação e uso do fósforo remanescente (P-rem)**. 2013. Disponível em: Acesso em: 10 nov. 2021.

Lins Cunha, Jorge Luiz Xavier, Santos, Valdevan Rosendo dos, Moura Filho, Gilson, Gomes dos Santos, Cícero, Lins dos Santos, Márcio Aurélio. **CONTRIBUIÇÃO DE ARGILOMINERAIS E DA MATÉRIA ORGÂNICA NA CTC DOS SOLOS DO ESTADO DE ALAGOAS**. Revista Caatinga. P. 27-36, 2009. ISSN: 0100-316X. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237117625005>.

Lopes, A.S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: Anda/Potafos. P.155, 1989.

LÓPEZ-BUCIO, J.L.; MARTÍNEZ DE LA VEJA, O.; GUEVARA-GARCÍA, A. & HERRERA-ESTRELLA L. Enhance phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate. **Natural Biotechnology**, 18:450-453, 2000.

MATOS, A.T.; M, A.; NETO, C.; MARTINS, M.A.; MATOS, M.P. Isoterma de adsorção de fósforo em pó coletado no sistema de tratamento de efluentes atmosféricos gerados em indústria siderúrgica. **REVENG**, Engenharia na agricultura, viçosa - MG, V.20; n.1, p. 258-264, 2012.

MACHADO, V.J.; SOUZA, C.H.E.; ANDRADE, B.B.; LANA, R.M.Q.; KORNDORFER, G.H. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. **Journal Bioscience**, v.27, n.1, p.70-76, 2011.

MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soil and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays Clay Miner.**, v.5, p. 317-327, 1960.

MOREIRA, F.L.M.; MOTA, F.O.B.; CLEMENTE, C.A.; AZEVEDO, B.M.; BOMFIM, G.V. Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.37, n.1, p.7-12, 2006.

MOUTA, E.R.; MELO, W.J.; SOARES, M.R.; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. Adsorção de selênio em latossolos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.32, p.-1033-10-41, 2008.

MATIAS, G. C. S. **Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo e teores de matéria orgânica**. Piracicaba, 2010. 174 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2010.

MARQUES, J.S. **Adsorção de fósforo em latossolo e argissolo misturado com carbono pirolisado**. Rio Branco, AC: UFAC, 2016.

NETO, J.A.L.; et al. Caracterização e gênese do caráter coeso em latossolos amarelos e argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de alagoas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.33; p.1001-1011, 2009.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, DPS, 1999.

OLIVEIRA, C.M.B.; GATIBONI, L.C.; MIQUELLUTI, D.J.; SMYTH, T.J.; 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 Ciência do Solo**, v.38; p.1805-1815, 2014.

OLSEN, S.R.; WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.21; p.144-149, 1957.

PEDROTTI, A.; FERREIRA, M.M.; CURI, N.; SILVA, M.L.N.; LIMA, J.M.; CARVALHO, R. **Relação entre atributos físicos, mineralógicos da fração argila e formas de**

alumínio no solo. Universidade Federal de Lavras – UFLA. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.27; p.1-9, 2003.

PLANALTO DA BORBOREMA. Toda Matéria. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/planalto-da-borborema/>>. Acesso em: 11 nov. 2021.

PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; SILVA, M.L.N.; OLIVEIRA, L.R.; LIMA, J.M. **Teor total e capacidade máxima de adsorção de chumbo em latossolos brasileiros.** Universidade federal de Lavras/UFLA. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.25; p.279-288, 2001.

RAMALHO FILHO, A. & BEEK, K. J. **Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras.** 3 ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 65 p. 1995.

RÍCHART, Alfredo., et al. **CAPACIDADE MÁXIMA DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO PARA QUATRO SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ.** In: FERTBIO2006, 5., Bonito. SBCS. Bonito: Alice. p. 1 – 4, 2006.

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.** Universidade federal de Santa Maria/UFSM. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.31; p.21-28, 2007.

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

SODRÉ, F.F.; LENZI, E.; C, A.C.S. **Utilização de modelos físico-químicos de adsorção no estudo do comportamento do cobre em solos argilosos.** Universidade estadual de Maringá, **Quim. Nova**, v. 24, N. 3; p.324-330, 2001.

Systat Software Incorporated. **Systat Software Incorporated TableCurve 2D version 5.01.** Chicago-IL, USA, 2002.

SCHONS, E. **Fenômenos Interfaciais**. Aula 5 – Adsorção, isothermas e filmes monomoleculares. UFG.

SILVA, M.A.; NÓBREGA, J.C.A.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J.O.; MARQUES, J.J.G.S.M.; MOTTA, P.E.F. Frações de fósforo em Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.10, p.1197-1207, 2003.

SILVA, L.S.; JÚNIOR, J.M.; SOUZA BAHIA, A.S.R.; CAMARGO, L.A.; PEREIRA, G.T. Capacidade máxima de adsorção de fósforo em solos do nordeste do estado de São Paulo. In: **XXXV Congresso Brasileiro de Ciências do solo**, São Paulo. 2015. **Anais**, São Paulo, 2015.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 234p, 1989.

CUNHA, L.; XAVIER, J.L.; SANTOS, V. R. dos.; MOURA, G.F G.; GOMES, G.S. dos.; LINS, S. dos.; AURÉLIO, M. **CONTRIBUIÇÃO DE ARGILOMINERAIS E DA MATÉRIA ORGÂNICA NA CTC DOS SOLOS DO ESTADO DE ALAGOAS**. Revista Caatinga [en línea]. 2009, 22(1), 27-36[fecha de Consulta 23 de Junio de 2022]. ISSN: 0100-316X. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237117625005>.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análises de solo**. 3. Ed. E ampl., Brasília, DF: Embrapa; 573p, 2017.

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

VILAR, C.C.; COSTA, A.C.S.; HOEPERS, A.; SOUZA JUNIOR, I.G. **Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos subtropicais**. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.34, p.1059-1068, 2010.

