

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DOS RECURSOS  
AMBIENTAIS DO SEMIÁRIDO (ESPECIALIZAÇÃO)**

**JOSÉ WELLINGTON DE MEDEIROS ESTRELA**

**FLUXO DIFUSIVO DE FOSFATO EM SOLOS DO SERIDÓ PARAIBANO**

**PICUÍ-PB**

**2022**

**JOSE WELLINGTON DE MEDEIROS ESTRELA**

**FLUXO DIFUSIVO DE FOSFATO EM SOLOS DO SERIDÓ PARAIBANO**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de pós-graduação em Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – Campus Picuí, como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista em Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido.

**ORIENTADOR:** MSc. Jandeilson Alves de Arruda

**PICUÍ-PB**

**2022**

E82f Estrela, José Wellington de Medeiros.

Fluxo difusivo de fosfato em solos do seridó paraibano /  
José Wellington de Medeiros Estrela. - Picuí, 2022.  
27 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de  
Especialização em Gestão dos Recursos Ambientais do  
Semiárido) - Instituto Federal da Paraíba, 2022.  
Orientador: Prof. Jandeilson Alves de Arruda.

1. Estudo dos solos. 2. Solo - Transporte de fósforo. 3.  
Meio ambiente - semiárido I. Título.

CDU 631.4

**JOSÉ WELLINGTON DE MEDEIROS ESTRELA**

**FLUXO DIFUSIVO DE FOSFATO EM SOLOS DO SERIDÓ PARAIBANO**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de pós-graduação em Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – Campus Picuí, como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista em Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido.

**Aprovada em: 31 / 01 / 2022**



---

**Prof. MSc. JANDEILSON ALVES DE ARRUDA**  
**IFPB Campus Picuí**  
**Orientador**



---

**Prof. Dr. TADEU MACRYNE LIMA CRUZ**  
**IFPB Campus Picuí**  
**Examinador**



---

**Prof. MSc. SEBASTIANA JOELMA DE AZEVEDO SANTOS**  
**Externo à instituição**  
**Examinadora**

Dedico esse trabalho a todos da minha família e a todos os que me ajudaram ao longo desta caminhada.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela proteção, direcionamento e oportunidades concedidas e por toda força á mim repassada.

Aos meus pais Maria das Graças de Medeiros Estrela e Francisco dos Santos Estrela por todo incentivo e apoio.

Aos meus Irmãos (a) Júnior, Amanda, Ananda Jessica, Andressa Kelly e Fabiana por fazerem parte da minha vida.

Ao meu orientador Jandeilson Alves de Arruda pela oportunidade de repassar seu conhecimento como orientador mais uma vez. Meu muito obrigado!

Ao IFPB-Campus Picuí, pelo apoio financeiro ao Projeto Capacidade máxima de adsorção e fluxo difusivo do fosfato em solos do Seridó paraibano, que foi fundamental para a realização desta pesquisa e pelo apoio logístico, representado pelo diretor geral Luciano Pacelli Medeiros de Macedo.

Não poderia deixar de agradecer também aos meus amigos de curso de forma geral que estiveram ao meu lado nessa jornada de aprendizagem: Ana Letícia, Jamielma, Gildemaria, Neto, Priscila, Emanuely, Cícero, Josiely, Erica, Helena Cristina, Jaiane Eva, Nubia Lafayett, Naelson. Meu muito obrigado por fazerem parte da minha história! A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram com a construção deste trabalho de conclusão de curso.

“A persistência é o caminho do êxito”.

Charles Chaplin

## RESUMO

A difusão é o principal meio de transporte do fósforo (P) no solo e depende de vários fatores, como a interação do P com os componentes da fase sólida, textura, mineralogia da fração argila, umidade, compactação e fonte fosfatada. Assim, dada a variação de solos no Seridó Paraibano, é de se esperar variação no fluxo difusivo de P. Objetiva-se com esse estudo analisar o efeito de níveis de fósforo no fluxo difusivo de fosfato em solos representativos do Seridó Paraibano. Foram utilizadas amostras, coletadas na camada 0-20 cm de profundidade, de seis solos representativos. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, em fatorial 6 x 5, sendo seis tipos de solos e cinco níveis de P (0, 10, 20, 30 e 40 % da capacidade máxima de sorção de P). Para estimativa do fluxo difusivo de P utilizou-se como unidades experimentais anéis de PVC com 5 cm de altura e 10 cm de diâmetro interno, com volume de solo de 300 cm<sup>3</sup> que serviram como câmara de difusão que receberam os solos e as doses em estudo. Para avaliação do fluxo difusivo de P nos solos, utilizou-se o papel de troca aniônica (PA) que permaneceu em contato com o solo por 15 dias. Após esse período a quantidade de P retida do PA foi quantificada. Os níveis de P promoveram o aumento do fluxo difusivo do fosfato de forma linear, com exceção do Neossolo Flúvico onde não foi verificada resposta significativa. O maior fluxo de P foi verificado para o Planossolo (0,0753 μmol cm<sup>-2</sup>/15 dias), seguido pelo Neossolo regolítico (0,0510 μmol cm<sup>-2</sup>/15 dias). O Neossolo flúvico foi o solo que apresentou menor fluxo difusivo (0,0274 μmol cm<sup>-2</sup>/15 dias). Conclui-se que a aplicação de P aumentou o fluxo difusivo do fosfato e que o fluxo difusivo de P foi maior no Planossolo e menor no Neossolo flúvico.

**Palavras-chave:** Disponibilidade de fósforo. Difusão. Transporte de Fósforo. Solo. Semiárido.

## ABSTRACT

Diffusion is the main means of transport of phosphorus (P) in the soil and depends on several factors, such as the interaction of P with the components of the solid phase, texture, mineralogy of the clay fraction, moisture, compaction and phosphate source. Thus, given the variation of soils in the Seridó Paraibano region, variation in the diffusive flow of P is to be expected. The objective of this study is to analyze the effect of phosphorus levels on the diffusive flow of phosphate in representative soils of the Seridó Paraibano region. Samples, collected in the 0-20 cm depth layer, from six representative soils were used. The experiment was carried out in a randomized block design, in a 6 x 5 factorial, with six soil types and five P levels (0, 10, 20, 30 and 40 % of the maximum P sorption capacity). To estimate the diffusive flow of P, PVC rings 5 cm high and 10 cm in internal diameter were used as experimental units, with a soil volume of 300 cm<sup>3</sup> that served as a diffusion chamber that received the soils and levels under study. To evaluate the diffusive flow of P in the soils, anion-exchange paper (AEP) was used, which remained in contact with the soil for 15 days. After this period, the amount of P retained in the AEP was quantified. P levels promoted an increase in phosphate diffusive flux in a linear way, with the exception of Neossolo Flúvico where no significant response was observed. The highest P flux was verified for Planosolo (0.0753 μmol cm<sup>-2</sup>/15 days), followed by Neosolo Regolítico (0.0510 μmol cm<sup>-2</sup>/15 days). Neosoloflúvico was the soil that showed the lowest diffusive flow (0.0274 μmol cm<sup>-2</sup>/15 days). It was concluded that the application of P increased the diffusive flux of phosphate and that the diffusive flux of P was higher in Planosolo and lower in Neosolo Flúvico.

**Keywords:** Phosphorus availability. Diffusion. Phosphor transport. Soil. Semiarid.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Características químicas e físicas dos seis solos representativos do Seridó Paraibano .....	18
<b>Tabela 2.</b> Fluxo difusivo de fósforo influenciado por níveis do elemento em solos representativos do Seridó Paraibano. ....	20

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

**P:** Fósforo.

**PA:** Papel de troca aniônica.

**FDP:** Fluxo difusivo do fosfato.

**CMSP:** Capacidade máxima de sorção de P.

**TC:** Luvissole Crômico.

**SN:** Planossolo Nátrico.

**RR:** Neossolo Regolítico.

**RL:** Neossolo Litólico.

**RY:** Neossolo Flúvico.

**LA:** Latossolo Amarelo.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
2.1 IMPORTANCIA DA DIFUSÃO.....	15
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>23</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>24</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre os diversos nutrientes, o fósforo (P) tem sido um dos mais limitantes à produção de biomassa vegetal em territórios brasileiros, devido aos baixos teores do elemento nos materiais de origem, bem como à forte interação do mesmo com a fase sólida dos solos (NOVAIS; SMYTH, 1999). Baixos teores de P são encontrados mesmo em solos pouco desenvolvidos do semiárido brasileiro (SALCEDO, 2006), onde se encontra inserido o Seridó Paraibano.

O conhecimento da ocorrência, reação e movimento no solo é de suma importância para se compreender e analisar o comportamento dos elementos químicos no sistema solo-planta (VINHAL-FREITAS et al., 2010). A compreensão desses fenômenos possibilita conhecer a dinâmica dos nutrientes no solo, permitindo entender sua disponibilidade e conseqüente suprimento às plantas. Isso tem reflexo sobre o uso mais eficiente de fertilizantes (PEREIRA; FARIA, 1998), além de um manejo mais racional e sustentável da fertilidade do solo.

O principal mecanismo de contato íon-raiz do P no solo é a difusão (NOVAIS; SMYTH, 1999; SANTNER et al. 2015). Vários fatores podem influenciar o fluxo difusivo de fósforo (FDP), como a textura, mineralogia da fração argila, umidade, compactação e fonte fosfatada (NOVAIS; SMYTH, 1999; OLIVEIRA et al., 2004; COSTA et al., 2006; SILVA; BARROS; SOUZA, 2008) e capacidade tampão (HORST et al., 2001).

Ao quantificarem a sorção de P em solos do Seridó Paraibano, por meio do fósforo remanescente, Arruda et al. (2017) verificaram variação nesse atributo químico entre os solos estudados, indicando diferente capacidade sortiva. Dessa forma, é de se esperar que o fluxo difusivo do elemento também seja variável.

Estudos sobre o FDP em solos do Seridó Paraibano podem contribuir para a compreensão do comportamento do elemento nesses solos e, conseqüentemente, favorecer o manejo da adubação fosfatada e da agricultura praticada na região. Entretanto, poucas pesquisas foram realizadas com a finalidade de entender a dinâmica do P nos solos desse território do estado da Paraíba, não sendo encontradas na literatura informações acerca da difusão de P.

Objetiva-se com esse estudo analisar o efeito de níveis de fósforo no fluxo difusivo de fosfato em seis tipos de solos representativos do Seridó Paraibano.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

No Seridó Paraibano há predomínio de solos menos intemperizados e pouco desenvolvidos, a exemplo dos Neossolos Litólicos, Luvisolos, Neossolos Regolítico e Planossolos (BRASIL, 1972). Podem ser encontrados também, ainda que em pequena escala, solos mais desenvolvidos como o Latossolo e o Argissolo, que ocorrem no topo de serras ou devido à natureza do material de origem (ARRUDA, et., 2017)

Nesses solos, assim como na maioria dos solos da região semiárida do nordeste brasileiro, os teores de P são baixos (PEREIRA; FARIA, 1998). Essa baixa disponibilidade é explicada pela pobreza de P nos materiais de origem dos solos e devido a diversos processos físico-químicos de retenção do elemento. Dentre estes, o processo de sorção de P tem sido muito estudado devido, principalmente, ao fato de este ser o principal processo de retenção do elemento no solo (COSTA, 2010).

### 2.1 IMPORTANCIA DA DIFUSÃO

Pela primeira lei de Fick, a relação entre o fluxo difusivo de um soluto em uma solução pura, o gradiente de concentração e o coeficiente de difusão é expressa por:

$$F = -D \cdot dC/dx \quad [\text{Eq. 1}]$$

em que:

F= fluxo difusivo do soluto ( $\text{mol cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ );

D= coeficiente de difusão do soluto ( $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ );

$dC/dx$ = gradiente de concentração ( $\text{mol cm}^{-3} \text{cm}^{-1}$ ).

Uma maior tortuosidade do trajeto a ser percorrido pelos elementos e as interações existentes entre eles e as partículas do solo implicarão em um menor coeficiente de difusão efetivo dos nutrientes no solo em relação ao expressado na equação. Adaptando-se a lei de Fick para solos, a difusão do fósforo pode ser

quantificada pela seguinte expressão matemática (NYE e TINKER.,1977; BARBER, 1995; NOVAIS e SMYTH., 1999):

$$D = D1 \cdot q \cdot fl \cdot (dCl/dC) \quad [\text{Eq. 2}]$$

Onde:

D=coeficiente de difusão de fósforo no solo, em  $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ ;

D1=coeficiente de difusão de fósforo em água ( $0,89 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ , a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ );

q=conteúdo volumétrico de água no solo, em  $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ;

fl=fator de impedância, adimensional;

Cl=concentração de P na solução do solo ou fator intensidade (I), em  $\text{mol cm}^{-3}$ ;

C=concentração de fósforo adsorvido-lábil ou fator quantidade (Q), em  $\text{mol cm}^{-3}$ ;

$dCl/dC$ =inverso do fator capacidade do solo ( $dQ/dI$ ).

O fator de impedância, fl, depende, fundamentalmente, da tortuosidade do caminho seguido pelo soluto através dos poros. Outras causas podem ser nele incluídas, tais como a redução do gradiente de concentração ao longo desta distância e o aumento da viscosidade da água próximo à superfície das partículas sólidas do solo, afetando a mobilidade dos solutos. Tais razões reduzem a difusão de íons.

Estudos relacionados ao fluxo difusivo de elementos no solo têm sido realizados em sua maioria com a utilização de resina de troca iônica (OLIVEIRA et al., 1999; OLIVEIRA et al., 2000; NUNES et al., 2004; COSTA et al., 2006; SILVA; BARROS; SOUZA, 2008) e pelo uso de papel-filtro impregnado com óxidos de ferro (COSTA et al., 2009). Apesar das dificuldades, estes métodos têm apresentado resultados satisfatórios na estimativa do FDP (BASTOS et al., 2008).

Ao estudarem o FDP em seis Latossolo do estado de Minas Gerais, Costa et al. (2006) verificaram que houve aumento do fluxo difusivo em resposta à adubação fosfatada e da elevação da umidade. Esses autores verificaram valores de FDP, para a maior dose de P e umidade de 100% da porosidade total, variando de 0,7419 a 5,9484  $\mu\text{mol cm}^2/ 15$  dias.

Avaliando o efeito da compactação sobre o fluxo difusivo de P em dois Latossolos vermelhos de Minas Gerais, um de textura média e outro de textura argilosa,

Silva et al. (2008) verificaram que houve aumento no FDP em resposta à elevação da densidade em ambos os solos, sendo o fluxo de P maior no Latossolo de textura média, em razão de sua menor capacidade de sorção de P.

Silva et al. (2008), estudando a influência da compactação do solo, com diferentes umidades, sobre a densidade e a difusão de P e Zn de dois latossolos, constataram o aumento do fluxo difusivo de fósforo e de zinco em resposta à compactação do solo, isso pode ser explicado devido ao aumento da densidade do solo.

Segundo Oliveira et al., (1998), o aumento na densidade do solo causa elevação na difusão até que um ponto de máxima seja atingido. Após esse ponto, há decréscimo no fluxo difusivo em resposta ao aumento nesse atributo físico.

Bastos et al. (2008), avaliando o efeito de doses de P no fluxo difusivo do elemento em solos do Estado de Alagoas, verificaram que o aumento das doses de P resultou em elevação do fluxo difusivo, sendo maior na dose correspondente a 30% da Capacidade máxima de sorção de P (CMSP) em todos os solos estudados, sendo encontrados maiores valores do FDP nos solos arenosos (NeossoloFlúvico e NeossoloQuartzarênico).

A média do fluxo difusivo de P em solos de Alagoas (dois Latossolos Amarelos Coesos, um Argissolo Acinzentado e um NeossoloFlúvico), sob diferentes graus de umidade, variou de 1,88 a 2,21 mg dm<sup>-3</sup> em 30 dias, sendo maior no NeossoloFlúvico que é mais arenoso (COSTA et al., 2009). Os autores verificaram ainda que a elevação da umidade favoreceu o fluxo difusivo.

Dados sobre o fluxo difusivo de P em solos do Seridó Paraibano não foram encontrados na literatura, porém, há de se esperar que haja variação no mesmo, tendo em vista a variação de classes de solos ocorrentes na região e de suas capacidades sortivas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Picuí.

Foram utilizadas amostras, coletadas na camada 0-20 cm, de seis solos representativos do Seridó Paraibano, sendo os mesmos selecionados com base na sua ocorrência e importância agrícola, utilizando dados disponíveis em Brasil (1972). Os solos foram secos ao ar, passados por peneira de 2 mm de malha e caracterizados química e fisicamente seguindo métodos descritos em Teixeira et al. (2017) conforme apresentado na (Tabela 1).

**Tabela 1-** Características químicas e físicas dos seis solos representativos do Seridó Paraibano<sup>(1)</sup>

Solo <sup>2</sup>	pH	P	K	Na	Ca+Mg	Al	Areia	Silte	Argila	CMSP <sup>3</sup>	a <sup>4</sup>
		-----mg kg <sup>-1</sup> -----	-----mg kg <sup>-1</sup> -----	-----mg kg <sup>-1</sup> -----	---cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> ---	-----g kg <sup>-1</sup> -----	-----g kg <sup>-1</sup> -----	-----g kg <sup>-1</sup> -----	mg g <sup>-1</sup>	L mg <sup>-1</sup>	
TC	5,3	0,8	30,8	268,5	9,9	0,0	604	239	157	0,23	0,397
SN	6,3	4,1	40,0	478,3	9,5	0,0	663	180	157	0,28	0,095
RR	5,6	4,8	65,3	19,0	1,8	0,0	852	115	33	0,06	0,424
RL	6,7	16,0	345,0	88,5	4,6	0,0	761	167	72	0,08	0,201
RY	6,1	44,4	170,8	89,2	7,6	0,0	710	220	70	0,09	0,226
LA	5,0	1,3	106,3	84,5	3,4	0,4	527	77	396	0,15	0,577

<sup>1</sup>Caracterização química e física realizados com base em métodos descritos em Embrapa (2011). <sup>2</sup>TC= Luvisolo Crômico; SN= Planossolo Nátrico; RR= Neossolo Regolítico; RL= Neossolo Litólico; RY; Neossolo Flúvico; LA= Latossolo Amarelo. <sup>3</sup>Capacidade Máxima de Sorção de P. <sup>4</sup>Constate relacionada à energia de sorção. Fonte: Autoria própria.

Os procedimentos adotados foram os descritos em Bastos et al. (2008). Câmaras de difusão foram confeccionadas utilizando anéis de PVC com 5 cm de altura e 10 cm de diâmetro interno e volume de 300 cm<sup>3</sup>, fixados sobre uma placa de isopor para vedação da parte inferior. Esses anéis foram preenchidos com os solos em estudo. As doses de P avaliadas corresponderam aos níveis 0, 10, 20, 30 e 40 % da capacidade máxima de sorção de P (CMSP) dos seis solos e foram aplicadas via solução, utilizando-se como fonte o fosfato de potássio monobásico (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>).

Para avaliação do FDP nos solos, utilizou-se o papel de troca aniônica (PA). O PA foi preparado utilizando papel de filtração lenta, de 11 cm de diâmetro, imerso em

solução de Cloreto de Ferro ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )  $0,4 \text{ mol L}^{-1}$  durante 15 segundos. Decorrido o período, cada folha foi posta sobre um vidro liso para eliminação do excesso de cloreto de ferro, pressionando-se a folha tratada em outra ainda limpa, com o intuito de evitar precipitação desuniforme do hidróxido de ferro; em seguida, a folha tratada foi transferida para uma solução de Hidróxido de Amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ )  $2,7 \text{ mol L}^{-1}$ , também por 15 segundos, sendo então observada mudança da cor do papel, de amarelo para marrom-avermelhado, indicando a formação de hidróxido de ferro (VILLANI, 1995). Após ser retirado da solução de hidróxido de amônio, o papel foi lavado com água destilada e colocado para secar. Depois de seco, o papel foi cortado em tiras de  $10 \text{ cm}^2$  e fixado sobre uma lâmina de microscópio.

Cada câmara de difusão teve metade do seu volume preenchido com solo (de acordo com o tipo de solo e dose correspondente ao tratamento) e a lâmina contendo o PA foi então disposta horizontalmente na superfície. Em seguida o volume restante do solo foi colocado na câmara e houve adição de água em quantidade suficiente para atingir umidade correspondente a 50% da porosidade total.

O experimento foi conduzido nessas condições, em laboratório, durante 15 dias. Após esse período, as lâminas foram retiradas e lavadas com jatos de água, para remoção do solo aderido, e o excesso de água foi retirado com papel filtro.

O P adsorvido pelo PA, foi extraído pela agitação do papel com 50 mL de uma solução de Cloreto de Amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )  $0,8 \text{ mol L}^{-1}$  + Ácido Clorídrico ( $\text{HCl}$ )  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  durante uma hora, em agitador horizontal a 120 rotações por minuto. A quantificação do P foi realizada de acordo com Braga e Defelipo (1974). A estimativa da difusão (fluxo difusivo) foi realizada pela quantificação do P adsorvido ao PA, correspondido ao fósforo que atingiu o PA no período de 15 dias.

Dispostas em blocos casualizados, utilizou-se o esquema fatorial  $6 \times 5$ , sendo seis solos e cinco doses de fósforo recomendadas pela capacidade máxima de sorção do fósforo (0, 10, 20, 30 e 40 % da CMSP), com quatro repetições, perfazendo o total de 30 tratamentos e 120 parcelas.

As análises estatísticas consistiram de análise de variância e regressão, sendo realizadas no software SISVAR (FERREIRA, 2014).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de FDP nos solos estudados, de modo geral, aumentaram com os níveis de fósforo aplicados (Tabela 2). O tratamento com a aplicação do maior nível do elemento promoveu os maiores valores de fluxo difusivo em todos os solos, com exceção do Neossolo Flúvico (RY). A aplicação de P levaram ao aumento no gradiente de concentração ( $dC/dx$  da equação 1) favorecendo a difusão do elemento.

Para o tratamento sem adição de P, houve pequena variação no FDP entre os solos, sendo verificado maior fluxo do elemento no Neossolo Litólico (Tabela 2).

**Tabela 2** - Fluxo difusivo de fósforo influenciado por níveis do elemento em solos representativos do Seridó Paraibano.

Níveis de P <sup>1</sup>	Solo <sup>2</sup>					
	TC	SN	RR	RL	RY	LA
	----- $\mu\text{mol cm}^2/15$ dias -----					
0	0,0149	0,0135	0,0198	0,0214	0,0157	0,0136
10	0,0201	0,0244	0,0211	0,0273	0,0252	0,0145
20	0,0331	0,0633	0,0469	0,0308	0,0298	0,0217
30	0,0636	0,1255	0,0553	0,0427	0,0387	0,0409
40	0,0801	0,1498	0,1120	0,0662	0,0278	0,0718
Média	0,0424	0,0753	0,0510	0,0377	0,0274	0,0325

<sup>1</sup>Porcentagem da capacidade máxima de sorção de P. <sup>2</sup>TC= Luvisolo Crômico; SN= Planossolo Nátrico; RR= Neossolo Regolítico; RL= Neossolo Litólico; RY; Neossolo Flúvico; LA= Latossolo Amarelo.

Fonte: Autoria própria.

Costa et al. (2006), estudando os efeitos de diferentes doses de fósforo no fluxo difusivo, constatou o aumento do fluxo com o incremento das doses do elemento e inserção de água, sendo o tratamento com a maior dose de fósforo e a maior umidade, responsável pelo maior valor do fluxo difusivo em todos os solos estudados.

Ao avaliarem os efeitos de diferentes fontes de fósforos com diferentes níveis de umidade sobre o fluxo difusivo em solos de Alagoas, Costa et al. (2009) verificaram os maiores valores de fluxo difusivo para os solos arenosos, no qual segundo os autores o transporte de fósforo é favorecido, em comparação a solos argilosos.

Também em solos do estado de Alagoas, Bastos et al. (2008), avaliaram o efeito de doses de P no fluxo difusivo do elemento e constataram resultados semelhantes ao presente estudo, no qual o aumento da aplicação de P nos solos promoveu aumento do FDP.

Horst et al. (2001), afirmam que, quanto mais fósforo disponível no solo maior será o gradiente de concentração deste elemento, razão pela qual ocorre o aumento do FDP.

Para Godinho et al. (1997) e Costa (1998), quando aumenta as doses de fósforo aplicadas ao solo ocorre um aumento do coeficiente de difusão do elemento devido à saturação progressiva da superfície da adsorção, o que resultará no aumento da concentração do elemento. Considerando o FDP médio (Tabela 2), o fluxo difusivo variou de 0,0274  $\mu\text{mol cm}^2/15$  dias, no RY, a 0,0753  $\mu\text{mol cm}^2/15$  dias no PlanossoSN).

O menor fluxo difusivo no RY não era esperado, em virtude da sua textura arenosa e das baixas CMSP e energia de ligação (Tabela 1). Tal fato deve estar relacionado à constituição mineralógica da fração areia desse solo, que é formada em grande parte por muscovita. As partículas da mica devem ter reduzido a continuidade dos poros, pelo ajuste face a face das lâminas, reduzindo assim o fator de impedância e o coeficiente de difusão, dificultando a movimentação do P nesse solo.

Warncke & Barber (1971) observaram que a tortuosidade foi reduzida com o aumento da densidade do solo, ocorrendo redução do comprimento do caminho de difusão do elemento.

Costa (1998), estudando a difusão de potássio em função da compactação e da umidade do solo, verificou que seus valores diminuiram em todos os níveis de umidade e nos três solos estudados, quando promoveu a compactação.

As alterações na difusão de um íon quando um solo é submetido à compactação, aumentando-se a densidade, são atribuídas a mudanças no fator de impedância que envolve a tortuosidade (Costa, 1998).

Segundo Oliveira et al. (1998), com o aumento da densidade do solo, a difusão aumenta até atingir um máximo e depois decresce.

Silva et al. (2008) estudando o fluxo difusivo de fósforo influenciado pela compactação em dois solos distintos observaram que os maiores valores de FDP foram devido à menor adsorção de fosfato no Latossolo Vermelho no qual apresentou menor teor de argila e maior P remanescente e conseqüentemente menor capacidade de adsorção. O estudo constatou a necessidade de aplicação de doses mais elevadas de fósforo no solo para que o fluxo difusivo de P não seja limitante para o crescimento das plantas.

O maior fluxo difusivo de P verificado para o Planossolo deve estar relacionado à menor energia de ligação do elemento com as partículas de solo (Tabela 1). Apesar de esse ser o solo com maior capacidade de sorção de P, a baixa energia de ligação parece favorecer a movimentação do elemento no solo. Aliado a esse fato, pode ter havido uma maior saturação de sítios de adsorção pela maior quantidade de P aplicado, tendo em vista que as doses foram calculadas com base em percentuais da CMSP.

Berwanger et al. (2008) estudando potencial de risco de contaminação ambiental com o uso de dejetos líquidos de suíno, mensurando as alterações ocorridas no teor de P no solo e nas isotermas de sorção, também verificaram a ocorrência de uma saturação paulatina dos sítios de adsorção do solo.

Comportamento semelhante foi verificado por Costa et al. (2006) em solos de Minas Gerais, onde um Latossolo Vermelho Amarelo com 330 g kg<sup>-1</sup> de argila e CMSP de 744 mg dm<sup>-3</sup> apresentou maior fluxo difusivo do que o Latossolo Vermelho de textura arenosa e CMSP de 399 mg dm<sup>-3</sup>. Os autores justificaram esse fato à menor energia de ligação do LVA (0,580 L mg<sup>-1</sup>) em comparação ao LV (0,868 L mg<sup>-1</sup>).

A resposta do FDP à aplicação das doses do elemento foi linear para os solos, com exceção do RY, onde não houve resposta significativa (Quadro 1). O aumento no fluxo difusivo de P no Planossolo foi de 0,0037 μmol cm<sup>2</sup>/15 dias para cada unidade percentual da CMSP aplicada ao solo na adubação. Esse valor é 3 vezes maior do que o verificado para o Neossolo Litólico (0,0011 0,0037 μmol cm<sup>2</sup>/15 dias por unidade percentual da CMSP), que foi o solo com menor incremento no fluxo difusivo.

**Quadro 1-** Equações de com as doses de fósforo (% da CMSP) em seis solos do Seridó Paraibano.

Solo <sup>1</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
TC	$\hat{y} = 0,0075 + 0,0017^{**}x$	0,9420
SN	$\hat{y} = 0,0006 + 0,0037^{**}x$	0,9551
RR	$\hat{y} = 0,0073 + 0,0022^{**}x$	0,8502
RL	$\hat{y} = 0,0167 + 0,0011^{**}x$	0,8752
RY	$\hat{y} = \bar{y} = 0,0274$	-
LA	$\hat{y} = 0,004 + 0,0014^{**}x$	0,8450

<sup>1</sup>TC= Luvisolo Crômico; SN= Planossolo Nátrico; RR= Neossolo Regolítico; RL= Neossolo Litólico; RY; Neossolo Flúvico; LA= Latossolo Amarelo. Fonte: Autoria própria.

## 5. CONCLUSÃO

A análise constatou que a aplicação de P aumentou o fluxo difusivo do fosfato nos solos estudados.

O Fluxo difusivo de P foi maior no Planossolo e menor no Neossolo flúvico.

## 6. REFERÊNCIAS

ARRUDA, J.A.; ESTRELA, J. W. M.; FREIRE, J. L. O.; SANTOS, S. J. A.; fósforo remanescente em solos do Seridó Paraibano, **Principia**, v. 1, n.35, p. 42-49, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-03062015v1n35p42-49>.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisas e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. I. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado da Paraíba. II. Interpretação para uso agrícola dos solos do estado da Paraíba. Rio de Janeiro, 1972. 683p. (**Boletim Técnico, 15; Série Pedologia, 8**). Disponível em: <file:///C:/Users/Cliente/Downloads/EPFS-BT-15-1972.pdf>. Acesso em: 23/11/2021.

BASTOS, A.L.; COSTA, J.V.P.; SILVA, I.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, p. 136-142, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000200005>.

BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **R. Ceres**, 21:73-85, 1974.

BERWANGER, L. P; CERETTA, C. A; SANTOS, D. R. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 2525- 2532, 2008.

COSTA, J.P.V; BARROS, N.F; ALBUQUERQUE, A.W; MOURA FILHO, G; SANTOS, J.R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **R Bras.Eng. Agric. Ambiental** 2006;10:828-35. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000400007>.

COSTA, H.S. Cinética de sorção e disponibilidade de fósforo em função do tempo de contato do fósforo com o solo. Areia Universidade Federal da Paraíba/Centro de Ciências Agrárias,, 2010.56f. (Tese de Doutorado)

COSTA, J.P.V.; BASTOS, A.L.; REIS, L.S.; MARTINS, G.O.; SANTOS, A.F. Difusão de fósforo em solos de Alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade. **Caatinga**, v. 22, p. 229-235, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/1227/pdf>. Acesso em: 24/11/2021.

COSTA, JPV. Fluxo difusivo de fósforo e de potássio em latossolos. Universidade Federal de Viçosa, 1998.67p. (Tese de Doutorado)

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. Ciênc. agrotec. [online]. 2014, vol.38, n.2, pp. 109-112. Disponível em: ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

GODINHO, V. DE P. C.; SAMPAIO, R. A.; ALVAREZ VENEGAS, V. H.; RUIZ, H. A. Adsorção de fosfatos em três solos da região Semi-Árida do Rio Grande do Norte. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.32, n.8, p.19-823, 1997. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Hugo-Ruiz-8/publication/277837359\\_Adsorcao\\_de\\_fosfatos\\_em\\_tres\\_solos\\_da\\_regiao\\_semi-arida\\_do\\_Rio\\_Grande\\_do\\_Norte/links/558034da08aea3d7096e43b9/Adsorcao-de-fosfatos-em-tres-solos-da-regiao-semi-arida-do-Rio-Grande-do-Norte.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Hugo-Ruiz-8/publication/277837359_Adsorcao_de_fosfatos_em_tres_solos_da_regiao_semi-arida_do_Rio_Grande_do_Norte/links/558034da08aea3d7096e43b9/Adsorcao-de-fosfatos-em-tres-solos-da-regiao-semi-arida-do-Rio-Grande-do-Norte.pdf). Acesso em: 25/11/2021

HORST, W. J.; KAMH, M; JIBRIN, J. M.; CHUDE, V. O. Agronomic measurements for increasing P availability to crops. Plant and Soil, v.237, n.2, p.211-223, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1013353610570>.

NOVAIS, R. F., SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV, DPS, 1999. 399p.

NUNES, F.N.; NOVAIS, R.F. ; SILVA, I.R.; GEBRIM, F.O.; SÃO JOSÉ, J.F.B. Fluxo difusivo de ferro em solos sob influência de doses de fósforo e de níveis de acidez e umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v. 28, n.1, p. 423-429, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000300003>.

OLIVEIRA, CV.; BAHIA, V.G. & PAULA, M. B. Compactação do solo devido a mecanização florestal: causas , efeitos e práticas de controle. Inf. Agropec.,191:46, 1998.

OLIVEIRA, M.F.G.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; ALVES, V.M.C.; VASCONCELLOS, C.A. Fluxo difusivo de zinco em amostras de solo influenciado por textura, íon acompanhante e pH do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, p. 609-615, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000300014>.

OLIVEIRA, E.M.M; RUIZ, H.A; FERREIRA, P.A; ALVAREZ, V.H; JÚNIOR, J.C.F.B. Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão de fosfato, potássio e amônio em solos de Minas Gerais. **R Bras. Eng. Agric. Ambiental**. 2004;8:196-03. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662004000200006>.

OLIVEIRA FH, NOVAIS RF, SMYTH TJ & NEVES JC (2000) Aluminum diffusion in Oxisols as influenced by soil water matric potential, pH, lime, gypsum, potassium chloride, and calcium phosphate. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 31:2523-2533. <https://doi.org/10.1080/00103620009370606>

PEREIRA, J. R.; FARIA, C. M. B. Sorção de fósforo em alguns solos do Semi-árido do Nordeste brasileiro. Pesquisa Agropecuária brasileira, v. 33, n. 1, p. 1179-1184, 1998. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/132824>. Acesso em: 28/11/2021.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 170p. Disponível em: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=BINAI.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=003545>. Acesso em: 01/12/2021.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1991. 343p.  
Disponível em:  
<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=agrono.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=003959>. Acesso em: 01/12/2021.

SALCEDO, I. H. . Biogeoquímica do fósforo em solos da região semi-árida do NE do Brasil. **Revista de Geografia**, v. 23, p. 108-123, 2006. Disponível em:  
<file:///C:/Users/Cliente/Downloads/228677-63705-1-PB.pdf>. Acesso em: 29/11/2021.

SANTNER, J; MANNEL, M; BURRELL, L.D; HOEFER, C; KREUZEDER, A; WENZEL, W.W. Phosphorus uptake by Zea mays L. is quantitatively predicted by infinite sink extraction of soil P. *Plant Soil*. 2015;386:371-83.  
<https://doi.org/10.1007/s1104-014-2271-x>

SPARKS, D. L. Sorption Phenomena on Soils. In: \_\_. **Environmental Soil Chemistry**. 2ed, Academic Press, cap 5, p. 135-185, 325p. 2003.  
Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=qY\\_1pJHHLIC&oi=fnd&pg=PP2&dq=SPARKS,+D.+L.+Sorption+Phenomena+on+Soils.+In:+.Environmental+Soil+Chemistry.+2ed,+Academic+Press,+cap+5,+p.+135-185,+325p.+2003.+&ots=67jayG7Z6D&sig=ilDQiJinfSTDMGvyWXSeTaYudc#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=qY_1pJHHLIC&oi=fnd&pg=PP2&dq=SPARKS,+D.+L.+Sorption+Phenomena+on+Soils.+In:+.Environmental+Soil+Chemistry.+2ed,+Academic+Press,+cap+5,+p.+135-185,+325p.+2003.+&ots=67jayG7Z6D&sig=ilDQiJinfSTDMGvyWXSeTaYudc#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 29/11/2021.

SIMS, J. T.; PIERZYNSKI, G. M. Chemistry of phosphorus in soils. **Chemical processes in soils**, v. 8, p. 151-192, 2005. <https://doi.org/10.2136/sssabookser8.c2>.

SILVA, R. S.; BARROS, N. F.; SOUZA, C. M. Fluxo difusivo de fósforo e zinco influenciado pela compactação de dois solos. *Revista Ceres*. 2008, p. 619-624.  
Disponível em: <http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/3384>. Acesso em: 01/12/2021.

Texeira, P. C. et al. Manual de métodos de análise de solos. 3.ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2017. 573 p. Disponível em:  
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181717/1/Manual-de-Metodos-de-Analise-de-Solo-2017.pdf>. Acesso em: 10/11/2021.

TRENKEL, M.E. Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture. 2nd ed, Paris: IFA; 2010. Disponível em:  
[https://www.fertilizer.org/images/Library\\_Downloads/2010\\_Trenkel\\_slow%20release%20book.pdf](https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2010_Trenkel_slow%20release%20book.pdf). Acesso em: 28/11/2021.

VAN DER ZEE, S. E. A. T. M.; FOKKINK, L. G. J.; VAN RIEMSDIJK, W. H. A. New technique for assessment of reversibly adsorbed phosphate. **Soil Science Society of America Journal**, v.51,n.3, p.599-604, 1987.

<https://doi.org/10.2136/sssaj1987.03615995005100030009x>.

VILLANI, E.M A. Fluxo difusivo do fósforo influenciado por fontes e por tempo de contato do fósforo com o solo. Viçosa: UFV, 1995. 57p. (Dissertação Mestrado)

VINHAL-FREITAS, I.C.; MALDONADO, A.C.D.; ALVARENGA, C.B.; CAMARGO, R.; WENDLING, B. Adsorção e dessorção de metais no solo e coeficientes de isotermas de Freundlich e Langmuir. *Agropecuária Técnica*, v. 31, n. 2, p. 153-163, 2010. <https://doi.org/10.25066/agrotec.v31i2.4516>.

## Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

### Monografia/Especialização

**Assunto:** Monografia/Especialização  
**Assinado por:** José Estrela  
**Tipo do Documento:** Dissertação  
**Situação:** Finalizado  
**Nível de Acesso:** Ostensivo (Público)  
**Tipo do Conferência:** Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- José Wellington de Medeiros Estrela, ALUNO (201813300006) DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO DOS RECURSOS AMBIENTAIS DO SEMIÁRIDO - CAMPUS PICUÍ, em 19/03/2022 15:45:43.

Este documento foi armazenado no SUAP em 19/03/2022. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 466946

Código de Autenticação: 619eb38e62

