

Fósforo disponível extraído por Mehlich 1 e Olsen em Luvisolo sob agroecossistemas do Semiárido brasileiro

Kalline Almeida Alves Carneiro¹, Letícia Moro², Rodrigo Santana Macedo³, Raimundo Nonato de Araújo Neto⁴, Cristiano dos Santos Sousa⁵, Alexandre Pereira de Bakker⁶

¹Doutora em Ciência do Solo, Instituto Nacional do Semiárido, Brasil. (*Autor correspondente: kalline.carneiro@insa.gov.br)

²Doutora em Ciência do Solo, Instituto Nacional do Semiárido, Brasil.

³Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Instituto Nacional do Semiárido, Brasil.

⁴Laboratorista, Instituto Nacional do Semiárido, Brasil.

⁵Mestre em Ciência do Solo, Universidade Estadual da Paraíba, Brasil.

⁶Doutor em Mineralogia de Solos, Instituto Nacional do Semiárido, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 22/11/2022 – Revisado em: 02/12/2022 – Aceito em: 28/12/2022

RESUMO

O fósforo (P) é um dos macronutrientes do solo essenciais para os ecossistemas. Objetivou-se avaliar os teores de P disponível extraídos por Mehlich 1 e Olsen em solos sob diferentes manejos em agroecossistemas do Semiárido brasileiro. As amostras de solo foram coletadas na camada de 0 a 10 cm de Luvisolo Crômico dos sistemas de manejo: Caatinga sob pastejo (CP), silviagrícola (AS) e monocultivo (SM), localizados no município de Boqueirão, Paraíba, Brasil. Foi realizada a extração de P com os extratores Mehlich 1 e Olsen. Em geral, o P disponível apresentou maiores valores para extração com Mehlich 1. Os maiores teores de P foram obtidos no sistema silviagrícola (AS) seguido da Caatinga sob pastejo e do monocultivo. O uso de diferentes métodos para determinar o P disponível no solo ser melhor entendido, o extrator Olsen é uma alternativa a ser considerada devido ao seu potencial para a correta determinação do teor de P disponível em Luvisolo Crômico sob diferentes manejos no Semiárido.

Palavras-Chaves: Caatinga, Monocultura, Palma forrageira, Agrofloresta, Desertificação.

Available phosphorus extracted by Mehlich 1 and Olsen in Luvisol of agroecosystems in the Brazilian semiarid

ABSTRACT

Phosphorus (P) is one of the essential soil macronutrients for ecosystems. The objective of this study was to evaluate the most appropriate method for the levels of available P extracted by (Mehlich 1 and Olsen) in soils under different managements in agroecosystems of the Brazilian semi-arid region. Soil samples were collected in the layer from 0 to 10 cm of Luvisol under management systems: Caatinga under grazing (CP), silvicultural (AS) and monoculture (SM), located in the municipality of Boqueirão, Paraíba, Brazil. P extraction was performed with Mehlich 1 and Olsen extractors. The highest P contents were obtained in the silvicultural system (AS) followed by the Caatinga under grazing and monoculture. The use of different methods to determine the available P in the soil to be better understood, the Olsen extractor is an alternative to be considered due to its potential for the correct determination of the available P content in Luvisol under different managements in the semiárido.

Keywords: Caatinga, Monoculture, Forage palm, Agroforestry, Desertification.

Carneiro, K.A.A., Macedo, R.S., Araújo Neto, R.N., Sousa, C.S., Bakker, A.P. (2023). Fósforo disponível extraído por Mehlich 1 e Olsen em Luvisolo sob agroecossistemas do Semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v.11, n.1, p.165-173.



1. Introdução

Os sistemas agrícolas e o manejo do solo modificam o ambiente natural, principalmente em regiões secas, como é o caso do Semiárido brasileiro (SAB), tornando esta região muito suscetível à degradação e conseqüentemente à desertificação (Nascimento, 2019). Nestas condições, a dinâmica dos nutrientes é afetada, e ainda é pouco conhecido o efeito destes processos sobre as propriedades químicas de solos do SAB. Dentre os nutrientes, o fósforo (P) assume grande importância agrônômica por ser um elemento essencial para o crescimento das plantas.

Porém, a aplicação excessiva deste nutriente por meio de adubações tem causado a sua perda para o ambiente, implicando principalmente na eutrofização de corpos hídricos. A degradação da qualidade dos corpos d'água é o resultado direto do aumento significativo de insumos agrícolas. A segurança alimentar e hídrica global depende da gestão do P, apoiando a produção de alimentos, protegendo o abastecimento de água (Haygarth et al., 2014). Cerca de 60% do fertilizante fosfatado inorgânico usado na agricultura brasileira é importado e se estima que as reservas totais de rochas fosfáticas atualmente disponíveis para exploração no Brasil serão esgotadas em cerca de 50 anos (Withers et al., 2018).

O desafio atual é criar estratégias para usar o P de maneira mais eficiente, objetivando a produção sustentável e a preservação dos solos, evitando o esgotamento natural do mesmo, degradação do meio ambiente ou ameaças ao bem-estar humano. A gestão adequada da adubação fosfatada começa pela correta medição do teor de P disponível para as plantas no solo. Conhecer o nível de P disponível no solo é extremamente importante para gerir o fornecimento de P da fase sólida para a solução do solo e em seguida a sua absorção pelas plantas. Assim, o uso de métodos adequados de extração permite fazer recomendações de adubações para diferentes tipos de solo resultando em benefícios econômicos e ambientais (Koralage et al., 2015).

O método de ácido duplo, designado Mehlich 1, foi introduzido em 1953. O extrator Mehlich 1 é constituído por $\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$. Este método tem como princípio a solubilização do elemento fósforo a partir da redução do pH associado com o íon Cl^- e o SO_4^{2-} que restringe a readsorção dos fosfatos recém extraídos (Teixeira et al., 2017). Devido ao Mehlich 1 solubilizar P por meio de dissolução ácida, solubilizando em ordem decrescente formas de P-Ca, P-Fe e P-Al, o uso desse extrator tem recebido críticas, por superestimar os teores disponíveis do íon fosfato nos solos (Santos et al., 2015; Souza, Pegoraro & Reis, 2017). O método ficou além das expectativas quando usado em solos neutros a alcalinos e onde a apatita é a fonte predominante de P disponível para as plantas (Mehlich, 1984).

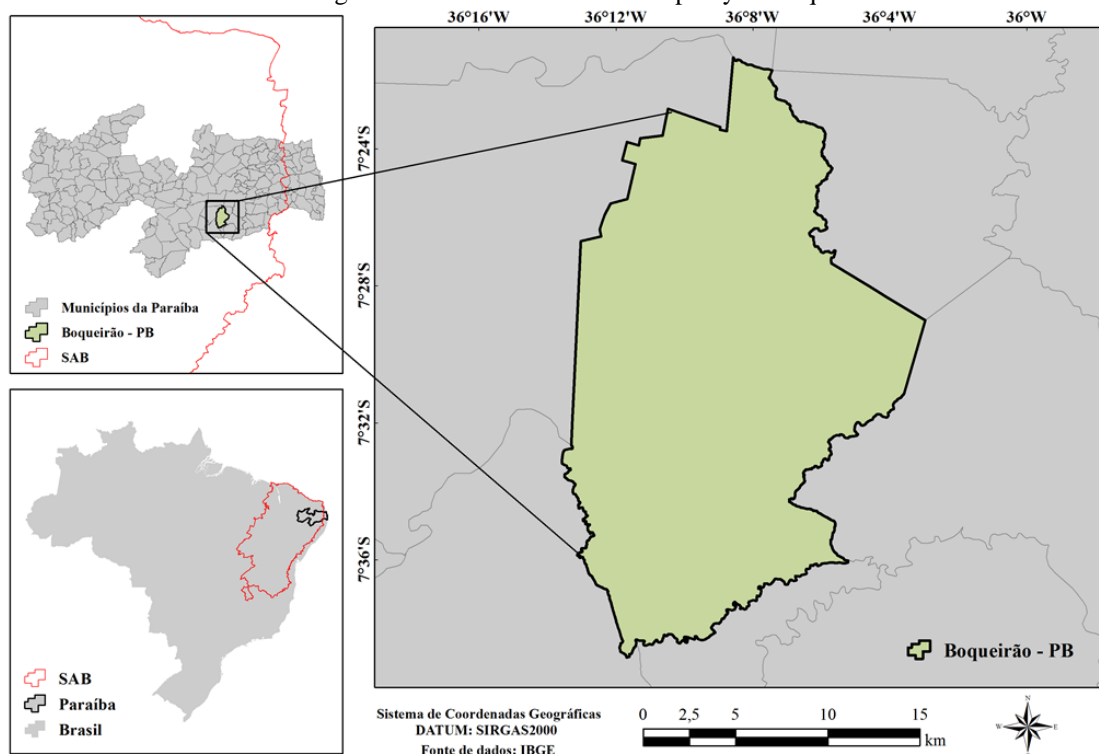
Métodos alternativos ao Mehlich 1 podem apresentar melhores resultados para as condições específicas que os solos do SAB apresentam. O método de extração introduzido por Olsen et al. (1954) é utilizado preferencialmente para solos calcáreos, mas também apresenta resultados razoáveis também para solos não calcáreos (Frank et al., 1998). O extrato de Olsen reduz a concentração de Ca^{2+} em solução à medida que o CaCO_3 precipitado e, portanto, promove a dissolução do fosfato de Cálcio; o pH alto aumenta ainda mais a desorção de fosfato das superfícies de óxido de Al e Fe (Schoenau & O'Halloran, 2007).

Diante o exposto, esta pesquisa objetivou avaliar os teores de fósforo disponível extraídos com Mehlich 1 e Olsen em Luvisolo Crômico sob agroecossistemas do Semiárido brasileiro.

2. Material e Métodos

O estudo foi realizado em três agroecossistemas familiares em processo de transição agroecológica, localizados no município de Boqueirão ($7^{\circ}23'55,7''\text{S}$ e $36^{\circ}12'22,7''\text{O}$; 425 m), região semiárida do estado da Paraíba. O município encontra-se inserido no Complexo Cabaceiras, constituído por ortognaisses granodiorítico (Jacomine et al., 1972) (Figura 1). O solo das áreas avaliadas é classificado como Luvisolo Crômico segundo o SiBCS (2018).

Figura 1 – Localização do Município de Boqueirão
 Figure 1 – Location of the Municipality of Boqueirão



Fonte: Os autores
 Source: The authors

O clima da região é do tipo BSh (Alvares et al., 2013), com precipitação média anual inferior a 700 mm. Os diferentes sistemas de manejo avaliados nos agrossistemas familiares foram: Caatinga sob pastejo (CP), silviagrícola (AS) e monocultivo (SM) (Tabela 1).

Tabela 1 - Histórico de uso dos diferentes sistemas de manejo do solo em agroecossistemas familiares no município de Boqueirão, Paraíba, Brasil
 Table 1 - History of use of different soil management systems in family agroecosystems in the municipality of Boqueirão, Paraíba, Brazil

Uso do Solo	Descrição dos sistemas de manejo
BOQUEIRÃO	
CP – Caatinga sob pastejo	Área de Caatinga hiperxerófila com aproximadamente 40 anos, utilizada para pastejo contínuo. Na área encontram-se espécies de cactáceas: cardeiro, facheiro, coroa de frade (<i>Melocactus violaceus</i> Pfeiff), xique-xique, palmatória-de-pelo (<i>Tacinga inamoena</i> Ka.shum.), palmatória de espinho (<i>Tacinga palmadora</i> Britton & Rose) e gogóia (<i>Tacinga subcylindrica</i> M. C. Machado & N. P Taylor); além de espécies arbóreas como catingueira, jurema preta, Jurema branca (<i>Piptadenia stipulacea</i> (BENTH) Ducke), pereiro,

juazeiro, canafístula, e aroeira.

AS – Sistema silviagrícola	Plantio consorciado, iniciado em 2010, com cultivo de duas variedades de palma forrageira: orelha de elefante e doce miúda em conjunto com espécies arbóreas: gliricídea (<i>Gliricidea sepium</i> (Jacq.) Steud.) e leucena (<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit); e frutíferas: acerola, seriguela (<i>Spondias purpurea</i> L.) e pinha.
SM – Sistema de monocultivo	Cultivo de palma forrageira da variedade orelha de elefante (4 anos de idade), em sequeiro. Na área é realizado o roço durante a estiagem e os restos vegetais são deixados sobre o solo, como proteção e adubo.

Fonte: Lambais et al., 2021
Source: Lambais et al. (2021)

Para cada sistema de manejo, foram coletadas 3 amostras de solo na camada de 0 a 10 cm. As amostras foram secas em estufa de circulação forçada a 60 °C até atingir massa constante, posteriormente moídas e passadas em peneira com malha de 2 mm para a caracterização física e química (Tabela 2 e 3). As metodologias adotadas foram as descritas por (Teixeira, 2017) e Klein (2014). A classe textural foi definida com o auxílio do triângulo textural (Soil Survey Staff, 2017).

Tabela 2 - Caracterização física de solos (0-10 cm) em diferentes sistemas de manejo do solo em agroecossistemas familiares no município de Boqueirão, Paraíba, Brasil⁽¹⁾

Table 2 - Physical characterization of soils (0-10 cm) under different soil management systems in family agroecosystems in the municipality of Boqueirão, Paraíba, Brazil⁽¹⁾

	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
	g kg ⁻¹			
CP ⁽²⁾	687	186	126	Franco Arenoso
SM ⁽³⁾	506	214	280	Franco Argiloso Arenoso
AS ⁽⁴⁾	645	175	262	Franco Argiloso Arenoso

⁽¹⁾ Análises de solo realizadas de acordo com a metodologia descrita pela Klein (2014); ⁽²⁾ Caatinga sob pastejo; ⁽³⁾ Sistema de monocultivo; ⁽⁴⁾ Sistema silviagrícola

⁽¹⁾ Soil analysis carried out according to the methodology described by Klein (2014); ⁽²⁾ Caatinga under grazing; ⁽³⁾ Monoculture system; ⁽⁴⁾ Silvicultural system

Tabela 3 - Caracterização química do solo (0-10 cm) em diferentes sistemas de manejo do solo em agroecossistemas familiares no município de Boqueirão, Paraíba, Brasil. ⁽¹⁾

Table 3 - Soil chemical characterization (0-10 cm) in different soil management systems in family agroecosystems in the municipality of Boqueirão, Paraíba, Brazil.

	pH H ₂ O	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	COT	MO	P _{Mehlich1}
	1:1	cmol _c kg ⁻¹				g kg ⁻¹	%	mg kg ⁻¹
CP ⁽²⁾	8,0	0,3	5,0	1,5	0,7	4,8	0,8	54,0
SM ⁽³⁾	7,2	3,2	3,9	3,3	1,7	13,8	2,4	2,1

AS ⁽⁴⁾	7,2	3,3	3,1	3,4	0,6	21	3,6	104,0
-------------------	-----	-----	-----	-----	-----	----	-----	-------

⁽¹⁾Análises de solo realizadas de acordo com a metodologia descrita pela Embrapa (2017); ⁽²⁾Caatinga sob pastejo; ⁽³⁾Sistema de monocultivo; ⁽⁴⁾Sistema silviagrícola

⁽¹⁾ Soil analysis carried out according to the methodology described by Embrapa (2017); ⁽²⁾ Caatinga under grazing; ⁽³⁾ Monoculture system; ⁽⁴⁾ Silviagricultural system

Nestas amostras realizou-se a extração de P disponível com os métodos: i) Mehlich 1 (Mehlich, 1953); e ii) Solução de NaHCO₃ 0,5N a pH 8,5 (Olsen et al., 1953). A determinação do P nos extratos foi realizada de acordo com a metodologia pela Embrapa (2017). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativos pelo teste F, foi aplicado o teste de médias de Scott-Knott ao nível de significância de 5% (p-valor < 0,05) com o auxílio do Software R (Coreteam, 2013).

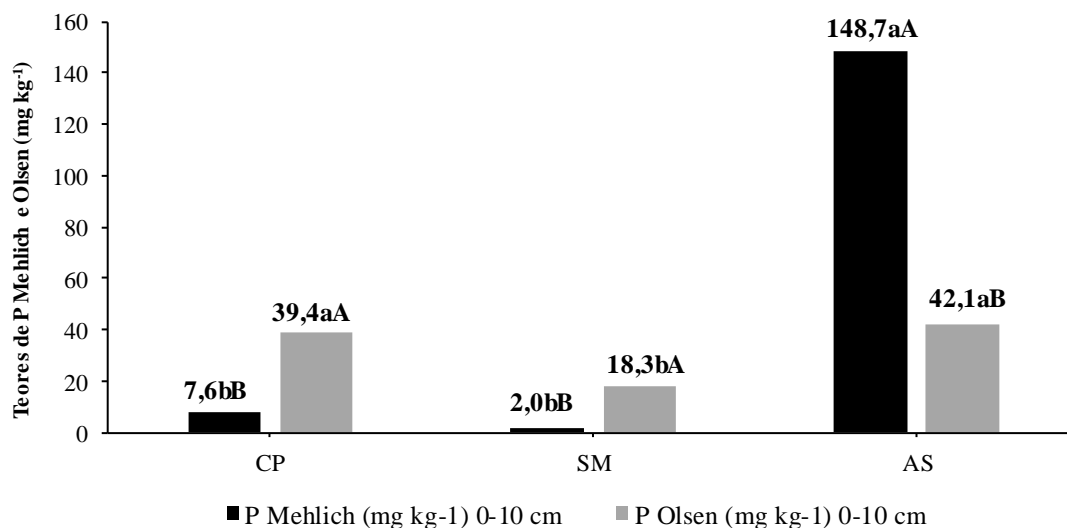
3. Resultados e Discussão

Os teores de P disponível variaram consideravelmente entre os sistemas de manejo e entre os métodos de extração. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 1. Os valores obtidos para ambos os extratores tiveram a seguinte sequência: silviagrícola (AS) > Caatinga sob pastejo (CP), > monocultivo. Enquanto quando se comparou os teores de P disponível extraído por Mehlich 1 e Olsen o comportamento foi bastante distinto dentro de cada sistema de cultivo (Figura 2).

Figura 2 - Teores de P Mehlich 1 e P Olsen em solos sob diferentes sistemas manejos em agrossistemas familiares, localizados no município de Boqueirão, Paraíba, Brasil

Figure 2 - P Mehlich 1 and P Olsen contents in soils under different management systems in family agrosystems, located in the municipality of Boqueirão, Paraíba, Brazil

P Mehlich e P Olsen - Município de Boqueirão



Letras diferentes dentro de cada agroecossistema indica diferença significativa entre os extratores Mehlich 1 e Olsen a 5% de significância pelo teste de médias de Scott-Knott

CP (Caatinga sob pastejo); SM (Sistema de monocultivo); (AS) Sistema silviagrícola

Different letters within each agroecosystem indicate a significant difference between Mehlich 1 and Olsen extractors at 5% significance by the Scott-Knott mean test

CP (Caatinga under grazing); SM (Monoculture system); (AS) Silviagricultural system

Assim, verifica-se que a labilidade do P, nas condições avaliadas, é regida pelas propriedades intrínsecas do Luvissoilo Crômico e pelo tipo de uso da terra a que este solo é submetido. De maneira geral, os teores de P extraídos por Olsen são mais próximos do que realmente está disponível para a absorção pelas plantas. Isso se deve ao fato de os solos das áreas avaliadas terem pH neutro a alcalino (entre 7,2 e 8,0) (Tabela 3). O contato do solo alcalino com uma solução ácida (Mehlich 1), que tem pH inicial de 1,2 (Novais & Smyth, 1999), resulta em um extrato ácido, esta grande diferença de pH acarreta na extração de íons não disponíveis para a solução do solo, em contrapartida, quando o solo está em contato com o extrator básico (Olsen), que tem pH próximo ao do Luvissoilo em estudo, o extrato permanece com um pH básico.

Manghabati et al. (2018), ao comparar extratores de P em solos ácidos e alcalinos, mostraram que o pH do solo influenciou fortemente os resultados obtidos pelos métodos e que essa característica deve ser considerada na extração de P. Em pH mais elevado ($\text{pH} > 7$) e menor ponto de carga zero (PCZ), há predominância de cargas negativas e da atividade do ânion HPO_4^{2-} e em $\text{pH} < 7$, a atividade é a do ânion H_2PO_4^- , pois, o valor do PCZ diminui conforme o aumento da adsorção e redução na dessorção de P (Barrow, 2017). Assim, nos agroecossistemas avaliados ocorre a predominância da atividade aniônica HPO_4^{2-} .

A solução de Mehlich 1 solubiliza o P por meio de dissolução ácida, solubilizando em ordem decrescente formas de P-Ca, P-Fe e P-Al (Souza et al., 2017). Silva & Raij (1999) relatam que o extrator Mehlich 1 dissolve predominantemente o fósforo ligado ao cálcio e quantidades menores de fósforo ligado a ferro e alumínio. Além disso essas ligações entre P e íons ou moléculas ao longo do tempo tornam-se mais fortes (monodentadas < bidentadas < binucleadas), diminuindo sua reversibilidade (Gatiboni et al., 2007). Ou seja, a solução de Mehlich 1 é capaz de acessar formas de P que não estão disponíveis às plantas. Já para o extrator de Olsen, o princípio do método é a liberação do fósforo ligado a ferro e alumínio em pH elevado (Albuquerque et al., 2018).

O sistema silviagrícola (AS) é caracterizado por um alto aporte de resíduos orgânicos ao solo refletindo em um teor mais elevado de MO quando comparado a outros sistemas de manejo (Tabela 3). A MO costuma apresentar quantidades consideráveis de P, porém, a maior parte encontra-se imobilizado, assim é necessário que a MO passe pelo processo de decomposição e mineralização. Com base nos resultados observados, a MO tem sido fonte de P para o solo (P orgânico), tendo em vista os maiores teores de P em comparação aos demais sistemas de manejo. No entanto, o teor de P disponível por Mehlich 1 está superestimado. A solução extratora ácida de Mehlich 1, por conter ácidos fortes (HCl e H_2SO_4), deve estar atacando fortemente a MO do solo e liberando P imobilizado (fração não lábil), que demoraria um longo período de tempo para ser mineralizado e disponibilizado para as plantas. Além disso, o maior teor de MO em AS contribui para a diminuição da sorção de P, uma vez que compete pelos mesmos sítios de sorção, ligando-se aos óxidos de Fe e de Al, favorecendo maior disponibilidade de P na solução do solo (Zhang et al., 2015).

Os menores teores de P na área de monocultivo (SM) quando comparados aos demais são reflexo do exaurimento do solo causado pela extração sucessiva de nutrientes pela palma forrageira em SM sem a adequada reposição via adubação. Nos sistemas de Caatinga sob pastejo (CP) e monocultivo (SM) os teores de P disponível extraídos por Olsen foram maiores que os extraídos por Mehlich 1. Assim, verifica-se que do ponto de vista do P, nas condições avaliadas, sua dinâmica é mais equilibrada no sistema silviagrícola, seguida da Caatinga sob pastejo e do monocultivo. Com isso, sistemas que integrem diferentes espécies de plantas de maneira equilibrada são mais recomendados em áreas em que a Caatinga original foi convertida em outros usos da terra.

Tanto na Caatinga sob pastejo (CP) quanto no monocultivo (SM) os teores de P disponível foram maiores quando extraídos por Olsen em relação aos extraídos por Mehlich 1. Tal situação é explicada pelas fontes de P nestes sistemas de manejo serem majoritariamente provenientes da fase mineral do solo, P inorgânico, diferentemente do sistema silviagrícola.

O uso de diferentes métodos para extrair o P disponível do solo para as plantas precisa ser melhor entendido, incluindo o teste de diferentes métodos, classes de solo, bem como fracionamento do P, a fim de

que sejam obtidos resultados os mais próximos possível da realidade, com o objetivo da realização de diagnósticos mais precisos, seja para monitoramento ambiental ou recomendação de adubação fosfatada.

4. Conclusão

O sistema silviagrícola apresenta os maiores teores de P disponível extraído tanto por Mehlich 1 quanto por Olsen, seguido da Caatinga sob pastejo e do Monocultivo.

A extração de P disponível com o método proposto por Olsen, sob as condições avaliadas, apresenta resultados mais coerentes do que está de fato disponível no solo para a absorção pelas plantas, devido à maior compatibilidade da solução extratora de Olsen com o solo.

A labilidade do P é afetada pelos sistemas de manejo sobre Luvisolo Crômico do Semiárido brasileiro, especialmente no que diz respeito ao aporte de matéria orgânica do solo. Estes fatores devem ser levados em consideração na escolha do método de extração de P nas análises de solo.

5. Agradecimentos

Ao Instituto Nacional do Semiárido – INSA e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo apoio para o desenvolvimento desta pesquisa. Assim como ao Núcleo de Solos e Mineralogia do INSA pela irmandade e disponibilidade dos laboratórios para a realização das análises químicas e físicas.

6. Referências

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Moraes Gonçalves, J. L. De., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6), 711-728.

Albuquerque, A. S., Fonsêca, N. C., Santos, R. V., Medeiros, W. P. (2018). Atributos químicos em solo salino-sódico e efeito do ácido sulfúrico no crescimento da *Prosopis juliflora*. **Revista de Ciências Agrárias**. V. 61, 1-8.

Barrow, N. J. (2017). The effects of pH on phosphate uptake from the soil. **Plant and Soil**, (410), 401– 410.

Embrapa (2017). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 574.

Gatiboni, L. C., Kaminski, J., Rheinheimer, D. S., Flores, J. P. C. (2007). Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, 691-699.

Haygarth, P. M., Jarvie, H. P., Powers, S. M., Sharpley, A. N., Elser, J. J., Shen, J., Peterson, H. M., Chan, N. L., Howden, N. J. K., Burt, T., Worrall, F., Zhang, F., & Liu, X. (2014). Sustainable Phosphorus Management and the Need for a Long-Term Perspective: The Legacy Hypothesis. **Environmental Science & Technology**, (48), 8417-8419.

Jacomine, P. K. T., Ribeiro, M., Montenegro, J., da Silva, A. P., & Melo Filho, H. F. R. (1972). **I. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. II. Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: Convênio de Mapeamento de Solos MA/EPE-SUDENE/DRN Convênio MA/CONTAP/USAID/Brasil.

Leon, M. E. (1998). **Uma análise de redes de cooperação das pequenas e médias empresas do setor das telecomunicações**. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

ManghabatI, H., Kohlpaintner, M., Ettl, R., Mellert, K., Blum, U., & Göttlein, A. (2018). Correlating phosphorus extracted by simple soil extraction methods with foliar phosphorus concentrations of *Picea abies* (L.) H. Karst. and *Fagus sylvatica* (L.). **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 181(4), 547–556.

Koralage, I. S.A., Weerasinghe, P., Silva, N. R. N., Silva, C. S. (2015). The determination of available phosphorus in soil: a quick and simple method. **OUSL Journal**, v. 8, 1-17.I.

Mehlich, A. J. N. C. S. T. D. (1953). Determination of P, Ca, mg, K, Na, and NH₄. **North Carolina Soil Test Division (Mimeo 1953)**. 23-89.

Mehlich, A. (1984). Mehlich 3 soil test extractants: A modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in soil science and plant analysis**. v. 15, n. 12, 1409-1416.

Nascimento, M. N. B. (2019). **Atividade microbiana em diferentes manejos do solo nos municípios de Queimadas e Boqueirão**. 2019. 27 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Biologia). Universidade Estadual da Paraíba – Campina Grande.

Novais, R.F. & Smyth, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399.

Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. **US Department of Agriculture**. v. 939, 1–19.

Santos, L. S., Silva, L. S., Filho Cargnelutti, A., Griebeler, G. (2015). Quantidade de fósforo extraído pelas soluções de Mehlich-1 e Mehlich-3 em razão de diferentes velocidades de agitação, tempos de contato e temperaturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, 109-119.

Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H.C., Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araújo Filho, J. C., Oliveira, J. B., Cunha, T. J. F. (2018). **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 5ª edição. Revista e Ampliada. Embrapa, 1 – 590.

Schoenau, J. J & O'halloran, I. P. (2007). Sodium bicarbonate-extractable phosphorus. In: Carter M.R., Gregorich E.G. (eds): **Soil Sampling and Methods of Analysis**. Boca Raton, Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, 89–94.

Silva, F. C., Rajj, B. V. (1999). Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**.v. 34, n. 2, 267-288.

Soil Science Division Staff. (2017). **Soil survey manual**. 18.ed. Washington: Government Printing Office.

Souza, R. P. D.; Pegoraro, R. F.; Reis, S. T. (2017). Disponibilidade de fósforo e produção de biomassa de pinhão manso em solos com distintas texturas e doses de fósforo. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 11, n. 1, 1-10.

Team, R. C. (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical

Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

Withers, P. J. A., Rodrigues, M., Soltangheisi, A., Carvalho, T. S., Guilherme, L. R. G., Benites, V. M., Gatiboni, L. C., Sousa, D. M. G., Nunes, R. S., Rosolem, C. A., Andreote, F. D., Jr Oliveira, A., Coutinho, E. L. M., Pavinato, P. S.(2018). Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Nature Scientific Reports**. v. 8, n. 1, 2537.

Zhang, L., Loáiciga, H. A., Xu, M., Yun Du, C. D. (2015). Kinetics and Mechanisms of Phosphorus Adsorption in Soils from Diverse Ecological Zones in the Source Area of a Drinking-Water Reservoir. **International Journal of Environmental Research**. v. 12, 14312-14326.