



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

ARTHUR ALLAN SENA DE OLIVEIRA

**EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO DA SOLUÇÃO DE
EQUILÍBRIO UTILIZADA PARA ANÁLISE DO FÓSFORO
REMANESCENTE EM SOLOS DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL**

MOSSORÓ – RN

2017

ARTHUR ALLAN SENA DE OLIVEIRA

**EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO DA SOLUÇÃO DE
EQUILÍBRIO UTILIZADA PARA ANÁLISE DO FÓSFORO
REMANESCENTE EM SOLOS DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Fertilidade do Solo e Adubação.

Orientador: Prof. Fábio Henrique Tavares de Oliveira.

Co-orientadora: Dra. Welka Preston Leite Batista da Costa Alves

MOSSORÓ – RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

O48e Oliveira, Arthur Allan Sena de.
Efeito da concentração de fósforo da solução de equilíbrio utilizada para análise do fósforo remanescente em solos da região Nordeste do Brasil / Arthur Allan Sena de Oliveira. - 2017.
47 f. : il.

Orientador: Fábio Henrique Tavares de Oliveira.
Coorientadora: Welka Preston Leite Batista da Costa Alves.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2017.

1. Sorção. 2. Semiárido. 3. Fator Capacidade.
I. Oliveira, Fábio Henrique Tavares de, orient.
II. Costa Alves, Welka Preston Leite Batista da, co-orient. III. Título.

ARTHUR ALLAN SENA DE OLIVEIRA

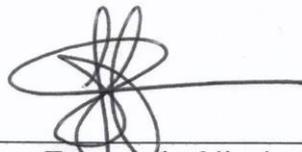
**EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO DA SOLUÇÃO DE
EQUILÍBRIO UTILIZADA PARA ANÁLISE DO FÓSFORO
REMANESCENTE EM SOLOS DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Fertilidade do Solo e Adubação.

Aprovada em: 17 de agosto de 2017.

BANCA EXAMINADORA:



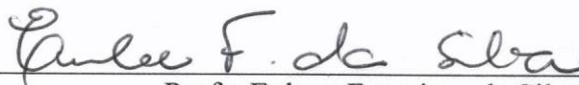
Prof. Fábio Henrique Tavares de Oliveira (UFERSA)
Orientador



Dra. Welka Preston Leite Batista da Costa Alves (PNPD/CAPES/UFERSA)
Examinadora



Profa. Hemmannuella Costa Santos (UFPB)
Examinadora



Profa. Eulene Francisco da Silva (UFERSA)
Examinadora

A Deus,
por tudo.

A minha mãe, Jeine Souza Sena, ao meu pai, Gilberto Clementino, a minha irmã Ana Beatriz e ao meu irmão Bruno Vinicius, pelo amor, paciência, coragem e dedicação.

Aos meus avós Francisca Souza e Raimundo Nonato (*in memoriam*), a Custódio Clementino e Josefa Targino, fontes de inspiração e exemplos de vida, auxílio e estímulo ao longo da vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me criado a sua imagem e semelhança.

A minha mãe Jeine Souza Sena, por ter doado boa parte de sua vida para que eu pudesse conquistar algo, por me compreender e me amar incondicionalmente.

Ao meu pai Gilberto Clementino de Oliveira, pelo amor, carinho e pelo exemplo de dedicação no trabalho e coragem diante das circunstâncias da vida.

Aos meus irmãos Bruno Vinícius e Ana beatriz, pela força, alegria e compreensão em todos os momentos.

A todos os meus familiares, que torcem pelo meu sucesso.

Ao professor Dr. Fábio Henrique Tavares de Oliveira, pela valorosa orientação, compreensão, amizade e ensinamentos para meu engrandecimento profissional e pessoal. Pelo exemplo de otimismo, dedicação e amor ao ensino.

A Coordenação de Aperfeiçoamento Profissional de Ensino Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

Aos amigos pós graduandos do programa de pós graduação em Manejo de Solo e Água, Manoel Simões Júnior, Marcio Glebson, e especialmente a Josué Sizenando Neto e Ana Jaqueline, pela colaboração, amizade e incentivo.

Aos amigos do grupo de Química e Fertilidade do Solo, Maria Regilene, Welka Preston, Hernane Arllen, Marina Beatriz, pela amizade e dedicação com que ajudaram na execução deste trabalho.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido pelo crescimento profissional proporcionado desde a graduação e pela realização de mais este sonho.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água por todo o aprendizado proporcionado.

Enfim, a todos que contribuíram de forma direta e indireta para a execução deste trabalho e para minha formação acadêmica e profissional.

RESUMO

O fósforo remanescente mede a quantidade de P que permanece na solução de equilíbrio em resposta a uma concentração de P adicionada ao solo. No Brasil, a determinação do P remanescente é feita utilizando uma solução de CaCl_2 a $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ contendo 60 mg L^{-1} de P numa relação solo/solução de 1:10. Entretanto, essa concentração pode ser elevada e inadequada para os solos da região Nordeste do Brasil, uma vez que os mesmos possuem baixa capacidade de sorção de fósforo, quando comparados aos solos das demais regiões do Brasil. Neste trabalho, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes concentrações iniciais de P da solução de equilíbrio utilizada para a análise do P-rem em 52 solos da região Nordeste do Brasil. Foram testadas concentrações iniciais de 20, 30, 40, 50 e 60 mg L^{-1} de P da solução de equilíbrio, para a determinação do P-rem em 52 amostras de solos representativos da região Nordeste do Brasil. A determinação do P remanescente seguiu a metodologia proposta por Alvarez et al. (2000). Os solos com maiores teores de argila apresentaram baixos valores de P remanescente, isso provavelmente por esses solos apresentarem maior CMAP em relação aos demais. Nos solos estudados, o aumento da concentração inicial de P na solução de equilíbrio aumentou a média dos valores de P-rem encontrados e, conseqüentemente, diminuiu o coeficiente de variação (CV) desses valores. Os valores de CV para os solos estudados diminuíram em quase 1% para cada aumento de 1 mg L^{-1} de P na solução de equilíbrio. Nos solos estudados, o aumento da concentração inicial de P na solução de equilíbrio aumentou a média dos valores de P-rem encontrados e, conseqüentemente, diminuiu o coeficiente de variação desses valores. Portanto recomenda-se a concentração inicial de P na solução de equilíbrio de 60 mg L^{-1} de P, para a determinação do P remanescente em solos da região Nordeste do Brasil.

Palavras-chave: sorção, semiárido, fator capacidade.

ABSTRACT

The remaining phosphorus measures the amount of P remaining in the equilibrium solution in response to a P concentration added to the soil. In Brazil, determination of the remaining P is done using a solution of $0.01 \text{ mol L}^{-1} \text{ CaCl}_2$ containing 60 mg L^{-1} of P in a soil / solution ratio of 1:10. However, this concentration may be high and unsuitable for the soils of the Northeast region of Brazil, since they have low phosphorus sorption capacity when compared to the soils of the other regions of Brazil. The objective of this work was to evaluate the effect of different initial concentrations of P of the equilibrium solution used for P-rem analysis in 52 soils of the Northeast region of Brazil. Initial concentrations of 20, 30, 40, 50 and 60 mg L^{-1} of P of the equilibrium solution were tested for the determination of P-rem in 52 representative soil samples from the Northeast region of Brazil. The determination of the remaining P followed the methodology proposed by Alvarez et al. (2000). Soils with higher clay contents showed low values of P remaining, probably because these soils presented higher CMAP in relation to the others. In the studied soils, the increase in the initial concentration of P in the equilibrium solution increased the mean P-values found and consequently decreased the coefficient of variation (CV) of these values. The CV values for the studied soils decreased by almost 1% for each increase of 1 mg L^{-1} of P in the equilibrium solution. In the studied soils, the increase of the initial concentration of P in the equilibrium solution increased the mean of the P-values found and, consequently, the coefficient of variation of these values decreased. Therefore, the initial concentration of P in the equilibrium solution of 60 mg L^{-1} of P is recommended for the determination of the remaining P in soils of the Northeast region of Brazil.

Keywords: sorption, semiarid, capacity factor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição espacial dos locais de coleta de solos representativos da região semiárida localizada entre os vales dos rios Piranhas-Açu (RN) e Jaguaribe (CE)	17
Figura 2. Distribuição espacial dos locais de coleta de doze solos representativos do Estado da Paraíba (Fonte: Adaptado de Farias et al., 2009a).....	18
Figura 3. Distribuição espacial dos locais de coleta de 15 solos de referência do Estado do Pernambuco (Fonte: Adaptado de Biondi et al., 2011).	20
Figura 4. Distribuição espacial dos locais de coleta de 15 solos do Estado do Rio Grande do Norte (Fonte: Adaptado de Preston (2014)).	21
Figura 5. Coeficientes de variação (CV) dos valores de P-rem em função da concentração inicial de P na solução de equilíbrio, nos solos representativos da região semiárida localizada entre os vales dos rios Piranhas-Açu (RN) e Jaguaribe (CE).	25
Figura 6. Coeficiente de variação (CV) dos valores de P-rem em função da concentração inicial de P na solução de equilíbrio nos solos representativos do Estado da Paraíba.	28
Figura 7. Coeficiente de variação (CV) dos valores de P-rem em função da concentração inicial de P na solução de equilíbrio nos solos de referência do Estado do Pernambuco	30
Figura 8. Coeficientes de variação (CV) dos valores de P-rem em função da concentração inicial de P na solução de equilíbrio nos solos representativos do Estado do Rio Grande do Norte	32
Figura 9. Coeficientes de variação, média e desvio padrão dos valores de P-rem em função da concentração inicial de P na solução de equilíbrio, considerando os quatro grupos de solos (total de 52 solos).	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas e teor de argila de dez solos representativos da região semiárida localizada entre os vales dos rios Piranhas-Açu (RN) e Jaguaribe (CE) ⁽¹⁾	17
Tabela 2. Características químicas e teor de argila de doze solos representativos do Estado da Paraíba ⁽¹⁾	19
Tabela 3. Características químicas e teor de argila da camada superficial de quinze solos de referência do Estado de Pernambuco ⁽¹⁾	20
Tabela 4. Características químicas e teor de argila de quinze solos do Estado do Rio Grande do Norte ⁽¹⁾	22
Tabela 5. Valores de P remanescente e coeficientes de variação (CV), nos solos representativos da região localizada entre os Vales dos rios Piranhas-Açu (RN) e Jaguaribe (CE)	24
Tabela 6. Valores de P remanescente e coeficiente de variação (CV), nos solos representativos do Estado da Paraíba.....	27
Tabela 7. Valores de P remanescente e coeficiente de variação (CV), nos solos de referencia do Estado de Pernambuco.....	29
Tabela 8. Valores de P remanescente e coeficiente de variação (CV), nos solos do Estado do Rio Grande do Norte	31
Tabela 9. Equações de regressão linear simples para os valores de P-rem (y) como variável dependente da concentração inicial de P na solução de equilíbrio (x), nos solos da região localizada entre os vales dos rios Piranhas-Açu (RN) e Jaguaribe (CE).....	34
Tabela 10. Equações de regressão linear simples para os valores de P-rem (y) como variável dependente da concentração inicial de P na solução de equilíbrio (x), nos solos representativos do Estado da Paraíba.....	34
Tabela 11. Equações de regressão linear simples para os valores de P-rem (y) como variável dependente da concentração inicial de P na solução de equilíbrio (x), nos solos de referencia do Estado de Pernambuco.....	35
Tabela 12. Equações de regressão linear simples para os valores de P-rem (y) como variável dependente da concentração inicial de P na solução de equilíbrio (x), em outros solos do Estado do Rio Grande do Norte.....	36

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Dinâmica do fósforo no solo.	4
2.2. Fósforo Remanescente e efeito da concentração de P na solução de equilíbrio.	6
2.3. Fatores intrínsecos ao solo que influenciam os valores de P remanescente.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Solos Representativos da Região Semiárida localizada entre os Vales dos Rios Piranhas-Açu (RN) e Jaguaribe (CE).	15
3.2. Solos Representativos do Estado da Paraíba.....	17
3.3. Solos de Referência do Estado do Pernambuco.	19
3.4. Outros Solos do Estado do Rio Grande do Norte.....	21
3.5. Análise do Fósforo Remanescente (P-rem).....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5. CONCLUSÕES	39
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1. INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é essencial ao desenvolvimento das plantas, pois participa de processos metabólicos como respiração e fotossíntese. Este elemento é componente de nucleotídeos fundamentais para a planta armazenar e transferir energia em seus processos metabólicos (Taiz & Zeinger, 2009). Apesar de sua importância para o crescimento e desenvolvimento das plantas, o P é um dos macronutrientes exigidos em menores quantidades, sendo o mesmo considerado um dos elementos mais limitantes a produção agrícola brasileira (Motta et al., 2002). A concentração deste nutriente na solução do solo afeta o crescimento das plantas, de modo que as limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo, podem resultar em restrições no desenvolvimento das plantas, comprometendo a produção. Em geral, os solos brasileiros apresentam baixos teores de fósforo na solução do solo, pois grande parte desse nutriente encontra-se fortemente sorvido aos coloides do solo (Santos et al., 2011).

A sorção de P no solo, em formas lábeis ou não, ocorre tanto pela precipitação do P em solução com as formas iônicas de ferro, alumínio e cálcio, como, de maneira mais relevante, pela sua adsorção aos óxidos de ferro e de alumínio (Novais e Smyth, 1999). Diante da forte interação do P com os coloides do solo, a realização de análises químicas que estimem o Fator Capacidade de Fósforo (FCP) do solo, ou Capacidade Tampão de Fosfato do solo, é importante para a correta recomendação de adubação fosfatada. Dentre as análises utilizadas para avaliar a sorção de P nos solos, se destacam o uso da isoterma de adsorção de Langmuir para estimar a capacidade máxima de adsorção de fosfato do solo (CMAP), e a análise do P remanescente (Alvarez V. et al., 2000).

A análise do P remanescente de um solo baseia-se na dosagem da concentração de P que permanece em 50 mL de uma solução de CaCl_2 10 mmol L^{-1} contendo 60 mg L^{-1} de P, após esta ser colocada em contato com 5 cm^3 de solo, depois de um período de agitação de cinco minutos. Após esse período de agitação e posterior filtragem ou decantação durante um pernoite de 16 horas, o valor da concentração de P que permanece em solução é chamado de P-remanescente (P-rem) (Alvarez V. et al., 2000). O valor do P-rem de um solo expressa a fração dos 60 mg L^{-1} que deixou de ser sorvida no solo, de modo que quanto maior a CMAP de um solo, menor será o valor de P-rem desse solo.

Na metodologia original para análise do P-rem, Alvarez V. et al. (2000) justifica o uso da concentração inicial de P da solução de equilíbrio igual a 60 mg L^{-1} de P, em desfavor de uma concentração menor, igual a 50 mg L^{-1} de P. Segundo esses autores, a obtenção do valor do P-rem utilizando a concentração inicial de P igual a 60 mg L^{-1} possibilita maior amplitude de separação,

ou de dispersão, dos diferentes solos, comparativamente ao uso da concentração inicial de P igual a 50 mg L⁻¹.

Trabalhando com solos do Rio Grande do Sul, Rogeri (2013) avaliou o efeito de diferentes concentrações de P (60, 80 e 100 mg L⁻¹) da solução de equilíbrio utilizada para análise do P-rem. Nesse trabalho, foi observada semelhança dos coeficientes de correlação do P-rem, para as diferentes concentrações, com as medidas relacionadas ao FCP, indicando que não há vantagem em utilizar concentrações mais elevadas do que a concentração inicial de 60 mg L⁻¹ sugerida por Alvarez V. et al. (2000). Por outro lado, Santos et al. (2011), estudando a cinética de sorção de P em 12 solos representativos do Estado da Paraíba, observou que na menor concentração inicial de P da solução de equilíbrio (6 mg L⁻¹) as diferenças entre os solos foram bem marcantes, podendo-se diferenciar os solos que mais sorvem P em menores tempos. Na maior concentração inicial de P da solução de equilíbrio (60 mg L⁻¹), a diferença entre solos relativa à sorção de P foi mais difícil de ser observada, provavelmente por ser esta quantidade de P excessiva para os solos paraibanos, caracterizados por baixa CMAP e baixos teores de óxidos de Fe e de Al. Por este motivo, Santos et al. (2011) sugeriram que a utilização da concentração inicial de P da solução de equilíbrio igual a 60 mg L⁻¹ de P para análise do P-rem, conforme recomenda Alvarez V. et al. (2000), é muito elevada e inadequada para esses solos, de modo que pesquisas futuras deveriam ser realizadas para indicar a concentração de P da solução de equilíbrio mais adequada para análise do P-rem nos solos do Estado da Paraíba. Estudando solos do Estado de Pernambuco, Broggi et al. (2011) observaram que a concentração inicial de P da solução de equilíbrio igual a 60 mg L⁻¹ de P, parece não ser a concentração de P adequada para os solos do Estado do Pernambuco, especialmente aqueles com predominância de argilas silicatadas do tipo 2:1.

Sabe-se que valores elevados de CMAP e, conseqüentemente, baixos valores de P-rem, estão associados a teores elevados de argila e a presença de grandes quantidades de argilas de atividade baixa, como a caulinita e os óxidos de ferro e de alumínio (Novais et al., 2007). Analisando as características químicas e físicas da camada superficial (0-30 cm) de 1.027 perfis de solos da Região Nordeste do Brasil (Brasil, 1971, 1972, 1973a,b, 1975a,b, 1976, 1977, 1979, 1986a,b), constata-se que esses solos possuem baixos teores de argila (44 % dos solos com teor de argila menor que 15%, 26% dos solos com teor de argila entre 15 e 25%, 14% dos solos com teor de argila entre 26 e 35%, e apenas 14% dos solos com textura argilosa). Além disso, esses solos também apresentam baixa concentração de óxidos de ferro (69 % dos solos com teor de Fe₂O₃ < 4% e 15% dos solos com teor de Fe₂O₃ entre 4,0 e 5,9%) e possuem pequena quantidade de argilas de atividade baixa (apenas um solo com valor de Ki ≤ 1,0; 24% dos solos com valor de Ki entre 1,1 e 2,0 e 54 % dos solos com valor de Ki entre 2,1 e 3,0). Isso provavelmente explica os baixos valores

de CMAP encontrados em solos do Nordeste do Brasil, em comparação aos solos de outras regiões (Farias et al., 2009a).

Diante do exposto, neste trabalho objetivou-se avaliar o efeito de diferentes concentrações iniciais de P da solução de equilíbrio utilizada para a análise do P-rem em 52 solos da região Nordeste do Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Dinâmica do fósforo no solo.

O fósforo é constituinte de componentes estruturais das células, como ácidos nucleicos e fosfolipídios, e está associado a vários processos fisiológicos das plantas, como a fotossíntese, respiração e divisão celular. Além disso, o P desempenha papel fundamental no processo de formação de sementes e estimula o desenvolvimento do sistema radicular (Coimbra et al., 2014). Apesar de sua importância para o crescimento e desenvolvimento das plantas, o P é um dos macronutrientes exigidos em menor quantidade, sendo o mesmo considerado um dos elementos essenciais, que mais limitam a produtividade da maioria das culturas, devido a sua elevada afinidade com os colóides do solo (Motta et al., 2002).

A dinâmica do fósforo no solo é fortemente influenciada por diversos fatores, dentre eles se destacam a interação desse elemento com os colóides do solo, teor de matéria orgânica, atividade biológica, atributos do solo como pH e força iônica, umidade, quantidade e qualidade da fração argila (Pierzynski et al., 2005). A disponibilidade de fósforo para as plantas depende das formas em que esse nutriente ocorre predominantemente no solo. O fósforo pode ser encontrado no solo, em diferentes formas que variam de acordo com a natureza química do ligante e com a energia de ligação entre o nutriente e o solo, dependendo do grau de intemperismo. Quanto a natureza do ligante, o P pode ser encontrado como P orgânico (monoéster e diésteres) e P inorgânico (Pi) em ligações com Fe, Al, Ca, argilas silicatadas (Caulinita) e óxidos de Fe e de Al (Goethita, Hematita e Gibbssita). Assim, as diferentes frações de P do solo apresentam diferentes capacidades de dessorção e reposição à solução do solo, segundo a sua natureza química e energia de ligação (Souza Junior et al., 2012). O fósforo, adsorvido ou precipitado com Fe, Ca e Al, pode ser susceptível a dissolução dependendo do manejo de solo utilizado ou das condições ambientais (Lacerda et al., 2013).

A forma como este elemento é encontrado no solo é influenciada principalmente pela sorção, sendo este processo considerado o mais importante no estudo sobre a disponibilidade e dinâmica do fósforo no solo (Oliveira et al., 2014). O termo sorção se refere aos processos que resultam na retenção de um sorbato (ex. H_2PO_4^- ; HPO_4^{2-} ; PO_4^{3-}) na superfície de um sorvente (ex. colóide do solo), que incluem principalmente os processos de adsorção e precipitação (Sparks, 1995). A capacidade dos solos sorverem o fósforo permite que este apresente uma reserva mineral, a qual tem importância fundamental para o suprimento desse nutriente as plantas. Entretanto com o aumento do tempo de contato do fósforo com o solo, ocorre também aumento da energia de ligação desse elemento com os colóides, conseqüentemente, esse elemento se torna menos disponível as

plantas. A sorção de P nos solos ocorre inicialmente em alta velocidade, tendendo a estabilidade com o passar do tempo (Pinto, 2012). Dependendo do tipo de solo, da fonte de fósforo utilizada na adubação e da qualidade da fração argila, bem como os teores de óxidos de Fe e Al, cerca de 90% do fósforo aplicado pode reagir na primeira hora de contato por meio das reações químicas de adsorção e ou precipitação (Wadt & Silva, 2011).

A sorção de P no solo, em formas lábeis ou não, pode ocorrer pela precipitação do P em solução com formas iônicas de Fe, Al e Ca, formando um novo elemento, com composição definida e baixa solubilidade, sendo variáveis as quantidades de cada forma em função da disponibilidade dos cátions, que normalmente é influenciada pelo pH. Em solos com pH ácido ocorre o predomínio de precipitados de fosfato na forma de P ligado a ferro e alumínio (P-Fe e P-Al), já em solos com pH mais alcalino, ocorre predominantemente a formação de fosfatos de cálcio (P-Ca). A sorção de P nos solos ocorre principalmente nos óxidos de ferro e hidróxidos de alumínio, devido a alta afinidade desses elementos, que podem formar complexos de esfera externa, onde existe pelo menos uma molécula de água interpondo a ligação entre o adsorvato ao adsorvente, o que torna esta ligação pouco estável quando comparada as demais, ou através da formação de complexos de esfera interna, onde a energia de ligação é extremamente forte (Novais e Smyth, 1999).

O fenômeno de sorção de P no solo promove a ocorrência e manutenção de baixos teores de P disponível na solução do solo. Solos em estágio avançado de desenvolvimento apresentam características como menor capacidade de troca catiônica, mais eletropositivos, aumento da adsorção aniônica, diminuição da saturação por bases, elevados teores de Fe e Al, dentre outras. Segundo Villar et al. (2010), solos mais desenvolvidos, de modo geral, apresentam reduzido número de espécies minerais. Sendo que alguns minerais são encontrados em abundância nesses solos, como a caulinita, gibssita, hematita e goethita, portanto a sorção de fósforo nesses solos acontece de forma mais intensa. Nessas condições o solo compete com a planta pelo nutriente, o que faz desse solo um dreno de P. Segundo Machado e Souza (2012), solos que apresentam estas características, apresentam elevada capacidade sortiva de P, comprovada pelos altos valores de capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) e baixos de P-rem.

Nos solos menos desenvolvidos, as características químicas geralmente predominantes são: altos valores de pH, alta concentração de sais, elevado teor de Ca^{2+} e baixos teores de Fe e Al. Nessas condições, a disponibilidade de fósforo para as plantas é maior e a adsorção deste elemento a fase sólida é menor do que em solos com pH ácido. Isto ocorre devido as cargas negativas presentes na superfície dos coloides diminuírem o potencial eletrostático do plano de adsorção e aumentar a repulsão entre o fosfato e a superfície adsorvente. A sorção de P nesses solos ocorre principalmente pela precipitação do fósforo com o íon Ca^{2+} . Elevadas concentrações de Ca^{2+} na

solução do solo, pode promover a precipitação de P, formando fosfatos bi e tricálcicos de baixa solubilidade, dificultando a absorção de P pelas plantas. Essas características são frequentemente observadas em solos da região semiárida do Nordeste Brasileiro, principalmente daqueles originários de rochas calcárias. Alguns estudos com solos da região Nordeste do Brasil verificaram que a sorção de fósforo nesses solos não ocorre com a mesma intensidade, como é observado em outras regiões do país, mesmo em solos com avançado estágio de desenvolvimento, sendo esses solos caracterizados por baixos valores de CMAP e elevados valores de P-rem (Farias et al., 2009a; Broggi et al., 2010; Santos et al., 2011; Broggi et al., 2011).

Devido a importância da dinâmica de fósforo nos diversos tipos de solo, se faz necessário quantificar características dos solos como CMAP e FCP, de modo que os resultados obtidos em análise, auxiliem na interpretação e recomendação da adubação fosfatada. O estudo da sorção de fósforo no solo está diretamente relacionada ao uso de isotermas de adsorção, como as de Freundlich e Langmuir, que visam entre outros dados, caracterizar os solos quanto a capacidade máxima de adsorção de fósforo. A utilização desta técnica possibilita melhorar a recomendação da adubação fosfatada, e constitui uma informação relevante para a interpretação da disponibilidade de P nos solos, por estimar o caráter sortivo dos mesmos. A CMAP do solo fornece uma indicação da quantidade de minerais presentes no solo, que são saturados de P e, também da afinidade desses minerais pelo elemento (Corrêa et al., 2011). Contudo, esta técnica não se mostra vantajosa para o uso em laboratórios de solos, para análises de rotina, pois demanda muito tempo, é dispendiosa e requer elevada competência técnica (Simões Neto et al., 2015). Outro método alternativo utilizado para medir a capacidade sortiva dos solos é o uso do P remanescente (P-rem), que estima a CMAP (Alvarez V. et al., 2000). O P remanescente tem sido utilizado para definir as concentrações de P nas soluções a serem colocadas em equilíbrio para determinar a capacidade máxima de adsorção de fosfatos (Donagemma et al., 2008), pois apresenta estreita correlação com esta característica e também com a capacidade tampão de fosfatos. A utilização do P-rem auxilia na melhoria da interpretação e recomendação da adubação fosfatada, principalmente em regiões do país, onde se utiliza extratores sensíveis ao FCP, como o Mehlich-1 (Lisboa et al., 2012).

2.2. Fósforo Remanescente e efeito da concentração de P na solução de equilíbrio.

Entre as medidas da capacidade máxima de adsorção de fosfato existe aquelas com forte fundamentação teórica, numa visão dos modelos científicos ou mecanísticos e outras mais práticas, numa visão dos modelos funcionais ou matemáticos (Novais & Smyth, 1999), estes dois últimos,

são mais adequados aos laboratórios de rotina de análise de fertilidade do solo. Portanto, numa abordagem mais prática das análises de P em laboratórios de rotina, quanto a aplicabilidade e menor custo, com a necessária exatidão de uma medida do FCP e da CMAP, se desenvolveu o método do P-rem (Novais et al., 2015). Pois agitar uma amostra de solo contendo apenas uma concentração de fósforo, dentre as diversas necessárias ao estabelecimento de isotermas de adsorção, é uma solução prática para a obtenção de um índice do Fator Capacidade de Fósforo (FCP).

A primeira aproximação da técnica que hoje é denominada de P remanescente foi proposta inicialmente por Bache e Williams (1971). Esses autores estabeleceram apenas uma concentração de P, dentre as diversas necessárias ao estabelecimento de isotermas de adsorção. Esse índice de adsorção é uma medida do P adsorvido pelo solo e correlaciona-se positivamente com a capacidade tampão de fósforo, ao contrário do P-rem que apresenta correlação negativa. Novais (1977), ao utilizar apenas uma concentração de fósforo (30 mg L^{-1}) na solução de equilíbrio para a obtenção de isotermas de adsorção de Langmuir e Freundlich, denominou a concentração de P em solução após um período de agitação de (“Remaining P in solution”), ou fósforo remanescente.

O P remanescente mede a quantidade de fósforo que permanece na solução de equilíbrio em resposta a uma concentração de P conhecida, adicionada ao solo (Donagemma et al., 2008). Como o solo adsorve apenas uma parte ou a totalidade do P adicionado em solução, os valores de P remanescente são normalmente menores que o da concentração inicial de P, portanto, o P-rem apresenta correlação negativa com as características do solo como CMAP e FCP (Novais et al., 2015). Sendo assim, quanto menor o valor de P remanescente (mg L^{-1}), maior a capacidade tampão e, conseqüentemente, maior adsorção de P. O inverso é verdadeiro, pois quanto maior o teor de P-rem, menor a capacidade tampão e menor a CMAP (Alvarez V. et al., 2000).

O P remanescente também é conhecido como isoterma de adsorção de um único ponto, pois consiste em apenas um dentre vários pontos utilizados para determinar a CMAP. O P remanescente por apresentar estreita correlação com o FCP e com a CMAP do solo (Alvarez V. et al., 2000), permite melhorar consideravelmente a interpretação das análises de fósforo em relação a sua dinâmica e disponibilidade.

Segundo Rogeri (2013), a técnica do P-rem foi introduzida primeiramente no Brasil pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais-CFSEMG, em laboratórios de análises de rotina, como um critério para auxiliar na classificação dos solos quanto ao tamponamento e interpretação da disponibilidade de P. Outro estado brasileiro que utiliza a determinação do P remanescente, em laboratórios de análises de rotina no Brasil e para classificar os solos quanto ao tamponamento é o Estado do Acre (Silva e Wadt, 2009). Em ambos os Estados utilizam a concentração de 60 mg L^{-1} de P para a determinação do P-rem.

Entretanto, alguns estados brasileiros utilizam a análise da textura do solo, como critério na interpretação da disponibilidade de P e para estabelecer classes de tamponamento, porém esse método avalia de forma indireta o potencial de imobilização do P no solo (Lisboa et al., 2012). Devido as limitações da análise textural em estabelecer classes de tamponamento de P, o método do P remanescente é melhor em separar os solos em classes de disponibilidade de P, pois é potencialmente mais exato do que a determinação textural, por avaliar diretamente o potencial de imobilização de P. Acredita-se que a utilização do P remanescente possa ser estendida futuramente para outros estados do Brasil, de forma que possibilite melhorar a interpretação e recomendação da adubação fosfatada. Segundo Rogeri et al., (2016), a metodologia do P-rem é o índice mais confiável para estimar a capacidade tampão de fósforo no solo e a CMAP, do que o teor de argila e pode ser utilizado para classificar os solos do Estado do Rio Grande do Sul, em classes de disponibilidade deste nutriente. Essa técnica também é indicada para melhorar a interpretação e recomendação de adubação fosfatada, em regiões do país onde o extrator oficial seja o Mehlich-1, isto se deve, por causa da eficiência de extração do P por este método sofrer grande influência da capacidade tampão de fosfatos (Arruda et al., 2015). O P-rem apresenta a vantagem de ser mais rápido, simples e potencialmente mais preciso, por avaliar diretamente o potencial de imobilização de P no solo (Bonfim et al., 2004).

Além de ser aplicado para estimar a CMAP e o FCP dos solos, o P-rem pode ser utilizado como um índice da abundância de cargas positivas e de grupos hidroxilas existente no solo de forma indireta, em decorrência dos grupos hidroxilas (-OH) passíveis de troca pelo ânion fosfato, serem abundantes nos óxidos de gibbsita e goethita, que são considerados os principais elementos responsáveis pela sorção de P (Cagliari, 2010). A aplicação do P-rem é vasta, e pode ser utilizada também para estimar o nível crítico de fósforo disponível no solo (Bonfim et al., 2003; Bonfim et al., 2004; Broggi et al., 2010; Calheiros et al., 2012; Broggi et al., 2014), necessidade de aplicação de gesso (Fernández et al., 2008; Ranpim et al., 2013), estimar níveis críticos de enxofre (S) e zinco (Zn), além da definição de doses S a serem usadas tanto em estudos de adsorção como no estabelecimento de curvas de resposta a esse nutriente (Ribeiro et al., 1999; Souza, 1999; Rampin et al., 2013; Chaves e Fernandes, 2013), além de ser um potencial indicador para a capacidade de uso do solo (Nobrega et al., 2012) e classificação dos solos quanto ao tamponamento (Alvarez V. et al., 2000; Alves e Lavorenti, 2004; Broggi et al., 2011; Lisboa et al., 2012; Rogeri, 2013; Rogeri et al., 2016). Em alguns países, o P remanescente é utilizado para a definição de índices ambientais a fim de avaliar a susceptibilidade do fósforo a perdas por escoamento superficial e lixiviação (Xue et al., 2013).

Como a determinação do fósforo remanescente baseia-se na análise do resíduo de uma solução contendo determinada dose de P em contato com o solo, os teores de P-rem na solução de equilíbrio dependem da atuação combinada da concentração de P adicionada, do tempo de contato (Alvarez et al., 2000) e da capacidade máxima de adsorção de fósforo do solo, que, por sua vez, é dependente do teor de matéria orgânica, da textura e mineralogia da fração argila (Lisboa et al., 2012).

Conhecer a concentração de fósforo na solução de equilíbrio adequada para a determinação do P remanescente é importante para melhorar a interpretação da disponibilidade deste nutriente as plantas. Avaliando o efeito da concentração de fósforo na solução de equilíbrio, Novais (1977) utilizou apenas uma concentração de P (30 mg L^{-1}) na solução de equilíbrio, dentre aquelas usadas para a obtenção das isothermas de adsorção de Langmuir e Freundlich, por 6 horas de agitação em amostras de solo. Esse autor encontrou correlações negativas e significativas entre esta característica, com as medidas de CMAP, bem como outras variáveis do solo intimamente relacionada com a capacidade tampão de fósforo (Novais et al., 2015). Entretanto, segundo Novais & Smyth (1999), a utilização de baixas concentrações de P, como de 30 mg L^{-1} , pode resultar em erros quando solos distintos em relação a capacidade tampão de fosfato são comparados. Pois a utilização de baixas concentrações de fósforo na solução de equilíbrio para determinar o P remanescente em solos com alto FCP e CMAP, pode resultar em valores de P-rem muito baixos ou muito próximos de zero, o que pode não representar a realidade desses solos quanto a sorção.

Para evitar erros analíticos decorrentes da utilização de baixas concentrações de P para a determinação do P remanescente, como baixos valores de P remanescente e valores próximos de zero, a utilização de concentrações maiores, como a de 60 mg L^{-1} de P, foi avaliada, pois concentrações maiores de P na solução de equilíbrio, permite que solos com alto FCP e CMAP sejam analisados corretamente e possam ser agrupados quanto ao FCP (Novais & Smyth, 1999). Diversos trabalhos mostraram a conveniência da utilização da concentração de 60 mg L^{-1} de P na determinação do P remanescente, para melhorar a interpretação dos resultados de fósforo, em estudos de sorção (Fernández et al., 1995; Alvarez V. et al., 2000; Corrêa et al., 2008; Bastos et al., 2010; Rogeri et al., 2016). Rogeri (2013), estudando o índice de P remanescente como indicador do poder tampão de fósforo em solos do Estado do Rio Grande do Sul, observou que a semelhança dos coeficientes de correlação do P-rem, determinado com diferentes concentrações ($60, 80$ e 100 mg L^{-1}), com as medidas relacionadas ao poder tampão do solo e a CMAP, indica que não há vantagem em utilizar concentrações maiores que a usual (60 mg L^{-1}). Atualmente a concentração considerada padrão para determinação do fósforo remanescente em uso nos laboratórios de rotina no Brasil é a de 60 mg L^{-1} de P (Novais & Smyth, 1999).

Entretanto, são escassos os estudos sobre o efeito da concentração de fósforo na solução de equilíbrio para a determinação do P remanescente em solos da região semiárida do Nordeste brasileiro. Os solos dessa região apresentam características químicas, físicas e mineralógicas, diferente dos solos de outras regiões do país, principalmente dos solos localizados na região Centro-Sul do país onde se desenvolveram a maioria das pesquisas sobre o P-rem (60 mg L^{-1}). Os solos da região semiárida do Nordeste brasileiro, são predominantemente pouco desenvolvido, pH elevado, predominância de argilas do tipo 2:1, cargas negativas nos coloides do solo, e apresentam baixos teores de Fe e Al, portanto, o efeito do processo de adsorção de P nesses solos são menores, do que comparado a solos de outras regiões do país (Farias et al., 2009ab; Simões Neto et al., 2015).

Segundo Santos et al. (2011), ao estudarem a cinética de sorção de P em solos do Estado da Paraíba, utilizando duas concentrações de P na solução de equilíbrio (6 e 60 mg L^{-1}) em diferentes tempos de equilíbrio, observaram que a CMAP e o teor de argila, apresentaram correlações significativas na menor concentração de P, sugerindo que estas propriedades podem ser utilizadas como indicadores das taxas de sorção de P nesses solos apenas em baixas concentrações de P na solução de equilíbrio. Também foi possível observar que na maior concentração inicial de P (60 mg L^{-1}) a diferença entre solos relativa a sorção de P foi difícil de ser observada, do que na menor dose (6 mg L^{-1}), isso provavelmente se deve por esta concentração de P ser excessiva e inadequada para os solos do Estado da Paraíba, caracterizados por baixos teores de óxidos de Fe e Al e baixa CMAP. Estes autores sugeriram que pesquisas futuras devem ser realizadas para indicar a concentração de P na solução de equilíbrio mais adequada para a determinação do P remanescente nos solos estudados. Broggi et al. (2011), ao estudarem a capacidade tampão de fósforo em solos mineralogicamente diferentes do Estado do Pernambuco, sugeriram a determinação do P-rem por melhor estimar o FCP dos solos e por ser de fácil determinação em laboratório de rotina, porém observaram que a concentração de 60 mg L^{-1} de P, utilizada para a determinação do P remanescente parece não ser adequada para os solos avaliados.

Assim, destaca-se a importância de estudos sobre o efeito da concentração de fósforo na solução de equilíbrio em solos da região Nordeste, devido a grande diversidade de solos encontrados nessa região e a falta de estudos abrangentes envolvendo-os. Portanto, determinar a concentração inicial de P na solução de equilíbrio mais adequada para os solos dessa região, contribuirá para a melhoria das práticas de avaliação e correção da disponibilidade de P.

2.3. Fatores intrínsecos ao solo que influenciam os valores de P remanescente

Diversos fatores influenciam a sorção de fósforo no solo, dentre os principais, pode-se destacar a quantidade e qualidade da fração argila (Lopes e Cox, 1979; Salcedo et al., 1990; Valladares et al., 2003; Souza et al., 2006; Chaves et al., 2007; Farias et al., 2009a; Ranno et al., 2007; Eberherdt et al., 2008; Donagemma et al., 2008; Vilar et al., 2010; Richart et al., 2014; Simões Neto et al., 2015); oxidróxidos de Fe e Al amorfos, carbonatos e presença de matéria orgânica do solo (Salcedo et al., 1990; Valladares et al., 2003; Moreira et al., 2006; Chaves et al., 2007; Ranno et al., 2007; Eberhardt et al., 2008; Fontana et al., 2008; Pereira et al., 2010; Gonçalves et al., 2011; Lisboa et al., 2012; Fontana et al., 2013; Moura et al., 2015; Guareschi et al., 2016); efeitos da solução do solo como pH, capacidade de troca de cátions (CTC) (Pereira e Faria, 1998; Falcão e Silva, 2004; Chaves et al., 2007; Viviani et al., 2010; Corrêa et al., 2011).

A fração argila é a porção mais ativa no processo de sorção de P no solo, devido a presença de cargas elétricas na superfície das faces expostas e elevada área superficial específica (Valladares et al., 2003). A influência do teor de argila na capacidade sortiva do solo é bastante discutida na literatura e, em geral, quanto maior o teor de argila do solo, maior a capacidade máxima de adsorver fosfato. Ranno et al. (2007), observaram que o teor de argila apresentou correlação significativa com as características do solo relacionadas a sorção. Da mesma forma, Valladares et al. (1998), observaram correlação negativa e significativa ($r = -0,44$) entre o P remanescente e o teor de argila, demonstrando uma associação significativa entre a capacidade máxima de adsorção de fósforo e o teor de argila. Os solos com maiores teores de argila, tiveram menores valores de P-rem, resultados semelhantes foram encontrados nos trabalhos de Vilar et al. (2010), Viviani et al. (2010), Simonete et al. (2015), Simões Neto et al. (2015). Entretanto, a quantidade de argila não é a única responsável pela maior adsorção de fósforo no solo e conseqüentemente menor valor de P remanescente, outros atributos do solo como a mineralogia da fração argila é importante nesse processo. Tal fato fica evidenciado quando um solo que apresenta menor teor de argila apresenta maior caráter sortivo de fósforo no solo, como observado no trabalho de Bonfim et al. (2003), avaliando a determinação do P remanescente como um método alternativo a textura na indicação de classe de disponibilidade de P em solos, observaram que um Argissolo Vermelho-Amarelo e um Argissolo Amarelo, com teores de argila de 294 e 820 g kg⁻¹, respectivamente, apresentaram valores de P remanescente de 14,0 e 55,0 mg L⁻¹, respectivamente. Tal fato demonstra que não só a quantidade de argila deve ser levada em consideração, mas também a sua mineralogia.

A mineralogia da fração argila é relevante no processo de sorção de P no solo. Na fração argila os óxidos de Fe cristalinos, goethita e hematita, o óxido de Al, gibbsita, e os óxidos de Fe e

Al amorfos são os minerais mais importantes para o processo de sorção de fósforo. Segundo Fox & Searle (1978) o processo de adsorção de P pode acontecer preferencialmente, segundo uma ordem de predomínio dos seguintes minerais: argilas 2:1 < argilas 1:1 < óxidos cristalinos de Fe e Al < óxidos amorfos de Fe e Al.

As argilas silicatadas possuem baixa capacidade de adsorção de ânions, principalmente as do tipo 2:1 (Montmorilonita e Vermiculita), sendo que os argilominerais do tipo 1:1 apresentam maior retenção de P do que as argilas 2:1. Entretanto, alguns estudos encontraram baixa participação da caulinita na sorção de P. A caulinita, possui pequena área superficial específica, principalmente, se comparado com os óxidos de Fe e Al (Resende et al., 2011). Estudo realizado por Eberhardt et al. (2008), observaram que a caulinita não exerceu influência sobre o P remanescente ($r = -0,17$), mostrando a baixa participação desse mineral na adsorção de P em Latossolos do Cerrado. A baixa influência da caulinita na sorção de fósforo no solo, observado através do P remanescente são encontradas nos trabalhos de Rolim Neto et al. (2004), Moreira et al. (2006) e Broggi et al. (2011).

Os óxidos de ferro e alumínio exercem importante papel na adsorção de fósforo, seja através de cargas positivas formadas em pH ácido, ou seja por “pontes” de ligações criadas entre os óxidos e cátions presentes no solo (Novais e Smyth, 1999). A goethita é considerada a principal responsável pelo fenômeno de adsorção de fósforo nos solos do Brasil (Bahia Filho et al., 1983). Diversos trabalhos relatam maior influência da goethita em relação a hematita, no processo de sorção de P no solo (Fontes e Weed, 1996; Alves e Lavorenti, 2004; Eberhardt et al., 2008; Fontana et al., 2013). Estudo realizado em Latossolos do Estado de São Paulo, Alves e Lavorenti (2004), observaram maiores valores de correlação negativa entre a goethita e o P remanescente, do que com a hematita, estando essa maior adsorção relacionada as propriedades desse mineral, tais como o menor grau de cristalinidade, maior superfície específica e maior quantidade de faces expostas para adsorção.

O grau de cristalinidade dos óxidos afeta diretamente nos processos de sorção de P no solo. Atribui-se aos óxidos amorfos o papel de principais componentes na adsorção de P em solos com avançado grau de desenvolvimento, por esses coloides possuírem uma maior área superficial específica e, por conseguinte, uma maior quantidade de sítios de adsorção (Moreira et al., 2006). Acredita-se que capacidade dos óxidos de ferro e alumínio em adsorver fósforo esta mais relacionada a sua área superficial específica do que a sua abundância nos solos (Fontes e Weed, 1996). Sendo que os óxidos de Fe e Al amorfos possuem maior efeito na adsorção de fósforo no solo do que os óxidos de Fe e Al livres, pois a capacidade de adsorção dos óxidos esta diretamente relacionada a superfície específica que diminui com o aumento da cristalinidade (Moreira et al., 2006). Eberhardt et al. (2008), avaliando características químicas em Latossolos do cerrado,

observaram que quanto maior o teor desses elementos (óxidos de Fe e de Al livre e amorfos) no solo, menores os valores de P remanescente. Contudo os óxidos amorfos apresentaram maior capacidade de adsorção de fósforo do que os óxidos livres. Esse comportamento também pode ser encontrado nos trabalhos de Souza et al. (2006); Gonçalves et al. (2011); Fontana et al. (2013).

Outro atributo químico do solo que influencia nos valores obtidos de P remanescente é a reação do solo (Tirlone et al., 2009). O pH do solo esta diretamente relacionado com a reação de adsorção do íon fosfato aos coloides do solo, pois com o aumento do pH, ocorre aumento da solubilidade dos fosfatos de ferro e alumínio e redução da adsorção de fósforo ao solo, por causa da elevada quantidade de cargas negativas na superfície dos coloides do solo (Arruda et al., 2015). Entretanto, em solos com pH baixo, as superfícies dos coloides tendem a ser mais eletropositivas, aumentando assim a sorção de fósforo ao solo. Em solos com pH mais elevados, pode ocorrer forte adsorção de fósforo, uma vez que a presença de cátions como o Ca^{2+} na solução do solo, pode se precipitar com fósforo e formar compostos insolúveis. Este fato foi observado por Viviani et al. (2010), em que o aumento do pH proporcionou maior capacidade de adsorção de fósforo nos solos avaliados, expressa pela redução do valores de P remanescente.

Fontana et al. (2013), encontraram correlações significativas do P remanescente com pH (água), Ca^{2+} e CTC, indicando que as reações que controlam a disponibilidade de fosfato estão relacionadas também a presença de cátions na solução do solo, principalmente em solos com altos teores de bases trocáveis, como Ca^{2+} e Mg^{2+} , isso ocorre devido a formação de precipitados de fósforo com esses cátions. O uso de práticas agrícolas que possam alterar o pH do solo, também influenciam na adsorção de P. A utilização de práticas como a calagem, pode alterar a sorção de P no solo, pois a calagem proporciona aumento do pH e da saturação por bases, promove a neutralização do alumínio, aumenta a atividade biológica e diminui a capacidade de adsorção de P em solos mais desenvolvidos, com pH ácido. Todavia, o efeito da calagem na adsorção de P tem sido relatado de forma controversa. Arruda et al. (2015), observaram que a utilização de CaCO_3 proporcionou maior capacidade de precipitação do P na solução do solo, expressado pela redução do valor de P-rem, principalmente onde foram obtidos altos valores de pH.

A matéria orgânica é importante no processo de sorção de fósforo no solo. Segundo Moura et al. (2015), a matéria orgânica é tão importante quanto a fração argila do solo no estabelecimento da capacidade de adsorção de fosfato no solo, pois existe uma competição pelos mesmos sítios de adsorção de fosfato, diminuindo a capacidade de adsorção de fósforo pelo solo. Entretanto, na literatura, existem controvérsias sobre o papel da matéria orgânica do solo, na adsorção de fósforo, que tanto pode adsorver o fósforo, como também bloquear os sítios de adsorção que ocorrem nas superfícies das argilas e óxidos de ferro e alumínio (Valadares et al., 1998). Alguns estudos relatam

que os compostos orgânicos do solo podem aumentar a adsorção do fósforo no solo (Valadares et al., 1998, Moreira et al., 2006). Contudo, ácidos orgânicos de baixo peso molecular como o malato, oxalato, citrato, além do húmus podem bloquear os sítios de adsorção que ocorrem na superfície de argilas e dos óxidos de Fe e Al. Fontana et al. (2008), constataram que o maior teor de matéria orgânica do solo, diminui a adsorção de fósforo no solo, tendo em vista a correlação positiva e significativa ($r = 0,72$) entre o P remanescente e a matéria orgânica. Diversos autores constataram a menor adsorção de fósforo nos solos devido o maior teor de matéria orgânica através dos valores de P remanescente (Andrade et al., 2003; Antelo et al., 2007; Pavinato e Rosolem, 2008; Tirloni et al., 2009; Moura et al., 2015). A adoção de práticas agrícolas que aumentam o teor de matéria orgânica do solo, também merece destaque. Alguns estudos encontraram que a adsorção de P diminui em solos onde o cultivo de plantio direto é utilizado, esse fato é confirmado pelos valores de P remanescente nesses solos antes e após a adoção desta prática (Andrade et al., 2003 Fontana et al., 2008; Pereira et al., 2010; Guareschi et al., 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a análise do fósforo remanescente (P-rem), foram utilizadas amostras da camada superficial de 52 solos representativos da região Nordeste, coletadas nos Estados do Rio Grande do Norte (23 amostras), Ceará (2 amostras), Paraíba (12 amostras) e Pernambuco (15 amostras), de forma a se obter quatro grupos de solos com ampla variação de características químicas, físicas e mineralógicas.

3.1. Solos Representativos da Região Semiárida localizada entre os Vales dos Rios Piranhas-Açu (RN) e Jaguaribe (CE).

A escolha dos solos representativos desta região teve como base a expressão geográfica e a importância destes solos para a agricultura. Nesse ambiente sob caatinga, a região compreendida entre os vales dos rios Piranhas Açu, no Rio Grande do Norte, e o Rio Jaguaribe, no Ceará, é uma região que se destaca na prática da agricultura de sequeiro, mas principalmente da agricultura irrigada. Neste cenário se destacam o Tabuleiro de Russas (CE), o vale do rio Piranhas-Açu (RN) e, principalmente, a Chapada do Apodi (CE e RN), pela qualidade desses solos e pela oferta de água para a irrigação. Os materiais de origem mais comuns dos solos dessa região são de natureza sedimentar, compostos principalmente por calcário, arenito, sedimentos do grupo barreiras e sedimentos aluviais (DNPM, 1998).

De acordo com os levantamentos Exploratórios-Reconhecimento de solos dos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará (Brasil, 1971, 1973b), nessa região se encontram muitos Latossolos, Argissolos e Neossolos Quartzarênicos, que em suas camadas superficiais apresentam valores baixos de pH, como também de saturação por bases, argila e óxidos de ferro. Por outro lado, os Cambissolos, Neossolos Litólicos, Chernossolos Rêndzicos, Vertissolos e Neossolos Flúvicos, muito cultivados nessa região, apresentam valores elevados de pH e de saturação por bases, textura média a argilosa, mas também apresentam teores baixos de óxidos de ferro. Portanto, para definir os solos representativos dessa região, foram consultados os dados de análises físicas, químicas, mineralógicas e a descrição morfológica dos perfis de solos descritos por Brasil (1971; 1973b).

De acordo com os dados analisados em Brasil (1971; 1973b), foram inicialmente pré-selecionados 20 solos, sendo 14 solos alcalinos ($\text{pH} \geq 7,0$) e seis solos ligeiramente ácidos ($5,0 \leq \text{pH} \leq 6,0$). Cada um desses solos foi escolhido de modo a apresentar uma ampla variação de características físicas, químicas, mineralógicas e morfológicas. Após pré-selecionar os 20 solos,

foram realizadas viagens de campo para a coleta de amostras de 2 dm³ da camada superficial de 0-30 cm de profundidade em cada um desses solos.

Depois de coletadas, as amostras foram levadas para o laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), onde foram secas ao ar e peneiradas em peneira de 2 mm de malha e analisadas física e quimicamente (Embrapa, 2011). De acordo com os resultados obtidos nas análises químicas e físicas desses solos, foram selecionados 10 solos, com diferentes teores de argila e valores de P-rem.

Os locais de coleta dos solos foram georeferenciados e alocados conforme o mapa de distribuição espacial (Figura 1), utilizando-se de aparelho GPS, sendo os dados plotados com auxílio do sistema de informação geográfica (SIG) ArcGis 10.1. Dentre os 10 solos representativos escolhidos, seis solos são alcalinos ($\text{pH} \geq 7,0$) e quatro solos ligeiramente ácidos ($5,0 \leq \text{pH} \leq 6,0$). Os 10 solos escolhidos são originários de diferentes materiais de origem, sendo seis derivados de calcário (três Cambissolos localizados nos municípios de Baraúna/RN, Quixeré/CE e Afonso Bezerra/RN, um Chernossolo Rêndzico de Mossoró/RN, um Argissolo Vermelho-Amarelo localizado em Apodi/RN e um Vertissolo coletado em Mossoró/RN), um solo derivado de sedimentos aluviais (Neossolo Flúvico, coletado em Carnaubais/RN), um solo derivado de arenito (Neossolo Quartzarênico, localizado em Russas/CE) e dois solos derivados de sedimentos do Grupo Barreiras (Argissolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo, ambos de Mossoró/RN) (Tabela 1).

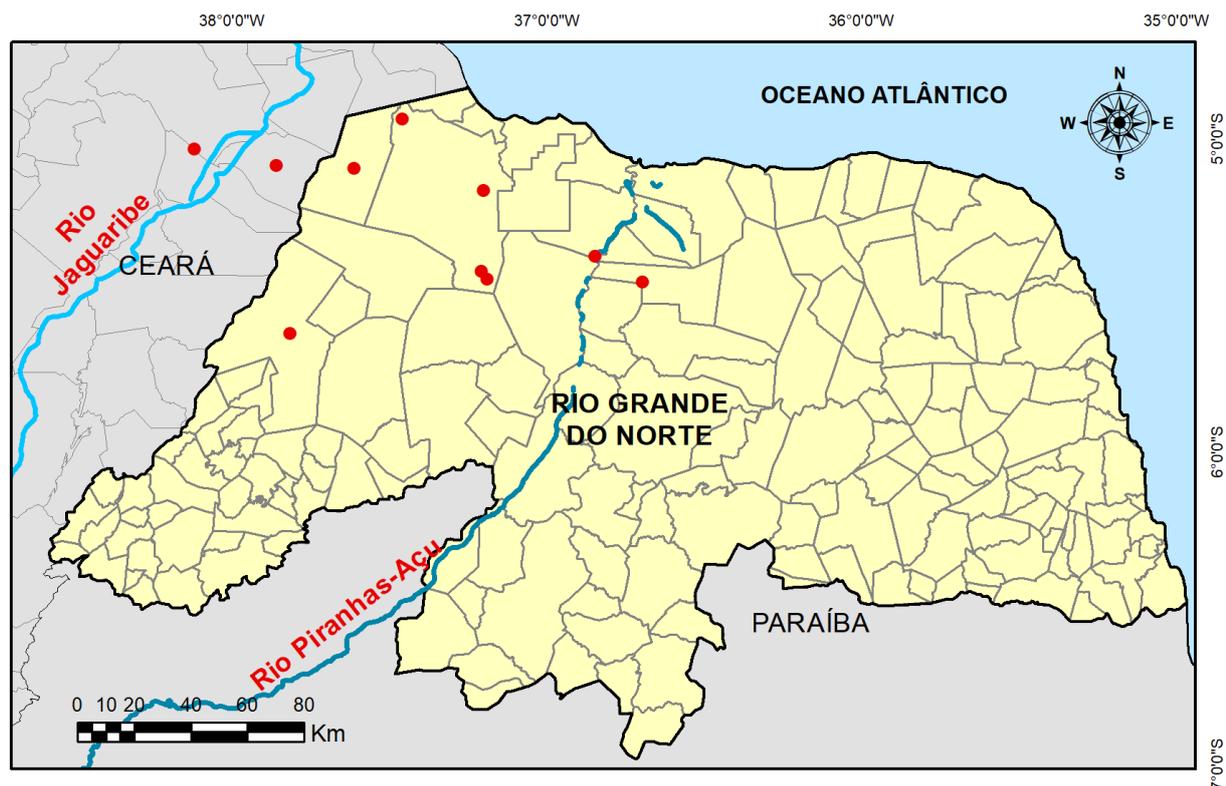


Figura 1. Distribuição espacial dos locais de coleta de solos representativos da região semiárida localizada entre os vales dos rios Piranhas-Açu (RN) e Jaguaribe (CE)

Tabela 1. Características químicas e teor de argila de dez solos representativos da região semiárida localizada entre os vales dos rios Piranhas-Açu (RN) e Jaguaribe (CE)⁽¹⁾

Solo	pH água (1:2,5)	M.O g kg ⁻¹	P ----- mg dm ⁻³ -----	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC ----- cmol _c dm ⁻³ -----	Argila g kg ⁻¹
RQ	5,2	7,40	0,9	34,1	7,0	0,15	0,60	0,30	2,34	30
LVA	4,8	2,55	0,3	23,1	4,1	0,45	0,20	0,10	1,54	50
PVA1	4,3	8,62	1,6	48,2	7,2	0,55	0,60	0,10	3,33	160
RY	6,8	8,62	86,9	221,4	193,5	0,00	6,10	7,90	17,06	190
CX1	6,7	9,03	0,5	153,5	11,0	0,00	9,10	1,70	12,89	230
MD	8,1	18,14	0,6	113,4	39,4	0,00	28,80	2,80	32,06	320
CX2	6,2	11,31	0,3	201,4	14,3	0,00	4,70	1,10	7,70	330
CX3	6,6	13,10	2,7	143,5	23,2	0,00	9,70	1,90	14,38	330
PVA2	6,0	4,00	0,7	401,6	11,2	0,00	7,40	2,80	12,60	410
VX	8,0	6,48	0,8	85,2	61,1	0,00	42,10	6,80	49,38	420

⁽¹⁾ Análises químicas e físicas realizadas de acordo com Embrapa (2011). RQ: Neossolo Quartzarênico (Russas-CE); LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo (Mossoró-RN); PVA1: Argissolo Vermelho-Amarelo (Mossoró-RN); RY: Neossolo Flúvico (Carnaubais-RN); CX1: Cambissolo Háplico (Afonso Bezerra-RN); MD: Chernossolo Rêndzico (Mossoró-RN); CX2: Cambissolo Háplico (Baraúna-RN); CX3: Cambissolo Háplico (Quixerê-CE); PVA2: Argissolo Vermelho-Amarelo (Apodi-RN); VX: Vertissolo Háplico (Mossoró-RN).

3.2. Solos Representativos do Estado da Paraíba

Foram utilizadas doze amostras de solos representativos do Estado da Paraíba (Farias et al., 2009a), todas coletadas na camada de 0-30 cm de profundidade, representando onze subordens do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, sendo seis solos mais desenvolvidos ($K_i \leq 2,46$) e seis solos menos desenvolvidos ($K_i > 2,46$), cujas características químicas e teor de argila são apresentados na Tabela 2.

Os solos utilizados foram classificados como Argissolo Amarelo (Jacumã), Argissolo Acinzentado (Mamanguape), Argissolo Vermelho eutrófico (Marizópolis); Argissolo Vermelho-Amarelo (Areia); Latossolo Amarelo (Cuité); Argissolo Vermelho distrófico (Alagoa Grande); Neossolo Regolítico (Esperança); Neossolo Litólico (Pocinhos); Luvisolo Háplico (São Miguel de Taipú); Planossolo Háplico (Cuité); Neossolo Flúvico (Souza) e Vertissolo Háplico (Souza) (Farias et al., 2009a)

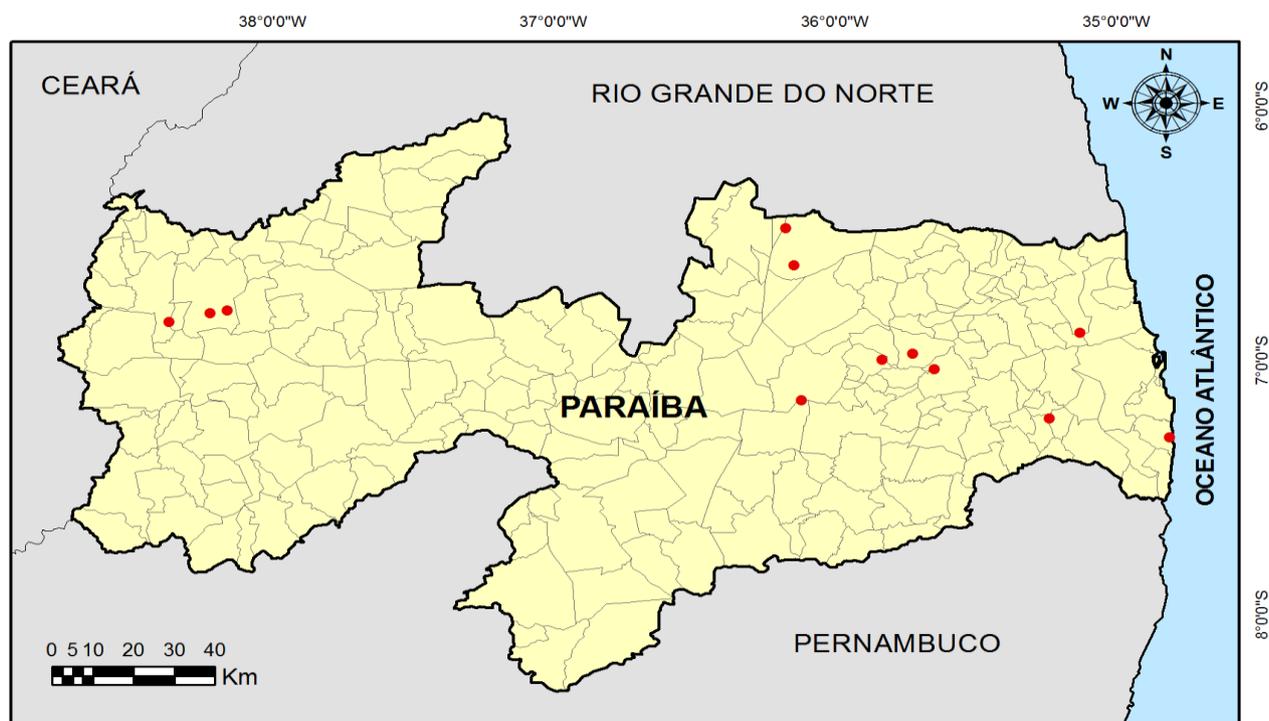


Figura 2. Distribuição espacial dos locais de coleta de doze solos representativos do Estado da Paraíba (Fonte: Adaptado de Farias et al., 2009a).

Tabela 2. Características químicas e teor de argila de doze solos representativos do Estado da Paraíba⁽¹⁾

Solo	pH água (1:2,5)	M.O	P	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	Argila
		g kg ⁻¹	----- mg dm ⁻³ -----			----- cmol _c dm ⁻³ -----				g kg ⁻¹
RR	7,0	5,9	24,1	70,4	4,6	0,0	1,8	0,9	4,0	30
RL	6,2	6,6	4,3	74,3	57,5	0,1	2,0	1,1	5,8	80
PA	5,9	6,0	1,5	15,6	4,6	0,1	0,6	0,4	2,7	90
PAC	4,4	18,5	3,6	39,1	11,5	0,96	0,8	0,6	7,2	120
TX	6,2	13,1	4,4	250,2	23,0	0,0	6,1	4,0	13,7	140
PVe	6,3	15,5	6,8	152,5	9,2	0,0	5,4	1,8	10,4	180
SX	7,2	7,4	21,6	82,1	69,0	0,0	12,2	5,6	19,8	190
RY	7,3	15,3	144,3	234,6	20,7	0,0	11,0	4,0	16,9	200
PVA	5,5	18,5	2,6	93,8	9,2	0,3	1,1	1,3	8,2	230
LA	5,9	10,2	11,4	70,4	23,5	0,0	1,6	1,2	5,2	290
PVd	5,0	13,8	2,3	74,3	9,2	0,3	1,9	0,8	7,2	380
VX	8,4	6,4	19,8	269,8	503,7	0,0	29,1	10,4	43,1	430

⁽¹⁾Fonte: Dados compilados de Farias et al. (2009). RR: Neossolo Regolítico; RL: Neossolo Litólico; PA: Argissolo Amarelo; PAC: Argissolo Acinzentado; TX: Luvisso Háplico; PVe: Argissolo Vermelho eutrófico; SX: Planossolo Háplico; RY: Neossolo Flúvico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo; PVd: Argissolo Vermelho distrófico; VX: Vertissolo Háplico.

3.3. Solos de Referência do Estado do Pernambuco.

Foram utilizadas amostras da camada superficial de 15 solos de referência do Estado do Pernambuco, selecionados a partir do trabalho de Biondi et al. (2011). As classes de solos selecionadas foram: Argissolo Vermelho-Amarelo (Itambé), Espodossolo Humilúvico (Goiana), Latossolo Amarelo (Rio Formoso); Argissolo Vermelho (Camutanga); Argissolo Amarelo (Aliança); Neossolo Regolítico (São Caetano); Argissolo Vermelho (Rio das Almas), Neossolo Regolítico (Caruaru); Latossolo Vermelho-Amarelo (Caruaru); Argissolo Vermelho-Amarelo (Jupi); Argissolo Amarelo (Petrolina); Neossolo Flúvico (Ibimirim); Luvisso Crômico (Cabrobó); Cambissolo Háplico (Santa Cruz da Baixa Verde) e Neossolo Litólico (Verdejante), distribuídos na zona da mata, região Agreste e Sertão de Pernambuco (Figura 3). Estes solos foram selecionados de forma a apresentar uma ampla variação nas características químicas e teor de argila (Tabela 3).

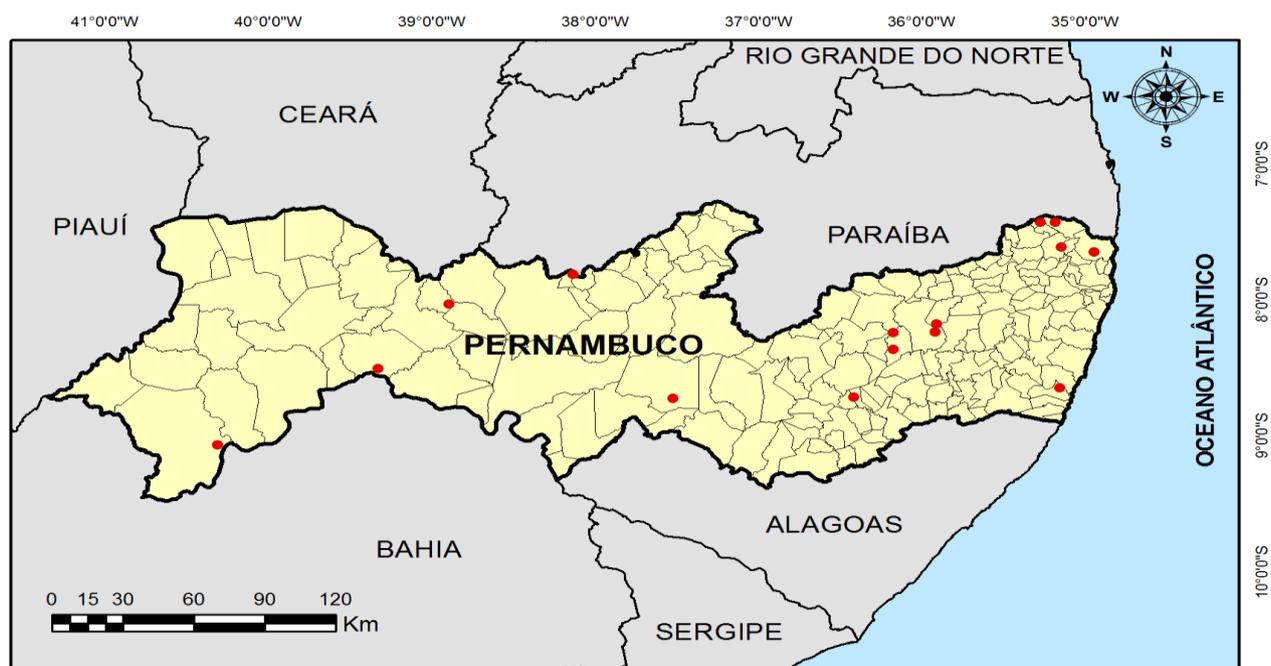


Figura 3. Distribuição espacial dos locais de coleta de 15 solos de referência do Estado do Pernambuco (Fonte: Adaptado de Biondi et al., 2011).

Tabela 3. Características químicas e teor de argila da camada superficial de quinze solos de referência do Estado de Pernambuco⁽¹⁾

Solo	pH água (1:2,5)	C.O g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	(Ca ²⁺ + Mg ²⁺)	CTC efetiva	Argila g kg ⁻¹
EK	5,0	12,9	1,0	0,03	0,03	0,50	1,10	1,66	65
PVA	6,1	12,4	25,0	0,28	0,07	0,00	2,70	3,05	80
RR	5,1	13,2	5,0	0,34	0,08	0,30	1,40	2,12	90
PAe	6,2	7,7	3,0	0,42	0,11	0,10	3,00	3,63	104
RRd	5,2	28,0	13,0	0,51	0,12	0,10	4,20	4,93	130
PA	5,7	7,2	38,0	0,08	0,05	0,20	1,50	1,83	135
RL	7,2	14,8	11,0	0,31	0,03	0,00	9,40	9,74	221
PVe	5,7	50,0	3,0	0,22	0,16	0,20	1,30	1,88	233
TC	7,0	9,3	24,0	0,38	0,13	0,00	9,50	10,01	238
CX	6,9	19,4	12,0	0,52	0,09	0,10	5,90	6,61	270
PV	4,8	16,0	3,0	0,58	0,07	0,20	2,70	3,55	282
RY	7,0	8,5	239,0	0,66	18,50	0,00	14,60	33,76	347
PVA	4,9	35,2	0,0	0,08	0,07	2,70	2,90	5,75	359
LVA	4,2	40,5	5,0	0,24	0,07	2,20	1,70	4,21	390
LA	5,1	22,4	3,0	0,10	0,06	1,60	0,40	2,16	428

⁽¹⁾Fonte: Dados compilados de Biondi et al. (2011). EK: Espodossolo Humilúvico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; RR: Neossolo Regolítico; PAe: Argissolo Amarelo eutrófico; RRd: Neossolo Regolítico distrófico; PA: Argissolo Amarelo; RL: Neossolo Litólico; PVe: Argissolo Vermelho eutrófico; TC: Luvissole Crômico; CX: Cambissolo Háplico; PV: Argissolo Vermelho; RY: Neossolo Flúvico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo.

3.4. Outros Solos do Estado do Rio Grande do Norte

Foram utilizadas amostras da camada de 0-20 cm de 15 solos do Estado do Rio Grande do Norte, selecionados a partir do trabalho de Preston et al. (2014). Esses solos foram selecionados de forma a apresentar ampla variação nas características químicas e teor de argila, de forma a obter solos com diferentes valores de CMAP e de P-rem. Os solos selecionados foram: Neossolo Quartzarênico (Tangará); Neossolo Regolítico (Acari); Luvisolo (Cruzeta); Chernossolo (Mossoró); Latossolo (Martins); Argissolo (Boa Saúde); Vertissolo (João Câmara); Vertissolo (Lajes); Solo de Mangue (Macau) e Latossolo (Porto Alegre). Os solos dos municípios de Lagoa Nova, São José de Mipibu, Caicó, Lucrecia e Goianinha, não foram classificados (Figura 4). Os resultados de algumas características químicas e teor de argila desses solos são apresentados na Tabela 4.

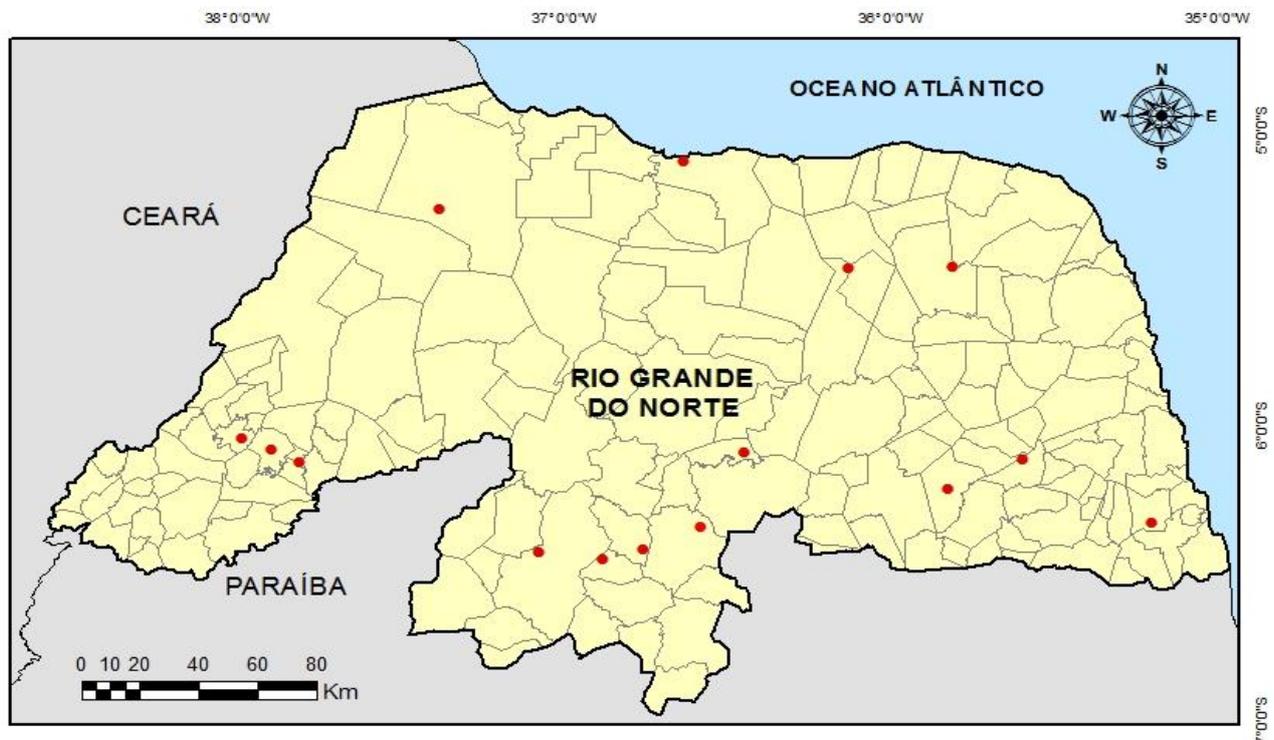


Figura 4. Distribuição espacial dos locais de coleta de 15 solos do Estado do Rio Grande do Norte (Fonte: Adaptado de Preston (2014)).

Tabela 4. Características químicas e teor de argila de quinze solos do Estado do Rio Grande do Norte⁽¹⁾

Solo	pH água (1:2,5)	M.O g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	Argila g kg ⁻¹
				----- cmol _c dm ⁻³ -----						
RQ	5,6	5,1	3,9	0,17	0,01	0,1	0,8	0,4	4,5	25
NC1	5,8	13,6	0,2	0,07	0,03	0,1	1,7	0,7	5,9	51
P	5,8	11,7	5,3	0,26	0,04	0,0	2,2	1,7	8,3	76
RL	5,7	13,0	2,6	0,0	0,07	0,1	5,7	2,1	12,4	127
T	6,1	16,5	4,5	0,34	0,03	0,1	5,2	3,0	12,6	127
NC2	5,5	9,6	20,3	0,44	0,01	0,1	1,4	0,5	5,9	151
NC3	5,4	13,4	9,2	0,28	0,15	0,1	4,8	3,4	12,9	152
NC4	5,1	12,1	24,6	0,19	0,01	0,3	1,9	2,3	9,0	177
L2	4,5	9,8	1,4	0,06	0,00	0,8	0,5	0,4	4,7	213
NC5	6,8	26,0	8,0	0,43	0,65	0,1	7,8	2,7	15,2	275
SM	8,2	20,4	4,6	1,89	44,46	0,0	8,8	9,5	66,2	298
V1	7,8	28,8	1,7	1,19	0,12	0,0	13,2	7,6	24,7	345
L1	5,2	17,4	3,2	0,07	0,02	0,6	1,5	0,7	7,6	400
M	7,8	29,7	0,8	1,13	0,07	0,0	33,3	7,0	44,3	525
V2	7,4	10,7	28,1	1,55	0,38	0,0	35,0	23,5	63,7	601

⁽¹⁾Fonte: Dados compilados de Costa (2013). RQ: Neossolo Quartzarênico; NC1: Solo Não Classificado; P: Argissolo; RL: Neossolo Litólico; T: Luvissolo; NC2: Solo Não Classificado; NC3: Solo Não Classificado; NC4: Solo Não Classificado; L2: Latossolo; NC5: Solo Não Classificado; SM: Solo de mangue; V1: Vertissolo; L1: Latossolo; M: Chernossolo; V2: Vertissolo.

3.5. Análise do Fósforo Remanescente (P-rem)

As análises de P-rem em todas as amostras dos solos foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). O P-rem foi analisado conforme o procedimento descrito por Alvarez V. et al. (2000), após agitação de uma amostra de 5,0 cm³ de terra fina seca ao ar (TFSA), em 50 mL de uma solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, contendo concentrações conhecidas de P. Para cada um dos quatro grupos de solos, foram avaliadas cinco concentrações iniciais de P na solução de equilíbrio (20, 30, 40, 50 e 60 mg L⁻¹), com três repetições. Após agitação por cinco minutos, a suspensão solo + solução de equilíbrio foi mantida em repouso por uma noite (16 h). A concentração final de P na solução de equilíbrio, que é o P-rem, foi analisada por espectrofotometria, de acordo com Braga e Defelipo (1974). Os resultados foram tabulados e em seguida procedeu-se a análise estatística, a qual consistiu de análises descritivas e de regressão linear.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de P remanescente para as cinco concentrações de fósforo na solução de equilíbrio (20, 30, 40, 50 e 60 mg L⁻¹), nas cinquenta e duas amostras de solos representativos coletadas nos Estados do Rio Grande do Norte (23), Ceará (2), Paraíba (12) e Pernambuco (15) são apresentados nas Tabelas 5, 6, 7 e 8. Os solos diferiram bastante em relação aos teores de P remanescente. As variações observadas nos valores de P-rem, indicam que esses solos apresentam diferenças marcantes em relação a capacidade máxima de adsorção de fósforo e ao fator capacidade de fósforo. Esse comportamento está relacionado a natureza do material de origem, classe de solo, teor de argila, presença de óxidos de Fe e Al, matéria orgânica, posição na paisagem e grau de desenvolvimento dos solos (Rolim Neto et al., 2004; Pereira et al., 2010; Guareschi et al., 2012; Fontana et al., 2013).

Para a seleção ou modificação de um método analítico a fim de melhorar a adubação de P de uma região é necessária a utilização de solos representativos. Sendo que estes devem contemplar, principalmente, os mais abrangentes e os de maior relevância agrônômica de uma região de interesse. Esses foram os critérios para a escolha dos solos localizados entre os vales dos rios Piranhas-Açu (RN) e Jaguaribe (CE). Portanto, isso permite avaliar, dentre as concentrações de P na solução de equilíbrio a que melhor se ajusta a esses solos. Os valores de P remanescente e coeficiente de variação (CV) obtidos nas diferentes concentrações iniciais de P na solução de equilíbrio, para os solos representativos dessa região são apresentados na Tabela 5.

Os valores de CV exprimem a variabilidade dos solos quanto a CMAP e ao FCP. Os valores de CV para o P remanescente variaram de 44 a 76%, dependendo da concentração inicial de P na solução de equilíbrio (Tabela 5). As concentrações de 20 e 30 mg L⁻¹ de P na solução de equilíbrio, apresentaram os maiores CVs (76 e 68 %, respectivamente), sendo que o maior CV foi encontrado na menor concentração de P avaliada. Entretanto, os elevados coeficientes de variação observados nessas concentrações não indicam que elas foram mais adequadas do que as demais para a determinação do P remanescente nesses solos. Uma vez que, a utilização de concentrações iniciais de P na solução equilíbrio muito baixas, não é recomendada para a determinação do P remanescente, pois provoca leituras de P-rem muito baixas ou próximas de zero, quando solos com elevada capacidade máxima de adsorção de fósforo e fator capacidade são avaliados (Novais e Smyth, 1999). Este fato se torna evidente quando se observa os valores de P remanescente de 1,11 e 2,72 mg L⁻¹ na concentração de 20 mg L⁻¹, nos solos CX3 e VX, respectivamente.

Segundo Novais e Smyth (1999), a utilização de baixas concentrações de P na solução de equilíbrio para a determinação do P remanescente, pode gerar erros quando solos diferentes em

relação ao FCP e CMAP são avaliados em conjunto, pois solos com alta CMAP pode sorver quase todo P da solução do solo, ocasionando valores de P-rem baixos ou próximos de zero. Além disso, solos distintos quanto ao FCP, podem apresentar valores de P remanescente semelhantes, o que não pode condizer com a realidade, gerando erros na interpretação dos resultados e na recomendação de adubação. Segundo Alvarez V. et al. (2000) a utilização da concentração inicial de P da solução de equilíbrio igual a 60 mg L⁻¹ de P, ao invés de uma concentração menor, igual a 50 mg L⁻¹ de P, possibilita maior amplitude de separação, ou de dispersão, dos diferentes solos, comparativamente ao uso da concentração inicial de P igual a 50 mg L⁻¹. Portanto, concentrações mais elevadas de P na solução de equilíbrio para a determinação de P remanescente nesses solos, se justificam, pois permite avaliar uma maior amplitude de solos com CMAPs mais elevadas, do que quando se usa concentrações baixas de P na solução de equilíbrio para a determinação do P remanescente, como de 20 e 30 mg L⁻¹ de P.

Tabela 5. Valores de P remanescente e coeficientes de variação (CV), nos solos representativos da região localizada entre os Vales dos rios Piranhas-Açu (RN) e Jaguaribe (CE)

Solo	Argila dag kg ⁻¹	Concentração inicial de P na solução de equilíbrio (mg L ⁻¹)				
		20	30	40	50	60
		-----mg L ⁻¹ -----				
RQ	3	16,89	29,29	31,24	42,68	51,08
LVA	5	15,34	27,29	34,25	42,68	50,59
PVA1	16	14,62	25,67	28,63	38,83	46,82
RY	19	10,75	17,65	22,33	34,26	39,18
CX1	23	5,57	13,52	18,63	27,48	35,23
MD	32	3,17	4,48	8,58	12,61	16,64
CX2	33	4,95	11,01	15,70	22,95	30,36
CX3	33	1,11	2,49	3,05	10,73	11,82
PVA2	41	3,54	7,82	12,77	19,71	27,65
VX	42	2,72	6,62	9,56	14,02	18,10
Média	25	7,87	14,58	18,47	26,60	32,75
Desvio padrão	15	5,94	9,90	10,46	12,44	14,31
CV (%)	56	76	68	57	47	44

RQ = Neossolo Quartzarênico (Russas-CE); LVA = Latossolo Vermelho-Amarelo (Mossoró-RN); PVA1 = Argissolo Vermelho-Amarelo (Mossoró-RN); RY = Neossolo Flúvico (Carnaubais-RN); CX1 = Cambissolo Háplico (Afonso Bezerra-RN); MD = Chernossolo Rêndzico (Mossoró-RN); CX2 = Cambissolo Háplico (Baraúna-RN); CX3 = Cambissolo Háplico (Quixerê-CE); PVA2 = Argissolo Vermelho-Amarelo (Apodi-RN); VX = Vertissolo Háplico (Mossoró-RN).

Nas concentrações mais elevadas de P na solução de equilíbrio (50 e 60 mg L⁻¹) (Tabela 5), os valores de P remanescente são elevados e semelhantes. Os valores de CV diminuem em quase uma unidade percentual (0,85%), para cada aumento de 1,0 mg L⁻¹ de P na solução de equilíbrio (Figura 5). Isso demonstra que as concentrações iniciais de P mais elevadas perdem eficiência em detectar diferenças quanto ao FCP e a CMAP dos solos dessa região.

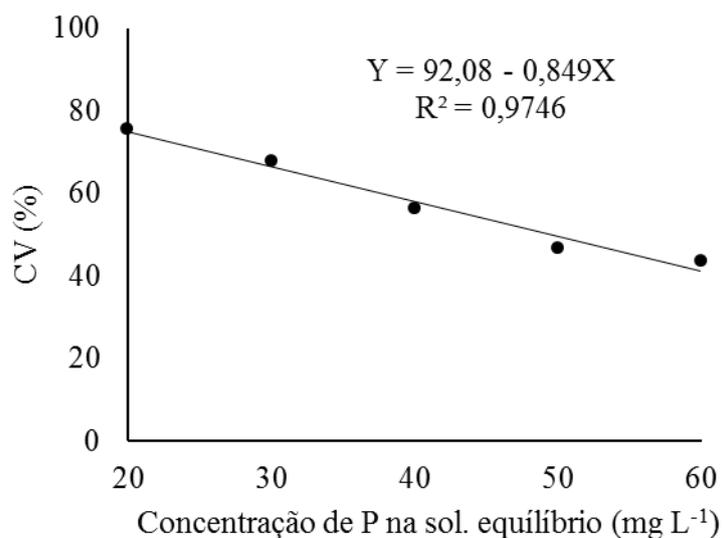


Figura 5. Coeficientes de variação (CV) dos valores de P-rem em função da concentração inicial de P na solução de equilíbrio, nos solos representativos da região semiárida localizada entre os vales dos rios Piranhas-Açu (RN) e Jaguaribe (CE).

Portanto a concentração de 60 mg L⁻¹ de P utilizada na metodologia original proposta por Alvarez et al. (2000), para a determinação do P remanescente, parece não ser sensível em detectar diferenças entre os solos dessa região, quanto a CMAP e ao FCP. A maioria dos solos da região Nordeste, apresentam baixos teores de óxidos de Fe e Al, o que pode contribuir para a menor eficiência dessa concentração. Resultados semelhantes foram encontrados por Santos et al. (2011), onde a concentração de 60 mg L⁻¹ de P não foi adequada para a determinação do P remanescente em solos representativos do Estado da Paraíba.

É possível observar semelhança entre o CV da concentração de 40 mg L⁻¹ de P e o teor de argila (57 e 56, respectivamente). A semelhança entre os coeficientes de variação indicam que essa concentração pode expressar melhor as diferenças entre os solos em relação à CMAP e ao FCP, já que os solos dessa região geralmente apresentam baixos teores de óxidos de Fe e Al, somados aos baixos teores de matéria orgânica, que juntos são os principais responsáveis pela sorção de fósforo

no solo. Sendo assim, esses resultados podem indicar que a concentração de 40 mg L⁻¹ de P na solução de equilíbrio pode ser adequada para os solos da região semiárida localizada entre os vales dos rios Piranhas-Açu-RN e Jaguaribe-CE, ao invés da concentração padrão de P (60 mg L⁻¹), amplamente utilizada nos laboratórios de rotina do Brasil para a determinação do P-rem.

O teor de argila é a principal característica que influencia a CMAP e o FCP, ambas características estimadas pelos valores de P remanescente. Os valores de P-rem e argila se correlacionam de forma negativa (Bonfim et al., 2004; Broggi et al., 2010; Rogeri, 2013) por ser o P remanescente uma medida do fósforo não adsorvido. Parte-se do pressuposto que quanto maior for o teor de argila, maior será o poder de adsorção de P no solo. Assim, os valores de P-rem, em geral, serão menores em solos mais argilosos. Contudo, solos com o mesmo teor de argila podem apresentar diferentes capacidades de adsorção de P, pois as principais características do solo que influenciam a adsorção de fósforo são: o tipo de argila, o conteúdo de coloides de baixa cristalinidade e quantidade e qualidade da matéria orgânica. Esse fato é comprovado quando se compara os Cambissolos pertencentes aos municípios de Quixeré/CE (CX3) e de Baraúna/RN (CX2), ambos derivados de calcário. Esses Cambissolos apresentaram o mesmo teor de argila (33%) (Tabela 1), porém o CX2 apresentou valor de P-rem de 30,36 mg L⁻¹, enquanto no CX3 o valor de P-rem foi de apenas 11,82 mg L⁻¹ (Tabela 5), evidenciando que os minerais da fração argila do solo CX3 apresentam maior poder de sorção de P.

Nos solos representativos do Estado da Paraíba, os valores de P-rem variaram de 19 a 40 %, dependendo da concentração inicial de P na solução de equilíbrio (Tabela 6). Os valores de coeficiente de variação observados nos solos da Paraíba foram menores do que nos solos anteriormente citados. Este fato pode ser explicado devido a um maior número de solos que apresentam baixa adsorção de fósforo. Conforme Farias et al. (2009a), os solos representativos do Estado da Paraíba apresentam baixos teores de óxidos de Fe e Al, predomínio de argilas silicatadas do tipo 2:1 e baixa CMAP.

Dentre os solos representativos do Estado da Paraíba, o Vertissolo Háptico, foi o solo que adsorveu mais fósforo (P-rem de 26,62 mg L⁻¹) (Tabela 6). Os teores elevados de Ca²⁺ associado ao pH alcalino (Tabela 2), pode ter favorecido a formação de precipitados de fósforo nesse solo, justificando assim, os menores valores de P-rem em relação aos outros solos. Esses resultados são corroborados por Farias et al. (2009a), que avaliando a sorção de fósforo nesse solo, o Vertissolo apresentou maior valor de CMAP dentre os solos estudado, devido aos elevados teores de Ca²⁺ e pH alcalino que contribuíram para o aumento da CMAP. Fontana et al. (2013), observaram que características do solo relacionada a solução do solo, como o pH e a presença de elevadas concentrações de cátions na solução do solo, como o Ca²⁺, influenciam no aumento da adsorção e

Tabela 6. Valores de P remanescente e coeficiente de variação (CV), nos solos representativos do Estado da Paraíba

Solo	Argila dag kg ⁻¹	Concentração inicial de P na solução de equilíbrio (mg L ⁻¹)				
		20	30	40	50	60
		-----mg L ⁻¹ -----				
RR	3	18,09	23,35	35,73	44,15	53,80
RL	8	13,67	22,13	29,59	33,69	45,93
PA	9	13,20	21,49	25,74	30,85	43,09
PAC	12	14,22	22,62	32,50	34,50	46,39
TX	14	11,33	18,38	24,41	33,35	42,11
PVe	18	5,65	10,78	16,88	26,89	31,85
SX	19	7,61	13,95	18,93	24,09	37,22
RY	20	12,96	20,74	29,59	32,73	44,27
PVA	23	9,00	13,33	18,81	28,17	37,95
LA	29	11,69	19,18	23,81	34,35	45,05
PVd	38	5,81	11,67	15,46	23,15	30,54
VX	43	3,88	8,46	12,53	16,65	26,62
Média	19,7	10,60	17,17	23,67	30,21	40,40
Desvio padrão	12	4,23	5,24	7,27	7,04	7,80
CV(%)	61,3	39,9	30,5	30,7	23,3	19,3

RR: Neossolo Regolítico; RL: Neossolo Litólico; PA: Argissolo Amarelo; PAC: Argissolo Acinzentado; TX: Luvissole Háplico; PVe: Argissolo Vermelho eutrófico; SX: Planossolo Háplico; RY: Neossolo Flúvico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo; PVd: Argissolo Vermelho distrófico; VX: Vertissolo Háplico.

precipitação de P no solo. Esse comportamento destaca a importância da precipitação de Ca²⁺ nos solos de origem calcária no processo de sorção de fósforo no solo.

O menor CV (19,3%), foi encontrado na concentração inicial de P de 60 mg L⁻¹, assim como observado nos solos representativos da região localizada entre os vales dos rios Piranhas-Açu (RN) e Jaguaribe (CE). Nos solos representativos do Estado da Paraíba, para cada aumento de 1 mg L⁻¹ de fósforo na solução de equilíbrio, o CV diminui em (0,48%) (Figura 6), mesmo comportamento observado nos solos avaliados anteriormente. Esses resultados corroboram com os de Santos et al. (2011), que ao estudar a cinética de sorção de P em 12 solos representativos do Estado da Paraíba, observou que na menor concentração inicial de P da solução de equilíbrio (6 mg L⁻¹) as diferenças entre os solos quanto a CMAP e ao FCP foram bem marcantes, podendo-se diferenciar os solos que

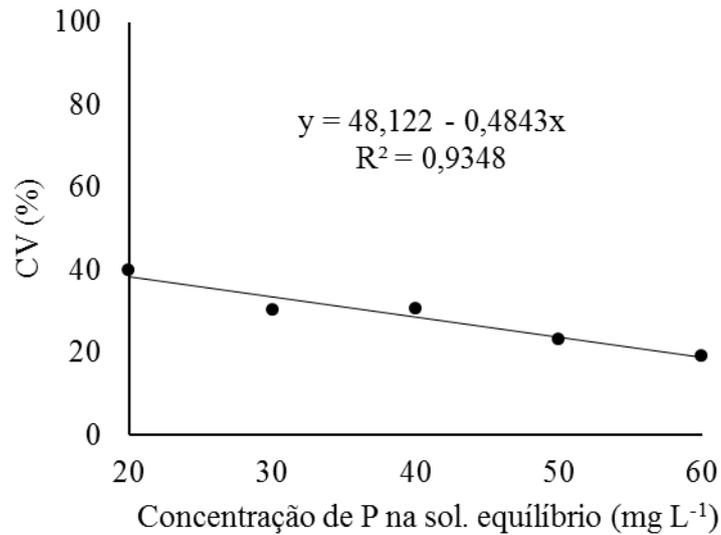


Figura 6. Coeficiente de variação (CV) dos valores de P-rem em função da concentração inicial de P na solução de equilíbrio nos solos representativos do Estado da Paraíba.

mais sorvem P em menores tempos. Na maior concentração inicial de P da solução de equilíbrio (60 mg L⁻¹), a diferença entre solos relativa à sorção de P foi mais difícil de ser observada, por ser esta quantidade de P excessiva para os solos paraibanos, caracterizados por baixa CMAP e baixos teores de óxidos de Fe e de Al. Por este motivo, Santos et al. (2011) afirmaram que a utilização da concentração inicial de P igual a 60 mg L⁻¹ de P para análise do P-rem, é muito elevada e inadequada para esses solos.

Os valores de P remanescente na concentração de 60 mg L⁻¹ nos solos de referência do Estado de Pernambuco, variaram de 20,62 a 45,67 mg L⁻¹, indicando que os solos apresentam potencial para a fixação de fósforo diferentes (Tabela 7). Resultados semelhantes foram encontrados por Corrêa et al. (2011), em solos do Estado de Pernambuco, onde os valores de P-rem variaram entre 12,8 a 57,8 mg L⁻¹. Os valores de CV para esse grupo de solos variaram de 19 a 41 %, dependendo da concentração inicial de P na solução de equilíbrio, enquanto o CV para o teor de argila foi de 54% (Tabela 7).

Tabela 7. Valores de P remanescente e coeficiente de variação (CV), nos solos de referência do Estado de Pernambuco

Solo	Argila dag kg ⁻¹	Concentração inicial de P na solução de equilíbrio (mg L ⁻¹)				
		20	30	40	50	60
		-----mg L ⁻¹ -----				
EK	7	2,01	6,93	10,14	16,44	20,62
PVA	8	17,89	25,05	35,94	46,28	44,95
RR	9	16,56	24,30	35,68	39,82	40,31
PAe	10	15,15	25,98	35,82	44,83	39,48
RRd	13	14,91	22,36	31,39	40,08	45,67
PA	14	14,75	20,72	34,03	40,01	41,15
RL	22	8,26	15,98	23,10	34,84	35,91
PVe	23	10,55	18,60	27,02	34,62	40,90
TC	24	9,70	18,43	19,61	37,96	40,47
CX	27	9,35	18,00	24,77	34,47	34,67
PV	28	11,51	19,76	31,48	37,51	43,42
RY	35	11,06	19,51	27,41	36,67	43,02
PVA	36	6,79	13,73	17,61	21,97	27,43
LVA	39	18,10	24,41	38,10	44,40	44,49
LA	43	5,65	11,42	16,34	20,33	29,47
Média	23	11,48	19,01	27,23	35,35	38,13
Desvio padrão	12	4,72	5,34	8,47	8,99	7,26
CV(%)	53,5	41,1	28,1	31,1	25,4	19,0

EK: Espodossolo Humilúvico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; RR: Neossolo Regolítico; PAe: Argissolo Amarelo eutrófico; RRd: Neossolo Regolítico distrófico; PA: Argissolo Amarelo; RL: Neossolo Litólico; PVe: Argissolo Vermelho eutrófico; TC: Luvisso Crômico; CX: Cambissolo Háplico; PV: Argissolo Vermelho; RY: Neossolo Flúvico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo.

Nesse grupo de solo, verifica-se que para cada aumento de 1 mg L⁻¹ de P na solução de equilíbrio, o coeficiente de variação, diminui em (0,47%), indicando que o aumento da concentração de P na solução de equilíbrio para determinação do P remanescente nesses solos perde eficiência (Figura 7). Dentre os grupos de solos avaliados, o menor CV (19%) foi encontrado para o grupo de solos do Estado do Pernambuco. Assim como nos resultados obtidos nos solos anteriores, o aumento da concentração de P, diminui a eficiência das concentrações em detectar diferenças em relação a CMAP e ao FCP desses solos.

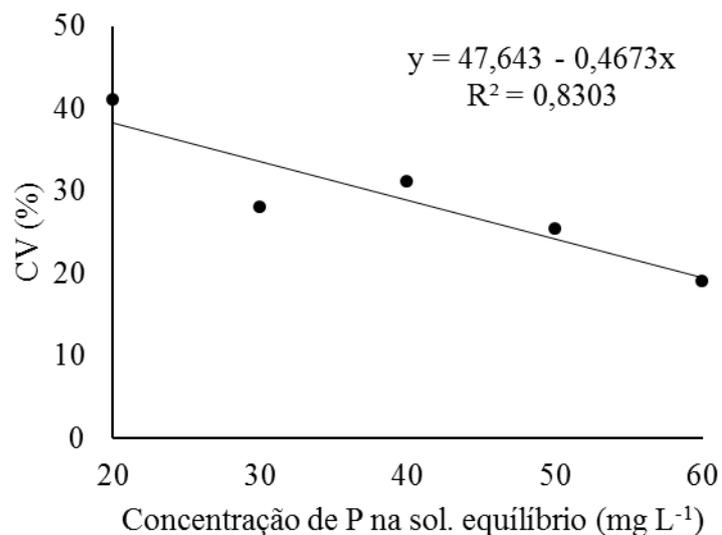


Figura 7. Coeficiente de variação (CV) dos valores de P-rem em função da concentração inicial de P na solução de equilíbrio nos solos de referência do Estado do Pernambuco

A concentração de P remanescente em solução depende da atuação combinada da concentração de P adicionada, do tempo de contato e da capacidade de adsorção de fosfatos do solo, que, por sua vez, é dependente da quantidade de matéria orgânica, textura e da mineralogia da fração argila (Novais e Smyth, 1999). No grupo de solos de referência do Estado do Pernambuco (Tabela 3), o solo que mais adsorveu fósforo foi o Espodossolo Humilúvico, fato interessante, pois é o solo que apresenta o menor teor de argila (65 g Kg^{-1}), isso demonstra que não só a quantidade de argila, mas outras propriedades do solo como qualidade da fração argila, matéria orgânica e teor de Ca^{2+} influenciam na adsorção de fósforo (Bonfim et al., 2003; Eberhardt et al., 2008).

Alguns estudos relatam que os compostos orgânicos do solo podem aumentar a adsorção do fósforo no solo. Moreira et al., (2006), encontraram correlação positiva entre a CMAP e o teor de matéria orgânica do solo. A razão citada para a existência dessa correlação é que os íons orgânicos carregados negativamente compartilham as valências dos cátions (Al^{3+} , Fe^{2+} e Ca^{2+}), fazendo pontes com os íons fosfato.

Assim como a matéria orgânica pode aumentar a adsorção de fósforo e conseqüentemente diminuir os valores de P remanescente, elevados teores de Ca^{2+} na solução do solo pode contribuir para a precipitação do fósforo, principalmente em solos originados de rochas calcárias. Fontana et al. (2013), observaram que características do solo relacionada a

solução do solo, como o pH e a presença de elevadas concentrações de cátions na solução do solo, como o Ca^{2+} , influenciam no aumento da adsorção e precipitação de P no solo.

Os valores de P remanescente para os solos do Estado do Rio Grande do Norte são apresentados na Tabela 8. Os valores de P-rem variaram de 15,7 a 59,4 mg L^{-1} para a concentração padrão (60 mg L^{-1}) utilizada para a determinação do P remanescente. Resultados semelhantes foram encontrados por Godinho et al. (1997), trabalhando com três solos da região semiárida do Estado do Rio Grande do Norte que obtiveram valores de P-rem que variaram de 32,11 a 44,63 mg L^{-1} .

Tabela 8. Valores de P remanescente e coeficiente de variação (CV), nos solos do Estado do Rio Grande do Norte

Solo	Argila dag kg^{-1}	Concentração inicial de P na solução de equilíbrio (mg L^{-1})				
		20	30	40	50	60
		----- mg L^{-1} -----				
RQ	3	13,82	25,23	35,80	48,07	59,39
NC1	5	17,43	27,39	38,74	47,52	55,33
P	8	17,94	23,63	35,74	42,02	55,85
RL	13	7,88	15,49	23,70	34,21	46,25
T	13	10,85	19,13	34,49	41,44	47,63
NC2	15	13,63	23,73	35,00	45,87	52,86
NC3	15	9,50	18,85	28,68	35,22	49,73
NC4	18	9,08	16,89	29,26	33,73	42,34
L2	21	8,76	16,39	25,63	36,51	45,83
NC5	28	9,19	15,12	29,48	30,13	40,96
SM	30	4,71	8,48	15,64	19,80	27,42
V1	35	3,34	5,63	8,48	12,26	20,94
L1	40	6,01	10,31	21,80	26,47	36,60
M	53	2,11	5,52	9,76	14,94	15,73
V2	60	4,91	9,24	16,31	21,65	30,17
Média	24	9,28	16,07	25,90	32,66	41,80
Desvio padrão	17	4,80	7,09	9,75	11,60	13,17
CV(%)	73,2	51,8	44,2	37,6	35,5	31,5

RQ: Neossolo Quartzarênico; NC1: Solo Não Classificado; P: Argissolo; RL: Neossolo Litólico; T: Luvisolo; NC2: Solo Não Classificado; NC3: Solo Não Classificado; NC4: Solo Não Classificado; L2: Latossolo; NC5: Solo Não Classificado; SM: Solo de mangue; V1: Vertissolo; L1: Latossolo; M: Chernossolo; V2: Vertissolo.

Os valores de CV para o P remanescente variaram de 32 a 52%, enquanto o CV para o teor de argila foi de 73% (Tabela 8). Os valores de CV diminuíram em (0,49%), para cada aumento de 1 mg L⁻¹ de P na solução de equilíbrio (Figura 8). De modo geral, os solos do Estado do Rio Grande do Norte apresentaram baixa capacidade de adsorção de P, isso fica evidente pelos elevados valores de P remanescente (Tabela 8). Nesse grupo de solos, os que mais adsorveram P, foram o Chernossolo e Vertissolo com valores de P remanescente de 15,7 e 20,9 mg L⁻¹, respectivamente, provavelmente devido as características químicas desses solos, como os elevados teores de Ca²⁺ e CTC (Tabela 4).

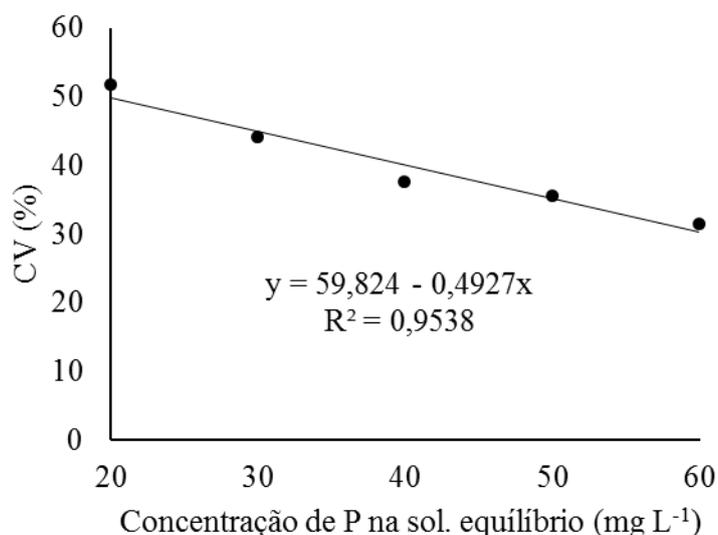


Figura 8. Coeficientes de variação (CV) dos valores de P-rem em função da concentração inicial de P na solução de equilíbrio nos solos representativos do Estado do Rio Grande do Norte

É importante destacar que para todos os grupos de solos avaliados os valores de coeficiente de variação diminuíram com o aumento da concentração de P. Esse comportamento nos diferentes grupos de solos já era esperado. Pois os solos da região Nordeste do Brasil apresentam baixos teores de óxidos de Fe e Al, quando comparados aos solos de outras regiões do País. Além disso, a maioria dos solos da região Nordeste apresentam valores de CMAP mais baixos do que os encontrados em outras regiões do Brasil (Farias et al., 2009ab; Santos et al., 2011).

Foram ajustadas equações de regressão que estimam o efeito das diferentes concentrações de P na solução de equilíbrio (20, 30, 40, 50 e 60 mg L⁻¹) para os diferentes grupos de solos. O efeito das diferentes concentrações de P na solução de equilíbrio foi linear. Os coeficientes de determinação (R²) foram elevados, e a maioria dos solos apresentaram

valores acima de 0,85 (Tabelas 9, 10, 11 e 12), o que indica um bom ajuste da equação aos dados. Considerando o número de solos estudados, a utilização destas equações não deve ser extrapolada para qualquer tipo de solo, sendo adequada somente para solos com atributos físicos e químicos semelhantes aos dos solos estudados.

A medida que a concentração de fósforo na solução de equilíbrio aumenta, o coeficiente de variação para os diferentes solos diminui. Esse comportamento é observado para todos os grupos de solos avaliados. Farias et al. (2009a), observaram que nos solos representativos do Estado da Paraíba os valores para a capacidade máxima de adsorção de fosfato foram baixos, quando comparados aos obtidos em solos de outras regiões do Brasil. Portanto, quanto menor for a CMAP dos solos, maiores são os valores de P remanescente. Foi possível observar valores de P remanescente elevado na concentração de 60 mg L^{-1} nos solos estudados, o que demonstra a baixa sorção de P. Apesar da diminuição dos valores de CVs de acordo com o aumento da concentração de P na solução de equilíbrio indicar que concentrações mais elevadas não sejam sensível em detectar diferenças nos solos quanto a CMAP e ao FCP, esse comportamento se deve ao fato que o aumento da concentração inicial de P na solução de equilíbrio aumentou a média dos valores de P-rem encontrados e, conseqüentemente, diminuiu o coeficiente de variação desses valores.

Na metodologia original para análise do P-rem, Alvarez V. et al. (2000) justifica o uso da concentração inicial de P da solução de equilíbrio igual a 60 mg L^{-1} de P, ao invés de uma concentração de 50 mg L^{-1} de P. Segundo esses autores, a obtenção do P-rem utilizando a concentração inicial de P igual a 60 mg L^{-1} possibilita maior amplitude de separação, ou de dispersão, dos diferentes solos, comparativamente ao uso de concentrações menores de P.

A utilização de concentrações mais elevadas do que 60 mg L^{-1} nos solos avaliados nesse estudo não se justifica. Conforme resultados obtidos por Rogeri et al (2016), que ao avaliar concentrações de ($60, 80$ e 100 mg L^{-1}) para a determinação do P remanescente em solos do Rio Grande do Sul mais desenvolvidos e com maior capacidade máxima de adsorção de fósforo, dos que os solos da região Nordeste, observaram que as maiores concentrações de P testadas não resultaram em melhores ajustes com a maioria dos atributos químicos e teor de argila dos solos. Entretanto ocorreu elevação dos coeficientes de correlação, na medida em que houve aumento da concentração de P na solução para a CMAP. A explicação para essa tendência reside no fato de terem sido selecionados alguns solos com CMAP muito elevada ($> 600 \text{ mg kg}^{-1}$). A determinação do P remanescente com a dose de 60 mg L^{-1} , na relação solo:solução de 1:10, equivale a uma adsorção de 600 mg kg^{-1} , caso todo o fósforo adicionado em solução fosse adsorvido pelo solo.

Tabela 9. Equações de regressão linear simples para os valores de P-rem (y) como variável dependente da concentração inicial de P na solução de equilíbrio (x), nos solos da região localizada entre os vales dos rios Piranhas-Açu (RN) e Jaguaribe (CE)

Solo	Equação de Regressão	R ²
RQ	$y = -4,551+0,735*x$	0,97
LVA	$y = -5,056+0,381*x$	0,99
PVA1	$y = -0,321+0,859*x$	0,99
RY	$y = -0,114+0,776*x$	0,98
C1	$y = -6,809+0,678*x$	0,85
MD	$y = -8,111+0,628*x$	0,99
C2	$y = -6,020+0,297*x$	0,87
C3	$y = -9,226+0,733*x$	0,99
PVA2	$y = -4,934+0,351*x$	0,98
V	$y = 1,522+0,818*x$	0,97

RQ: Neossolo Quartzarênico (Russas-CE); LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo (Mossoró-RN); PVA1: Argissolo Vermelho-Amarelo (Mossoró-RN); RY: Neossolo Flúvico (Carnaubais-RN); C1: Cambissolo (Afonso Bezerra-RN); MD: Chernossolo Rêndzico (Mossoró-RN); C2: Cambissolo (Baraúna-RN); C3: Cambissolo (Quixeré-CE); PVA2: Argissolo Vermelho-Amarelo (Apodi-RN); V: Vertissolo (Mossoró-RN). *, significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 10. Equações de regressão linear simples para os valores de P-rem (y) como variável dependente da concentração inicial de P na solução de equilíbrio (x), nos solos representativos do Estado da Paraíba

Solo	Equação de Regressão	R ²
PA	$y = -0,783+0,691*x$	0,96
PAC	$y = -0,445+0,762*x$	0,97
PVe	$y = -8,992+0,685*x$	0,99
PVA	$y = -7,643+0,727*x$	0,97
LA	$y = -5,936+0,819*x$	0,98
PVd	$y = -7,047+0,609*x$	0,99
RR	$y = -1,863+0,922*x$	0,99
RL	$y = -1,432+0,761*x$	0,98
TX	$y = -4,697+0,765*x$	0,99
SX	$y = -7,389+0,694*x$	0,96
RY	$y = -1,777+0,746*x$	0,98
VX	$y = -7,839+0,537*x$	0,96

PA: Argissolo Amarelo; PAC: Argissolo Acinzentado; PVe: Argissolo Vermelho eutrófico; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; LA: Latossolo Amarelo; PVd: Argissolo Vermelho distrófico; RR: Neossolo Regolítico; RL: Neossolo Litólico; TX: Luvisolo Háptico; SX: Planossolo Háptico; RY: Neossolo Flúvico; VX: Vertissolo Háptico. *, significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 11. Equações de regressão linear simples para os valores de P-rem (y) como variável dependente da concentração inicial de P na solução de equilíbrio (x), nos solos de referencia do Estado de Pernambuco

Solo	Equação de Regressão	R ²
PVA	$y = -2,309+0,495*x$	0,99
EK	$y = -7,466+0,467*x$	0,99
LA	$y = -5,974+0,565*x$	0,98
PV	$y = -3,881+0,815*x$	0,98
PA	$y = 1,299+0,721*x$	0,93
RR	$y = 6,126+0,630*x$	0,90
PVe	$y = -4,353+0,767*x$	0,99
RRd	$y = -0,818+0,793*x$	0,99
LVA	$y = 4,787+0,728*x$	0,91
PVA	$y = 3,879+0,754*x$	0,93
PAe	$y = 5,248+0,675*x$	0,82
RY	$y = -4,905+0,811*x$	0,99
TC	$y = -7,191+0,811*x$	0,92
CX	$y = -2,593+0,671*x$	0,95
RL	$y = -6,046+0,743*x$	0,96

PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; EK: Espodossolo Humilúvico; LA: Latossolo Amarelo; PV: Argissolo Vermelho; PA: Argissolo Amarelo; RR: Neossolo Regolítico; PVe: Argissolo Vermelho eutrófico; RRd: Neossolo Regolítico distrófico; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo; PVA: Argissolo Vermelho-Amarelo; PAe: Argissolo Amarelo eutrófico; RY: Neossolo Flúvico; TC: Luvissoilo Crômico; CX: Cambissolo Háplico; RL: Neossolo Litólico. *, significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 12. Equações de regressão linear simples para os valores de P-rem (y) como variável dependente da concentração inicial de P na solução de equilíbrio (x), em outros solos do Estado do Rio Grande do Norte

Solo	Equações de Regressão	R ²
RQ	$y = -10,701+0,774*x$	0,98
NC1	$y = -8,715+0,629*x$	0,99
RL	$y = -5,047+0,367*x$	0,97
T	$y = -6,603+0,418*x$	0,92
NC2	$y = -7,485+0,567*x$	0,99
NC3	$y = -6,452+0,786*x$	0,95
M	$y = -11,085+0,943*x$	0,99
L1	$y = -7,083+0,834*x$	0,98
NC4	$y = -9,737+0,948*x$	0,99
NC5	$y = -6,020+1,006*x$	0,99
P	$y = -7,637+0,959*x$	0,97
V1	$y = -12,681+0,955*x$	0,99
V2	$y = -5,091+1,143*x$	0,87
SM	$y = -2,895+1,106*x$	0,94
L2	$y = -10,265+1,218*x$	0,99

RQ: Neossolo Quartzarênico; RL: Neossolo Litólico; T: Luvissole; M: Chernossolo; L1: Latossolo; P: Argissolo; V1: Vertissolo; V2: Vertissolo; Solo de Mangue; L2: Latossolo. NC = Solo Não Classificado; SM = Solo de mangue. *, significativo a 5% de probabilidade.

Devido ao fato de uma concentração de 40 mg L⁻¹ de P equivaler a uma adsorção de 400 mg kg⁻¹, caso todo o fósforo em solução seja adsorvido pelo solo. A utilização e recomendação de concentrações menores do que a padrão para a determinação do P remanescente deve apresentar cautela. Uma vez que solos que apresentem CMAPs maiores do que a concentração de 40 mg L⁻¹ de P, pode acarretar em erros, como subestimar a adubação de P nesses solos. Broggi et al. (2011), ao estudarem o fator capacidade de fósforo em solos do Pernambuco, sugeriram a determinação do P rem por melhor estimar o FCP dos solos e por ser de fácil determinação em laboratório de rotina. Porém, nos solos mais argilosos, com predominância de goethita e hematita na fração argila, a concentração de 60 mg L⁻¹ de P não foi adequada para esses solos, pois os mesmos apresentavam CMAPs maiores do que a concentração padrão e conseqüentemente os valores de P remanescente nesses solos foram semelhantes, o que não pode condizer com a realidade.

Como já destacado anteriormente, a medida em que aumenta a concentração de fósforo de P na solução de equilíbrio, menores são os valores dos coeficientes de variação para os grupos de solos avaliados. Os solos analisados apresentam baixa capacidade máxima de adsorção de fósforo, o que ocasiona em maiores valores de P remanescente a medida que a concentração de P é maior. Como o CV é obtido através da divisão entre o desvio padrão e a média, multiplicado por 100, quanto maior for o valor da média dos dados, menores serão os valores do coeficiente de variação. Isso pode indicar que as concentrações mais elevadas de P na solução de equilíbrio podem ser eficientes em detectar diferenças entre os solos quanto a CMAP, tendo em vista a influência da média no resultado final do CV. Quando os 52 solos são avaliados em conjunto, verifica-se que quanto maior a concentração de P na solução de equilíbrio, maior é a média (Figura 9). Também é possível observar que com o aumento das concentrações de P na solução de equilíbrio, maior o valor do desvio padrão (Figura 9). Os valores de desvio padrão de 9, 10 e 11, nas concentrações de 40, 50 e 60 mg L⁻¹ de P, respectivamente, indicam que essas concentrações apresentaram sensibilidade em detectar diferenças quanto a CMAP e ao FCP dos solos semelhantes. De acordo com os valores de desvio padrão considerando os quatro grupos de solos (52 solos), indica que a concentração de 60 mg L⁻¹ também é sensível em detectar diferenças entre os solos quanto a CMAP e ao FCP, diferentemente do que quando se avalia apenas o coeficiente de variação.

Portanto com base nesses resultados, recomenda-se utilizar a concentração de 60 mg L⁻¹ de P, sugerida por Alvarez et al. (2000), para a determinação do fósforo remanescente em laboratórios de rotina em solos representativos da região Nordeste do Brasil, uma vez que a sensibilidade dessa concentração em detectar diferenças quanto a CMAP e ao FCP é semelhante as das concentrações menores (Figura 9). Além disso, a utilização da concentração de 60 mg L⁻¹ de P em análises de P-rem em laboratórios de rotina, possibilita avaliar um maior grupo de solos com diferentes capacidades de adsorção.

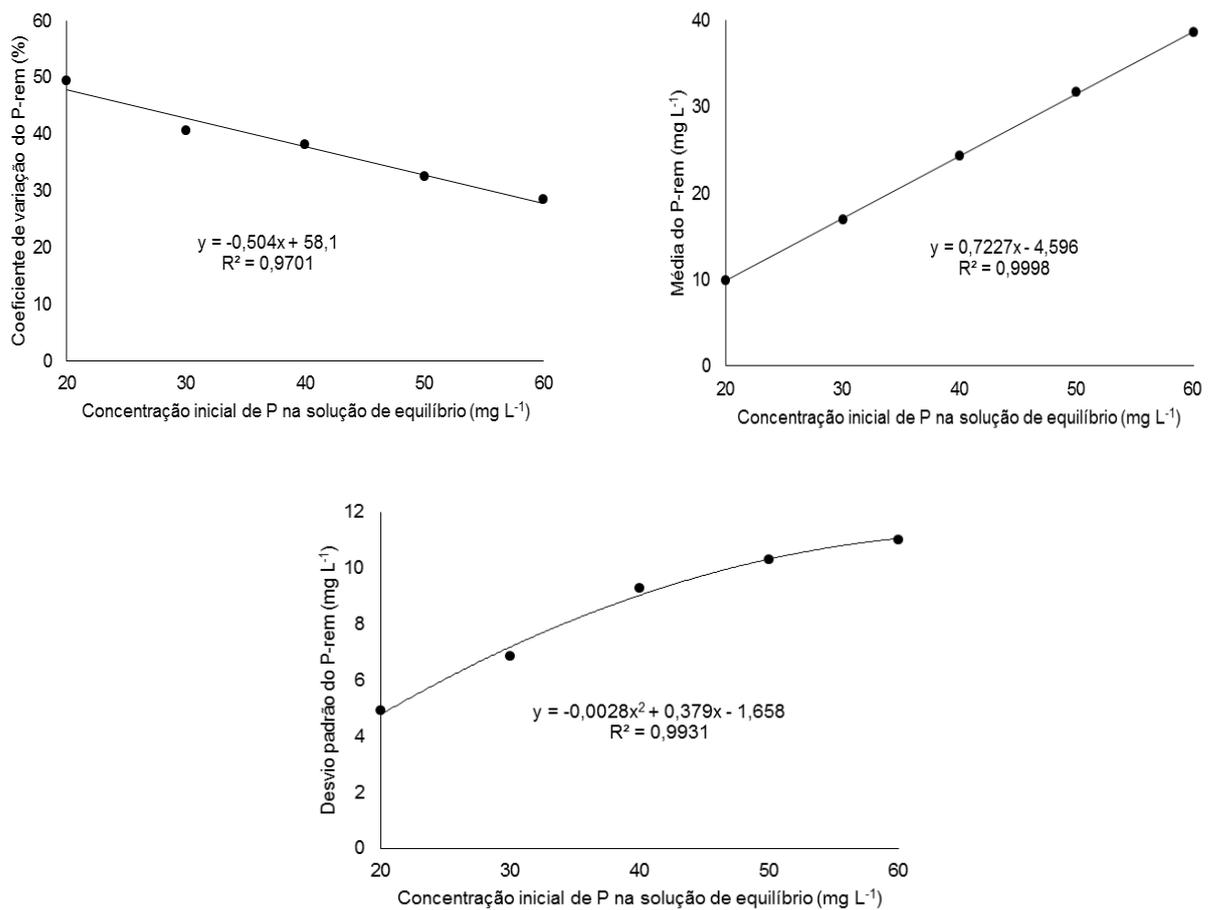


Figura 9. Coeficientes de variação, média e desvio padrão dos valores de P-rem em função da concentração inicial de P na solução de equilíbrio, considerando os quatro grupos de solos (total de 52 solos).

5. CONCLUSÕES

Os valores de P-rem dos solos do Nordeste brasileiro são elevados, indicando que os mesmos possuem baixa capacidade máxima de adsorção de fosfato (CMAP).

Nos solos estudados, o aumento da concentração inicial de P na solução de equilíbrio aumentou a média dos valores de P-rem encontrados e, conseqüentemente, diminuiu o coeficiente de variação desses valores.

Para análise do P-rem em solos do Nordeste brasileiro, recomenda-se manter a concentração inicial de P na solução de equilíbrio de 60 mg L^{-1} de P, ao invés de uma concentração menor.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez V., V.H.; Novais, R.F.; Dias, L.E.; Oliveira, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Boletim Informativo. SBCS, v. 25, p. 27-32, 2000.
- Alves, M. E. & Lavorenti, A. Remaining phosphorus and sodium fluoride pH in soils with diferente clay contentes and clay mineralogies. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, p. 241-246, 2004.
- Andrade, F.V.; Mendonça, E.S.; Alvarez V, V.H; Novais, R.F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.1003-1011, 2003.
- Arruda, E.M.; Lana, R.M.Q.; Pereira, H.S. Fósforo extraído por Mrhlich-1 e Resina de Troca Aniônica em solos submetidos á calagem. Bioscience Journal, v.31, p. 1107-1117, 2015.
- Antelo, J.; Arce, F.; Avena, M.; Fiol, S.; López, R.; Macías, F. Adsoption of soil humic acida the surfasse of goethite and its competitive interaction with phosphate. Geoderma, v.188, p.12-19, 2007.
- Bache, B. W. & Williams, E. G. A phosphate sorption index for soils. Journal of Soil Science, v. 22, p. 289-301, 1971.
- Bahia Filho, A.F.C, Braga, J.M.; Resende, M.; Ribeiro, A.C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.7, p.221-226, 1983.
- Bastos, A.L.; Costa, J.P.V.; Silva, L.F.; Raposo, R.W.C.; Oliveira, F.A.; Albuquerque, A.W. Resposta do milho a doses de fósforo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.485-491, 2010.
- Biondi, C.M.; Nascimento, C.W.A.; Fabricio Neta, A.B.; Ribeiro, M.R. Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, p. 1057-1066, 2011.
- Bonfim, E. M. S.; Freire, F. J.; Santos, M. V. F.; Silva, J. A.; Santos Freire, M. B. G. Avaliação de extratores para determinação de fósforo disponível de solos cultivados com *Brachiaria brizantha*. Acta Scientiarum Agronomy, v. 25, p. 323-328, 2003.
- Bonfim, E. M. S.; Freire, F. J.; Santos, M. V. F.; Silva, T. J. A.; Freire, M. B. G. S. Níveis críticos de fósforo para *Brachiaria brizantha* e suas relações com características físicas e químicas em solos de Pernambuco. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v. 28, p. 281-288, 2004.
- 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

Brasil. Ministério da Agricultura, Divisão de Pesquisa Pedológica. Convênio de Mapeamento de Solos MA/DNPEA–SUDENE/DRN. Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Norte. Recife, 1971, 531p. (Boletim Técnico, 21).

Brasil. Ministério da Agricultura, Divisão de Pesquisa Pedológica. Convênio de Mapeamento de Solos MA/DNPEA–SUDENE/DRN. Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Paraíba. Recife, 1972, 638p. (Boletim Técnico, 15).

Brasil. Ministério da Agricultura, Divisão de Pesquisa Pedológica. Convênio de Mapeamento de Solos MA/DNPEA–SUDENE/DRN. Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Pernambuco. Recife, 1973a, v.II. 354p. (Boletim Técnico, 26).

Brasil. Ministério da Agricultura, Divisão de Pesquisa Pedológica. Convênio de Mapeamento de Solos MA/DNPEA–SUDENE/DRN. Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará. Recife, 1973b, 301p. (Boletim Técnico, 28).

Brasil. Ministério da Agricultura, Divisão de Pesquisa Pedológica. Convênio de Mapeamento de Solos MA/DNPEA–SUDENE/DRN. Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Alagoas. Recife, 1975a, 532p. (Boletim Técnico, 35).

Brasil. Ministério da Agricultura, Divisão de Pesquisa Pedológica. Convênio de Mapeamento de Solos MA/DNPEA–SUDENE/DRN. Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Sergipe. Recife, 1975b, 506p. (Boletim Técnico, 36).

Brasil. Ministério da Agricultura, Divisão de Pesquisa Pedológica. Convênio de Mapeamento de Solos MA/DNPEA–SUDENE/DRN. Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Bahia – margem esquerda do Rio São Francisco. Recife, 1976, 404p. (Boletim Técnico, 38).

Brasil. Ministério da Agricultura, Divisão de Pesquisa Pedológica. Convênio de Mapeamento de Solos MA/DNPEA–SUDENE/DRN. Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Bahia – margem direita do Rio São Francisco. Recife, 1977, v.I (Boletim Técnico, 52).

Brasil. Ministério da Agricultura, Divisão de Pesquisa Pedológica. Convênio de Mapeamento de Solos MA/DNPEA–SUDENE/DRN. Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Bahia – margem direita do Rio São Francisco. Recife, 1979. V.II. (Boletim Técnico, 52).

Brasil. Ministério da Agricultura, Divisão de Pesquisa Pedológica. Convênio de Mapeamento de Solos MA/DNPEA–SUDENE/DRN. Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Maranhão. Recife, 1986a, (Boletim Técnico, 21).

Brasil. Ministério da Agricultura, Divisão de Pesquisa Pedológica. Convênio de Mapeamento de Solos MA/DNPEA–SUDENE/DRN. Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Piauí. Recife, 1986b, v.I. 398p. (Boletim Técnico, 36).

- Broggi, F.; Freire, J. F.; Santos Freire, M. B. G.; Nascimento, C. W. N.; Oliveira, A. C. Avaliação da disponibilidade, adsorção e níveis críticos de fósforo em diferentes solos. *Revista Ceres*, v. 57, p. 247-252, 2010.
- Broggi, F.; Oliveira, A. C.; Freire, F. J.; Oliveira, E. C. A.; Rocha, A. T.; Santos Freire, M. B. G. Níveis críticos de fósforo em milho cultivado em solos de diferentes mineralogias. *Revista Caatinga*, v. 27, p. 164-170, 2014.
- Broggi, F.; Oliveira, A.C.; Freire, F.J.; Santos Freire, M.B.G.; Nascimento, C.W.A. Fator Capacidade de Fósforo em solos de Pernambuco mineralogicamente diferentes e influencia do pH na capacidade máxima de adsorção. *Revista de Ciência e Agrotecologia*, v.35, n.1, p.77-83, 2011.
- Calheiros, A. S.; SILVA, J. P. S.; Oliveira, M. W.; Freire, M. B. G.; Freire, F. J. Nível crítico de fósforo por diferentes extratores químicos em Neossolo Flúvico alcalino cultivado com milho. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 7, p. 590-596, 2012.
- Cagliari, J. Função de pedotransferência para estimar o fósforo remanescente em solos, utilizando rede neural artificial. São Leopoldo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2010. 103p. (dissertação de mestrado).
- Chaves, L. H. G. & Fernandes, J. D. Adsorção de sulfatos em solos do estado da Paraíba. *Scientia Plena*, v. 9, 7p, 2013.
- Chaves, L.H.G.; Chaves, I.B; Mendes, J.S. Adsorção em materiais de Latossolo e Argissolo. *Revista Caatinga*, v.20, p.104-111, 2007.
- Coimbra, R.R.; Fritsche Neto, R.; Coimbra, D.B.; Naoe, L.K.; Cardoso, E. A.; Raoni, D.; Miranda, G.V. Relação entre tolerância do milho a baixo teor de fósforo no solo e responsividade a adubação fosfatada. *Bioscience Journal*, v. 30, n. 2, p. 332-339, 2014.
- Corrêa, R. M.; Nascimento, C. W. A.; Freire, F.J.; Souza, S.K.S.C.; Ferraz, G. B. Disponibilidade e níveis críticos de fósforo em milho e solos fertilizados com fontes fosfatadas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.3, p.218-224, 2008.
- 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*, v. 33, p.153-159, 2011.
- Costa, W. P. L.B Metais pesados em solos do Rio Grande do Norte: Valores de referência de qualidade e relações geopedológicas. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2013. 121p. (Tese de doutorado).
- DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Escala 1:500.000. Natal, DNPM – 4º Distrito/UFRN/Petrobrás/CRM, 1998.
- Donagemma, G.K.; RUIZ, A. H.; Alvarez V, V. H.; Ker, J. C.; Fontes, M. P. F. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamentos na análise textural. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 32, p. 1785-1791, 2008.

Eberhardt, D.N.; Vendrame, P.R.S.; Becquer, T.; Guimarães, M.F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em Latossolos sob pastagens no cerrado. *Revista brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1009-1016, 2008.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solo. 2ed. Brasília, DF: Embrapa comunicação para Transferência de Tecnologia, 2011. 230p.

Falcão, N.P.S.; Silva, J.R.A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia central. *Revista Acta Amazônica*, v.34, p.337-342, 2004.

Farias, D.R.; Oliveira, F.H.T.; Santos, D.; Arruda, J.A.; Hoffmann, R.B.; NOVAIS, R.F. Fósforo em solos representativos do estado da Paraíba: I- isotermas de adsorção e medidas do fator capacidade de fósforo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 623-632, 2009a.

Farias, D.R.; Oliveira, F.H.T.; Santos, D.; Arruda, J.A.; Hoffmann, R.B.; Novais, R.F. Fósforo em solos representativos do estado da Paraíba: II- disponibilidade de fósforo para plantas de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p. 633-646, 2009b.

Fernández R., I.E. Reversibilidade de fósforo não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos a redução microbiológica ou química. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 94p. (Tese de Doutorado).

Fontana, A.; Pereira, M.G.; Salton, J.C.; Loss, A.; Cunha, T.J.F. Fósforo remanescente e correlações com as substâncias húmicas em um Latossolo Vermelho sob diferentes sucessões de cultura em plantio direto. *Revista Brasileira Agrociência*, v.14, p. 161-166, 2008.

Fontana, A.; Pereira, M.G.; Santos, A.C.; Bernini, T.A.; Anjos, L.H.C.; Fernández, C.F.D.; Peinado, F.J.M. Fósforo remanescente em solos formados sob diferentes materiais de origem em três topossequências, Pinheiral –RJ. *Semina: Ciências Agrárias*, v.34, p. 2089-2102, 2013.

Fontes, M.P.F.; Weed, S.B. Phosphate adsorption by clays from Brazilian oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy. *Geoderma*, v.71, p.37-51, 1996.

Fox, R.L.; Searle, P.G.E. Phosphate adsorption by soils of the tropics. In: DROSDOFF, M. Diversity of soils in the tropics. Madison: American Society of Agronomy, p. 997-119, 1978.

Godinho, V.P.C.; Sampaio, R.A.; Alvarez, 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, p. 819-823, 1997.

Gonçalves, G.K.; Meurer, E.J.; Bortolon, L.; Gonçalves, D.R.N. Relação entre óxidos de ferro e de manganês e a sorção de fósforo em solos no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p. 1633-1639, 2011.

Guareschi, R. F.; Pereira, M.G.; Perin, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p. 909-920, 2012.

- Guareschi, R.F.; Pereira, M.G.; Perin, A. Phosphorus fractions in the agricultural chronosequence under tillage regimes in the Cerrado area in Goiás, Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 37, p. 611-624, 2016.
- Lacerda, J. J. J.; Furtini Neto, A. E.; Resende, A. V.; Santos, J. Z. L.; Carneiro, L. F.; Oliveira, C. H. C. Crop growth response and dynamics of inorganic phosphorus fractions after application of reactive Arad phosphate rock in oxisol with different land use histories. *African journal of Agricultural Research*, v. 8, p. 3454-3461, 2013.
- Lisboa, B. B.; Vargas, L. K.; Abichequer, A. D.; Dorneles, E. P.; Capitani, B. Determinação do fósforo remanescente como método alternativo a textura na indicação da classe de disponibilidade de fósforo em três solos. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v. 18, p. 81-84, 2012.
- Lopes, A.S.; Cox, F.R. Relação de características físicas, químicas e mineralógicas com fixação de fósforo em solos sob cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.3, p.82-88, 1979.
- Machado, V. J. & Souza, C. H. E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. *Bioscience Journal*, v. 28, p.1-7, 2012.
- Moreira, F.L.M.; Mota, F.O.B.; Clemente, C.A.; Azevedo, B.M.; Bonfim, G.V. Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v.37, p.7-12, 2006.
- Motta, P. E. F.; Curi, N.; Siqueira, J. O.; Van Raij, B.; Furtini Neto, A. E.; Lima, J. M. Adsorção e formas de fósforo em latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 26, p.349-359, 2002.
- Moura, J.B.; Ventura, M.V.A.; Cabral, J.S.R.; Azevedo, W.R. Adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho Distrófico sob vegetação de Cerrado em Rio Verde-Go. *Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v.4, p.199-208, 2015.
- Nóbrega, M. S.; Wadt, P. G. S.; Anjos, L. H. C.; Pereira, M.G. Indicadores de capacidade de uso da terra para escala de propriedade rural: deficiência de fertilidade do solo. *Biota Amazônia*, v. 2, p.1-7, 2012.
- Novais, S. V.; Mattiell, E. M.; Vergutz, L.; Melo, L. C. A.; Freitas, I. F.; Novais, R. F. Loss of extraction capacity of melhlich-1 and Monocalcium phosphate as a variable of remaining P and its relationship to critical levels of soil phosphorus and sulfur. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.39, p.1079-1087, 2015.
- Novais, R. F. Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soils. Raleigh, North Carolina state University, 1977. 153p. (tese de Ph.D).
- Novais, R.F. & Smyth, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, DPS/UFV, 1999. 399p.

Novais, R.F.; Smyth, T.J.; Nunes, F.N. Fósforo. In: Novais, R.F.; Alvarez, V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C.L. (Eds) Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2007, p. 471-550.

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 Lagmuir. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 38, p. 1805-1815, 2014.

Pavinato, P.S. & Rosolem, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo – decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.911-920, 2008.

Pereira, J.R.; Faria, C.M.B. Sorção de fósforo em alguns solos do Semi-árido do Nordeste brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.33, p.1179-1184, 1998.

Pereira, M.G.; Loss, A.; Beutler, S.J.; Torres, J.L.R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p. 508-514, 2010.

Pierzynski, G. M.; Mcdowell, R. W.; Sims, J.T. Chemistry, cycling, and potential movement of inorganic phosphorus in soils. In: SIMS, J.T. et al. Phosphorus: agriculture and the environment. Madison: American Society of Agronomy, 2005. p.53-86.

Pinto, F. A. Sorção e dessorção de fósforo em solos de cerrado. Jataí, GO: Universidade Federal de Goiás, 2012. 46p. (Dissertação de Mestrado).

Preston, W.; Nascimento, C.W.A.; Biondi, C.M.; Souza Junior, V.S.; Silva, W.R.; Ferreira, H.A. Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 1028-1037, 2014.

Ranpim, L.; LANA, M. C.; Frandoloso, J. F. Fósforo e enxofre disponível, alumínio trocável e fósforo remanescente em Latossolo Vermelho submetido ao gesso cultivado com trigo e soja. *Revista Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, p.1623-1638, 2013.

Ranno, S. K.; Silva, L.S.; Gatiboni, L.C.; Rhoden, A.C. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea no estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.21-28, 2007.

Resende, M., Curi, N., Ker, J.C.; Rezende, S.B. Mineralogia de solos brasileiros: interpretações e aplicações. 2. Ed. Lavras: UFLA, 2011. 206 p.

Ribeiro, A, C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H., editores. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

Richart, A.; Lana, M.C.; Klein, J.; Schwantes, D. Comparação entre teores de fósforo disponível e métodos de extração em solos do Paraná. *Journal of Agronomic Sciences*, v.3, p. 232-241, 2014.

Rogeri, A.D. Uso do índice P-remanescente como indicador do poder tampão de fósforo em solos. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013. 140p. (Tese de Doutorado)

Rogeri, D. A.; Gianello, C.; Bortolon, L.; Amorim, M. B. Substitution of Clay Content for P-Remaining as na Index of the Phosphorus Buffering Capacity for Soils of Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 40, 2016.

Rolim Neto, F.C.; Shaefer, C.E.G.R.; Costa, L.M.; Corrêa, M.M.; Fernandes Filho, E.I.; Ibraimo, M.M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Parnaíba-MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.953-964, 2004.

Salcedo, I.H.; Bertino, F.; Sampaio, E.V.S.B. Reactivity of phosphorus in Northeastern brazilian soils assessed by isotopic dilution. *Soil Science Society American Journal*, v.55, p.140-145, 1990.

Santos, H.C.; Oliveira, F.H.T.; Salcedo, I.H.; Souza, A.P.; Silva, V.D.M. kinetics of phosphorus sorption in soils in the state of Paraíba. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 1301-1310, 2011.

Silva, L.M.; Wadt, P.G.S. Laboratório de Solos da Embrapa Acre. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2009. 1 Folder.

Simões Neto, D. E.; Oliveira, A. C.; Freire, F. J.; Santos Freire. M. B. G.; Oliveira, E. C. A.; Rocha, A. T. Adubação fosfatada para cana-de-açúcar em solos representativos para o cultivo da espécie no Nordeste brasileiro. *Pesquisa Agropecuária brasileira*, v. 50, p. 73-81, 2015.

Simonete, M.A.; Ernani, P.R.; Moro, L.; Gandra, C.F.A.T.; Gatiboni, L.C. Eficiência de métodos analíticos na predição da disponibilidade de fósforo para arroz irrigado em solos catarinenses. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 1151-1160, 2015.

Souza Júnior, R. F.; Oliveira, F. H.T.; Santos, H.C.; Freire, F.J.; Arruda, J.A. Frações de fósforo inorgânico do solo e suas correlações com o fósforo quantificado por extratores e pelo milho. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.36, p. 159-169, 2012.

Souza, R. B. Níveis críticos de enxofre em solos e em folhas de cultivares de café. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. p. 86, (Tese de Doutorado).

Souza, R.F.; Faquin, V.; Torres, P.R.F.; Baliza, D.P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.975-983, 2006.

Sparks, D.L. *Environmental soil chemistry*. Academic Press, New York, 1995.

Taiz, L.; Zeinger, E. *Fisiologia Vegetal*. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

Tirlone, C.; Vitorino, A.C.T.; Novelino, J.O.; Tirlone, D.; Coimbra, D.S. Disponibilidade de fósforo em função das adições de calagem e de um bioativador no solo. *Ciências e Agrotecnologia*, v.33, p.977-984, 2009.

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.

Valladares, G.S.; Pereira, M.G.; Freitas de Souza, J.M.P.; Anjos, L.H.C. Fósforo remanescente e correlações com teores de carbono orgânico e argila em horizontes superficiais de solos do estado do Rio de Janeiro. *Revista Universidade Rural: Série Ciências Exatas e da Terra*, v.18, p. 35-38, 1998.

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 de Ciências do Solo*, v. 34, p. 1059-1068, 2010.

Viviani, C.A.; Marchetti, M.E.; Vitorino, A.C.R.; Novelino, J.O.; Gonçalves, M.C. Disponibilidade de fósforo em dois Latossolos Argilosos e seu acúmulo em plantas de soja, em função do aumento do pH. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, v.34, p.61-67, 2010.

Wadt, P. Q. S.; Silva, L. M. Determinação do Fósforo Remanescente para a avaliação da disponibilidade de fósforo em solos do Estado do Acre. Rio Branco: Embrapa Acre, 2011. 5p. (Embrapa Acre. Comunicado técnico, 178).

Xue, Q.; Lu, L.; Zhou, Y.; Qi, L.; Dai, P.; Liu, X.; SUN, C.; LIN, X. Deriving sorption indices for the prediction of potential phosphorus loss from calcareous soils. *Environmental Science and Pollution Research*, p. 1-8, 2013.