



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
TRABALHO DE DISSERTAÇÃO

IGOR REVELLES GOMES LUNA

**CONCENTRAÇÕES E ESTOQUES DE FÓSFORO EM DIFERENTES  
CLASSES, USOS E COBERTURAS DE SOLOS NO AGRESTE  
PERNAMBUCANO**

Recife, Pernambuco  
Agosto de 2021

IGOR REVELLES GOMES LUNA

**CONCENTRAÇÕES E ESTOQUES DE FÓSFORO EM DIFERENTES  
CLASSES, USOS E COBERTURAS DE SOLOS NO AGRESTE  
PERNAMBUCANO**

Dissertação apresentada à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPEAMB, da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, como um dos requisitos para obtenção do grau de mestre em Engenharia Ambiental.

**Orientação:** Prof. Marcus Metri Corrêa

**Coorientação:** Dário Costa Primo

Recife, Pernambuco  
Agosto de 2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

L961c Luna, Igor Revelles Gomes  
CONCENTRAÇÕES E ESTOQUES DE FÓSFORO EM DIFERENTES CLASSES, USOS E COBERTURAS DE SOLOS NO AGRESTE PERNAMBUCANO / Igor Revelles Gomes Luna. - 2021.  
34 f. : il.

Orientador: Marcus Metri Correa.  
Coorientador: Dario Costa Primo.  
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2021.

1. sistemas de manejo. 2. disponibilidade. 3. região tropical. I. Correa, Marcus Metri, orient. II. Primo, Dario Costa, coorient. III. Título

CDD 620.8

---

IGOR REVELLES GOMES LUNA

**CONCENTRAÇÕES E ESTOQUES DE FÓSFORO EM DIFERENTES  
CLASSES, USOS E COBERTURAS DE SOLOS NO AGRESTE  
PERNAMBUCANO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada em 03 de agosto de 2021.

---

Prof. Marcus Metri Corrêa

Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

---

Prof. Fernando Cartaxo Rolim Neto (Examinador interno)

Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

---

Dr. João Paulo Siqueira da Silva

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

---

Coordenador do PPEAMB/DTR/UFRPE

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelo dom da vida, por me conceder saúde e força para poder superar as adversidades que surgiram pelo caminho.

Aos meus pais Gizélia Gomes e Cláudio Luna, por serem sempre a minha base e referência. Aos meus irmãos Ítalo Luna e Ilan Luna, pelo companheirismo e cumplicidade. A minha querida avó Francisca Gomes e tia/madrinha Jocélia Gomes.

A toda minha família pela atenção, presteza e ensinamentos transmitidos.

A minha namorada Quellya Neves pelo carinho, amor e cumplicidade, que sempre me apoia e divide comigo todos meus sonhos pessoais, te amo!

Ao meu amigo João Paulo grande exemplo de pessoa e profissional.

A Prof. Dr. Marcos Metri, além da orientação acadêmica, por todos os conselhos e por ser um exemplo de pessoa e profissional para todos que a rodeiam.

Ao meu coorientador Dr. Dário Costa, pela disponibilidade e valiosas considerações para esse trabalho.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, por todo o suporte fornecido.

A CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Prof. Dr. Fernando Cartaxo e o Dr. João Paulo, pelo aceite para participação na banca e por suas contribuições.

Aos amigos que fiz na minha passagem pelo PPEAMB e por Recife pelas boas histórias, cumplicidade e apoio mútuo.

Aos amigos do CCA/UFPB, que continuaram ao meu lado na trajetória do mestrado, que mesmo à distância, tornaram essa etapa mais amena.

A todos agradeço!

## RESUMO

As mudanças no uso da terra causam na paisagem um mosaico de áreas com diferentes usos e coberturas do solo. Esta condição compromete os nutrientes no solo, sendo relevantes para produção de alimentos, principalmente, porque podem comprometer perdas e redução dos estoques de fósforo (P) no sistema. Diante disso, o trabalho teve como objetivo determinar as concentrações de fósforo nas profundidades das principais classes em diferentes usos e coberturas dos solos na região do Agreste Pernambucano. Sendo utilizadas para estes estudos, amostras do banco de solos coletadas pelo grupo de pesquisadores do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco realizada entre 2011 e 2015. Com isso, foram determinadas as concentrações de fosforo extraível e total em (192 amostras) em 04 classes (Argissolo, Neossolo litólico, Neossolo Regolítico e Planossolo) de solo, 04 usos da terra (Caatinga Aberta, Caatinga Densa, Agricultura e Pastagem) em 04 camadas (0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm). Para determinação do P extraível foi utilizado o Mehlich 1 e leitura por colorimetria. O fósforo total foi determinado por digestão sulfúrica para obtenção dos extratos e também sendo determinado por colorimetria. Os resultados das concentrações encontradas tanto de P extraível quanto do total foram mais altas para a classe do Argissolo e Planossolo. Observou-se que ocorreram reduções das concentrações de P extraível entre as camadas do solo à medida que foi se aprofundando no perfil do solo. As camadas superficiais, entre 0-20 cm, apresentaram de maneira geral as maiores concentrações de fósforo extraível e total na agricultura. Dentre as quatro classes de solo estudadas, os maiores valores médios de estoques de P extraível e total ocorreram nos Neossolos litólicos e Planossolos, principalmente pelo uso na agricultura. O P é um elemento de grande importância para o desenvolvimento das plantas. A deficiência de P tem sido um fator limitante à produtividade agrícola e, sobretudo nas regiões do Agreste pernambucano, onde as principais classes de solos sob coberturas naturais, apresentam baixos teores de P disponível e total. Por fim, o manejo sustentável dos ecossistemas naturais e o conhecimento da dinâmica do P no solo são de extrema importância para o aumento da sua biodisponibilidade em solos tropicais.

**Palavras-chave:** sistemas de manejo, disponibilidade, região tropical.

## ABSTRACT

Changes in land use cause a mosaic of areas in the landscape with different uses and land cover. This condition compromises the nutrients in the soil, being relevant for food production, mainly because they can compromise losses and reduction of phosphorus (P) stocks in the system. Therefore, this work aimed to determine the phosphorus concentrations in the depths of the main classes in different uses and soil cover in the Agreste region of Pernambuco. Samples from the soil bank collected by the group of researchers from the Department of Nuclear Energy of the Federal University of Pernambuco, carried out between 2011 and 2015 were used for these studies. Thus, extractable and total phosphorus concentrations were determined in (192 samples) in 04 classes (Argisol, Litholic Neosol, Regolithic Neosol and Planosol) of soil, 04 land uses (Open Caatinga, Dense Caatinga, Agriculture and Pasture) in 04 layers (0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm). To determine the extractable P, the Mehlich 1 and colorimetric reading were used. The total phosphorus was determined by sulfuric digestion to obtain the extracts and also being determined by colorimetry. The results of the concentrations found for both extractable and total P were higher for the Argisol and Planosol classes. It was observed that there were reductions in extractable P concentrations between the soil layers as the soil profile deepened. The superficial layers, between 0-20 cm, generally presented the highest concentrations of extractable and total phosphorus in agriculture. Among the four soil classes studied, the highest average values of extractable and total P stocks occurred in Litholic Neosols and Planosols, mainly due to agricultural use. P is an element of great importance for plant development. P deficiency has been a limiting factor to agricultural productivity and, especially in the Agreste region of Pernambuco, where the main soil classes under natural cover have low levels of available and total P. Finally, the sustainable management of natural ecosystems and knowledge of the dynamics of P in the soil are extremely important to increase its bioavailability in tropical soils.

**Keywords:** management systems, availability, tropical region.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Distribuição dos pontos amostrais na região da Zona da Mata, Agreste e Sertão (Leste e Oeste) de Pernambuco.....	17
---	----



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das quatro classes de solos estudadas presentes na região do Agreste do estado de Pernambuco.....	15
Tabela 2 - Características dos principais sistemas de uso e cobertura do solo na região fisiográfica do Agreste de Pernambuco. ....	16
Tabela 3 - Valores médios das concentrações de P extraível ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) nas profundidades de 0-10, 10-20, 20,30 e 30-40 cm em quatro usos e quatro classes diferentes de solos.....	20
Tabela 4 - Valores médios das concentrações de P total ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em quatro classes sob quatro usos e coberturas de solos, no Agreste pernambucano. ....	233
Tabela 5 - Estoques de P extraível ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em quatro classes sob quatro usos e coberturas do solo, ao longo do perfil de 0-40 cm, no Agreste pernambucano. <b>Erro! Indicador não definido.</b>	
Tabela 6 - Estoques de P total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em quatro classes sob quatro usos e coberturas do solo, ao longo do perfil de 0-40 cm, no Agreste pernambucano. ....	255

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Dinâmica e disponibilidade do fósforo no solo .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Região Agreste e características edafoclimáticas .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Distribuições dos solos no estado de Pernambuco .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 Usos e coberturas dos solos .....</b>	<b>16</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Escolha e condução das amostras .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 Caracterizações das áreas estudadas .....</b>	<b>18</b>
3.2.1 Localização, limites e áreas.....	18
<b>3.3 Processamento e análise das amostras de solo .....</b>	<b>18</b>
3.3.1 Preparo de soluções e procedimentos na determinação de P extraível.....	18
3.3.2 Preparo de soluções e procedimentos na determinação de P total .....	18
3.3.3 Quantificação de P extraível e total .....	19
<b>3.4 Cálculos dos estoques de P extraível e o total.....</b>	<b>19</b>
<b>3.5 Análises dos dados.....</b>	<b>20</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>25</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>27</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A substituição dos ecossistemas naturais por atividades agrícolas pode ocasionar perdas de nutrientes necessários e essenciais ao desenvolvimento das plantas (VALERA 2016). As florestas naturais e áreas de preservação, quando substituídas por pastagem e outros cultivos intensivos, alteram as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e isto provoca alteração na qualidade e na capacidade do solo de produzir de maneira sustentável (MATSON, 1997; JANGID et al., 2011; GREGORY et al., 2015). Além disso, o meio natural pode ser impactado de forma negativa com a diminuição da biodiversidade de espécies de plantas, complexidade biológica e na ciclagem de nutrientes (HIGGINBOTTOM, 2014; BERHE et al., 2018).

Nos últimos anos, alterações do uso e a ocupação dos solos vem ocorrendo de forma bastante intensiva, promovido principalmente pelo avanço da produção agropecuária sobre os sistemas naturais, que muitas vezes, causam uma série de prejuízos ambientais (GUILLAUME, 2015). De acordo com Maranguit (2017), os sistemas agrícolas que utilizam culturas de alto rendimento, irrigação, controle químico de ervas daninhas e tratamentos fitossanitários (pesticidas) são aqueles que promovem altas produções agrícolas, mas são potencialmente sistemas que provocam a degradação no solo podendo comprometer as condições química, física e biológica naturais do ecossistema.

Quanto às condições químicas, mudanças no uso e ocupação do solo podem causar impactos nos estoques de nutrientes, principalmente o fósforo (P), que é considerado o elemento químico de grande importância para o desenvolvimento vegetal (GIL-SOTRES et al., 2005; ELSER, 2012) e nutriente limitante na produtividade de culturas agrícolas em grande parte das regiões tropicais (SPOHN et al., 2013). Nestas regiões, que geralmente apresentam solos ácidos e intemperizados, as presenças de óxidos adsorvem o fósforo e o fixam quimicamente, tornando-o indisponível para as plantas (BUCHER et al., 2001). Além disso, em solos moderadamente intemperizados, como os Chernossolos, Vertissolos e Neossolos, se tem a presença de fósforo em minerais primários, mas a maior parte deste elemento se encontra na forma orgânica (Po), ou na forma mineral (Pi), adsorvida fracamente aos minerais secundários (NOVAIS e SMITH, 1999). Já nos solos ácidos, que geralmente são bastante intemperizados, como os Latossolos, prevalecem às formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente

(RHEINHEIMER et al., 2008). Neste contexto, percebe-se que o P é um nutriente de disponibilidade limitada no solo. Essa limitação depende de algumas circunstâncias como o tipo de solo, presença de óxidos de Fe e Al que transforma grandes proporções de P total do solo em formas indisponíveis (SOLOMON, 2002).

Por outro lado, seres bióticos desenvolveram um amplo conjunto de mecanismos que são responsáveis por tornar o fósforo disponível para as plantas, por exemplo, na produção de enzimas fosfatase que hidrolisa formas recalcitrantes de P (CHEN, 2002). Os microrganismos desempenham uma importante função na mineralização de P a partir de várias fontes orgânicas (LOPEZ-HERNANDEZ, 1998) e nas transformações do P orgânico do solo, (FROSSARD, 2000) tornando assim componentes chaves (MAHARJAN, 2018). Portanto, a dinâmica do fósforo no solo está também diretamente relacionada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos.

Além de ter efeitos consideráveis sobre a sua disponibilidade e distribuição, as ações decorrentes do uso inapropriado do solo podem, também, acarretar perdas desse nutriente, devido ao aporte externo excessivo de fertilizantes químicos, que podem ser transferidos para reservatórios aquáticos, provocando fenômenos como a eutrofização, gerando impactos negativos ao meio ambiente (ULÉN et al., 2007; WITHERS & JARVIE, 2008; CSATHÓ et al., 2011; MARANGUIT, 2017).

Alguns estudos já analisaram índices de P nas mudanças do uso do solo, sua distribuição ao longo da profundidade do solo, disponibilidade para as plantas e estabilidade em sistemas de manejo diferentes (MOTAVALLI, 2002; ZAMUNER, 2008; MARANGUIT, 2017). Esses estudos destacam que o status e a distribuição de P dependem das práticas de uso e manejo do solo. As mudanças no uso do solo causam na paisagem um mosaico de áreas com diferentes usos e coberturas (MAHARJAN, 2018). Porém, ainda é limitado o conhecimento da dinâmica do fósforo (P), principalmente na região Nordeste do Brasil, nas profundidades do perfil do solo e nos diferentes usos e coberturas. Dessa forma, buscou-se saber qual uso e classe do solo da região do Agreste Pernambucano que apresentou maiores estoques de fósforo no solo. Para tanto, objetivou-se determinar as concentrações de fósforo nas profundidades das principais classes em diferentes usos e coberturas dos solos na região do Agreste Pernambucano. De forma mais específica: 1) quantificar as concentrações e distribuições de fósforo nas profundidades ao longo do perfil do solo (0-40 cm) em áreas de vegetação nativa (caatinga densa e aberta), agricultura e pastagem, da região fisiográfica do Agreste, dentre as principais classes de solo (Argissolo amarelo, Neossolo Litólico, Neossolo

Regolítico e Planossolo; 2) estimar os estoques de fósforo ao longo do perfil do solo (0-40 cm) em áreas de vegetação nativa, (caatinga densa e aberta), agricultura e pastagem, das principais classes de solo da região fisiográfica do Agreste de Pernambuco.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Dinâmica e disponibilidade do fósforo no solo**

O fósforo é um macronutriente essencial para todos os seres vivos, participante indispensável do material genético, da membrana celular e do transporte de energia (SUN et al., 2020), representa, assim, um componente insubstituível para o crescimento e desenvolvimento de plantas e animais (MILIĆ et al., 2019). Esse nutriente é também um dos principais macronutrientes limitantes da produtividade das plantas (SUN et al., 2020), sendo, portanto, um elemento-chave na produção de alimentos (MILIĆ et al., 2019).

As principais fontes de P no ecossistema terrestre natural incluem o intemperismo de minerais fosfatados, resíduos de plantas, adubos, fertilizantes, resíduos e subprodutos orgânicos e deposição atmosférica úmida e seca (KRUSE et al., 2015). No solo, o P passa por processos biogeoquímicos antes de estar apto para utilização pelas plantas (SUN et al., 2020). Os minerais primários de P, incluindo as apatitas, são muito estáveis, de forma que a liberação do fósforo disponível desses minerais por intemperismo geralmente é lenta para atender à demanda das culturas, embora a aplicação direta de rochas fosfatadas tenha se mostrado relativamente eficiente para o crescimento de culturas em solos ácidos (SHEN et al., 2011).

Embora a quantidade total de fósforo de grande parte dos solos seja parcialmente alta (300 a 3.400 mg L<sup>-1</sup>), os fosfatos naturais nas formas orgânicas estáveis e inorgânicas são transformados por processos biogeoquímicos em função da energia que o P está associado com a fase sólida do solo. Somente uma parte do P total está em equilíbrio relativamente rápido com o P da solução e pode ser utilizada pelas plantas durante seu ciclo de desenvolvimento (SUN et al., 2020). As plantas absorvem e assimilam o P do solo na forma de ortofosfato inorgânico (Pi), uma forma química com baixa disponibilidade e mobilidade na maioria dos solos (HERRERA-ESTRELLA; LÓPEZ-ARREDONDO, 2016). Dessa forma, a aplicação de P na forma de fertilizantes fosfatados em culturas agrícolas, que representam a fonte alimentar da humanidade, é essencial para garantir uma agricultura de alto rendimento (KRUSE et al., 2015).

O fósforo é um elemento estável, de modo que se liga facilmente aos minerais do solo, suas perdas se dão principalmente por agentes como a erosão, quando as partículas do solo carregadas de P são corroídas por ação do vento ou pela água (ROSSEL; BUI, 2016).

As quantidades, formas e dinâmica de fósforo no solo são dependentes de diversos fatores, incluindo o tipo de solo e sua utilização. Nesse sentido, em ecossistemas naturais não antropizados, o crescimento das plantas é condicionado pela disponibilidade de fósforo. Nestes ecossistemas naturais, o fósforo é geralmente preservado com eficiência e naturalmente renovado (MILIĆ et al., 2019). No entanto, mudanças no uso da terra têm efeitos diretos na disponibilidade de fósforo para a absorção das plantas, levando a aumento das perdas desse elemento ou a sua transferência para conjuntos recalcitrantes, levando assim, a alterações significativas na sua distribuição e disponibilidade (MAHARJAN et al., 2018).

Ademais, em solos tropicais, como por exemplo, os solos brasileiros, devido ao processo avançado de intemperismo, a fração argila é dominada por minerais silicatos, óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos 1: 1 de Fe, Al e Mn, que possuem alta afinidade para adsorver o P, tornando-o assim indisponível (CAMPOS et al., 2016).

O conhecimento do estoque e distribuição espacial de fósforo do solo de diferentes áreas e manejos de uso é importante, visto que permite avaliar a produtividade do ecossistema e da agricultura, bem como diagnosticar a qualidade ambiental e contribuir para o gerenciamento da biodiversidade (ROSSEL; BUI, 2016).

## **2.2 Região Agreste e características edafoclimáticas**

O estado de Pernambuco compreende três tipos de regiões fisiográficas, classificadas em Zona da Mata, Agreste e Sertão (IBGE, 2001). Essas regiões apresentam seguimentos de paisagens que se distribuem de formas e arranjos diferentes (CONDEPE/FIDEM, 2006).

A Região do Agreste apresenta uma extensão de 24.396 km<sup>2</sup> e é entendida como uma área de transição entre a Mata (a leste) e o Sertão (a oeste) (IBGE, 2020). Situa-se quase inteiramente sobre o Planalto da Borborema, contendo climas que vão do tropical úmido da Mata ao semiárido do Sertão. Em áreas de maiores altitudes, onde surgem os brejos, apresentam pontos mais úmidos, verdadeiros microclimas, cuja atividade agrícola é bastante variada. Nas áreas mais secas a vegetação é de caatinga, com diferentes portes e densidades, que dependem da distribuição de chuvas e da

profundidade dos solos (CONDEPE/FIDEM, 2006). Nessas áreas mais secas, parte da vegetação de caatinga foi substituída por pastagens e cultivos agrícolas temporários, principalmente feijão e milho (SAMPAIO, 2010).

### 2.3 Distribuições dos solos no estado de Pernambuco

Segundo Araújo Filho et al., (2000) no estado de Pernambuco há oito grandes classes de solos (EMBRAPA, 2013): a classe dos Argissolos (25%), Neossolos Litólicos (20%), Planossolos (16%), Latossolos (9%), Luvisolos (9%), Neossolos Quartzarênicos (5%), Neossolos Regolíticos (5%), e Neossolos Flúvicos (2%). O estado apresenta também áreas onde são ocupados por solos diversos, incluindo Cambissolos, Gleissolos, Espodossolos, Vertissolos, Solos Indiscriminados de Mangues, Chernossolos e Plintossolos (4%), afloramentos de rocha (3%) e as águas internas, cerca de 2 % da superfície do estado. Na região fisiográfica do Agreste, objeto de estudo nesse trabalho, predominam Neossolos Litólicos (25%), Planossolos (24%), Argissolos (20%) e Neossolos Regolíticos (12 %). As principais características desses solos estão descritas na tabela 1.

**Tabela 1 - Características das quatro classes de solos estudadas presentes na região do Agreste do estado de Pernambuco.**

<b>Classes</b>	<b>Características</b>
<b>Argissolos</b>	Solos bem desenvolvidos, com presença de uma camada subsuperficial mais argilosa, chamada de horizonte B textural. São pouco a muito profundos, com baixa a média fertilidade. Ocorrem em áreas de relevo desde plano a muito acidentado.
<b>Neossolos Litólicos</b>	Solos muito pouco evoluídos, sendo muito rasos, com profundidades inferiores a 50 cm. Apresentam grandes quantidades de minerais primários em relação às outras classes, ou seja, possuem reserva de nutrientes, mas eles estão muito pouco disponíveis às plantas.
<b>Neossolos Regolíticos</b>	Solos pouco desenvolvidos, pouco profundos a profundos, de textura normalmente arenosa (cascalhenta ou não). Às vezes apresentam fragipã, uma camada endurecida, que dependendo da profundidade pode vir a ser uma limitação para o uso agrícola. Possuem baixa fertilidade natural.
<b>Planossolos</b>	Solos medianamente desenvolvidos, rasos a pouco profundos, que possuem um horizonte B bastante argiloso, com uma transição textural abrupta entre os horizontes A e B. Essa transição abrupta resulta numa grande deficiência de drenagem. Bastante susceptíveis à erosão. Possuem média fertilidade natural, sendo ácidos na superfície e neutros na subsuperfície. Grande parte desses solos possui alta saturação por sódio, conferindo-lhes característica de solos sódicos ou solódicos.

Fontes: ARAÚJO FILHO *et al.*, 2000; ARAÚJO *et al.* (2008); EMBRAPA, 2013; IBGE, 2015.

## 2.4 Usos e coberturas dos solos

A região do Agreste pernambucano apresenta aproximadamente 42% da área ocupada com algum tipo de vegetação nativa. A caatinga densa é a vegetação com maior predominância, sendo superior em mais de duas vezes a área de caatinga aberta, isso devido aos solos associados ao relevo movimentado (ACCIOLY, 2017). No que se refere às áreas antropizadas, o destaque é dado às áreas de vegetação alterada para introdução de agricultura e pastagem (CONDEPE/FIDEM, 2006). As áreas com agricultura e pastagem ocupam respectivamente cerca de 21% e 33% de toda região do Agreste (ACCIOLY, 2017). Logo abaixo, na tabela 2 estão apresentados os principais tipos de usos e coberturas do solo com suas respectivas características.

**Tabela 2 - Características dos principais sistemas de uso e cobertura do solo na região fisiográfica do Agreste de Pernambuco.**

Usos e coberturas dos solos	Características
<b>VEGETAÇÃO NATIVA</b>	
<b>Densa</b>	Zona subúmida e semiárida (Agreste e Sertão): Remanescente de caatinga nativa dos tipos hipoxerófilas e/ou hiperxerófilas densas, sem qualquer exploração ou interferência antrópica visível.
<b>Aberta</b>	Zona subúmida e semiárida: Remanescente de caatinga nativa dos tipos hipoxerófilas e hiperxerófilas pouco densas e/ou abertas, devido as suas características naturais e/ou interferência antrópica.
<b>ÁREAS AGRÍCOLAS</b>	Na região úmida predomina o cultivo da cana-de-açúcar em plantio convencional, com o preparo do solo realizado com aração e gradagens. Nesse sistema, o controle das plantas daninhas é feito com a aplicação de herbicidas e/ou capina manual e adubação é realizada com fertilizantes “químicos”. Nas regiões subúmida e semiárida, predominam a agricultura de subsistência com cultivos de milho, feijão, mandioca e palma (para alimentação animal). A adubação com fertilizantes “químicos” nesse sistema é praticamente inexistente e as culturas podem ser adubadas com esterco de curral.
<b>ÁREAS DE PASTAGENS</b>	Na região do Agreste, a grande maioria das pastagens é de <i>Brachiaria spp.</i> , exceto os sertões, e/ou pastagem natural, conduzidas sob pastejo contínuo de bovinos e/ou caprinos em regime intensivo, semi-intensivo ou extensivo e na maioria dos casos sem aplicação de fertilizantes.

Fontes: JACOMINE *et al.*, 1973; CONDEPE/FIDEM, 2006



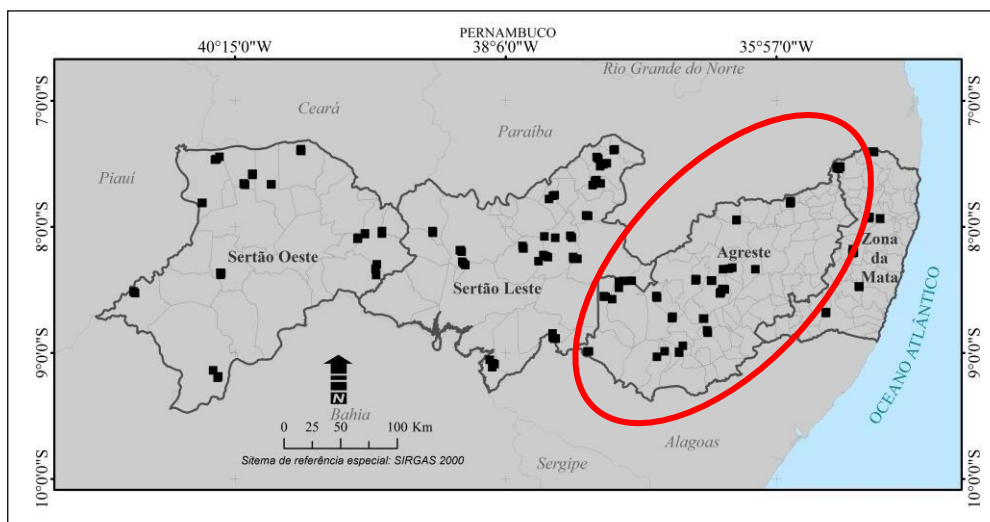
### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Escolha e condução das amostras

Foram utilizadas para análises de P, amostras do banco de solos do grupo de pesquisadores do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (DEN-UFPE), coletas no período de 2011 a 2015.

Os levantamentos das concentrações e estoques de P foram realizados com amostras de solos da região do Agreste Pernambucano. Sendo analisados quatro tipos de usos e coberturas do solo: vegetação nativa (caatinga densa e aberta), agricultura e pastagem, nas quatro principais classes de solos (Argissolo amarelo, Neossolo Litólico, Neossolo Regolítico e Planossolo) em quatro profundidades (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm). Para cada combinação de cobertura, classe de solo e profundidade foram escolhidos três pontos amostrais, tomados como repetições (04 classes de solos x 04 tipos de usos e coberturas x 04 profundidades x 03 repetições) totalizando 192 amostras (Figura 1).

**Figura 1 - Distribuição dos pontos amostrais na região da Zona da Mata, Agreste e Sertão (Leste e Oeste) de Pernambuco.**



Fonte: JESUS, 2017

## **3.2 Caracterizações das áreas estudadas**

### **3.2.1 Localização, limites e áreas**

As amostras utilizadas para análises são da região Agreste do estado de Pernambuco, que está localizado no centro-leste da região Nordeste do Brasil, ocupando uma área de 98.311 km<sup>2</sup> e é constituído por 185 municípios, somando-se a esses o arquipélago de Fernando de Noronha (IBGE, 2020). Localizado geograficamente entre os paralelos 7° 15' e 9° 27' S e os meridianos 34° 48' e 41° 19' W (CPRM, 2005), Pernambuco tem como limites os estados da Paraíba (N), do Ceará (NW), de Alagoas (SE), da Bahia (S) e do Piauí (W), além de ser banhado pelo oceano Atlântico (L).

## **3.3 Processamento e análise das amostras de solo**

De posse do banco de amostragem de solo já informado anteriormente e praticamente processadas no laboratório de Fertilidade do Solo da UFPE, iniciou-se os procedimentos de laboratório para a determinação de duas formas de P, o extraível e o total.

### **3.3.1 Preparo de soluções e procedimentos na determinação de P extraível**

No preparo da solução extratora foram adicionados 8,60 mL de HCl e 1,38 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrados, num balão volumétrico de 2000 mL, com 800 mL de H<sub>2</sub>O deionizada, na sequência, todo o volume do balão foi completado por H<sub>2</sub>O deionizada (MEHLICH, 1953) . Para cada amostra foram pesadas 05 gramas de TFSA, num pequeno recipiente de alumínio descartável. Em seguida, foram adicionados 50 mL da solução extratora, e agitadas por 10 minutos, num agitador horizontal. Após a agitação, o material foi deixado em repouso por 16 horas (Tedesco *et al.*,1995). Passado o tempo de repouso foi retirado uma alíquota de 4 mL, para tubos de ensaio graduados e dados prosseguimentos na preparação da leitura segundo a metodologia de MURPHY & RYLEY, 1962.

### **3.3.2 Preparo de soluções e procedimentos na determinação de P total**

Inicialmente foram pesadas 0,5 mg de cada amostra de solo, transferidos a tubos de ensaio, adicionados 5 mL de ácido sulfúrico concentrado, colocados na placa digestora à 350 °C e deixados por 30 minutos de acordo com a metodologia de Thomas

et al., 1967. Em seguida, as amostras esfriaram por 10 minutos. Na sequência foram adicionados 0,5 mL de peróxido de hidrogênio e colocados novamente na placa aquecedora por 8 minutos, onde eram retiradas para esfriarem. Este processo foi repetido várias vezes até que o líquido estivesse transparente. Posteriormente, todos os extratos foram diluídos num balão volumétrico de 50 ml com água deionizada e armazenados em potes plásticos para determinação de fósforo por colorimetria segundo a metodologia de MURPHY & RYLEY, 1962.

### 3.3.3 Quantificação de P extraível e total

O fósforo extraível e o total foram determinados por colorimetria, por meio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico, produzido pela redução do molibdato com o ácido ascórbico (MURPHY & RYLEY, 1962). Para aplicação deste método, foi necessário obter a curva padrão com as concentrações de 0,0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 mg L<sup>-1</sup> de fósforo, a partir da solução de 5 mg L<sup>-1</sup> de fósforo. Nos procedimentos seguintes foram utilizados 5 mL dos extratos de fósforo extraível e o total, que na sequência tiveram o pH corrigido com gotas de NaOH 15N e de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2,5N, sob agitação constante e com o auxílio do indicador P-Nitrofenol. Foram adicionados 4 mL da solução resultante da mistura entre ácido Sulfúrico concentrado + Molibdato de Amônio + Tartarato de Potássio Antimônio + ácido ascórbico, diluídos em água deionizada. Após 40 minutos, as leituras das amostras e da curva foram realizadas no espectrofotômetro utilizando cubetas de 1 mL e com o comprimento de onda de 880 nm.

### 3.4 Cálculos dos estoques de P extraível e total

Os estoques totais de P para cada uma das profundidades de solo das áreas estudadas foram calculados de acordo com a seguinte equação (VELDKAMP, 1994):

$$Estoque = \frac{(T)(Ds)(e)}{10}$$

Onde:

Estoque = massa de C, N, O ou P por unidade de área em profundidade equivalente (Mg ha<sup>-1</sup>).

T = teor de C, N ou P total e extraível na profundidade amostrada (g kg<sup>-1</sup>);

Ds = densidade do solo da profundidade ( $\text{kg dm}^{-3}$ );

e = espessura da profundidade considerada (cm).

### 3.5 Análises dos dados

Os valores das concentrações e dos estoques de P extraível e do total foram submetidos à análise de variância para avaliar a diferença dos usos em cada profundidade e das profundidades dentro de cada uso das diferentes classes dos solos. As comparações das médias foram realizadas pelo teste de Tukey a 5% ( $P < 0,05$ ) de significância. As análises e transformações dos dados foram realizadas pelo programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 3, a variável analisada apresentou diferenças significativas em todas as classes do solo, com maiores concentrações nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm em todos os usos. O uso agricultura “AG” e profundidade “0-10 cm” sobressaíram-se estatisticamente sobre os demais.

**Tabela 3 - Valores médios das concentrações de P extraível ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) nas profundidades de 0-10, 10-20, 20,30 e 30-40 cm em quatro usos e quatro classes diferentes de solos.**

Solos/Profundidades	Usos dos solos			
	CD	CA	AG	PA
Argissolo Amarelo				
0-10	4,55bA	3,56cA	10,88aA	5,49bA
10-20	4,23aA	4,44aA	3,83aB	4,79aA
20-30	0,98aB	0,97aB	0,93aC	1,70aB
30-40	1,27aB	1,61aB	1,24aC	1,49aB
Neossolo Litólico				
0-10	13,46aA	6,25cA	13,79aB	9,86bA
10-20	3,61bB	5,07bA	5,26bC	7,78aB
20-30	1,90aB	1,29aB	1,97aD	3,45aC
30-40	2,39bB	2,97bB	18,94aA	2,05bC
Neossolo Regolítico				
0-10	19,12aA	6,29cA	2,47dB	16,23bA
10-20	9,90aB	5,90bA	4,92bA	5,68bB
20-30	1,55aD	2,56aB	1,31aB	1,49aC
30-40	3,52aC	3,20aB	2,01bB	1,63bC

Planossolo

0-10	15,94aA	5,16bC	18,64aA	13,06aA
10-20	6,11cB	33,87aA	24,03bA	6,46cB
20-30	1,67bB	11,90aB	8,24aB	3,17bB
30-40	2,24bB	1,54bC	11,82aB	2,68bB

Médias seguidas de letras minúsculas nas linhas comparam os usos do solo em cada profundidade e letras maiúsculas na coluna comparam as profundidades dentro de cada uso do solo. Letras iguais não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CD=Caatinga Densa, CA= Caatinga Aberta, AG=Agricultura e PA=Pastagem.

As concentrações de P extraível da profundidade de 0-10 cm, da classe do Argissolo Amarelo, apresentaram maiores valores na agricultura (AG) e menores na caatinga densa (CD), com concentrações de 10,88 e 3,56 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente. O maior valor encontrado na AG provavelmente está associado ao uso excessivo de fertilizantes químicos, a fim de suprir as necessidades do solo como “fonte” e da cultura como “dreno”, caracterizando assim, a profundidade superficial com maiores quantidades de P disponível em relação à CD. Isso se deve, aos Argissolos por apresentarem um horizonte Bt com acúmulo de argila que, nesse caso, compõe-se principalmente de caulinita e óxidos de ferro e alumínio os quais possuem sítios específicos de adsorção de P, fazendo com que ele esteja menos disponível para a cultura (NÚÑEZ et al., 1999).

As concentrações de P extraível da profundidade de 30-40 cm do Neossolo Litólico e do Planossolo na AG foram maiores em relação aos demais usos. Embora sejam classes de solos que apresentam naturalmente baixas concentrações de P, justificando os valores nos usos de CD e CA, os altos valores, são certamente explicados por se tratar de solos bastante usados na agricultura, no qual a partir disso são realizados manejos de correções e adubações fosfatadas, tornando-os mais ricos em fósforo extraível.

No geral, em todas as classes foram verificadas reduções nas concentrações de P extraível à medida que analisava profundidades mais profundas em cada uso do solo. Isso é justificado pelo P ser considerado um nutriente de baixa mobilidade no solo, comportamento atribuído à sua “fixação” pelos minerais de argila, presente nos solos tropicais que apresentam maior acidez, elevadas concentrações de óxidos de ferro e de alumínio, com os quais o P tem grande afinidade (PEREIRA, 2009). Nessas condições, as superfícies desses óxidos ficam carregadas positivamente, atraindo ânions, como o fosfato. Desse modo o P, que é um elemento determinante no crescimento vegetal, torna-se pouco disponível (MEURER, 2007). Nos solos do semiárido, Corrêa et al. (2004) atribuem também a disponibilidade de P ao material de origem desses solos. A

disponibilidade desse elemento, segundo Queiroz (2013), é maior na superfície do solo e isso ocorre por conta da sua baixa mobilidade e pela maior quantidade de matéria orgânica contida nesse horizonte.

Diferente disso, valores da classe do Planossolo apresentaram aumentos de 84,77% em CA e 22,44% em AG, na profundidade de 0-10 para 10-20 cm. Na classe do Neossolo Litólico na AG teve acréscimo da primeira para última profundidade do solo com 27,2%. Estes resultados podem ser atribuídos a formas de manejos mais sustentáveis, dispondo de técnicas como: incorporação de M.O que trazem benefícios para as condições físicas, químicas e biológicas, proporcionando assim, melhor distribuição de P extraível em todas as profundidades do solo. Nesse sentido Silveira et al. (2006) observaram que 33% do fósforo de um solo pobre desse nutriente é ligado a matéria orgânica, reforçando que essa é uma importante fonte de P. Em trabalho desenvolvido por Menezes e Silva (2008) com a aplicação anual de esterco, combinado ou não com a crotalaria, os autores verificaram a elevação dos teores de fósforo totais de até 40 cm de profundidade. Logo, práticas agrícolas que favoreçam o aumento ou a manutenção da matéria orgânica do solo são indicadas para os solos tropicais com finalidade de estruturação do solo, retenção de umidade e aumento da capacidade de troca de cátions do solo (SILVA et al., 2005).

Por outro lado, podemos observar que na CD, todas as classes apresentaram altos valores de P extraível apenas nos primeiros 10 cm de profundidade. Resultado parecido, sendo observado por Tokura (2012) onde nos solos nunca cultivados, os maiores valores de P foram encontrados na profundidade de 5-10 cm. Silva et al., (1997) justifica que provavelmente isto ocorre por causa da diminuição do teor de matéria orgânica e ao conseqüente aumento da fixação de P nesta profundidade.

O uso de pastagem na classe do Neossolo Regolítico apresentou alto valor de P extraível na profundidade de 0-10 cm, evidenciando o fato do uso de adubação fosfatada ser fundamental, independente do sistema de exploração, seja extensivo ou intensivo, para que esse elemento não seja limitante na resposta da planta forrageira.

Os resultados evidenciaram elevada variabilidade nas concentrações de P total nas classes apresentadas (Tabela 4). Diferenças significativas foram observadas para essa variável na classe do Argissolo Amarelo, Neossolo Litólico e Planossolo, comparando os usos em cada profundidade estudada.

**Tabela 4 - Valores médios das concentrações de P total (mg dm<sup>-3</sup>) nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm em quatro classes sob quatro usos e coberturas de solos, no Agreste pernambucano.**

Solos/Profundidades	Usos do solo			
	P total (mg dm <sup>-3</sup> )			
	CD	CA	AG	PA
<b>Argissolo Amarelo</b>				
0-10	360,42aA	394,26aA	55,31bC	322,82aA
0-20	415,15aA	421,19aA	498,12aA	201,96bA
20-30	234,10bB	405,59aA	411,04aA	329,76aA
30-40	388,23aA	376,44aA	226,15bB	244,48bA
<b>Neossolo Litólico</b>				
0-10	545,28aA	60,36dC	364,18bB	151,74cD
10-20	483,28bA	457,90bA	538,35aA	576,05aA
20-30	559,23aA	122,09cC	436,32bB	481,41bB
30-40	186,42cB	363,00aB	422,00aB	298,05bC
<b>Neossolo Regolítico</b>				
0-10	350,39aA	386,11aA	349,77aA	310,34aA
10-20	410,63aA	374,43aA	384,99aA	360,85aA
20-30	370,40aA	371,39aA	343,63aA	374,20aA
30-40	357,90aA	408,09aA	280,97bB	352,47aA
<b>Planossolo</b>				
0-10	327,83bB	110,09cC	597,29aA	366,06bB
10-20	365,88bB	497,11aA	499,63aB	455,38aA
20-30	434,33aA	334,51bB	238,56cD	309,43bB
30-40	403,45aA	455,36aA	419,81aC	345,38bB

Médias seguidas de letras minúsculas nas linhas comparam os usos do solo em cada profundidade e letras maiúsculas na coluna comparam as profundidades dentro de cada uso do solo. Letras iguais não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CD=Caatinga Densa, CA= Caatinga Aberta, AG=Agricultura e Pa=Pastagem.

Destaca-se que na classe do Argissolo Amarelo na profundidade de 0-10 cm, a AG apresentou a menor concentração de P total diante os outros usos. Isso pôde ser explicado devido a razões topográficas do solo. Solos de topografia pouco acentuada podem acarretar perdas de P por erosão do solo, sendo carregadas de locais mais altos para locais mais baixos (TARKALSON 2009; ROLIN NETO 2004; NOVAIS & SMYTE 1999), com isso, justificando também os altos valores de P total nas profundidades mais profundas deste mesmo solo.

A classe do Planossolo da profundidade 0-10 cm na AG apresentou valor superior aos demais usos, devido basicamente, ao fato de as quantidades adicionadas com fertilizantes serem superiores às exportadas pelos grãos (RHEINHEIMER, 2001).

A classe do Neossolo Litólico apresentou maiores concentrações de fósforo total no uso de CD e menores no uso de CA, com concentrações de 545,28 e 60,36 mg dm<sup>-3</sup> na profundidade 0-10 cm e 483,28 e 457,90 mg dm<sup>-3</sup> na profundidade 10-20 cm, respectivamente. Isto provavelmente deve-se a maior quantidade de material vegetal que foi depositado ao solo, com isso, houve aumento na quantidade de matéria orgânica e liberação do nutriente no processo de mineralização. Rodrigues (2010) estudando a comparação entre os teores médios de fósforo (mg dm<sup>-3</sup>) da floresta nativa e da capoeira na profundidade de 20 cm, observou teores mais elevados na floresta nativa devido a maior quantidade de material vegetal que foi depositado ao solo, com isso houve aumento na quantidade de matéria orgânica e liberação do nutriente no processo de mineralização. Fernandes (2005) afirma também que na área de floresta nativa, há maior deposição de serrapilheira, com isso a produção de ácidos orgânicos presumidamente torna-se superior ao da área de capoeira, o que favorece a disponibilidade de P na floresta nativa.

Os solos da classe do Argissolo Amarelo, Neossolo Litólico e Planossolo apresentaram os maiores estoques de P extraível na AG, exceto na classe do Neossolo Regolítico, em que ocorreu o inverso e apresentou o menor estoque para o referido uso (Tabela 5).

**Tabela 5 - Estoques de P extraível (Mg ha<sup>-1</sup>) em quatro classes sob quatro usos e coberturas do solo, ao longo do perfil de 0-40 cm, no Agreste pernambucano.**

Classes de solo	Usos do solo			
	P extraível (Mg ha <sup>-1</sup> )			
	CD	CA	AG	PA
Argissolo Amarelo	0,014	0,016	0,025	0,021
Neossolo Litólico	0,030	0,022	0,057	0,029
Neossolo Regolítico	0,049	0,028	0,016	0,040
Plasonolo	0,035	0,075	0,095	0,040

CD=Caatinga Densa, CA= Caatinga Aberta, AG=Agricultura e PA=Pastagem.

De acordo com AZEVEDO (2018), solos com menor capacidade de sorção de P, geralmente apresentam problemas com perda de nutrientes, por possuírem maiores teores de P-solúvel o que permite a livre movimentação do nutriente na solução do solo, estando susceptível a perda por lixiviação. Justificando assim o baixo estoque de P extraível na classe do Neossolo Regolítico, pois é uma classe que apresenta características como: baixo teor de matéria orgânica, elevada permeabilidade, baixa CTC e baixa capacidade de retenção de umidade. Portanto, mesmo com a introdução de



cultivos agrícolas junto a manejos com correções de pH e adubações fosfatadas, não serão suficientes para assegurar consideráveis níveis deste estoque no solo.

Destaque também, para a classe do Planossolo usado para AG, em que o valor do estoque de P extraível foi o maior dentre todas as outras classes e os usos. Já a classe do Argissolo Amarelo apresentou o menor estoque no uso de CD. Segundo Duarte (1992), os menores teores de fósforo em mata nativa associam-se aos valores de pH mais baixos.

Os solos das classes do Neossolo Litólico e do Planossolo apresentaram os maiores estoques de P total no AG (Tabela 6). Ao contrário disso, a classe do Argissolo Amarelo usado para AG apresentou o menor estoque de P total, sendo justificado também, por razões comentadas anteriormente nas outras tabelas.

**Tabela 6 - Estoques de P total (Mg ha<sup>-1</sup>) em quatro classes sob quatro usos e coberturas do solo, ao longo do perfil de 0-40 cm, no Agreste pernambucano.**

Classes de solo	Usos do solo			
	P total (Mg ha <sup>-1</sup> )			
	CD	CA	AG	PA
Argissolo Amarelo	1,83	2,34	1,79	1,68
Neossolo Litólico	2,53	1,45	2,51	1,63
Neossolo Regolítico	2,19	2,37	2,06	2,22
Plassonolo	2,20	2,02	2,64	2,38

CD=Caatinga Densa, CA= Caatinga Aberta, AG=Agricultura e PA=Pastagem.

A classe do Planossolo com uso na AG teve 2,64 Mg ha<sup>-1</sup>, indicando maior valor desta variável em relação a todas as outras classes e usos dos solos. A razão disso está no intuito de obter altas concentrações de P para compensar essa suposta baixa eficiência da adubação fosfatada, por isso, muitos agricultores recorrem a aplicações de doses altas e frequentes de fontes solúveis, que tem gerado aumento do estoque de P total no solo. Para OLIVEIRA, (2018), sempre que acontece esse acúmulo, isto mostra que a quantidade do nutriente exportado nos produtos colhidos é menor que o adicionado por meio de fertilizantes, desde que não existam perdas por erosão.

## 5 CONCLUSÕES

Neste estudo, as profundidades de 0-20 cm, as mais superficiais do solo, apresentaram as maiores concentrações de P extraível e total, principalmente na área de uso da agricultura. Houve reduções nas concentrações de P total e extraível à medida

que analisava maiores profundidades. As principais classes de solos em usos de CD e CA apresentaram no geral os menores valores de P extraível e total dentre as profundidades estudadas. Os estoques de P extraível e total dos solos do Agreste Pernambucano foram mais eminentes nos Neossolos Litólicos e Planossolos, principalmente na AG.

A deficiência de P tem sido um fator limitante à produtividade agrícola e, sobretudo na região do Agreste pernambucano, onde as principais classes de solos sob coberturas naturais, apresentam baixos teores de P disponível e P total. Diante desse estudo, podemos perceber que os efeitos consideráveis para uma maior “disponibilidade” e “distribuição” do P nos solos da região Agreste do Pernambuco, esta intimamente relacionada a ações decorrentes das mudanças do uso da terra, ou seja, a inversão radical de um ecossistema natural para um uso agrícola. Com isso, grande parte dos agricultores fazem usos excessivos de fertilizantes químicos, trazendo uma mudança “positiva” de forma momentânea no estoque de P total e P disponível no solo. No entanto, sabemos que a médio e longo prazo essa mudança “positiva” pode trazer sérios prejuízos ambientais ao solo e a ambientes aquáticos. Por fim, o manejo sustentável dos ecossistemas naturais e o conhecimento da dinâmica do P no solo são de extrema importância para o aumento da sua biodisponibilidade em solos tropicais.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, L. J. de O. et al. Mapeamento do uso e cobertura das terras do Semiárido pernambucano (escala 1: 100.000). **Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2017

ARAÚJO FILHO, J. C.; BURGOS, N.; LOPES, O. F.; SILVA, F. H. B. B.; MEDEIROS, L. A. R.; MELO FILHO, H. F. R.; PARAHYBA, R. B. V.; CAVALCANTI, A. C.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SILVA, F. B. R.; LEITE, A. P.; SANTOS, J. C. P.; SOUSA NETO, N. C.; SILVA, A. B.; LUZ, L. R. Q. P.; LIMA, P. C.; REIS, R. M. G.; BARROS, A. H. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro: Embrapa solos, Boletim de Pesquisa, n. 11, 382 p., 2000.

BERHE, A. A. et al. Role of soil erosion in biogeochemical cycling of essential elements: Carbon, nitrogen, and phosphorus. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 46, p. 521-548, 2018.

BUCHER, M.; RAUSCH, C.; DARAM, P. Molecular and biochemical mechanisms of phosphorus uptake into plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 164, n. 2, p. 209-217, 2001.

CAMPOS, M.; ANTONANGELO, J. A.; ALLEONI, L. R. F. Phosphorus sorption index in humid tropical soils. **Soil and Tillage Research**, v. 156, p. 110-118, 2016.

CARNEIRO, Kalline de Almeida Alves et al. Perdas de fósforo por lixiviação em neossolo regolítico adubado com esterco bovino curtido em condições semiáridas. **Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 261-285, 2019.

CHEN, C. R. et al. Phosphorus dynamics in the rhizosphere of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and radiata pine (*Pinus radiata* D. Don.). **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, n. 4, p. 487-499, 2002.

CONDEPE/FIDEM - AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO. Aspectos geoambientais e socioeconômicos da bacia hidrográfica do Rio Una, grupos de bacias hidrográficas de pequenos rios litorâneos GL 4 e GL 5. Recife, PE: **Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco**, v. 3, 85 p. 2006.

CORRÊA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, 2004.

CPRM. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea no Estado de Pernambuco, **Diagnósticos dos Municípios, CPRM**, 2005.

CSATHÓ, P.; RADIMSZKY, L.; NÉMETH, T. **NP turnover studies on European and on Danube basin levels**. Mitigation Options for Nutrient Reduction in Surface and Ground Waters, p. 60, 2011.

ELSER, J. J. Phosphorus: a limiting nutrient for humanity? **Curr. Opin. Biotechnol.**, v. 23, p. 833-838, 2012.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. edição revisada – Rio de Janeiro, 1999.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. 1997. **Manual de Métodos de Análises de Solos**. Rio de Janeiro, 212 p., 1997.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa Solos, 3ª ed. revisada e ampliada, 353 p., 2013.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Zoneamento Agrícola de Pernambuco**. CD-Rom, 1998.

FERNANDES, F.C.S., Produção de liteira, concentração e estoque de nutrientes na floresta nativa e capoeira. (**Dissertação**). (Mestrado), Cuiabá-MT. 2005.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FROSSARD, E. et al. Processes governing phosphorus availability in temperate soils. **Journal of environmental quality**, v. 29, n. 1, p. 15-23, 2000.

GREGORY, A. S. et al. A review of the impacts of degradation threats on soil properties in the UK. **Soil use and management**, v. 31, p. 1-15, 2015.

GUILLAUME, T.; DAMRIS, M.; KUZYAKOV, Y. Losses of soil carbon by converting tropical forest to plantations: erosion and decomposition estimated by  $\delta^{13}C$ . **Global change biology**, v. 21, n. 9, p. 3548-3560, 2015.

GUO F.; YOST, R.S.; HUE, N.V.; EVENSEN, C.I.; SILVA, J. Changes in phosphorus fractions in soils under intensive plant growth, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 64, e1681, 2000.

HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B.; CHAUHAN, B.S. Changes inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations, **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 46, p. 970–976, 1982.

HERRERA-ESTRELLA, L.; LÓPEZ-ARREDONDO, D. Phosphorus: the underrated element for feeding the world. **Trends in plant science**, v. 21, n. 6, p. 461-463, 2016.

HIGGINBOTTOM, T. P.; SYMEONAKIS, E. Assessing land degradation and desertification using vegetation index data: Current frameworks and future directions. **Remote Sensing**, v. 6, n. 10, p. 9552-9575, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico de Pernambuco, 2000**. Rio de Janeiro, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=26&search=pernambuco>>. Acesso em maio, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Manual técnico de pedologia. Rio de Janeiro, **IBGE: Manuais técnicos em geociências**, n. 4, 3<sup>a</sup> ed., 430 p. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2020. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartogramas/estadual.html>> (acesso em: maio, 2020).

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; BURGOS, N.; PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife, SUDENE, 1973. v.1. (**Boletim Técnico, 26. Série Pedologia, 14**).

JACOMINE, P.K.T. Solos sob caatinga: Características e uso agrícola. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG, **SBCS/UFV/DPS**, 1996. p.95-111.

JANGID, K. et al. Land-use history has a stronger impact on soil microbial community composition than aboveground vegetation and soil properties. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, n. 10, p. 2184-2193, 2011.

JESUS, Kennedy Nascimento de. Estoques e dinâmica do carbono e nitrogênio em solos sob diferentes coberturas e usos de terra em Pernambuco. 2017.

KRUSE, J. et al. Innovative methods in soil phosphorus research: A review. **Journal of plant nutrition and soil science**, v. 178, n. 1, p. 43-88, 2015.

LOPEZ-HERNANDEZ, D.; BROSSARD, M.; FROSSARD, E. P-isotopic exchange values in relation to Po mineralisation in soils with very low P-sorbing capacities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, n. 13, p. 1663-1670, 1998.

MACHADO, M. I. C. S.; BRAUNER, J. L.; VIANNA, A. C. T. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 331-336, 1993.

MAHARJAN, M.; MARANGUIT, D.; KUZYAKOV, Y. Phosphorus fractions in subtropical soils depending on land use. **European Journal of Soil Biology**, v. 87, p. 17-24, 2018.

MAHARJAN, M.; MARANGUIT, D.; KUZYAKOV, Y. Phosphorus fractions in subtropical soils depending on land use. **European Journal of Soil Biology**, v. 87, p. 17-24, 2018.

MARANGUIT, D.; GUILLAUME, T.; KUZYAKOV, Y. Land-use change affects phosphorus fractions in highly weathered tropical soils. **Catena**, v. 149, p. 385-393, 2017.

MATSON, P. A. et al. Agricultural intensification and ecosystem properties. **Science**, v. 277, n. 5325, p. 504-509, 1997.

MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Mudanças na fertilidade de um Neossolo Regolítico após seis anos de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 03, p. 251-257, 2008.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS et al. Fertilidade do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007, p. 65-90.

MILIĆ, S. et al. Soil fertility and phosphorus fractions in a calcareous chernozem after a long-term field experiment. **Geoderma**, v. 339, p. 9-19, 2019.

MOTAVALLI, P.; MILES, R. Soil phosphorus fractions after 111 years of animal manure and fertilizer applications. **Biology and fertility of soils**, v. 36, n. 1, p. 35-42, 2002.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. 1. ed. Viçosa - MG, 1999. 399p.

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 sulfú. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.39, p.1079-1087, 2015.

NÚÑEZ, J.E.V; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; PALMIERI, F.; MESQUITA, A.A. Conseqüências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre a contaminação do solo, sedimentos e água por metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.981-990, 1999.

OLIVEIRA, L. E. Z. Biodisponibilidade de fósforo residual em diferentes manejos de solo e adubação. **Embrapa Cerrados-Tese/dissertação (ALICE)**, 2018.

PEREIRA, Hamilton Seron. Fósforo e potássio exigem manejos diferenciados. **Revista visão agrícola**. Nº, 2009.

PROBIO - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira. Subprojeto – **Levantamento da Cobertura Vegetal e do Uso do solo do Bioma Caatinga**. 2007.

[http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/caatinga/documentos/relatorio\\_final.pdf](http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/caatinga/documentos/relatorio_final.pdf)

QUEIROZ, A. F. Caracterização e classificação de solos do município de Casa Nova - BA para fins de uso, manejo e conservação. 2013. 75p. **Dissertação** (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA).

RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C. e KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistemas plantio direto. **Ciência Rural**, v.38, p.576-586, 2008.

RHEINHEIMER, Danilo dos Santos; ANGHINONI, Ibanor. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 151-160, 2001.

RODRIGUES, Alessandra Bittencourt Crestani et al. Atributos químicos em solo sob floresta nativa e capoeira. **Uniciências**, v. 14, n. 1, 2010.

ROLIM NETO, F. C. et al. Adsorção De Fósforo, Superfície Específica E Atributos Mineralógicos Em Solos Desenvolvidos De Rochas Vulcânicas Do Alto Paranaíba (Mg): Seção Ii - Química E Mineralogia Do Solo. 28. ed. [S.l.]:**Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 953-964 p. 2004.

ROSSEL, R. A. V.; BUI, E. N. A new detailed map of total phosphorus stocks in Australian soil. **Science of the Total Environment**, v. 542, p. 1040-1049, 2016.

SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização do bioma caatinga: características e potencialidades, in: GARIGLIO, M. A., KAGEYAMA, P. Y. (Eds.), **Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga**. GARIGLIO, M. A. SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. (Orgs.), Brasília: Serviço florestal brasileiro, p. 29-48. 2010.

SHAO, W. et al. Distribution of inorganic phosphorus and its response to the physicochemical characteristics of soil in Yeyahu Wetland, China. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 125, p. 1-8, 2019.

SHEN, J. et al. Phosphorus dynamics: from soil to plant. **Plant physiology**, v. 156, n. 3, p. 997-1005, 2011.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo.**Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 544-552, 2005.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEAUX, P.; LIMA, J. M. de; CARVALHO, A. M. de. Rotação adubo verde<sup>3</sup>/<sub>4</sub>milho e adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho-Escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 6, p. 649-654, jun. 1997.



SILVEIRA, M. M. L.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. Distribuição de fósforo em diferentes ordens de solo do semi-árido da Paraíba e de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n. 2, p. 281-291, 2006.

SOLOMON, D. et al. Phosphorus forms and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands. **Geoderma**, v. 105, n. 1-2, p. 21-48, 2002.

SPOHN, M.; ERMAK, A.; KUZYAKOV, Y. Microbial gross organic phosphorus mineralization can be stimulated by root exudates—a <sup>33</sup>P isotopic dilution study. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 65, p. 254-263, 2013.

SUN, H. et al. Labile fractions of soil nutrients shape the distribution of bacterial communities towards phosphorus recycling systems over elevation gradients in Gongga Mountain, SW China. **European Journal of Soil Biology**, v. 98, e103185, 2020.

TARKALSON, D. D.; LEYTEM, A. B. Phosphorus mobility in soil columns treated with dairy manures and commercial fertilizer. **Soil Science**, v.174, p.73-80, 2009.

THOMAS, R.L.; SHEARRD, R.W. & MOYER, J.R. Comparison of conventional and automated procedures for N, P and K analysis of plant material using a single digestion. **Agron. J.**, 59:240-243, 1967.

TIESSEN, H.; MOIR, J.O. Characterization of available P by sequential extraction, in: CARTER, M.R.; GREGORICH, E. (Eds.), **Soil Sampl. Methods Anal.**, 2nd Editio, Canadian Soc. Soil Sci, 1993, pp. 75–86.

TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. Pathways of phosphorus transformations in soil of differing pedogenesis. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 48, p. 853–858, 1984.

TOKURA, Alessandra Mayumi et al. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1467-1476, 2002.

TÓTH, G. et al. Phosphorus levels in croplands of the European Union with implications for P fertilizer use. **European Journal of Agronomy**, v. 55, p. 42-52, 2014.

TURRIÓN, M. et al. Effects on soil phosphorus dynamics of municipal solid waste compost addition to a burnt and unburnt forest soil. **Science of the total environment**, v. 642, p. 374-382, 2018.

ULÉN, B. et al. Agriculture as a phosphorus source for eutrophication in the north-west European countries, Norway, Sweden, United Kingdom and Ireland: a review. **Soil use and Management**, v. 23, p. 5-15, 2007.

VALERA, C. A. et al. The role of environmental land use conflicts in soil fertility: A study on the Uberaba River basin, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 562, p. 463-473, 2016.

VALLE JUNIOR, R. F. et al. Environmental land use conflicts: a threat to soil conservation. **Land Use Policy**, v. 41, p. 172-185, 2014.

WITHERS, P. J. A.; JARVIE, H. P. Delivery and cycling of phosphorus in rivers: a review. **Science of the total environment**, v. 400, n. 1-3, p. 379-395, 2008.

ZAMUNER, E. C.; PICONE, L. I.; ECHEVERRIA, H. E. Organic and inorganic phosphorus in Mollisol soil under different tillage practices. **Soil and Tillage Research**, v. 99, n. 2, p. 131-138, 2008.