

## PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM DIFERENTES FRAÇÕES E CLASSES DE SOLOS FLORESTAIS E AGRÍCOLAS, NO ENTORNO DO PARQUE NACIONAL DO IGUAÇU - PR

Nelsi Santos Dal **Cortivo**<sup>1</sup>, Ismael Laurindo **Costa Junior**<sup>2</sup>, Adelmo Lowe **Pletsch**<sup>3</sup>

(1 - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Medianeira-PR, [nelso@alunos.utfpr.edu.br](mailto:nelso@alunos.utfpr.edu.br), <https://orcid.org/0000-0002-0396-1689>; 2 - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, campus Medianeira-PR, [ismael@utfpr.edu.br](mailto:ismael@utfpr.edu.br), <https://orcid.org/0000-0001-6295-1619>; 3 - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Departamento de Química - campus Curitiba-PR, [adelmo@utfpr.edu.br](mailto:adelmo@utfpr.edu.br), <https://orcid.org/0000-0002-4334-2815>).

**Resumo:** Atividades antropogênicas têm contribuído na alteração significativa das características dos solos. Estudos em áreas de mata nativa, por classes de solo e região, servem de referência para solos expostos à degradação. Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar parâmetros físicos e químicos de solos agricultáveis e de mata no entorno do Parque Nacional do Iguaçu - PR. A caracterização foi realizada através das medidas de pH, carbono orgânico, matéria orgânica, fósforo disponível, capacidade de troca catiônica, granulometria e mineralogia. A textura foi determinada pela metodologia de Gee e Bauder (1986) e Lei de Stokes. A caracterização mineralógica das argilas foi realizada por difratometria de raios-X. Os solos são moderadamente ácidos e predominância das texturas argilosa e muito argilosa (77,8%), e de menor predominância a siltosa (22,2%). Teores elevados de fósforo disponível foram encontrados em solos agrícolas. Os teores de Matéria Orgânica (MO) e Carbono Orgânico (CO) foram superiores nos solos de mata. Para a saturação por bases (V%), 68,75% dos solos apresentaram  $V\% < 50\%$  mostrando a baixa fertilidade. As argilas dos Neossolos, Latossolos e Nitossolos apresentaram caulinita, hematita, maghemita e quartzo, enquanto que nos Gleissolos predominaram a caulinita, quartzo, vermiculita, anatásio e rutilo. A CTC em solos agrícolas e mata tiveram diferenças significativas entre as médias.

**Palavras-chave:** Parâmetros Físicos e Químicos. Solos. Valores de referência.

**PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS IN DIFFERENT FRACTIONS AND CLASSES OF FORESTRY AND AGRICULTURAL SOILS IN THE SURROUNDINGS OF THE IGUAÇU NATIONAL PARK - PR.**

**Abstract:** Anthropogenic activities have contributed to the significant alteration of soil characteristics. Studies in areas of native forest, by soil classes and region serve as a reference for soils exposed to degradation. Thus, the objective was to determine physical and chemical parameters of agricultural and forest soils around the Iguazu National Park - PR. The characterization was done by measuring pH, organic carbon, organic matter, available phosphorus, cation exchange capacity (CEC), granulometry and mineralogy. The texture was determined by Gee and Bauder (1986) and Stokes' Law. Mineralogical characterization of the clays was realized by X-ray diffractometry. The soils are moderately acidic with a predominance of clayey and very clayey textures (77.8%), and a lesser predominance of silty (22.2%). High levels of available phosphorus were found in agricultural soils. The Organic Matter (MO) and the Organic Carbon (CO) contents were higher in the forest soils. For base saturation (V%), 68.75% of the soils presented  $V\% < 50\%$  showing low fertility. The clays of the Neosols, Latosols and Nitrosols, presented kaolinite, hematite, maghemite and quartz, while in the Gleissols predominated kaolinite, quartz, vermiculite, anatase and rutile. The CEC in agricultural and forest soils had significant differences between the means.

**Keywords:** Physical and Chemical Parameters. soils. Reference values.

**PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN DIFERENTES FRACCIONES Y CLASES DE SUELOS FORESTALES Y AGRÍCOLAS EN LOS ALREDEDORES DEL PARQUE NACIONAL IGUAÇU - PR.**

**Resumen:** Las actividades antropogénicas han contribuido a la alteración significativa de las características del suelo. Los estudios en áreas de bosque nativo, por clase de suelo y región, sirven como referencia para los suelos expuestos a la degradación. Así, el objetivo fue determinar los parámetros físicos y químicos de los suelos cultivables y forestales alrededor del Parque Nacional Iguazu - PR. La caracterización se realizó mediante mediciones de pH, carbono orgánico, materia orgánica, fósforo disponible, capacidad de intercambio catiónico, granulometría y mineralogía. La textura se determinó mediante la metodología de Gee y Bauder (1986) y la Ley de Stokes. La caracterización mineralógica de las arcillas se realizó por difracción de rayos X. Los suelos son moderadamente ácidos y predominan las texturas

arcillosas y muy arcillosas (77,8%), con un menor predominio de las texturas limosas (22,2%). Se encontraron altos niveles de fósforo disponible en los suelos agrícolas. Los contenidos de Materia Orgánica (MO) y Carbón Orgânico (CO) fueron mayores en suelos forestales. Para saturación de bases (V%), el 68,75% de los suelos presentaron  $V\% < 50\%$  mostrando baja fertilidad. Las arcillas de Neosols, Latosols y Nitosols presentaron caolinita, hematita, maghemita y cuarzo, mientras que en Gleissolos predominaron la caolinita, cuarzo, vermiculita, anatasa y rutilo. La CIC en suelos agrícolas y forestales tuvo diferencias significativas entre los promedios.

**Palabras clave:** Parámetros físicos y químicos. Suelos. Valores de referencia.

### Introdução

De acordo com a EMBRAPA (2018), os solos são uma coleção de corpos naturais constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, que contem materiais orgânicos e minerais, que contemplam seções e, ou horizontes que se distinguem do material original em decorrência das alterações ao longo do tempo e podendo ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente podem ser modificados por ações antropogênicas.

A formação dos solos depende dos atributos climáticos, principalmente a precipitação pluviométrica, temperatura, vento e orientação do declive. A água no solo é o principal agente de intemperismo das rochas e transformação dos minerais, além de ser essencial ao desenvolvimento das plantas que atuam na redistribuição, adição ou remoção de materiais do solo. A temperatura tem ação principalmente indireta, pois controla a umidade, influencia os resíduos orgânicos e a velocidade das reações químicas. O vento é um agente importante do transporte e distribuição de materiais suspensos por longas distâncias e a orientação do declive influencia significativamente as condições microclimáticas (KER et al., 2015; RAIJ, 2011).

Já as alterações nos solos a partir das fontes antrópicas como a indústria, agricultura e mineração, são as mais impactantes sobre suas características originais, gerando a degradação ambiental e a fragilidade ambiental (RIBEIRO, 2022). O solo em condições naturais, coberto pela vegetação, é pouco sujeito a processos de degradação por estar em equilíbrio ambiental. Entretanto, quando a vegetação é destruída, para a ocupação do solo pela agricultura, por exemplo, ocorrem à perda de matéria orgânica, de nutrientes e a redução da infiltração da água. Há diversos fatores que podem provocar a degradação dos solos, como a erosão que retira do solo principalmente matéria orgânica, argila e nutrientes, comprometendo suas características

físicas e químicas. Há processos, entretanto, que agem diretamente sobre o solo, em especial a acidificação, a redução da disponibilidade de nutrientes, a salinização e a contaminação com produtos agrotóxicos (SANTOS; DAIBERT, 2014).

Para qualificar e quantificar essas alterações é fundamental conhecer os parâmetros físicos e químicos como pH, a capacidade de troca de cátions (CTC), os teores de matéria orgânica, carbono orgânico, fosfatos, entre outros, que podem distinguir se a fonte é material de origem ou de contribuição antropogênica (ANDRADE; LEITE; BACELLAR, 2012; ALLOWAY, 2010; ALTHAUS, 2017).

### **Características e Atributos dos Solos**

Para ser um solo orgânico o teor de carbono deve ser igual ou superior a  $80 \text{ g kg}^{-1}$  (avaliado na fração TFSA) e seus constituintes orgânicos superar os constituintes minerais EMBRAPA (2018). Ainda de acordo com a EMBRAPA (2018), o solo mineral formado predominantemente por compostos inorgânicos possui vários estágios de intemperismo, sendo considerado mineral quando não satisfizer aos requisitos exigidos para ser um material orgânico.

As distinções entre os estados de acidez ou alcalinidade dos materiais dos solos que variam de extremamente ácido ( $\text{pH} < 4,3$ ), a fortemente alcalino ( $\text{pH} > 8,3$ ), são denominadas classes de reação do solo, conforme EMBRAPA, (2018).

A textura ou granulometria do solo representa a distribuição quantitativa das partículas sólidas minerais quanto ao tamanho e a distribuição em classes denominadas de areia, silte e argila. Sabe-se, pelo estudo da gênese dos solos, que as partículas do tamanho de areia e silte, por ações de intemperismo, transformam-se em argila e os minerais mais resistentes ao intemperismo permanecem na forma de areia e a fração silte, em função da sua estabilidade. O percentual de cada fração no solo passa a constituir o indicador do grau de intemperismo do solo, desta forma, é consensual e universal a expectativa que somente solos mais jovens possuam elevada proporção de silte e solos mais intemperizados possuam elevada proporção de argila (LIER, 2010).

As frações texturais do solo, areia, silte e argila apresentam amplitudes de tamanhos variados em função do sistema de classificação adotado. Apenas dois sistemas internacionais são considerados mais importantes para a ciência do solo ou pedologia no Brasil, são eles: Sistema Norte Americano, desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

(USDA) e Sistema Internacional ou de Atterberg, desenvolvido pela Sociedade Internacional de Ciência do Solo (ISSS), (LIER, 2010; EMBRAPA, 2018).

A textura do solo constitui umas das características físicas mais estáveis e representa a distribuição granulométrica das partículas sólidas minerais (menores que 2 mm de diâmetro) quanto ao tamanho, as quais influenciam muitas propriedades do solo (CTC, retenção, disponibilidade e movimento de água, etc.) e o seu comportamento (expansividade e contractilidade, susceptibilidade à erosão e à compactação, etc.), (BRADY e WEIL, 2013).

As partículas de areia, pelo seu tamanho relativamente grande, têm baixa superfície específica, possuindo pouca capacidade de retenção de água e nutrientes. As partículas de silte, apesar de serem semelhantes às areias, tanto na forma como na composição mineral, possuem partículas relativamente pequenas (e de maior superfície específica), permitindo um intemperismo rápido e suficiente para liberar quantidades significativas de nutrientes para as plantas, além disso, o silte retém mais água e possui uma menor capacidade de drenagem. As partículas de argila possuem área superficial específica muito grande, o que lhes dá uma enorme capacidade de adsorver água e outras substâncias (BRADY; WEIL, 2013).

Na região Oeste do Paraná já foram realizados levantamentos dos parâmetros físicos e químicos em solos de mata (BOCARDI, 2019; CASSOL, 2018, 2020; ROOS, 2021). Contudo, ainda não se realizaram levantamentos destes teores entre os diferentes tipos de uso dos solos. Portanto, o objetivo deste estudo foi realizar a caracterização dos solos através da concentração de parâmetros como de pH, carbono orgânico, matéria orgânica, fósforo disponível, capacidade de troca de cátions, saturação por bases, textura (areia, silte, argila) e caracterização mineralógica da argila, de solos agricultáveis e de mata no entorno do Parque Nacional do Iguaçu, os quais devem servir de suporte para o entendimento do comportamento destes parâmetros, bem como, na definição de padrões de referência.

## **Materiais e Métodos**

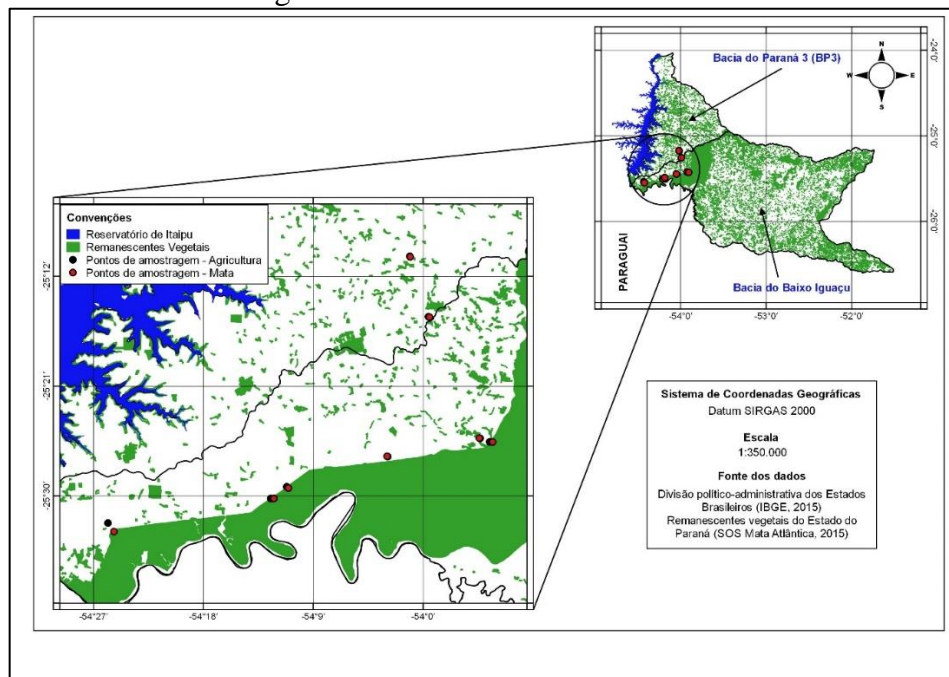
### *Área de Estudo e Metodologia Amostral*

A região de estudo está contida nas Bacias do Paraná III (BP III) e Iguaçu, mais especificamente, no Baixo Iguaçu. Os pontos amostrados estão situados próximos à microrregião de Foz do Iguaçu que possui, de acordo com o IBGE (2010), uma área de 5.579,936 Km<sup>2</sup>, 425.467 habitantes e 11 municípios.

A bacia do Paraná III é constituída por 28 municípios, considerando as áreas de abrangência do Brasil e da Argentina e possui aproximadamente 8.000 km<sup>2</sup> de área. Da bacia hidrográfica do Iguaçu, o rio Iguaçu é de maior importância em tamanho, abrangendo uma superfície aproximada de 72.000 km<sup>2</sup>. Este rio nasce no 1° planalto, sendo o alto Iguaçu situado na região metropolitana de Curitiba e percorre o médio Iguaçu na região do 2° planalto, e o baixo Iguaçu, na região do 3° planalto. No alto Iguaçu, existe uma grande concentração populacional, atividades voltadas à indústrias, comércio e serviços, enquanto no médio e baixo Iguaçu, predominam a agricultura e a pecuária, constituindo os cultivos de soja, milho e trigo os de maior destaque.

Para a definição dos pontos de amostragem levaram-se em consideração os remanescentes florestais e os tipos de solos da área em estudo. Inicialmente, buscou-se por locais com solos de mata com cobertura nativa ou de baixo impacto antrópico. Os locais encolhidos fazem parte do Parque Nacional do Iguaçu (área de conservação federal) e reservas legais (propriedades privadas), onde alguns pontos estão sobrepostos nos mapas pela proximidade e escala (Figura 1).

Figura 1: Pontos de coleta da área de estudo.



Fonte: Autoria própria.



A região de estudo, é constituída por Latossolos Vermelhos, Nitossolos Vermelhos em associação com os Neossolos Litólicos e Argissolos Vermelhos, sendo encontrados também Gleissolos Háplicos e Organossolos Háplicos associados a pequenas áreas planas e alagadiças às margens do rio Paraná (MINEROPAR, 2006).

As coletas das amostras foram realizadas em 8 pontos, com formação rochosa de Serra Geral/Basalto, em áreas protegidas abrangendo 4 tipos de solos: Latossolo Vermelho (LV), Neossolo Regolítico (RR), Nitossolo Vermelho (NV) e Gleissolo Háplico (GX), e próximo a estes, foram amostrados solos de áreas agrícolas de mesma classe, como apresentado na tabela 1, totalizando 16 amostragens (Tabela 1). Para obter a licença de acesso e amostragem de solos no Parque Nacional do Iguaçu, foram seguidas as normas estabelecidas pela Instrução Normativa N° 03, de 01 de setembro de 2014 do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBIO (2014), que regulamenta a disponibilização, o acesso, a coleta e o uso de dados e informações recebidos para a pesquisa científica.

Tabela 1: Coordenadas geográficas, unidade de conservação, município, tipo e uso do solo.

| Ponto | Coordenadas   |               | Unidade | Local | *Solo | Uso do solo |
|-------|---------------|---------------|---------|-------|-------|-------------|
|       | S             | W             |         |       |       |             |
| 1     | 25°15'18.35"S | 53°59'34.16"O | PP      | MA    | RR    | Agricultura |
| 2     | 25°10'21.74"S | 54°01'05.70"O | PP      | MA    | RR    | Agricultura |
| 3     | 25°25'33.70"S | 53°54'33.06"O | PP      | MA    | NV    | Agricultura |
| 4     | 25°30'12.52"S | 54°12'29.62"O | PP      | S.M.I | NV    | Agricultura |
| 5     | 25°25'16.54"S | 53°55'19.95"O | PP      | MA    | LV    | Agricultura |
| 6     | 25°29'14.65"S | 54°11'10.33"O | PP      | S.M.I | LV    | Agricultura |
| 7     | 25°32'13.14"S | 54°25'49.18"O | PP      | S.T.I | GX    | Agricultura |
| 8     | 25°26'46.51"S | 54°02'54.46"O | PP      | S.I   | GX    | Agricultura |
| 9     | 25°10'24.33"S | 54°01'04.10"O | RL      | MA    | RR    | Mata        |
| 10    | 25°15'20.32"S | 53°59'29.36"O | RL      | MA    | RR    | Mata        |
| 11    | 25°25'34.27"S | 53°54'18.65"O | PN      | MA    | NV    | Mata        |
| 12    | 25°30'11.90"S | 54°12'13.68"O | PN      | S.M.I | NV    | Mata        |
| 13    | 25°25'15.55"S | 53°55'23.85"O | PN      | MA    | LV    | Mata        |
| 14    | 25°29'20.52"S | 54°11'02.47"O | PN      | S.M.I | LV    | Mata        |
| 15    | 25°26'44.42"S | 54°02'57.06"O | RL      | S.I   | GX    | Mata        |
| 16    | 25°32'54.95"S | 54°25'19.78"O | PN      | F.I   | GX    | Mata        |

Legenda: PP – Propriedade Privada; RL – Reserva Legal; PN – Parque Nacional do Iguaçu; F.I – Foz do Iguaçu; MA – Matelândia; S.I – Serranópolis do Iguaçu; S.M.I – São Miguel do Iguaçu; S.T.I – Santa Terezinha de Itaipu; GX – Gleissolo Háplico; LV – Latossolo Vermelho; NV – Nitossolo Vermelho; RR – Neossolo Regolítico. **Fonte:** \*Mineropar (2006); Autoria própria (2019).

Para a amostragem do solo foi realizada a limpeza da área de coleta inclusive a serapilheira, posteriormente, com o uso de um coletor de aço inoxidável, o solo foi coletado, em profundidade de 0 a 20 cm, no centro e nos vértices de um quadrado com aproximadamente um metro de distância, norte (N), sul (S), leste (L) e oeste (O) (Figura 2). As cinco subamostras formaram uma composta, com cerca de um quilo de solo superficial, após foram secas em ambiente e peneiramento em peneira de 2 mm, obtendo a fração de TFSA (terra fina seca ao ar), armazenada adequadamente para análises orgânicas e inorgânicas, de acordo com Bocardi (2019).

Figura 2: Amostragem composta por cinco subamostras: uma amostra central e outras nas direções dos pontos cardeais (N, S, L e O).



Fonte: Autoria própria.

#### *Parâmetros de Caracterização do Solo*

Os parâmetros físicos e químicos descritos a seguir foram determinados em duplicata, utilizando o método descrito no Manual de Métodos de Análises de Solo (EMBRAPA, 2017): potencial hidrogeniônico (concentração de íons  $H^+$  na solução do solo); do fósforo disponível (análise em espectrofotômetro UV-VIS); carbono orgânico e matéria orgânica; cátions trocáveis (análise em espectrometria de absorção atômica de chama (FAAS), marca Variam e modelo spectra AA-220); acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ); bases trocáveis; capacidade de troca de cátions; e potencial de saturação por bases.

No cálculo do teor de matéria orgânica foi utilizado o fator de “Van Bemmelen” (1,724) assumindo que 58% da matéria orgânica dos solos são constituídas por carbono orgânico. Desta forma, o valor da matéria orgânica resultou da multiplicação do valor de carbono orgânico por 1,724.

A determinação textural foi realizada pelo método da pipeta, também seguindo o manual da EMBRAPA (2017), que consiste na dispersão mecânica e estabilização da amostra por meio de agitação em solução dispersante adequada, seguida da separação das frações por peneiramento e sedimentação e, por mensuração através de pesagem após secagem em estufa.



A separação das frações areia, silte e argila foi realizada de acordo com metodologia de Gee e Bauder (1986) e de acordo com a Lei de Stokes, descrita por Lima e Luz (2001).

#### *Análise Mineralógica da Fração Argila*

As amostras de argila foram moídas em almofariz e montadas em placas de Koch (amostras não orientadas) para a identificação dos minerais por difratometria de raios-X (DRX). Os difratogramas foram obtidos em goniômetro vertical Philips, modelo PW 1050/70, com velocidade do goniômetro de  $1^\circ 2\theta \text{ min}^{-1}$ , e amplitude de varredura de 3 a  $60^\circ 2\theta$ . O goniômetro é equipado com tubo de cobre e filtro de níquel, e utilizando radiação de  $\text{CuK}\alpha$ , e foi operado em 40 mA e 40 kV.

A identificação dos minerais resultantes do DRX foi realizada de acordo com CHEN (1977).

#### *Análise Estatística*

Os resultados obtidos foram analisados de acordo com a estatística descritiva para a caracterização das variáveis estudadas. Análises de componentes Principais (ACP) foram utilizadas para verificar a interação entre as variáveis estudadas (associação de variáveis) e reduzir a dimensão dos dados obtidos. A associação entre as variáveis foi feita através de correlação de *Pearson* com nível de confiança de 95%. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o *software* STATISTICA 8.0.

## **Resultados e Discussão**

### *Características Físicas e Químicas dos Solos*

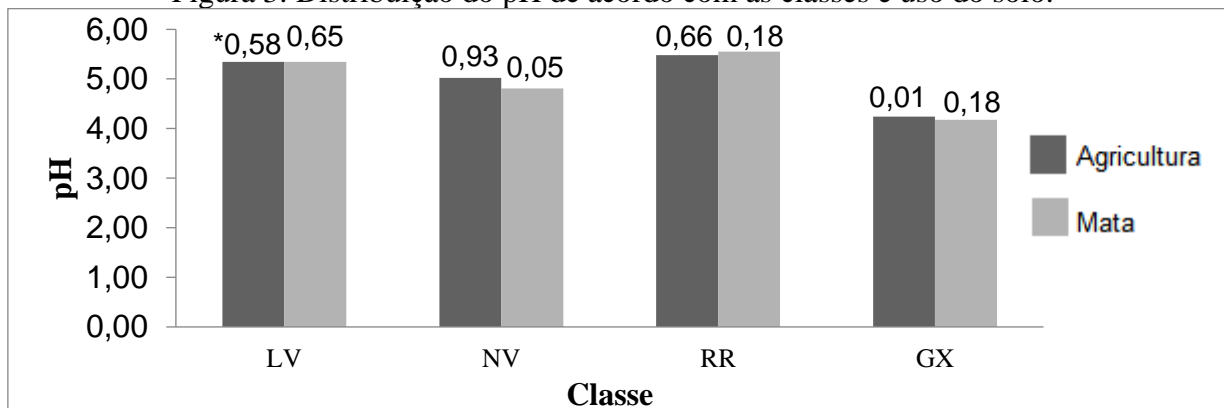
Os resultados dos parâmetros de caracterização das amostras estão apresentados na Tabela 2, com os valores médios totais e desvio padrão para as 16 amostras de solo, bem como, a média e desvio padrão separadamente para ambos os usos (agrícola e mata).

O pH dos solos variou de ácido a neutro, com predomínio de solos moderadamente ácidos, com uma média de 5,02 para solos agrícolas e 4,97 para solos de mata. Bocardi (2019 e 2020) reportou resultados semelhantes ao analisar solos de mata da BPIII. Foi realizado o teste de Student (t) para a comparação das médias dos valores de pH dos solos de mata e agricultura, para isso, verificou-se a normalidade dos dados de acordo com Shapiro-Wilks, onde o  $W_{\text{calculado}}$  (0,904) foi maior que o  $W_{\text{tabelado}}$  (0,8870), desta forma, os dados são

normalmente distribuídos para o nível de confiança de 5%. Além disso, foram comparadas as variâncias de acordo com o teste de Fischer (f), sendo consideradas heterocedásticas (variabilidade pode ser considerada diferente) ( $F_{calculado} 0,791 > F_{tabelado} 0,264$ ). Para o teste de Student não foi possível aceitar a hipótese de nulidade ao nível de significância de 5% (p-valor  $0,87 > 0,05$ ) ou seja, é possível afirmar que existem diferenças significativas entre o pH dos solos de mata e dos solos de agricultura.

A distribuição dos valores de pH de acordo com as classes de solo está apresentada na Figura 3. Os Latossolos são, em geral, solos fortemente ácidos e os Neossolos, ácidos a moderadamente ácidos (EMBRAPA, 2018), em concordância com os resultados obtidos, pH 5,3 e 4,9, respectivamente.

Figura 3: Distribuição do pH de acordo com as classes e uso do solo.



Legenda: \*desvio Padrão.

Fonte: autoria própria.

Os Neossolos e Gleissolos foram classificados como moderadamente e extremamente ácidos, respectivamente. A acidez mais extrema nos Gleissolos pode estar relacionada as condições anaeróbicas que favorecem a produção de ácidos orgânicos oriundos da decomposição do material orgânico (BOHNEN *et al.*, 2005), e elevados teores de acidez potencial.

O teor de fósforo disponível (Tabela 2) do solo corresponde ao utilizado pelas plantas, os valores médios de fósforo disponíveis para as 16 amostras foram de  $11,07 \text{ mg kg}^{-1}$ . Entre os diferentes usos do solo houve uma grande variação entre as médias (p-valor  $0,001 < 0,05$ ) ao nível de significância de 5% (teste t), sendo  $19,32 \text{ mg kg}^{-1}$  para os solos de agricultura e  $2,83 \text{ mg kg}^{-1}$  para os solos de mata. Os valores de fósforo disponível são normalmente distribuídos  $W_{calculado} (0,933) > W_{tabelado} (0,887)$  ao nível de significância de 5% de acordo com

Shapiro-Wilks, e de acordo com o teste de Ficher (f),  $F_{calculado} (0,02) < F_{tabelado} (0,3)$  as variâncias são consideradas homocedásticas (possuem variabilidade semelhantes ao nível de significância de 5%).

Os baixos teores fósforo em solos de mata pode estar relacionados com o grau de intemperismo, gênese dos solos e remoção pelas plantas (BOCARDI, 2019). Os solos brasileiros possuem alto grau de intemperismo resultando em solos ácidos e de baixa disponibilidade de fósforo, uma vez que, seus teores em solos tropicais e subtropicais são relativamente altos, mas a fração disponível é baixa, justificando o baixo teor em solos de mata e a necessidade de adubação fosfatada em áreas agrícolas, o que também justifica os altos níveis de fósforo encontrados nestes locais.

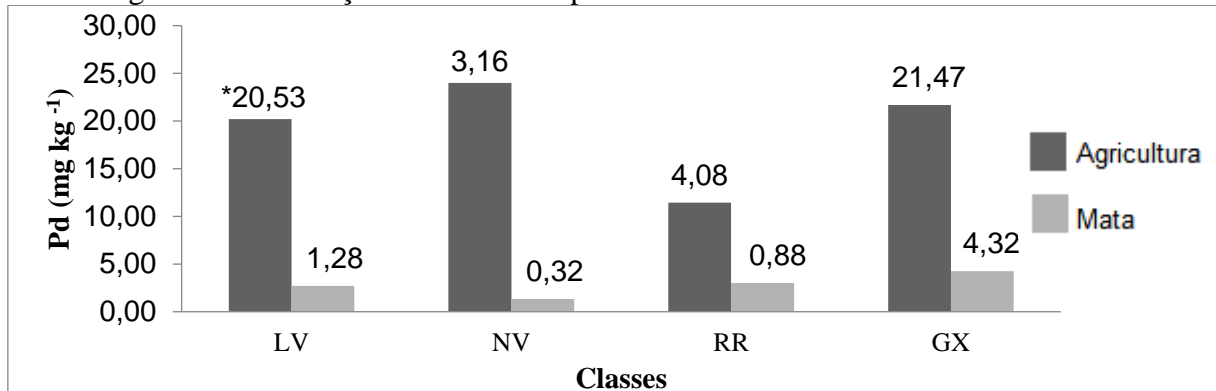
Dentre as classes de solo, os Gleissolos e Neossolos apresentaram os maiores teores de fósforo disponível em solos naturais (Figura 4), isso pode estar relacionado com o grau de intemperismo dos solos. Em solos jovens e nos moderadamente intemperizados, como nos Neossolos e Gleissolos, ainda ocorre fósforo em minerais primários, ou na forma mineral, adsorvida fracamente aos minerais secundários. Em contrapartida, em solos altamente intemperizados, como Latossolos e Nitossolos, ocorre o predomínio de fósforo na forma inorgânica ligada fortemente (SANTOS, GATIBONI E KAMINSKI, 2008). Essas características justificam os altos teores de fósforo disponível nos Neossolos e Gleissolos e os teores inferiores em Latossolos e Nitossolos. Além disso, os altos teores de fósforo disponível nos Gleissolos podem estar ligados ao ambiente de redução existente nestes solos, pois, o fósforo fica adsorvido nos óxidos e no ambiente de redução ocorre a dissolução destes óxidos que resulta na liberação do fósforo adsorvido.

Tabela 2: Parâmetros de caracterização para os 16 solos coletados da fração TFSA.

| Ponto              | Solo | Uso do solo | pH (Kcl) | CO (g Kg <sup>-1</sup> ) | MO (g Kg <sup>-1</sup> ) | P <sub>d</sub> (mg Kg <sup>-1</sup> ) | CTC - pH 7 (cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> ) | S (cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> ) | V (%) | Areia (g Kg <sup>-1</sup> ) | Argila (g Kg <sup>-1</sup> ) | Silte (g Kg <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|------|-------------|----------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1                  | RR   | Agricultura | 5,95     | 20,92                    | 36,06                    | 14,32                                 | 9,24                                             | 6,11                                    | 66,11 | 28,80                       | 456,43                       | 514,76                      |
| 2                  | RR   | Agricultura | 5,02     | 26,53                    | 45,75                    | 8,55                                  | 12,61                                            | 4,82                                    | 38,26 | 19,03                       | 355,30                       | 625,67                      |
| 3                  | NV   | Agricultura | 4,37     | 25,76                    | 44,42                    | 21,75                                 | 13,99                                            | 2,48                                    | 17,70 | 6,32                        | 496,53                       | 497,15                      |
| 4                  | NV   | Agricultura | 5,68     | 21,52                    | 37,10                    | 26,21                                 | 9,29                                             | 4,55                                    | 48,99 | 6,58                        | 533,01                       | 460,41                      |
| 5                  | LV   | Agricultura | 4,94     | 20,55                    | 35,43                    | 5,68                                  | 11,14                                            | 4,20                                    | 37,71 | 16,53                       | 600,22                       | 383,25                      |
| 6                  | LV   | Agricultura | 5,75     | 27,91                    | 48,12                    | 34,71                                 | 10,64                                            | 5,64                                    | 53,05 | 17,06                       | 481,65                       | 501,29                      |
| 7                  | GX   | Agricultura | 4,24     | 19,39                    | 33,44                    | 6,49                                  | 11,54                                            | 0,96                                    | 8,31  | 12,95                       | 318,08                       | 668,96                      |
| 8                  | GX   | Agricultura | 4,25     | 26,63                    | 45,90                    | 36,85                                 | 9,43                                             | 6,21                                    | 65,87 | 19,78                       | 459,21                       | 521,01                      |
| 9                  | RR   | Mata        | 5,68     | 36,54                    | 63,00                    | 3,63                                  | 18,02                                            | 11,76                                   | 65,24 | 27,81                       | 217,07                       | 755,12                      |
| 10                 | RR   | Mata        | 5,43     | 33,95                    | 58,53                    | 2,39                                  | 11,50                                            | 5,41                                    | 47,02 | 66,79                       | 314,68                       | 618,53                      |
| 11                 | NV   | Mata        | 4,78     | 26,31                    | 44,54                    | 1,57                                  | 11,77                                            | 2,46                                    | 20,89 | 41,34                       | 422,14                       | 536,53                      |
| 12                 | NV   | Mata        | 4,84     | 22,24                    | 38,34                    | 1,11                                  | 10,79                                            | 2,83                                    | 26,23 | 139,78                      | 497,26                       | 362,96                      |
| 13                 | LV   | Mata        | 5,80     | 42,77                    | 73,74                    | 3,61                                  | 12,54                                            | 6,87                                    | 54,79 | 29,70                       | 576,12                       | 394,18                      |
| 14                 | LV   | Mata        | 4,89     | 30,52                    | 52,62                    | 1,80                                  | 11,90                                            | 4,20                                    | 35,27 | 23,07                       | 534,19                       | 442,74                      |
| 15                 | GX   | Mata        | 4,31     | 33,08                    | 57,02                    | 1,19                                  | 16,03                                            | 3,33                                    | 20,79 | 20,27                       | 368,24                       | 611,49                      |
| 16                 | GX   | Mata        | 4,06     | 52,56                    | 90,61                    | 7,30                                  | 16,80                                            | 1,57                                    | 9,32  | 35,27                       | 259,66                       | 705,07                      |
| <b>Média Total</b> | -    | Agri./Mata  | 5,00     | 29,20                    | 50,29                    | 11,07                                 | 12,33                                            | 4,59                                    | 38,47 | 31,94                       | 430,61                       | 537,45                      |
| <b>DP Total</b>    | -    | Agri./Mata  | 0,64     | 8,96                     | 15,47                    | 12,13                                 | 2,64                                             | 2,58                                    | 19,78 | 32,27                       | 113,90                       | 117,19                      |
| <b>Média</b>       | -    | Agricultura | 5,02     | 23,65                    | 40,78                    | 19,32                                 | 10,98                                            | 4,37                                    | 42,00 | 15,88                       | 462,55                       | 521,56                      |
| <b>DP</b>          | -    | Agricultura | 0,70     | 3,37                     | 5,81                     | 12,48                                 | 1,71                                             | 1,83                                    | 20,98 | 7,37                        | 90,91                        | 89,83                       |
| <b>Média</b>       | -    | Mata        | 4,97     | 34,75                    | 59,80                    | 2,83                                  | 13,67                                            | 4,80                                    | 34,94 | 48,00                       | 398,67                       | 553,33                      |
| <b>DP</b>          | -    | Mata        | 0,63     | 9,51                     | 16,51                    | 2,06                                  | 2,81                                             | 3,28                                    | 19,23 | 39,85                       | 131,15                       | 144,15                      |

Legenda: GX – Gleissolo Háplico; LV – Latossolo Vermelho; NV – Nitossolo Vermelho; RR – Neossolo Regolítico; pH – Potencial Hidrogeniônico; MO – Matéria orgânica; CO – Carbono orgânico; P<sub>d</sub> – Fósforo disponível; CTC – Capacidade de Troca de Cátions; S – Somatório de bases trocáveis; V% – Potencial de saturação por bases; DP – Desvio padrão. **Fonte:** Autoria própria (2019).

Figura 4: Distribuição do fósforo disponível de acordo com as classes e uso do solo.



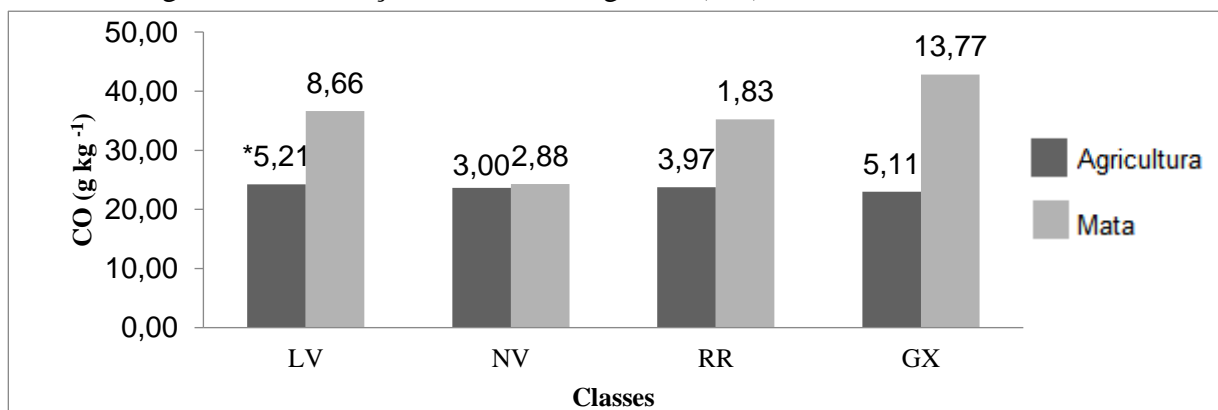
Legenda: \*desvio Padrão.

Fonte: autoria própria.

Em solos agrícolas, houve maior teor de fósforo disponível nos Latossolos, Nitossolos e Gleissolos, possivelmente relacionado recente plantio de milho, onde ocorre adubação fosfatada e conseqüentemente aumento nos teores de fósforo. Os locais de coleta dos Neossolos haviam passado por uma recente colheita de soja, por isso os teores nestes pontos são inferiores aos demais.

O valor médio de carbono orgânico é de 29,20 g kg<sup>-1</sup> para os 16 solos estudados, 34,75 g kg<sup>-1</sup> e 23,65 g kg<sup>-1</sup> para os solos de mata e agrícolas, respectivamente. Ou seja, o teor de carbono orgânico nos solos de mata é superior aos solos de agricultura (Figura 5).

Figura 5: Distribuição do carbono orgânico (CO) de acordo com as classes e uso do



solo.

Legenda: \*desvio Padrão.

Fonte: autoria própria.

Nos solos de mata ocorre um ciclo equilibrado, onde a taxa de remoção da matéria orgânica é balanceada com a reposição natural, opostamente ocorre em solos de agricultura. Anderson-Teixeira et al. (2009), citam a redução de entradas ou o aumento das perdas de



carbono com as colheitas mais intensivas. No preparo do solo para a agricultura, ocorre a ruptura da estrutura dos macroagregados e interrupção dos fluxos o que acarreta no aumento da atividade microbiana pelo aporte de oxigênio e aumento da oferta carbono, resultando no consumo de compostos orgânicos e aumento do fluxo de mineralização do carbono (LOSS et al., 2015).

Aplicando o teste de Student (t) para a comparação das médias dos valores de CO, verificou-se a normalidade dos dados de acordo com Shapiro-Wilks, onde o  $W_{\text{calculado}}$  (0,939) foi maior que o  $W_{\text{tabelado}}$  (0,8870), desta forma, os dados são normalmente distribuídos para o nível de confiança de 5%. Além disso, foram comparadas as variâncias de acordo com o teste de Fisher (f), sendo consideradas heterocedásticas ( $F_{\text{calculado}}$  7,96 >  $F_{\text{tabelado}}$  3,78). Rejeitou-se a hipótese de nulidade ao nível de significância de 5% (p-valor 0,01 < 0,05) para o teste de Student, ou seja, é possível afirmar que existe diferenças significativas entre os teores de CO dos solos de mata e solos de agricultura.

Os teores de CO tiveram uma diminuição entre 2,61% e 46,26% do CO dos solos de mata para os solos agrícolas. Romão (2013) também identificou uma redução dos teores de CO em solos sob mata com os de agricultura, o autor identificou uma redução de 30,91% do primeiro para o segundo. Os Gleissolos de agricultura e mata apresentaram valores ligeiramente superiores de CO em relação aos demais solos, característica intrínseca ao tipo de solo, que são típicos de áreas de várzeas e com frequentes depósitos de partículas minerais.

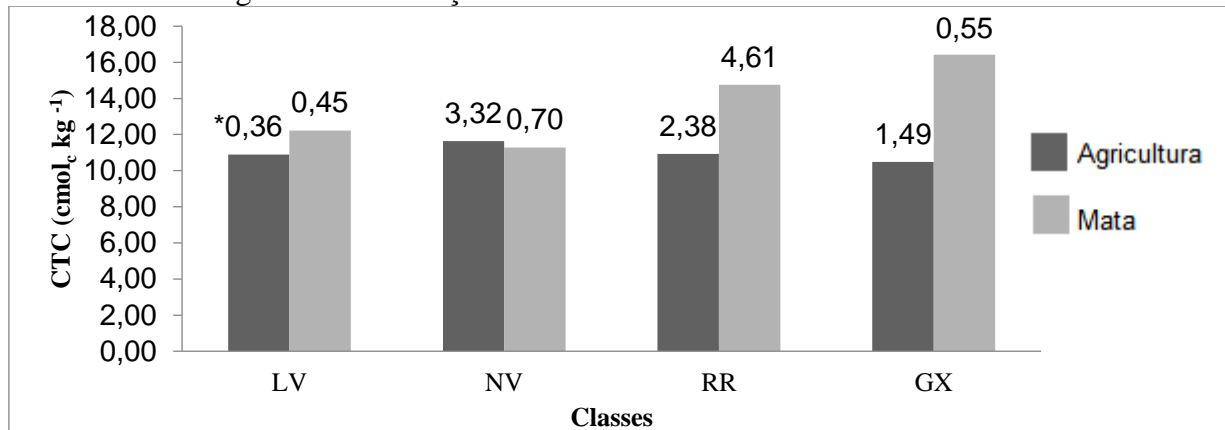
Os valores médios de matéria orgânica seguem o mesmo padrão em relação ao carbono orgânico e as justificativas para os teores de carbono orgânico também são válidas para a matéria orgânica. Os valores médios de matéria orgânica para as 16 amostras foram na ordem de 50,19 g kg<sup>-1</sup>, sendo em média 59,80 g kg<sup>-1</sup> e 40,78 g kg<sup>-1</sup> para os solos de mata e agrícolas, respectivamente.

A média da CTC para as 16 amostras foi de 12,33 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, 13,67 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> para solos de mata e 10,98 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> para os solos agrícolas (Figura 6). Prevaleceu uma maior CTC para os solos de mata em virtude de maiores concentrações de acidez potencial (H<sup>+</sup> e Al<sup>+3</sup>) e das contribuições da matéria orgânica.

A CTC em solos agrícolas e de mata tiveram diferenças significativas entre as médias (p-valor 0,04 < 0,05) ao nível de significância de 5% (teste t), nos solos de mata houve um teor mais elevado de 14 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> e nos solos de agricultura o teor ficou em torno de 11 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Os valores de CTC são normalmente distribuídos  $W_{\text{calculado}}$  (0,902) >  $W_{\text{tabelado}}$  (0,887)

ao nível de significância de 5% de acordo com Shapiro-Wilks, e de acordo com o teste de Fisher (f),  $F_{calculado} (2,70) < F_{tabelado} (3,78)$ , as variâncias são consideradas homocedásticas (possuem variabilidade semelhantes ao nível de significância de 5%).

Figura 6: Distribuição da CTC de acordo com as classes e uso do solo.



Legenda: \*desvio Padrão.

Fonte: autoria própria.

Os Gleissolos e Neossolos apresentaram os teores mais elevados de CTC. Estes teores elevados foram influenciados por dois fatores distintos, nos Neossolos pela alto teor de cátions básicos ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ) confirmado pelo  $V\% > 50$  e altos teores de S (Tabela 2), demonstrando o caráter eutrófico dos mesmos. Nos Gleissolos pelos altos valores de acidez potencial resultante das condições de hidromorfismo dos mesmos, evidenciando o seu caráter distrófico ( $V\% < 50$ ).

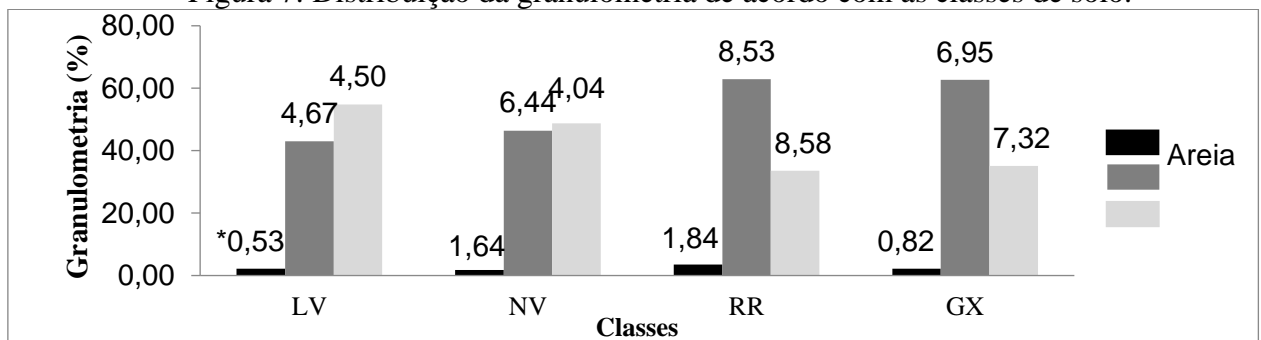
Para a saturação por bases ( $V\%$ ), 68,75% dos solos apresentaram  $V\%$  abaixo de 50% para ambos os usos (agricultura e mata), mostrando a baixa fertilidade dos solos. A média total foi de 38,47%, sendo, 42,00% e 34,94% em média para os solos agrícolas e de mata, respectivamente (Tabela 2).

Os Latossolos são, em geral, solos com baixa saturação por bases e distróficos ( $V\% > 50$ ), ou seja, de baixa fertilidade, com CTC no horizonte subsuperficial inferior a  $17 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (EMBRAPA, 2018), de acordo com os resultados obtidos, onde a CTC apresentou teores inferiores a  $13 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  em ambos os usos (agricultura e mata), baixa saturação por bases e  $V\% > 50\%$ .

Quanto a caracterização textural houve predominância da argilosa e muito argilosa (77,8%), e de menor predominância, a textura siltosa (22,2%), de acordo com o agrupamento

textural da EMBRAPA (2018). A predominância da textura argilosa demonstra o alto grau de intemperismo e elevado desenvolvimento pedogenético dos solos da região (BOCARDI, 2019; ROCHA *et al.*, 2016). Os atributos referentes à textura do solo foram somente separados de acordo com a classe de solo (Figura 7), por serem umas das características físicas mais estáveis.

Figura 7: Distribuição da granulometria de acordo com as classes de solo.



Legenda: \*desvio Padrão.

Fonte: autoria própria.

Os Neossolos apresentaram os maiores teores de areia e os Latossolos e Nitossolos apresentaram os menores teores. Os teores de areia superiores nos Neossolos se justificam pelas alterações menos expressivas no material de origem, já os Latossolos e Nitossolos possuem alterações mais enérgicas com predomínio de frações mais finas (EMBRAPA, 2018).

Em relação ao percentual de argila, os Latossolos e Nitossolos foram os que apresentaram os maiores teores dentre as classes de solo analisadas (Tabela 2). Os Latossolos e Nitossolos apresentam textura argilosa ou muito argilosa (teores de argila iguais ou superiores a 350 g kg<sup>-1</sup> de TFSA) (EMBRAPA, 2018), em conformidade com os resultados obtidos. Os Latossolos e Nitossolos foram classificados como argilosos por apresentarem em média 54,80% e 48,72% de argila, respectivamente. Os Neossolos e Gleissolos apresentaram menores teores de argila em relação as demais classes. De acordo com Lier (2010) somente solos mais jovens possuem elevada proporção de silte e baixos teores de argila. Os baixos teores de silte nos Latossolos e Nitossolos estão associados ao avançado estágio de intemperização, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo (EMBRAPA, 2013).

### *Análise Mineralógica*

Através da análise de difração de raios-X da argila natural é possível identificar os minerais presentes nessa fração, apresentados nos difratogramas da fração argila natural para os Neossolos (Figura 8), Nitossolos (Figura 9), Latossolos (Figura 10) e Gleissolos (Figura 11).

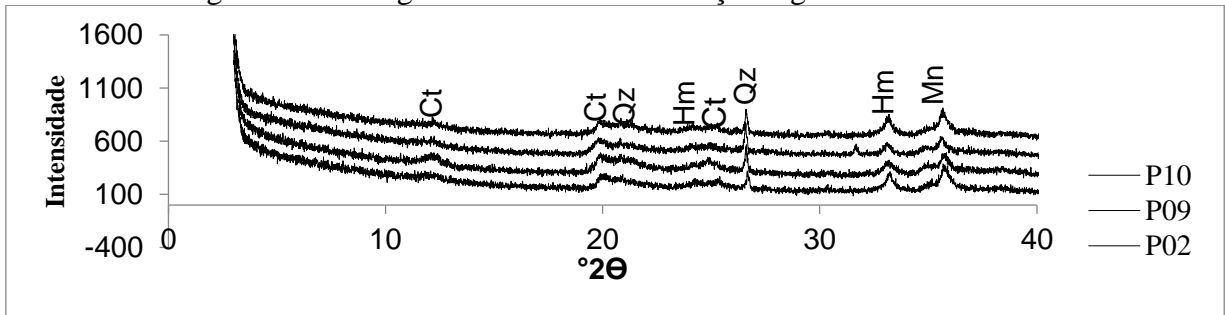
As argilas naturais dos Neossolos, Latossolos e Nitossolos, apresentaram similaridade na composição mineralógica com maior frequência de caulinita, hematita, magnetita, quartzo, além de, gibbsita e micas. Gonçalves et al. (2018) ao analisarem solo de basalto da região de Londrina – Pr, verificaram a predominância de caulinita, gibbsita, vermiculita e óxidos de Fe – hematita e goethita. Teixeira et al. (2016), também verificaram a presença de quartzo, magnetita, caulinita, gibbsita e hematita em solos desenvolvidos de basalto. Resultados estes que corroboram com os resultados encontrados.

De acordo com Fontes, Camargo e Sposito (2001), a caulinita é o principal mineral silicatado em quantidade expressiva; goethita e hematita são os principais óxidos de Fe, e gibbsita é praticamente o único óxido de Al presente em solos com grau de intemperismo mais elevados, contudo, de modo geral, esses solos apresentam pequenas quantidades de minerais como micas e vermiculita.

A caulinita é o principal representante dos argilominerais 1:1, está presente em todos os solos analisados. É um mineral da fração argila característico de solos desenvolvidos sob condições tropicais úmidas e, sua formação não é exclusivamente a partir do intemperismo de minerais primários (MELO; ALLEONI, 2016). De acordo com Andrade et al. (2019), a formação da caulinita ocorre onde as perdas elementares prevalecem (ou seja, em direção aos horizontes superficiais), justificando a presença deste mineral em todas as classes de solo amostradas.

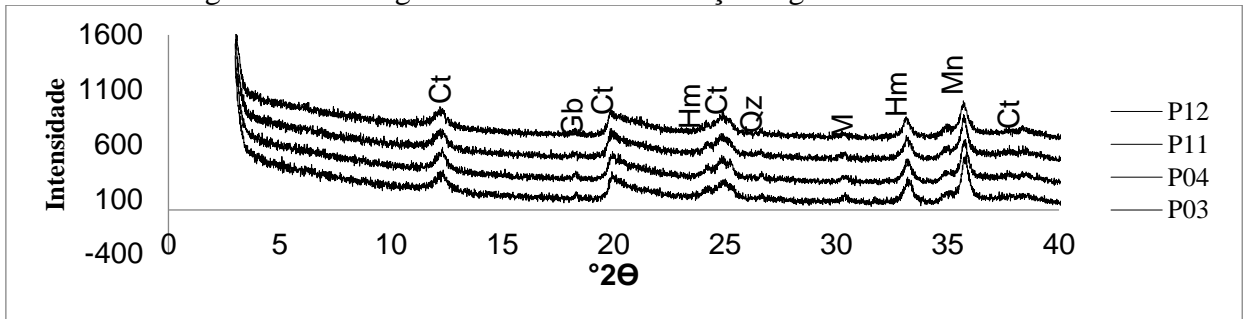
Os minerais hematita e maghemita foram identificados nas amostras, estes óxidos de Fe ocorrem naturalmente nos solos, porque, de acordo com Teixeira et al. (2016), em regiões tropicais e úmidas, ocorre intensa intemperização química, propiciando a dessilicação (perda de sílica) e ferralitização (concentração de óxidos de Fe). Esses minerais possuem alto poder de pigmentação e influem na coloração dos solos (cores vermelhas) típicas dos solos estudados. Além disso, a maghemita possui propriedade magnética, que pode ser facilmente detectada com um ímã.

Figura 8: Difratomogramas de raios-X da fração argila natural dos Neossolos.



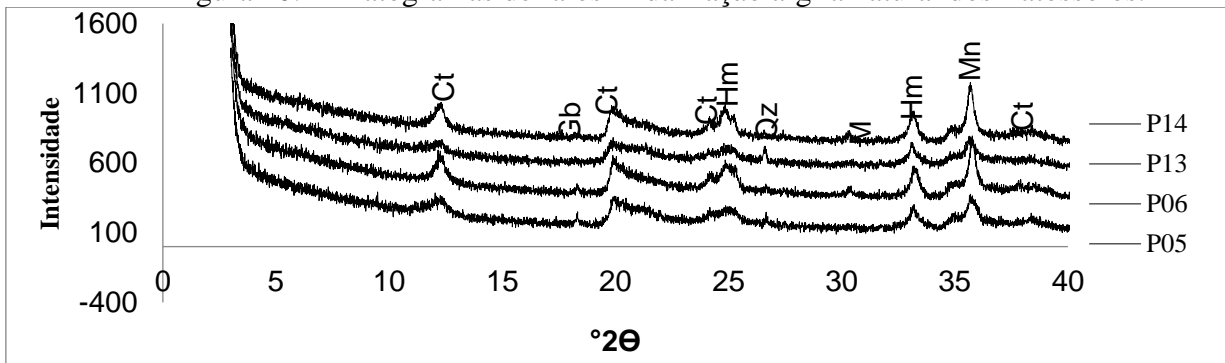
Legenda: Ct – Caulinita, Hm – Hematita, Mn – Maghemita, Qz – Quartzo.  
**Fonte:** autoria própria (2019).

Figura 9: Difratomogramas de raios-X da fração argila natural dos Nitossolos.



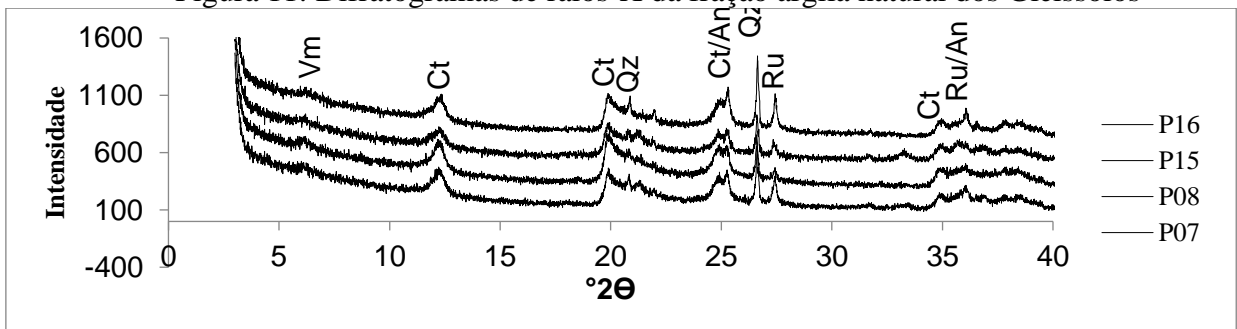
Legenda: Ct – Caulinita, Gb – Gibbsita, Hm – Hematita, M – Micas, Mn – Maghemita, Qz – Quartzo.  
**Fonte:** autoria própria (2019).

Figura 10: Difratomogramas de raios-X da fração argila natural dos Latossolos.



Legenda: Ct – Caulinita, Gb – Gibbsita, Hm – Hematita, M – Micas, Mn – Maghemita, Qz – Quartzo.  
**Fonte:** autoria própria (2019).

Figura 11: Difratomogramas de raios-X da fração argila natural dos Gleissolos.





Legenda: An – Anatásio, Ct – Caulinita, Qz – Quartzo, Ru – Rutilo, Vm – Vermiculita.

Fonte: autoria própria (2019).

A gibbsita é um óxido de alumínio e um mineral pouco frequente, pois, onde ocorre o predomínio da caulinita, os teores de gibbsita são geralmente baixos. Sua origem pode ser por um processo rápido de intemperismo dos aluminossilicatos, ou por intemperismo longo e intenso, envolvendo inclusive a perda de sílica e bases da solução, favorecido por altas temperaturas e drenagem livre (JÚNIOR, 2000). Sua formação é característica das condições de formação de solos mais intemperizados, como Latossolos e Nitossolos, legitimando os resultados obtidos.

O quartzo é um óxido de silício, mineral primário que está presente em praticamente todos os solos, pela sua resistência ao intemperismo e ocorrência generalizada em rochas ígneas. Além da caulinita e quartzo, nos Gleissolos verificou-se a presença de vermiculita, anatásio e rutilo, essa diferença se deve as propriedades e características intrínsecas à classe do solo. De acordo com Júnior (2000) o lençol freático elevado é a razão mais provável para explicar a presença de óxidos de Fe com baixa cristalinidade, ou a ausência quase total dos óxidos de Fe, justificando a ausência destes minerais nos Gleissolos.

O processo de gleização implica na manifestação de cores acinzentadas, devido à redução e solubilização de ferro (EMBRAPA, 2018). O rutilo e anatásio são óxidos de titânio e são minerais associados a rochas ígneas, nos solos, os óxidos de Ti podem ser herdados do material de origem ou, formados pelo intemperismo de minerais portadores de Ti (MELO; ALLEONI, 2016), justificando sua presença nos solos estudados.

#### *Análise dos Componentes Principais*

A análise de componentes principais relacionou as variáveis: areia, silte, argila, pH, fósforo disponível (Pd), carbono orgânico (CO), capacidade de troca de cátions (CTC), somatório de bases trocáveis (S) e potencial de saturação por bases (V%). A ACP explicou 82,13% dos dados analisados. A Figura 12 (a) apresenta o gráfico de acordo com as amostras, e a Figura 12 (b) das variáveis analisadas. Nas ACPs, quanto mais próximos os pontos se posicionam, maiores são as suas semelhanças.

As amostras da ACP Figura 12a foram agrupada em três regiões distintas (B1, B2 e B3), além de um ponto isolado (ponto de amostragem 9). De acordo com a ACP, as amostras reunidas na região B1 (1, 4, 6 e 8) no eixo negativo de x e positivo de y, foi devido aos altos

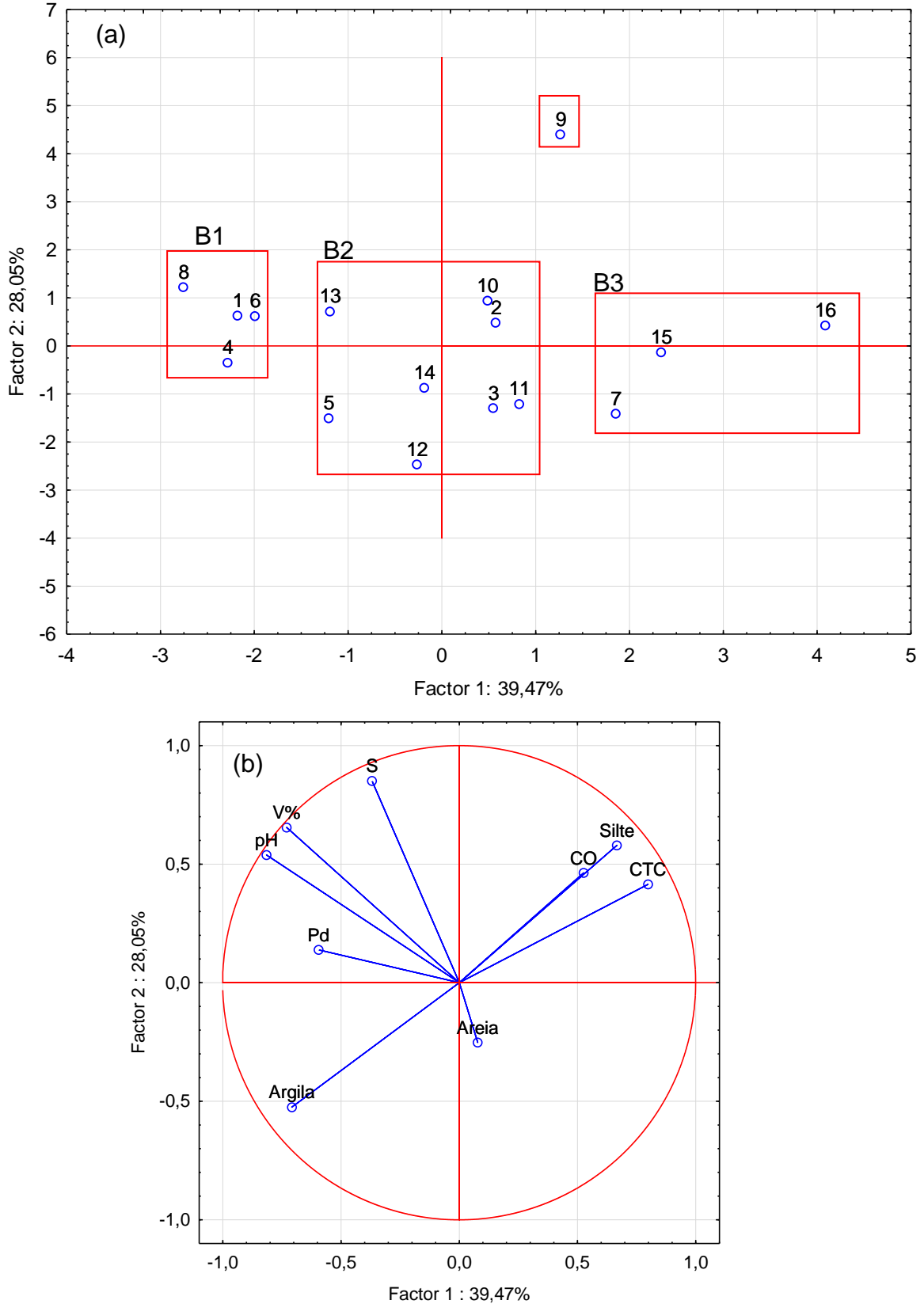
valores em relação aos demais solos de S ( $5,63 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), V% (58,50%) e pH (5,91). Trata-se de solos eutróficos ( $V\% > 50\%$ ), por possuírem uma porcentagem maior de cargas negativas dos coloides ocupados por cátions básicos como  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  em relação aos cátions ácidos  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{+3}$ . Por isso, quanto maiores os valores de pH maior o valor S e o V%, resultados comprovados pelas correlações positivas de Pearson ( $r = 0,967$ ), ( $r = 0,865$ ), respectivamente.

O segundo grupo (B2) reuniu 50% das amostras e ficaram próximas aos eixos x e y (Figura 12a). Indicando que não houve grande variação entre si de acordo com as variáveis analisadas. Estes solos foram semelhantes em decorrência dos altos teores de argila (Tabela 2). O terceiro grupo (B3) reuniu as amostras 7, 15 e 16, ambos Gleissolos, esses solos se diferenciaram dos demais pela alta CTC ( $14,79 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), e em virtude dos altos valores de acidez potencial ( $12,84 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), ou seja, os coloides dos solos estão mais ocupados com cátions ácidos  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{+3}$ , justificando os baixos valores de pH. Essa relação inversa entre pH e acidez potencial, foi verificada por Bocardi (2019).

A amostra 9 situada no quadrante positivo de x e y ficou separada dos demais grupos por apresentar os maiores teores de: silte ( $755,12 \text{ g kg}^{-1}$ ), S ( $11,76 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) e CTC ( $18,02 \text{ g kg}^{-1}$ ); bem como, elevado teor de carbono orgânico ( $36,54 \text{ g kg}^{-1}$ ), corroborando com os resultados da ACP (Figura 12b).

Foram analisadas as correlações entre as variáveis, na Tabela 3 encontram-se os valores de correlação (negativos e positivos), em destaque (negrito) as correlações significativas ( $p\text{-valor} > 0,05$ ).

Figura 12: ACPS das 16 amostras de solos agrícolas e naturais do entorno do Parque Nacional do Iguaçu. (a) dispersão dos pontos, (b) variáveis com o círculo de autovetores.



Fonte: autoria própria (2019).

Tabela 3: Matriz de correlação de Pearson para os solos agrícolas e de mata.

| Variável | pH           | CO           | Pd     | S            | CTC           | V%     | Areia  | Argila        |
|----------|--------------|--------------|--------|--------------|---------------|--------|--------|---------------|
| CO       | -0,134       |              |        |              |               |        |        |               |
| Pd       | 0,491        | -0,256       |        |              |               |        |        |               |
| S        | <b>0,757</b> | 0,166        | 0,116  |              |               |        |        |               |
| CTC      | -0,478       | <b>0,680</b> | -0,436 | 0,150        |               |        |        |               |
| V        | <b>0,967</b> | -0,069       | 0,397  | <b>0,865</b> | -0,317        |        |        |               |
| Areia    | -0,055       | 0,014        | -0,403 | -0,097       | -0,090        | -0,103 |        |               |
| Argila   | 0,263        | -0,405       | 0,256  | -0,169       | <b>-0,623</b> | 0,177  | -0,038 |               |
| Silte    | -0,240       | 0,390        | -0,138 | 0,176        | <b>0,630</b>  | -0,144 | -0,238 | <b>-0,961</b> |

Legenda: em destaque (negrito) as correlações significativas (p-valor > 0,05).

Fonte: Autoria própria (2019).

Observa-se que as variáveis que mais se correlacionaram foram: pH com S e V%; CO com a CTC; S com V%; CTC com o percentual de argila (correlação inversa) e silte; e o percentual de argila com o percentual de silte (correlação inversa). Mesmo resultando uma correlação inversa entre CTC e argila, esta correlação não é esperada, pois, é na fração argila que encontramos o maior número de cargas que contribui para a elevação dos valores de CTC dos solos.

## Conclusões

- As amostras de solo estudadas, mostraram-se moderadamente ácidas e com predominância das texturas argilosa e muito argilosa (77,8%), e com menor predominância para textura siltosa (22,2%). Quando comparados os solos em função do tipo de uso, mata ou agrícola, os teores de fósforo disponível foram mais elevados em solos agrícolas, indicando influência do uso de adubação fosfatada. Em contrapartida, os teores de MO e CO foram superiores nos solos de mata.
- A CTC em solos agrícolas e de mata tiveram diferenças significativas entre as médias (p-valor  $0,04 < 0,05$ ) ao nível de significância de 5% (teste t), nos solos de mata houve um teor mais elevado de  $14 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  e nos solos de agricultura o teor ficou em torno de  $11 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Para a saturação por bases (V%), 68,75% dos solos apresentaram V% < 50% mostrando a baixa fertilidade dos solos.
- A partir das análises mineralógicas foi possível estudar as argilas naturais dos Neossolos, Latossolos e Nitossolos, as quais apresentaram similaridade na composição

mineralógica com maior frequência de caulinita, hematita, magnetita, quartzo, além de, gibbsita e micas. E nos Gleissolos caulinita, quartzo, vermiculita, anatásio e rutilo.

- A análise de componentes principais mostra que as variáveis que mais se correlacionaram foram pH com S e V%; CO e MO com a CTC; S com V%; CTC com o percentual de argila (correlação inversa) e silte; e o percentual de argila com o percentual de silte (correlação inversa), a qual foi inesperado, entretanto, apesar de encontramos na fração argila um elevado número de cargas que podem contribuir para a elevação dos valores de CTC dos solos, os teores da MO indicaram forte correlação com este parâmetro.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001Capes, CNPQ e UTFPR, Campus Medianeira.

### Referências

- Alloway, B. J. (2010). *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. Ed. 3. Springer, New York.
- Althaus, D. (2017). *Teores Naturais e Efeitos da Adição de Metais Pesados em Solos do Estado do Rio Grande do Sul*. 174 f. Dissertação (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Anderson-teixeira, K. J.; Davis, S. C.; Masters, M. D.; Delucia, E. H. (2009). Changes in soil organic carbon under biofuel crops. *GCB Bioenergy*, v. 1, p. 75-96. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2008.01001.x>
- Andrade, G. R. P.; Azevedo, A. C.; Lepchak, J. K.; Assis, T. C. (2019). Weathering of permian sedimentar rocks and soil clay minerals transformations under subtropical climate, Southern Brazil (Paraná State). *Geoderma*, v. 336, p. 31-48. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.08.026>
- Andrade, L. N.; Leite, M. G. P.; Bacellar, L. A. P. (2012). Composição mineralógica e geoquímica dos solos do parque estadual do Itacolomi – Ouro Preto/MG. *Quaternary and Environmental Geosciences*, Curitiba, v. 3, n. 1-2. <http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v3i1-2.16838>



- Bocardi, J. M. B. (2019). *Valores de referência de qualidade de metais, macroelementos e radionuclídeos em solos do oeste do Paraná*. 2019. 106 f. Tese (doutorado – Programa de Associação de Pós-Graduação em Química UEL – UEPG – UNICENTRO), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava,
- Bocardi, J. M. B.; Pletsch, L. P.; Melo, V. F.; Quináia, S. P. (2020). Quality reference values for heavy metals in soils developed from basic rocks under tropical conditions. *Journal of Geochemical Exploration*, V. 217. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2020.106591>
- BOHNEN, H.; SILVA, L. S.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. Ácidos orgânicos na solução de um Gleissolo sob diferentes sistemas de cultivo com arroz irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 475-480, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000300018>
- Brady, N. C.; Weil, R. R. (2013). *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. Ed. 3. Bookman, Porto Alegre.
- Cassol, C. J.; Cortivo, N. S. D.; Pletsch, A.L.; Costa Júnior, I. L.; Gomes, F. A. L. (2018). Determinação de manganês disponível em solos de referência da Mesorregião Oeste do Paraná. *Realização*, v. 5, n. 9, p. 21-27. <https://doi.org/10.30612/re-ufgd.v5i9.8535>
- Cassol, C. J.; Cortivo, N. S. D.; Pletsch, A. L.; Costa Júnior, I. L.; Bocardi, J. M. B.; Alovise, A. M. T.; Fronza, F. L. (2020). Natural contents of metals in soils from basaltic origins in western Paraná, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. v. 15, n. 2, p. 1-7. <https://doi.org/10.5039/agraria.v15i2a6992>
- Chen, P. Y. (1977). Table of key lines in X-ray powder diffraction patterns of mineral in clays and associated rocks. *Bloomington*. Indiana.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). (2017). *Manual de métodos de análise de solo*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2º ed., Rio de Janeiro.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). (2013). *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos*. Ed. 3, Brasília.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). (2018). *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos*. Ed.5, Brasília.
- Fontes, M. P. F.; Camargo, O. A.; Sposito, G. (2001). Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Scientia Agricola*, v. 58, n. 3, p. 627-646. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000300029>

- Gee, G. W.; Bauder, J. W. (1986). *Particle-size analysis*. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, p.383-412.
- Gonçalves, F.; Zanin, R. F. B.; Somera, L. F.; Oliveira, A. D.; Ferreira, J. W. S.; Branco, C. J. M. C.; Teixeira, R. S. (2018). Caracterização físico-química e mineralógica de três solos do estado do Paraná. *XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica: Geotecnia e Desenvolvimento Urbano*, Salvador.
- Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística (IBGE). (2018). *Sinopse do senso demográfico 2010 (Paraná)*. 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=41&dados=10>>. Acesso em: março de 2018.
- Instituto Chico Mendes De Conservação Da Biodiversidade (ICMBIO). (2014). *Instrução normativa N° 03, de 01 de setembro de 2014*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.
- Instituto de Terras, Cartografia E Geologia Do Paraná (MINEROPAR). (2006). *Atlas geomorfológico do Estado do Paraná*. Escala 1:250.000 – 1:500.000 modelos reduzidos Minerais do Paraná; Universidade Federal do Paraná. p. 6, Curitiba.
- Júnior, I. A. C. (2000). *Influência da mineralogia e da matéria orgânica na agregação, cor e radiometria de solos altamente intemperizados do Estado de Minas Gerais*. 184 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.
- Ker, J. C.; Curi, N.; Schaefer, C. E. G. R; Vidal-Torrado, P. (2015). *Pedologia: Fundamentos*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 343.
- Lier, Q. J. V. (2010). *Física do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Ed. 1 Viçosa.
- Lima, R. M. F.; Luz, J. A. M. (2001). Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes. *Revista Escola de Minas*, v. 54, n. 2, p.155-159. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672001000200014>.
- Loss, A.; Basso, A.; Oliveira, B. S.; Koucher, L. P.; Oliveira, R. A.; Kurtz, C.; Lovato, P. E.; Curmi, P.; Brunetto, G.; Comin, J. J. (2015). Carbono orgânico total e agregação do solo em Sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. *Revista Brasileira De Ciência Do Solo*, v. 39, p. 1212-1224. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140718>.
- Melo, V. F.; Alleoni, L. R. F. (2016). *Química e mineralogia do solo: parte II – aplicações*. Ed. 1. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa.
- Raij, B. V. (2011). *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. International Plant Nutrition Institute Brasil, Piracicaba.

Ribeiro, A. C. P.; Pletsch, A. L.; Rocha, A. S. (2022). Comparação de Metodologias para Análise da Fragilidade Ambiental em Bacias Hidrográficas: Estudo de Caso dos Rios São Francisco Verdadeiro e São Francisco Falso, Região Oeste Do Paraná. *Geoambiente-online*, n. 44, p. 39-65. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.i44.72427>.

Rocha, A. S.; Bade, M. R.; Nóbrega, M. T.; Cunha, J. E. (2016). Mapeamento da fragilidade potencial e emergente na Bacia Hidrográfica do Paraná. *Estudos Geográficos*, v. 14, n. 1, p. 43-59, Rio Claro. <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo>.

Romão, R. L. *Carbono orgânico em função do uso do solo*. (2013). 36 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do solo), Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2013. Disponível em: <  
[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/88223/romao\\_rl\\_me\\_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/88223/romao_rl_me_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: fevereiro de 2020.

Roos, A. A. (2021). *Diagnóstico De Metais em Frações Abióticas e Bióticas do Entorno do Refúgio Biológico de Santa Helena – Pr*. Tese (doutorado – Programa de Associação de Pós-Graduação em Química UEL – UEPG – UNICENTRO), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava.

Santos, D. R.; Gatiboni, L. C.; Kaminski, J. (2008). Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v. 38, n. 2, p. 576-586. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000200049>.

Santos, P. R. C.; Daibert, J. D. (2014). *Análises dos solos: formação, classificação e conservação do meio ambiente*. Ed. 1, Érica, São Paulo.

Teixeira, R. S.; Vendrame, P. R. S.; Christoni, A. R. F.; Silva, P. R. C. (2016). Química e mineralogia de um solo desenvolvido de basalto, coletado através de sondagem SPT. *Boletim de Geografia*, v. 34, n. 2, p. 119-126, Maringá. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v34i2.28948>