



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Medianeira  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais



**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

**CLEIDIMAR JOÃO CASSOL**

**DETERMINAÇÃO DE ÍONS METÁLICOS DISPONÍVEIS E  
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM SOLOS COM  
COBERTURA VEGETAL NATURAL DO OESTE DO PARANÁ**

**DISSERTAÇÃO**

**MEDIANEIRA  
2018**

**CLEIDIMAR JOÃO CASSOL**

**DETERMINAÇÃO DE ÍONS METÁLICOS DISPONÍVEIS E  
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM SOLOS COM  
COBERTURA VEGETAL NATURAL DO OESTE DO PARANÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais, do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais – PPGTAMB – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira. Área de concentração: Tecnologias de Prevenção e Controle de Impactos Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Adelmo Lowe Pletsch.

Coorientador: Prof. Dr. Ismael Laurindo Costa Jr.

**MEDIANEIRA  
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

F497d

Cassol, Cleidimar João

Determinação De Íons Metálicos Disponíveis e Parâmetros Físico-Químicos em Solos com Cobertura Vegetal Natural do Oeste do Paraná / Cleidimar João Cassol – 2018.  
108 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Adelmo Lowe Pletsch

Coorientador: Ismael Laurindo Costa Junior

Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. Medianeira, 2018.

Inclui bibliografias.

1. Estrutura do solo. 2. Reservas naturais. 3. Solos - Classificação. 4. Tecnologias Ambientais - Dissertações. I. Pletsch, Adelmo Lowe, orient. II. Costa Junior, Ismael Laurindo, coorient. IV. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. V. Título.

CDD: 600

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **DETERMINAÇÃO DE ÍONS METÁLICOS DISPONÍVEIS E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM SOLOS COM COBERTURA VEGETAL NATURAL DO OESTE DO PARANÁ**

Por

**CLEIDIMAR JOÃO CASSOL**

Essa dissertação foi apresentada às 14 horas, do dia 19 de fevereiro de dois mil e dezoito, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais, Linha de Pesquisa Tecnologias de Prevenção e Controle de Impactos Ambientais, no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Adelmo Lowe Pletsch (Orientador – PPGTAMB)

---

Prof. Dr. Ismael Laurindo Costa Junior (Coorientador – UTFPR)

---

Profa. Dr. Anderson Sandro da Rocha (Membro Interno – UTFPR)

---

Prof. Dr. Augusto Vaghetti Luchese (Membro Externo – UFPR)

**A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa**

## **AGRADECIMENTOS**

A JESUS, pois o temor do Senhor é o princípio da ciência...Pv 1:7. Porque o Senhor dá a sabedoria, da sua boca procede o conhecimento e o entendimento; Pv 2:6. Pois a sabedoria entrará no teu coração, e o conhecimento será aprazível à tua alma; Pv 2:10.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná por oferecer excelente estrutura para realização deste curso.

Ao excelentíssimo orientador e coorientador professores: Dr. Adelmo Lowe Pletsch e Dr. Ismael Laurindo Costa Junior.

A minha namorada Fabiana A. L. Gomes, pelo apoio e compreensão.

Aos professores: Anderson Sandro da Rocha, Dalésio Ostrovski, Carla Daniela Câmara e Juliane Maria Bergamin Bocardi, por valerosos e sólidos ensinamentos.

Aos colegas de turma que me auxiliaram nas dificuldades e fraquezas, e proporcionaram-me momentos de felicidade e descontração.

Ao Fábio Luiz Fronza, Nelsi Santos Dal Cortivo, Thaís de Fatima Balbino Lisboa, Nathieli Thomas e Sandro Gauto Souza Cruz.

A Capes pelo auxílio financeiro. Aos motoristas da UTFPR, pelo companheirismo na realização das coletas e as técnicas de laboratório.

A você que direta ou indiretamente contribuiu de alguma maneira para a conclusão deste trabalho, registro aqui meus votos de honra e agradecimentos.

CASSOL, Cleidimar João. **Determinação De Íons Metálicos Disponíveis e Parâmetros Físico-Químicos em Solos com Cobertura Vegetal Natural do Oeste do Paraná**. 2018. 104 f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2018.

## RESUMO

O crescimento populacional juntamente com o desenvolvimento econômico têm provocado transformações significativas nos ecossistemas. O aumento das atividades antropogênicas tem intensificado a destituição da vegetação natural em grande parte das bacias hidrográficas, pois, não resistem à rápida ampliação da fronteira agrícola e de projetos urbanos. Nesse contexto surge a necessidade de estudos do solo, principalmente em áreas com ausência de impacto ambiental direto. A determinação da composição natural de elementos metálicos e parâmetros complementares do solo é um passo importante para definição de valores de referência de qualidade, bem como subsídio à construção de uma legislação voltada ao monitoramento e à intervenção compatível com a realidade local. Este trabalho objetivou a caracterização de seis tipos de solos (PV, GX, MD, LV, NV, RR) coletados em remanescentes florestais de áreas com cobertura vegetal natural da Região Oeste do Paraná. Foram realizadas determinações de parâmetros físicos e químicos complementares (granulometria, pH, matéria orgânica, carbono orgânico e fósforo) conforme metodologias da Embrapa, e elementos metálicos disponíveis (alumínio, cálcio, cádmio, chumbo, cobre, crômio, ferro, magnésio, manganês, potássio, sódio e zinco). Os parâmetros físicos e químicos complementares apresentaram variações entre as classes de solo com destaque para maiores teores de argila + silte nos solos LV e NV e menor teor no solo PV. Os íons metálicos de maior concentração ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) disponível foram encontrados para Al (489,28) no solo LV; Ca (2342,26) no solo MD; Cu (1,02) para o solo NV; Fe (4,62) no solo LV; Mg (11,61) para o solo PV; Mn (468,42) no solo NV; K (130,80) para o solo RR; Na (22,97) no solo GX; e Zn (11,42) para o solo NV. De um modo geral, os menores teores de Al, Ca, K, Na, Zn e Mn foram encontrados no solo PV. Com aplicação de análise estatística de componentes principais foi possível perceber que as seis classes de solo apresentam concentrações diferentes entre si, separando-as em 4 pequenos grupos, GX; PV; LV e NV; e MD e RR.

**Palavras Chave:** Remanescentes florestais. Solos. metais disponíveis.

CASSOL, Cleidimar João. **Determination of Available Metal Ions and Physical-Chemical Parameters in Soils with Natural Vegetation Coverage of Western Paraná.** 2018. 104 f. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2018.

## **ABSTRACT**

Population growth coupled with economic development has brought about significant transformations in ecosystems. The increase in anthropogenic activities has intensified the destitution of natural vegetation in most of the river basins, since they do not resist the rapid expansion of the agricultural frontier and urban projects. In this context, there is a need for soil studies, especially in areas with no direct environmental impact. The determination of the natural composition of metallic elements and complementary parameters of the soil is an important step towards the definition of quality reference values, as well as a subsidy for the construction of legislation aimed at monitoring and intervention compatible with local reality. This work aimed at the characterization of six types of soils (PV, GX, MD, LV, NV, RR) collected in forest remnants of areas with natural vegetation cover of the Western Region of Paraná. The following parameters were determined: physical, chemical and chemical parameters (granulometry, pH, organic matter, organic carbon and phosphorus) according to Embrapa methodologies and available metallic elements (aluminum, calcium, cadmium, lead, copper, chromium, iron, magnesium, manganese, potassium, sodium and zinc). The complementary physical and chemical parameters presented variations among the soil classes with highlight to higher levels of clay + silt in LV and NV soils and lower PV soil content. The metal ions with the highest concentration ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) were found for Al (489,28) in soil LV; Ca (2342.26) in the MD only; Cu (1.02) for soil NV; Fe (4.62) not only LV; Mg (11.61) for the PV soil; Mn (468,42) not only NV; K (130.80) for RR soil; Na (22,97) in soil GX; and Zn (11,42) for soil NV. In general, the lowest Al, Ca, K, Na, Zn and Mn contents were found in the PV soil. With the application of statistical analysis of main components it was possible to notice that the six soil classes present different concentrations among themselves, separating them into 4 small groups, GX; PV; LV and NV; and MD and RR.

**Keywords:** Forest remnants. Alone. metals available.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Triângulo textural com as 12 classes texturais.	20
Figura 2.	Camadas de um perfil genérico de solo.	21
Figura 3.	Região oeste do Paraná.	42
Figura 4.	Áreas de proteção ambiental da região oeste do Paraná.	44
Figura 5.	Mapa de solos da região oeste do Paraná.	45
Figura 6.	Esquema de coleta.	50
Figura 7.	Fluxograma do procedimento de extração ácida para estudo dos íons metálicos disponíveis no solo.	53
Figura 8.	Teores médios de areia e argila + silte para as diferentes ordens de solos estudados.	60
Figura 9.	Valores médios de pH para as diferentes ordens de solos estudados.	61
Figura 10.	Teores médios de matéria orgânica para as diferentes ordens de solos estudados.	63
Figura 11.	Teores médios de carbono orgânico para as diferentes ordens de solos estudados.	64
Figura 12.	Concentração média de fósforo para as diferentes ordens de solos estudados.	65
Figura 13.	Concentrações médias de alumínio disponível para as diferentes ordens de solos estudados.	71
Figura 14.	Concentrações médias de cálcio disponível para as diferentes ordens de solos estudados.	72
Figura 15.	Concentrações médias de cobre disponível para as diferentes ordens de solos estudados.	74
Figura 16.	Concentrações médias de ferro disponível para as diferentes ordens de solos estudados.	76
Figura 17.	Concentrações médias de magnésio disponível para as diferentes ordens de solos estudados.	77
Figura 18.	Concentrações médias de manganês disponível para as diferentes ordens de solos estudados.	79
Figura 19.	Concentrações médias de potássio disponível para as diferentes ordens de solos estudados.	80
Figura 20.	Concentrações médias de sódio disponível para as diferentes ordens de solos estudados.	82
Figura 21.	Concentrações médias de zinco disponível para as diferentes ordens de solos estudados.	83
Figura 22.	Peso das duas primeiras componentes principais para elementos metálicos e parâmetros complementares.	85
Figura 23.	Escores da primeira e segunda componente principal para elementos metálicos e parâmetros complementares.	86



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1.	Fatores responsáveis pela origem do solo.	19
Quadro 2.	Características relativas às ordens de solos.	23

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Coordenadas geográficas, Formação geológica, características locais e tipos de solo.	46
Tabela 2.	Ocorrências de solos no Paraná e na região de estudo.	56
Tabela 3.	Parâmetros de caracterização físicos e químicos para as amostras de solo.	57
Tabela 4.	Condições experimentais de medida dos íons metálicos por FAAS.	66
Tabela 5.	Teores médios e desvios Padrões em $\text{mg kg}^{-1}$ de elementos metálicos para todos os tipos de solo.	67

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ACP – Análise de Componentes Principais  
Al – Alumínio  
Ca – Cálcio  
Cd – Cádmio  
CO – Carbono Orgânico  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
Cr – Crômio  
CTC – Capacidade de Troca Catiônica  
Cu – Cobre  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
FAAS – *Flame Atomic Absorption Spectrometer*  
FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura  
Fe – Ferro  
GX – Gleissolo Háplico  
IAP – Instituto Ambiental do Paraná  
IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná  
IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
LV – Latossolo Vermelho  
LVe – LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico  
MD – Chernossolo Rêndzico  
Mg – Magnésio  
Mn – Manganês  
MO – Matéria Orgânica  
NBR – Norma Brasileira de Regulamentação  
NV – Nitossolo Vermelho  
NVd – NITOSSOLO VERMELHO Distrófico  
Pb – Chumbo

pH – Potencial Hidrogeniônico

Pt – Fósforo Total

PV – Argissolo Vermelho

PVAd – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico

RR – Neossolo Regolítico

SBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solo

SNUC – Sistema Nacional de Unidade de Conservação

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>17</b>
2.1 ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL .....	17
2.2 FORMAÇÃO DO SOLO .....	18
2.2.1 Características do Solo .....	19
2.2.2 Tipos de Solo .....	22
2.3 IMPORTÂNCIA AMBIENTAL DO SOLO COMO RECURSO NATURAL ...	25
2.4 PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DO SOLO .....	26
2.4.1 Classe Textural .....	27
2.4.2 Potencial Hidrogeniônico.....	27
2.4.3 Matéria Orgânica.....	28
2.4.4 Carbono Orgânico .....	29
2.4.5 Fósforo .....	30
2.5 ÍONS METÁLICOS DISPONÍVEIS EM SOLOS .....	31
2.5.1 Alumínio .....	32
2.5.2 Cálcio .....	33
2.5.3 Cádmiio .....	34
2.5.4 Chumbo.....	34
2.5.5 Cobre.....	35
2.5.6 Crômio.....	35
2.5.7 Ferro.....	36
2.5.8 Magnésio.....	37
2.5.9 Manganês.....	37
2.5.10 Potássio.....	38
2.5.11 Sódio .....	39
2.5.12 Zinco.....	39
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>41</b>
3.1 OBJETIVO GERAL .....	41
3.2 Objetivos Específicos .....	41
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>42</b>

4.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	42
4.2 ÁREAS PROTEGIDAS POR LEI.....	43
4.3 DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA.....	44
4.4 PROCEDIMENTOS PARA COLETA E PREPARO DE AMOSTRAS .....	49
4.5 ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS.....	50
<b>4.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....</b>	<b>54</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>56</b>
5.1 TIPOS DE SOLOS NA ÁREA DE ESTUDO.....	56
5.2 CARACTERIZAÇÕES DOS PARÂMETROS COMPLEMENTARES .....	57
5.2.1 Análise Textural.....	59
5.2.2 pH.....	61
5.2.3 Matéria Orgânica.....	62
5.2.4 Carbono Orgânico .....	64
5.2.5 Fósforo .....	65
5.3 TEORES DE ELEMENTOS METÁLICOS DISPONÍVEIS .....	66
5.3.1 Alumínio .....	72
5.3.2 Cálcio .....	73
5.3.3 Cobre.....	75
5.3.4 Ferro.....	77
5.3.5 Magnésio.....	79
5.3.6 Manganês.....	80
5.3.7 Potássio.....	82
5.3.8 Sódio .....	84
5.3.9 Zinco.....	85
5.4 ANÁLISE MULTIVARIADA POR COMPONENTES PRINCIPAIS.....	87
5.4.1 Elementos metálicos e parâmetros complementares.....	87
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>90</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>91</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional juntamente com o desenvolvimento econômico tem provocado transformações significativas nos ecossistemas. A partir da Revolução Industrial houve a expansão de tecnologias, que se emanaram no campo e na cidade trazendo consigo conforto, praticidade, e rapidez em benefício ao ser humano. Entretanto, a demanda por alimentos, a expansão de grandes núcleos urbanos e por consequência o desmatamento de áreas naturais, cresceram de formas desordenadas. Tais práticas, sem estudo técnico prévio para avaliar áreas com risco de degradação, comprometem a qualidade da fauna, flora, solo, atmosfera e dos recursos hídricos. Nas últimas décadas recursos têm sido disponibilizados a fim de otimizar as condições de produção e preservar os recursos florestais remanescentes.

As técnicas produção agropecuária, quando usada de maneira inadequada, causa impactos negativos no solo comprometendo este, e outros compartimentos, sendo necessária a compreensão da dinâmica natural do solo para intervenção correta no mesmo.

No entanto, estudos que relacionam a dinâmica natural do solo comparando-a com diversos usos ainda são escassos, uma vez que os estudos têm se voltado à otimização das condições de produção.

Dada a importância dos recursos naturais o solo configura como um sistema complexo dotado de especificidades concebido como um conjunto de corpos naturais, formado por componentes sólidos, líquidos e gasosos. Além disso, apresenta organização tridimensional, dinâmica e formado por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contêm matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem bem como, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas (EMBRAPA, 2006).

O solo é um compartimento ambiental de extrema importância, principalmente quando tratamos da produção de alimentos. O seu uso tem aumentado gradativamente com o crescimento populacional, exigindo cada vez o incremento de elementos nutritivos para o crescimento das plantas e aumento de produção. Esse crescente uso de adubos químicos e orgânicos,

bem como o aumento da área cultivada, tem gerado um impacto ambiental negativo de forma direta e passiva, atingindo aos demais compartimentos ambientais. Para inferir o nível de contaminação destes solos e dos compartimentos ambientais relacionados, são necessários parâmetros de referência que possam servir para os órgãos legisladores propor controles e monitoramento. Assim, visto que para a Mesorregião Oeste do Paraná ainda não existe banco de dados que possa servir como valor referencia de base natural, este estudo traz teores considerados de referência natural para íons metálicos e parâmetros complementares em áreas de conservação ambiental como Reserva Particular do Patrimônio Natural, Parque Nacional, Reserva Biológica e Reservas Legais de propriedades particulares, considerando que os pontos de amostragem não recebem contribuição antropogênica direta.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL

O aumento das atividades antropogênicas tem intensificado a destituição da vegetação natural em grande parte das bacias hidrográficas, pois, não resistem à rápida ampliação da fronteira agrícola e de projetos urbanos. Entretanto, as preocupações com a qualidade de vida e o balanço entre as áreas vegetadas e intensamente povoadas têm aumentado, o que contribui para a implementação das chamadas Unidades de Conservação (UCs) (OLIVEIRA, 2000; KURASZ *et al.*, 2008). No Brasil, as unidades de conservação ganharam força a partir da criação do Sistema Nacional de Unidade de Conservação (SNUC), Lei Federal nº 9.985/00.

Dentre as diversas categorias de unidades de conservação criadas pelo SNUC, as Unidades de uso Sustentável têm por finalidade compatibilizar a conservação da natureza com o uso de seus recursos naturais, ou seja, é permitido a exploração e o aproveitamento econômico direto de forma planejada e regulamentada (FERREIRA, *et al.*, 2005).

Nesse grupo estão incluídas as categorias de manejo (APA) Área de Proteção Ambiental, (ARIE) Área de Relevante Interesse Ecológico, (FLONA) Floresta Nacional, (RESEX) Reserva Extrativista, (REFAU) Reserva de Fauna, (RDS) Reserva de Desenvolvimento Sustentável e (RPPN) Reserva Particular do Patrimônio Natural.

O grupo das Unidades de Proteção Integral objetiva à conservação da biodiversidade, e inclui as categorias Estação Ecológica, (REBIO) Reserva Biológica, (PARNA) Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre (SNUC, 2000).

Essas categorias de manejo destinam-se à preservação integral da biota e demais atributos naturais existentes em seus limites, conciliados à realização de pesquisas científicas, as quais devem ser autorizadas pelo IBAMA, estando sujeitas às normas estabelecidas por este órgão. A visitação pública com objetivos educacionais amplos ou restritos está sempre sujeita às

normas estabelecidas pelo plano de manejo junto órgão responsável pela sua administração e por aquelas previstas em lei (FERREIRA, *et al.*, 2005).

As Unidades de Conservação contribuem sobremaneira para a realização de pesquisas ambientais, isso porque apresentam características naturais dos elementos que formam a paisagem dentre os quais o solo objeto de estudo desse trabalho.

## 2.2 FORMAÇÃO DO SOLO

O solo é constituído de material mineral e orgânico não consolidado na superfície da terra e que recebe influência de vários fatores genéticos e ambientais, como material de origem, topografia, clima (temperatura e umidade) e microrganismos. Estes se encarregaram da sua formação ao longo do tempo. Devido ao comportamento sazonal e geomorfológico nunca é idêntico, nas suas propriedades e características físicas, químicas, biológicas e morfológicas, pois variam mesmo dentro de uma mesma bacia hidrográfica (FAGERIA, 1989; CURI *et al.*, 1993; EMBRAPA, 2013).

Segundo a Embrapa (2013), o solo é um conjunto de corpos naturais, constituído por três partes sendo elas sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicas, formado por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contêm matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e podem, eventualmente, ter sido modificados por interferências antrópicas.

O solo resulta do desgaste das rochas. Os fatores que contribuem para esse processo são: o clima (chuva e calor), organismos vivos (plantas e animais), relevo (declividade do terreno), tipos de rochas (mais resistentes ou menos resistentes) (Quadro 01) (SERRAT, *et al.*, 2002).

Dentre os fatores principais que contribuem para as transformações dos materiais orgânicos e minerais para formação do solo, Lima (2007) enfatiza que o material de origem, relevo, clima, organismos e tempo são responsáveis pela origem do solo Quadro 1.

**Quadro 01 – Fatores responsáveis pela origem do solo.**

Fator	Características
Material de Origem	É o material a partir do qual o solo começa a se formar. Esse material quase sempre é de natureza mineral podendo também ser de natureza orgânica. As rochas basálticas conferem textura argilosa ou muito argilosa, enquanto solos arenosos são derivados de arenito, materiais de origem ricos em quartzo que conferem ao solo cor clara.
Relevo	Possui função importante no processo evolutivo (amadurecimento) do solo pois influencia facilitando ou não na absorção (retenção) e infiltração da água da chuva. Influenciando o grau de remoção de partículas pela erosão. Existem basicamente, três condições de relevo: Relevo pouco movimentado (plano): Elevada infiltração de água e pouca erosão. Neste caso, solos muito intemperizados e profundos. Relevo movimentado (declivoso): É mais proveniente de erosão; menos infiltração e solos rasos e jovens. Relevo de baixada: solo saturado com água devido ao relevo favorecer a retenção de água e pela proximidade do lençol freático.
Clima	Radiação solar, precipitação pluvial e pressão atmosférica são elementos que atuam diretamente na formação do solo. A radiação solar (fonte de calor) influi diretamente nas reações químicas e processos biológicos que ocorrem no perfil do solo. A precipitação pluvial (água) excedente no desenvolvimento do perfil do solo conforme a sua quantidade: regiões onde a quantidade de água é grande, geralmente apresentam solos mais profundos, pois a velocidade dos processos de formação é mais acentuada. A pressão atmosférica (vento) causa a erosão eólica e o ressecamento da superfície do solo.
Organismos	Possuem a função de decompor os restos vegetais e animais, nesse processo liberam ácidos orgânicos que corroem as rochas formando o solo.
Tempo	É o mais passivo dos fatores de formação. Quanto maior o tempo, mais susceptível determinado material de origem ficara sujeito à ação conjunta dos fatores e processos pedogenéticos. Um solo chega à maturidade quando as suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas se estabilizam.

**Fonte: Adaptado de Lima (2007) e Vieira (2011)**

### 2.2.1 Características do Solo

Os solos são constituídos de duas frações mineral e orgânica. A fração orgânica é constituída por materiais originários de resíduos vegetais em diferentes estágios de decomposição, excluindo raízes vivas, mas incluindo fragmentos de carvão finamente divididos e biomassa presentes no solo como resultado de processos naturais (EMBRAPA, 2013). Também é conhecida como matéria orgânica sendo constituída por compostos com características químicas bem definidas como polissacarídeos, proteínas, ligninas, açúcares, aminoácidos entre outros (COTTA, 2003). A fração mineral é formada predominantemente por compostos inorgânicos, em vários estágios de intemperismo. O material do solo é considerado mineral quando não satisfizer o

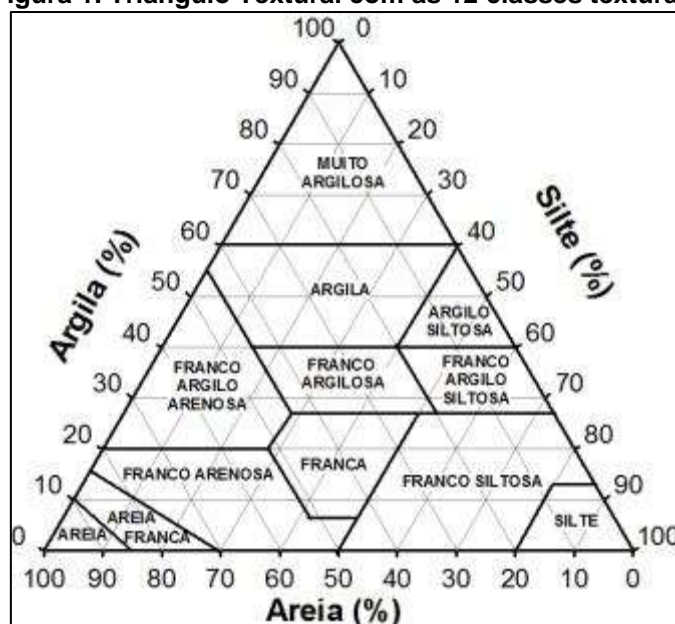
requisito exigido para material orgânico, entretanto, outros compostos não bem definidos podem ser encontrados, são os ácidos húmicos e ácidos fúlvicos e humina, responsáveis por formar o húmus (EMBRAPA, 2013).

O solo é considerado um sistema complexo. Um dado volume de solo é composto por material sólido, líquido e gasoso, a proporção aproximada dessas três fases é de 50% de sólidos, 25% de líquidos e 25% de gases, dividido em quatro partes misturadas sendo elas: Ar; água; matéria orgânica e porção mineral (Areia, Silte e Argila) (FAGERIA *et al.*, 1999).

A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo define quatro classes de tamanho de partículas menores do que 2 mm, usadas para a definição da classe de textura dos solos. Areia grossa – 2 a 0,2 mm ou 2000 a 200  $\mu\text{m}$ , Areia fina – 0,2 a 0,05 mm ou 200 a 50  $\mu\text{m}$ , Silte – 0,05 a 0,002 mm ou 50 a 2  $\mu\text{m}$ , Argila – menor do que 2  $\mu\text{m}$  (EMBRAPA, 2006).

A classe textural é determinada pela distribuição do tamanho de partículas, na qual o número possível de ordenamento resultante da combinação das proporções de classes de partículas é muito grande, o que impulsionou o desenvolvimento de um sistema de classificação gráfico e funcional denominado Triângulo Textural (TT), para definição das classes de textura dos solos Figura 1 (REINERT E REICHERT, 2006).

**Figura 1. Triângulo Textural com as 12 classes texturais**



Fonte: Adaptado Embrapa, (2006).

As feições morfológicas e as características do solo refletem a atuação dos processos pedogenéticos na sua formação, permitindo normalmente, separá-lo em camadas, denominadas como horizontes Figura 2.

**Figura 2 - Camadas de um perfil genérico de solo**



**Fonte: Embrapa, 2006.**

Por convenção mundial, esses horizontes são representados pelas letras H ou O, A, E, B e C em sentido vertical da superfície em direção ao material de origem. As camadas são pouco ou nada afetadas pelos processos pedológicos (EMBRAPA, 2009).

Os horizontes O e H possuem características semelhantes, são horizontes ou camadas de constituição orgânica, superficial ou não, composto de resíduos orgânicos acumulados ou em acumulação, no entanto o horizonte H possui caráter hidromórfico (REICHERT, 2007).

O horizonte A é constituído de composto mineral, e geralmente rico em material orgânico, possui coloração escura e suscetível aos agentes intemperizantes. São horizontes minerais, superficiais ou em sequência ao horizonte O ou H, de concentração de matéria orgânica decomposta e perda ou decomposição principalmente de componentes minerais (Fe, Al e argila) (IBGE, 2007).

Em seguida, está o horizonte genético ou horizonte B, ou ainda chamado de subsolo. Existem várias subdivisões neste horizonte, que são classificadas de acordo com a profundidade, formação, fertilidade. Plantas com

raízes profundas também podem atingir esse horizonte e retirar água e nutrientes. Na maioria das vezes, o horizonte B é mais avermelhado ou amarelado que o horizonte A (SERRAT *et al.*, 2002).

O próximo horizonte faz parte do início do processo de formação do solo, apresenta ainda partes da rocha conhecido como horizonte C. Por fim, abaixo deste, permanece a rocha mãe definida como camada R.

Essas características são fundamentais no processo de identificação dos tipos de solo, pois a classificação de um solo se inicia com a descrição morfológica do perfil e coleta de material de campo para avaliação de atributos físicos, químicos e mineralógicos do perfil que o representam. Aspectos ambientais do local do perfil, tais como clima, vegetação, relevo, material originário, condições hídricas, características externas ao solo e relações solo-paisagem, são também utilizadas (EMBRAPA, 2013).

## 2.2.2 Tipos de Solo

A Embrapa, em parceria com diversas instituições de ensino e pesquisa de todo o Brasil, vem ao longo dos anos desenvolvendo e aprimorando o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Esse sistema, considerando território nacional, permite dividir os diferentes tipos de solo em níveis categóricos. O primeiro e o mais importante, denominado Ordem, separa os solos em 13 classes (EMBRAPA, 2009). Essa definição atribuída ao solo é decorrente de suas características em especial as que resultam seu processo de formação conforme apresentado no Quadro 2.

**Quadro 2 – Características relativas as Ordens de Solos**

Ordem	Características
Argissolos	Solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alético.
Cambissolos	Solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que em qualquer dos casos não satisfaçam os requisitos para serem enquadrados nas classes dos Vertissolos, Chernossolos, Plintossolos e Organossolos. Têm sequência de horizontes A ou hístico, Bi, C, com ou sem R.
Chernossolos	Solos constituídos por material mineral que tem como características diferenciais: alta saturação por bases e horizonte A chernozêmico sobrejacente a horizonte B textural ou B incipiente com argila de atividade alta, ou sobre horizonte C carbonático ou horizonte cálcico, ou ainda sobre a rocha, quando o horizonte A apresentar concentração de carbonato de cálcio.
	Solos constituídos por material mineral com horizonte B espódico subjacente

Espodossolos	a horizonte eluvial E (álbico ou não), ou subjacente a horizonte A, que pode ser de qualquer tipo, ou ainda, subjacente a horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos.
Gleissolos	Solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei dentro de 150cm da superfície do solo, imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização), ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos.
Latossolos	Solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte superficial, exceto hístico. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações do material constitutivo.
Luvissolos	Compreende solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação de bases elevada, imediatamente abaixo do horizonte A ou horizonte E. Apresentam diversos horizontes superficiais, exceto A chernozêmico e horizonte hístico.
Neossolos	Solos constituídos por material mineral, não hidromórficos, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos.
Nitossolos	Solos constituídos por material mineral, com horizonte B nítico, textura argilosa ou muito argilosa (teores de argila maiores que 350g/kg de solo a partir do horizonte A), estrutura em blocos subangulares ou angulares, ou prismática, de grau moderado ou forte, com cerosidade expressiva nas superfícies dos agregados e gradiente textural menor que 1,5.
Organossolos	Compreende solos pouco evoluídos, com preponderância de características devidas ao material orgânico, de cores preta, cinzenta muito escura ou brunada, resultantes de acumulação de restos vegetais, em graus variáveis de decomposição, em condições de drenagem restrita (ambientes mal ou muito mal drenados), ou em ambientes úmidos de altitudes elevadas, saturados com água por apenas poucos dias durante o período chuvoso.
Planossolos	Solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B ou com transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do A para o horizonte B, imediatamente subjacente, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta.
Plintossolos	Solos minerais, formados sob condições de restrição à percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, de um modo geral imperfeitamente a mal drenados, que se caracterizam fundamentalmente por apresentar expressiva plintização com ou sem petroplintita na condição de que não satisfaçam os requisitos estabelecidos para as classes dos Neossolos, Cambissolos, Luvissolos, Argissolos, Latossolos, Planossolos ou Gleissolos.
Vertissolos	Solos minerais argilosos que possuem horizonte vértico e pequena variação textural ao longo do perfil, nunca suficiente para caracterizar um horizonte B textural. Apresentam pronunciadas mudanças de volume com o aumento do teor de água no solo, fendas profundas na época seca ou superfícies de fricção (slickensides).

**Fonte: EMBRAPA ( 2006).**

### 2.2.3 Tipos de Solos Estudados

Argissolo Vermelho são solos minerais com nítida diferenciação entre as camadas ou horizontes, com incremento nos teores de argila em profundidade, apresentam cor mais forte (amarelada, brunada ou

avermelhada), devido a teores mais altos e à natureza dos óxidos de ferro presentes no material originário. As condições de relevo são variáveis sendo que Argissolos de textura média/argilosa e argilosa são desenvolvidos mais frequentemente de rochas ígneas e metamórficas, quando no Planalto Atlântico, ou de rochas sedimentares finas (pelitos) em outras regiões (IAC, 2017).

Chernossolo Rêndzico caracteriza-se por apresentar camada superficial escura rica em matéria orgânica, alto teor de nutrientes sendo um dos solos mais férteis conhecidos, assente sobre camada de material mineral rico em carbonato de cálcio o que favorece efeito alcalino (pH alto), com possibilidades de ocorrerem deficiências de micronutrientes, em relevo muito movimentado o risco de erosão é alto (EMBRAPA, 2006).

Gleissolo Háplico solos característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento (margens de rios, ilhas, grandes planícies, etc.). Apresentam cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, dentro de 50 cm da superfície. Podem ser de baixa ou alta fertilidade natural, porém seu uso é muito limitado devido a condições de má drenagem. Ocorrem em praticamente todas as regiões brasileiras, ocupando principalmente as planícies de inundação de rios e córregos (IBGE, 2007).

Latossolo Vermelho são solos muito intemperizados, apresentam cores vermelhas acentuadas devido aos teores mais altos e à natureza dos óxidos de ferro presentes no material originário em ambientes bem drenados, caracterizam-se por grande homogeneidade de características ao longo do perfil. Os Latossolos são profundos, bem drenados e com baixa capacidade de troca de cátions, com textura média ou mais fina (argilosa, muito argilosa) e, geralmente são pouco férteis (IAC, 2017).

Neossolo Regolítico apresentam pequeno desenvolvimento pedogenético, caracterizado por pequena profundidade, (menos de 30 cm de espessura), sem apresentar qualquer tipo de horizonte B diagnóstico, constituídos por material mineral ou material orgânico, ou por predomínio de areias quartzosas ou pela presença de camadas distintas herdadas dos materiais de origem. Devido a pequena profundidade e afloramentos de rocha possui sérias limitações para produção agrícola e florestal, no entanto é muito usado para pastagens, devido às suas limitações e fragilidade, o



aproveitamento mais adequado destes solos se dá com manutenção da vegetação nativa e proteção das nascentes nele encontradas (EMBRAPA, 2006).

Nitossolo Vermelho trata-se de uma Classe caracterizada pela presença de um horizonte B nítico, que é um horizonte subsuperficial com moderado ou forte desenvolvimento estrutural do tipo prismas ou blocos derivados de rochas básicas e ultrabásicas, com diferenciação de horizontes pouco notável e com a superfície dos agregados reluzentes, relacionadas a cerosidade ou superfícies de compressão (IBGE, 2007).

## 2.3 IMPORTÂNCIA AMBIENTAL DO SOLO COMO RECURSO NATURAL

Os solos fornecem inúmeros serviços ambientais essenciais como regulação do clima, ciclagens de nutrientes, produção de alimentos, habitat para os organismos, regulação de enchentes, base da infraestrutura humana, fonte de recursos genéticos e farmacêuticos, filtragem da água e degradação de contaminantes, sequestro de carbono entre outros (FAO, 2015).

Dentre as suas diversas funções o solo proporciona, direta ou indiretamente, mais de 95% da produção mundial de alimentos. Por outro lado a superfície da Terra leva milhões de anos para ser formada podendo ser perdida e degradada em poucos anos (SBCS, 2015).

O solo é um elemento importante do ciclo hidrológico pois, a água que chega até o solo através da precipitação, infiltra, preenche a capacidade de armazenamento no solo, é conduzida pelo solo para camadas mais profundas e alimenta o lençol freático e aquíferos. A fração que não penetra no solo, escoar alimentando diretamente lagos, rios e oceano. A fração armazenada é em parte disponível para as plantas, sendo absorvida e transpirada ao mesmo tempo, podendo evaporar diretamente do solo para a atmosfera (REINERT E REICHERT, 2006).

Sabe-se que o solo desempenha importante função na qualidade da água. Solos com uma elevada carga (CTC – Capacidade de Troca de Cátions) têm um maior poder de filtro, vindo a reter eventuais contaminações, antes mesmo de atingir o lençol freático ou um corpo hídrico. Por outro lado, solos

saturados com água possuem carga quase nula, resultando em uma capacidade filtrante baixa o que justifica a preservação de planícies e porções baixas próximas a canais de drenagem (ANDREOLI *et al.*, 2013).

Haja vista, a importância ambiental do solo, e considerando a necessidade de prevenção da contaminação, visando à manutenção de sua funcionalidade e a proteção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) instituiu a Resolução 420/2009 que Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas (CONAMA, 2009).

O uso de indicadores da sua qualidade para avaliação da sustentabilidade ambiental é fundamental. A qualidade do solo pode ser definida como sua capacidade de funcionar dentro dos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal (Doran *et al.*, 1996).

A avaliação dessa qualidade por meio de atributos do solo é complexa devido à grande quantidade de definições de um solo com qualidade para determinado uso, à multiplicidade de inter-relações entre fatores físicos, químicos e biológicos que controlam os processos, e aos aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço.

Portanto a seleção de parâmetros de caracterização sensíveis a alterações sofridas pelo solo torna-se fundamental, uma vez que não é viável avaliar todas as variáveis existentes no solo, sendo dessa forma a seleção de parâmetros um escopo do objeto de estudo.

## 2.4 PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Os parâmetros de caracterização referem-se aos atributos físicos e químicos, cujas características delineiam o comportamento do solo. Dentre eles, merecem destaque classe textural, potencial hidrogeniônico, carbono orgânico, fósforo total, potássio e matéria orgânica. Esses parâmetros

merecem destaque em função da sua capacidade de influenciar os demais elementos do solo.

#### 2.4.1 Classe Textural

A classe textural do solo é definida de acordo com a distribuição de suas partículas constituintes, de natureza inorgânica ou mineral, em classes de tamanho. Geralmente nos estudos do solo é composta pelas frações areia, silte e argila (COOPER, 2015).

Algumas propriedades de solos argilosos que decorrem da textura, referem-se à porosidade, alta retenção de água, drenagem lenta e pouca aeração (se pouco agregado), densidade, velocidade de aquecimento, suscetibilidade à compactação, CTC, lixiviação, resistência à erosão, coesão, firmeza, consistência plástica e pegajosa quando molhado, resistência ao preparo pesado, (REINERT E REICHERT, 2006).

Trata-se de uma característica de fundamental importância para as propriedades físicas de um solo, pois exerce influência direta sobre movimentação de água, transferência de calor, aeração, densidade do solo e porosidade. Outro aspecto importante refere-se a estabilidade deste parâmetro que varia pouco ao longo do tempo, a mudança somente ocorrerá se houver alteração da composição do solo devido à erosão seletiva e/ou processos de intemperismo, que ocorrem em escala de séculos a milênios. (WOHLENBERG *et al.*, 2004).

A natureza e a forma das partículas do solo estão intimamente associadas ao material de origem. Nos solos do Brasil, as partículas de areia são predominantemente de forma esférica e composição mineralógica formada por quartzo, ao passo que as partículas de argila são de formato laminar e compostas por minerais de argila (caulinita, illita, montmorilonita,...) e óxidos (de Fe, Al, ...) (REINERT E REICHERT, 2006). Exemplos de óxidos comuns nos solos são a gibsitita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) e a goetita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) (SENGIK, 2003).

#### 2.4.2 Potencial Hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a concentração de íons hidrogênio ( $H^+$ ), em escala anti-logarítmica, que indica a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade (VON SPERLING, 1996).

A faixa de pH varia de 0 a 14, e os solos possuem pH variando de 3,0 à 9,0. Isso é decorrente da região em que está localizado o solo, ou de acordo com sua composição (rochas), concentração de sais, metais, ácidos, bases e substâncias orgânicas. Em geral, as plantas preferem a faixa de pH próximo do neutro (de 6,0 à 6,8), este é o chamado ponto de equilíbrio no qual a maioria dos nutrientes permanecem disponíveis às raízes (GOMES e FILIZOLA, 2006).

O pH do solo reflete um conjunto complexo de reações no sistema solo – solução, é muito útil quando associado a propriedades do solo, como o estado em que se encontram as bases e a solubilidade de micronutrientes em alguns extratores (CAMARGO, *et al.*, 2009).

Deste modo, o pH configura-se como uma propriedade química que interfere a concentração em solução, solubilidade e forma iônica dos nutrientes no solo, bem como na absorção e utilização destes pelas plantas (SILVA *et al.*, 2012).

#### 2.4.3 Matéria Orgânica

A matéria orgânica do solo configura-se como a maior reserva de carbono da crosta terrestre (SCHNITZER, 1991; ZECH *et al.*, 1997). Apresenta-se como um sistema complexo de substâncias, cuja dinâmica é governada pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas e por uma transformação contínua sobre ação de fatores biológicos, onde serve de fonte de energia e nutriente aos organismos do solo. Além destes, os fatores químicos, agem em processos que tornam os nutrientes disponíveis para as plantas pela mineralização de compostos vegetais, na complexação de elementos tóxicos, na capacidade de troca de cátions e no poder tampão. Os fatores físicos por sua vez, compreendem mecanismos de agregação, que refletem na aeração, capacidade de infiltração e na retenção de água (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Baixos teores de matéria orgânica no solo implicam em baixa disponibilidade de nutrientes para as plantas (COELHO, *et al.*, 2009).

A velocidade de decomposição e liberação de nutrientes para as plantas via matéria orgânica é dependente da qualidade e quantidade da serapilheira depositada no solo, e esta dependente das espécies vegetais que estão condicionadas a diversos fatores como vegetação, decíduosidade, estágio sucessional, altitude, latitude, precipitação, disponibilidade hídrica, temperatura, luminosidade, relevo, e características do solo (Parron *et al.*, 2003; NUNES, 2011).

Outro fator importante relaciona-se a capacidade de troca catiônica na qual a matéria orgânica do solo é responsável por 75 a 85%, não obstante a sua pequena participação no volume total do solo (SIQUEIRA NETO *et al.*, 2009).

Sua constituição abrange vários compartimentos orgânicos dentro do sistema solo, dentre os quais raízes de plantas, fauna e microrganismos, representam a fração viva. A fração não viva se subdivide em humificada, a qual possui como características principais estrutura não definida, resistente ao ataque microbiano, denominada substâncias húmicas e não humificada cuja composição apresenta restos vegetais e animais pouco decompostos e compostos orgânicos com categoria bioquímica bem definida, como ceras, polissacarídeos e proteínas (THENG *et al.*, 1989; MIRANDA, 2005).

Normalmente as substâncias húmicas são classificadas em três frações de acordo com sua solubilidade em solução aquosa. Os ácidos húmicos são substâncias orgânicas solúveis em soluções alcalinas diluídas, mas precipitam quando acidificados ( $\text{pH} < 2$ ). Ácidos fúlvicos são compostos orgânicos, todavia solúveis em toda faixa de valores de pH. A Humina é a fração insolúvel em ambas as condições ácidas e básicas (STEVENSON, 1994; GUERRA *et al.*, 2008).

#### 2.4.4 Carbono Orgânico

O carbono ocorre tanto na forma orgânica quanto inorgânica sendo quantitativamente o maior componente da matéria orgânica do solo. A fração orgânica é representada por polissacarídeos, ácidos graxos, aminoácidos, polifenóis e a inorgânica por carbonatos, bicarbonato e dióxido de carbono.

Outras subdivisões de acordo com a labilidade ou estabilidade são comuns nas técnicas de fracionamento do carbono (NELSON E SOMMERS, 1996; SATO, 2013).

Em regiões de clima muito úmido, nas quais os perfis são submetidos a intensa lixiviação, o carbono aparece predominantemente na forma orgânica (CAMARGO, *et al.*, 2009). Embora não seja um nutriente para a planta, baixos valores podem afetar a produtividade em razão de seu efeito na estrutura; na disponibilidade de água para as plantas, e no seu poder de tamponamento frente a presença de compostos muitas vezes tóxicos às plantas (GOMES e FILIZOLA, 2006).

As variações nos teores de carbono orgânico são importantes para avaliação da qualidade do solo em função de suas interações com as diversas propriedades deste, que condicionam sua fertilidade. Outro fator relevante diz respeito a emissão de gases do efeito estufa (RESCK *et al.*, 2008).

#### 2.4.5 Fósforo

O fósforo é um elemento químico essencial para sobrevivência dos vegetais, visto que está presente em componentes estruturais das células, como nos ácidos nucleicos e fosfolípidios das biomembranas, e também em componentes metabólicos móveis armazenadores de energia, como a adenosina trifosfato (ATP) (GATIBONI, 2003).

No solo o fósforo é encontrado na forma orgânica e inorgânica. O inorgânico ocorre preferencialmente na fração argila do solo, ligado ao cálcio (PCa), ferro (PFe), alumínio (PAI) e na quase totalidade não está disponível. O fósforo disponível está associado aos compostos orgânicos, representado pelos íons fosfatos ligados aos compostos orgânicos, e sua labilidade está diretamente relacionada à suscetibilidade de decomposição do radical orgânico ao qual o fosfato está ligado (SENGIK, 2003).

Embora os solos apresentem teor total de P entre 200 e 3000 mg.Kg<sup>-1</sup> de P, menos de 0,1% desse total encontra-se na solução do solo, disponível para as plantas, isso porque, dentre as inúmeras formas que o P se encontra, é assimilado apenas como H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> e HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (NOVAIS *et al.*, 2007).

A disponibilidade do P está intimamente ligada a forma e interação que este sofre pelos sítios de adsorção do solo. Estando na solução ou fracamente adsorvido, está disponível as plantas, se está adsorvido com maior força nas argilas e óxidos e hidróxidos de Fe e Al, não está disponível portanto, o grau de interação é que regulará a labilidade do P (PAVINATO E ROSOLEM, 2008).

A ciclagem do Fósforo Orgânico via matéria orgânica é de fundamental importância para os solos, em especial solos altamente intemperizados como Latossolos e Argissolos que juntos somam 70% de solos com deficiência de P no mundo, isso porque nesses solos o P encontra-se fortemente fixado no sítios de adsorção (GEORGE *et al.*, 2006).

## 2.5 ÍONS METÁLICOS DISPONÍVEIS EM SOLOS

Os metais presentes nos solos são originados tanto do intemperismo, que age sobre o material de origem, como de fontes externas naturais (erupção vulcânica) ou decorrentes de atividades humanas (indústrias, agricultura). Portanto, pode ter origem ligada ao material de origem ou a atividades naturais e antrópicas (SINGH; STEINNES 1994).

Os elementos metálicos podem ser encontrados no solo em solução, adsorvidos eletrostaticamente aos sítios de troca (adsorção não específica), incorporados na superfície da fase inorgânica, como óxidos de Al, Fe, Mn (adsorção específica), participantes de reações de precipitação e dissolução e ligados a compostos orgânicos (ALLOWAY, 1995).

A expressão “metal pesado” ou ainda “metal traço” aplica-se a elementos que têm peso específico maior que  $5 \text{ g cm}^{-3}$  ou que possuem um número atômico maior que 20. A expressão inclui metais, semimetais e mesmo não metais, como o selênio (Se). Trata-se, portanto, de um conjunto muito heterogêneo de elementos (BORGES, 2007).

Os elementos metálicos no solo, em grandes concentrações, representam preocupante fonte de contaminação, visto que são elementos estáveis no ambiente sendo alguns biologicamente essenciais, tais como Co, Mn, Zn, Cu, B e Se. Entretanto, quando a concentração for superior aos níveis de tolerância dos seres vivos podem ser tóxicos. Existem fatores que devem

ser observados para definir a real toxicidade desses elementos: concentração, tipo de organismos expostos, capacidade de assimilação dos metais, vias de exposição, entre outros (PEIJNENBURG; JAGER, 2003).

Dentre os metais que aparecem com maior frequência classificados como poluentes do ar, água e solo estão cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), zinco (Zn), cobalto (Co), níquel (Ni), vanádio (V), alumínio (Al), prata (Ag), cádmio (Cd), crômio (Cr), mercúrio (Hg) e chumbo (Pb) (MALAVOLTA, 1994).

Os metais “pesados” no solo podem ser avaliados conforme sua “função” (disponíveis as plantas, formas móveis trocáveis etc) e “operacionalmente” (tipo de procedimento de determinação e de reagentes ou extratores) (URE *et al.*, 1993).

O método HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> escolhido para ser usado neste estudo é recomendado também pela Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CFSR/SC, 2004).

Estudos comparativos demonstraram melhor eficiência do método HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> comparado ao DTPA-TEA e o Mehlich-1 na extração de Cu, Fe, Zn e Mn (PEREIRA *et al.*, 2001).

### 2.5.1 Alumínio

O alumínio (Al) é visivelmente metálico, e constitui cerca de 8,07 % da litosfera, considerada uma profundidade de 16.000 metros. Dos constituintes naturais do solo o Al é o terceiro elemento mais abundante sendo sobrepujado somente pelo oxigênio e pelo silício. A maior parte do (Al) ocorre nos aluminossilicatos tais como argilas, micas e feldspatos (COTTA, 2003).

A solubilidade do Al aumenta em solos com pH abaixo de 5,5 e acima de 7,5 esta acidez compreende situações de toxicidade iônica como excesso de alumínio e às vezes manganês, além de limitações nutricionais, devido à carência de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, aliadas à baixa disponibilidade de fósforo (P) para as plantas (MALAVOLTA, 1980; FAGERIA, 1989; FERNANDES, 2006).

Em solos com pH ≤ 5 o Al é considerado um dos mais relevantes problemas de toxicidade, por representar um fator limitante de crescimento



para as plantas. O Al disponível em concentrações elevadas provoca redução no crescimento radicular de plantas sensíveis, o que impede a planta de obter água e nutrientes em profundidade pelo seu enraizamento superficial (ECHART 2001; MIGUEL *et al.*, 2010).

Por outro lado plantas tolerantes têm a garantia de um bom desenvolvimento do sistema radicular, permitindo a obtenção de nutrientes e água em maiores profundidades durante períodos secos, quando as sensíveis não sobreviveriam (CAMARGO; ALMEIDA, 1983; SPHEAR; SOUZA, 2004).

Dentre os diversos usos do alumínio se destacam como maiores fontes consumidoras as indústrias automobilísticas e nas estruturas das ligas que incorporam pequenas quantidades de cobre, silício e manganês, entre outros metais (COTTA, 2003).

#### 2.5.2 Cálcio

O cálcio é um macronutriente importante no solo comporta-se como íon bivalente positivo ( $\text{Ca}^{2+}$ ), nessa condição elementar deve estar fortemente adsorvido aos coloides, ser lixiviado, absorvido pelas plantas e organismos do solo ou ainda estar presente na solução do solo. Solos argilosos são ricos em cálcio disponível devido a sua formação sobre rochas ricas em minerais com alto teor de cálcio, constituindo as principais fontes de cálcio mineral do solo. Solos arenosos, com baixos teores de matéria orgânica, lixiviados e erodidos, são potencialmente pobres em cálcio. (SENGIK, 2003).

O cálcio também faz parte da estrutura de diversos minerais do solo, em formas indisponíveis as plantas a não ser que ocorra a dissolução destes minerais (REICHERT, 2009).

Nos vegetais o cálcio é importante no desenvolvimento das raízes tornando-se nutriente essencial na translocação e armazenamento de carboidratos e proteínas. É um nutriente importante para a fecundação das flores, fixação dos botões florais e da frutificação (OLIVEIRA, 2010).

### 2.5.3 Cádmio

O Cd presente em solos naturais normalmente está concentrado em horizontes superficiais, devido ao maior teor de matéria orgânica e metais, os quais podem ficar fortemente adsorvidos neste horizonte durante a ciclagem da vegetação. Fontes indiretas de Cd podem atingir compartimentos naturais do solo pela deposição atmosférica deste elemento devido às aplicações de insumos e fertilizantes contendo Cd (ALLOWAY, 1995).

A quantidade natural de elementos traço no solo também depende dos fatores de intemperização durante a pedogênese, no entanto o Cd é um dos metais mais perigosos no ambiente, pois pode afetar seres humanos e outros seres vivos em concentrações relativamente baixas e também possui alta mobilidade nos solos (LEI *et al.*, 2010).

Dentre as atividades com maior potencial de contaminação, destacam-se mineração, fundição e refinamento de metais não-ferrosos, produção e aplicação de fertilizantes fosfatados, combustão de combustíveis fósseis, disposição de resíduos de esgotos municipais, processos de produção e descarte de baterias (CUI; WANG, 2006; ATSDR, 2008).

### 2.5.4 Chumbo

O chumbo raramente é encontrado no seu estado natural, mas sim em combinações com outros elementos nas formas minerais PbS (galena), PbTe (altaíta),  $\text{PbFe}_4\text{O}_7$  (plumboferrita)  $\text{PbSO}_4$  (anglesita) (AGÊNCIA DE SUBSTÂNCIAS TÓXICAS E REGISTROS DE DOENÇAS – ASTRD, 2013; ALEXANDRINO, 2014).

No solo, o teor de chumbo varia principalmente em função do material de origem: granito e riolito ( $20 \text{ mg kg}^{-1}$ ), xisto e argilitos ( $15 \text{ a } 20 \text{ mg kg}^{-1}$ ), calcários e arenitos ( $7 \text{ a } 10 \text{ mg kg}^{-1}$ ), basalto e gabro ( $8 \text{ mg kg}^{-1}$ ) somado as fontes antropogênicas provenientes de deposições atmosféricas ou de fontes industriais e agrícolas (MALAVOLTA, 1994).

O Pb é frequentemente empregado em baterias de armazenamento, aditivo para gasolina, cobertura de cabo, munições, tubulações, revestimentos

de tanques, solda e ligas fusíveis, vibração de amortecimento em construção pesada e ligas de rolamento (METCALF; EDDY, 2003; LOPES, 2015).

Este metal é extremamente estável no solo, no entanto é classificado como o segundo elemento mais perigoso na lista de prioridade da agência de proteção ambiental americana, atrás somente do As (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 2005).

O contato humano com elevadas concentrações deste elemento pode levar a distúrbios em praticamente todas as partes do organismo, sendo que após sua absorção, ele pode ser encontrado no sangue, tecidos moles e mineralizados (TONG *et al.*, 2000; NACKE, 2011).

#### 2.5.5 Cobre

Devido sua forma metálica ocorrer na superfície o Cobre foi um dos primeiros metais a ser usado pelo homem. Em 4000 a.C este elemento já era fundido a partir de seus minérios em Israel e em outras partes do Oriente Médio. Na natureza se apresenta em diversas formas de minerais dos quais o sulfeto calcopirita é o mais comum (KESLER, 1994; KALWA, 2011).

Este metal apresenta várias aplicações, sendo usado em equipamentos elétricos, encanamentos, utensílios domésticos, ligas metálicas, como catalisador químico, em pinturas para cascos de navios, como algicidas, fungicidas e inseticidas, e como conservantes de madeiras (CLARK, 2011; KALWA, 2011).

Este elemento ocorre naturalmente em todas as plantas e animais, e é um micronutriente essencial (CETESB, 2009, p. 10). No solo, sua concentração geralmente varia de 14 a 109 mg Kg<sup>-1</sup> (PENDIAS, 2012).

#### 2.5.6 Crômio

O crômio encontra-se amplamente distribuído na crosta terrestre, ocorrendo em vários estados de oxidação (Cr<sup>+2</sup> a Cr<sup>+6</sup>). Solos e rochas podem conter pequenas quantidades de crômio quase sempre no estado trivalente,

isso porque o crômio hexavalente é facilmente reduzido a  $\text{Cr}^{+3}$  pela matéria orgânica (KESLER, 1994; W.H.O, 2003).

A distribuição ambiental dos compostos contendo crômio depende do potencial redox, do pH, da presença de substâncias oxidantes e redutoras, da cinética das reações de redução, da formação de complexos de  $\text{Cr}^{+3}$  ou da formação de sais insolúveis de  $\text{Cr}^{+3}$ , além da concentração total de crômio presente no sistema (DALLAGO, 2008).

O crômio pode ser considerado um elemento bioativo, sendo que a presença de  $\text{Cr}^{+3}$  na dieta de animais e humanos é importante, pois está relacionada com o metabolismo de glicose, lipídeos e proteínas. Porém, em outros estados de oxidação, como o  $\text{Cr}^{+6}$ , e em altas concentrações este elemento é tóxico, carcinogênico e mutagênico para animais e humanos (MATOS *et al.*, 2008; NACKE, 2011).

#### 2.5.7 Ferro

O ferro é o quarto elemento mais abundante na litosfera, corresponde cerca de 5% do peso total da mesma (LUTGENS; TARBUCK, 1989; KALWA, 2011). Sua forma elementar raramente é encontrada na natureza, já que os íons  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$  se combinam facilmente com compostos contendo oxigênio e enxofre para formar óxidos, hidróxidos, carbonatos e sulfetos, sendo mais comumente encontrado na natureza na forma de óxidos (KESLER, 1994; KALWA, 2011).

A distribuição de minerais e compostos Fe em perfis de solo é altamente variável e reflete vários processos do solo. Há muitas reações envolvidas na solubilidade do Fe no solo, mas a hidrólise e a formação de espécies complexadas são uma das mais importantes. A solubilidade de  $\text{Fe}^{3+}$   $\text{Fe}^{2+}$  óxidos hidratados amorfos podem controlar a mobilidade de Fe no solo (PENDIAS, 2012; LOPES, 2015).

Solos com pH próximo da neutralidade ou alcalino a disponibilidade de Fe é baixa. A forma elementar em que o Fe ocorre no solo, sua ligação com outros componentes, bem como o grau de cristalinidade do mineral também alteram sua disponibilidade (BATAGLIA; RAIJ, 1989; ABREU *et al.*, 2007).

Em solos úmidos, a redução de  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$  ocorre, e é proporcionada pelo aumento da solubilidade de Fe. Esse processo de redução de Fe está fortemente relacionado com o metabolismo de bactérias e pode resultar em uma concentração de  $\text{Fe}^{2+}$  alta em alguns solos submersos como os Gleissolos (PENDIAS, 2012; LOPES, 2015).

#### 2.5.8 Magnésio

O magnésio é adsorvido aos coloides do solo como íon bivalente positivo ( $\text{Mg}^{2+}$ ), apresenta propriedades e comportamento semelhante ao cálcio, no entanto possui maior solubilidade e é mais difícil de precipitar. No solo geralmente ocorre, na forma de carbonatos, constituindo o mineral chamado magnesita, como sulfatos, cloretos e silicatos. Solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica, ácidos, lixiviados, em geral são pobres em magnésio (SENGIK, 2003).

Nos vegetais o magnésio é absorvido como íon bivalente positivo ( $\text{Mg}^{2+}$ ), constitui o átomo central da clorofila sendo fundamental no processo de fotossíntese. As moléculas de clorofila contêm cerca de 2,7% de magnésio. Estimula a formação de açúcares, proteínas, gorduras e vitaminas vegetais. Aumenta a resistência dos vegetais a fatores ambientais adversos, como seca, doenças etc (OLIVEIRA, 2010).

#### 2.5.9 Manganês

O manganês é um dos metais mais abundantes na crosta terrestre, ocorrendo geralmente com o ferro (HEM, 1985; KALWA, 2011). Do ponto de vista ambiental as formas químicas mais importantes são aquelas que contêm  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$  e  $\text{Mn}^{7+}$  (W.H.O, 1996; KALWA, 2011).

Possui ampla aplicação em vários segmentos como na fabricação de ligas metálicas, pigmento na indústria cerâmica, na manufatura de tintas de coloração verde, rósea ou purpura. Também é usado na forma de  $\text{MnO}_2$  no catodo das pilhas, usado ainda como matéria-prima para obtenção de  $\text{KMnO}_4$ ,

um agente oxidante muito utilizado em determinações laboratoriais (W.H.O, 1996; LOPES, 2015).

O  $\text{MnSO}_4$  é utilizado na produção de fertilizantes entre outros empregos. É essencial para os seres vivos no qual participa das enzimas fosfotransferases (crescimento das plantas), no processo de fotossíntese. É o terceiro elemento de transição mais importante na dieta humana (após Fe e Zn). Contudo, o Mn utilizável biologicamente é o  $\text{Mn}^{2+}$ , nos demais números de oxidação é tóxico e o excesso de  $\text{Mn}^{2+}$  provoca desordens neurológicas e motoras (Parkinson mangânico) e problemas respiratórios (ROCHA; AFONSO, 2012; LOPES, 2015). Nas formas insolúveis, o  $\text{Fe}^{3+}$  e o  $\text{Mn}^{4+}$ , estão presentes em vários tipos de solos.

#### 2.5.10 Potássio

O potássio é o sétimo elemento mais abundante na litosfera, estando amplamente distribuído, mas devido a sua alta reatividade e afinidade com outros elementos, nunca ocorre em sua forma elementar. Ocorre em rochas, solos, oceanos, lagos e salinas residuais, embora, raramente seja observado um teor superior a 10% (MARTINS, 2013). Desempenha funções essenciais como ativação enzimática, regulação osmótica e controle de abertura de estômatos, regulação de energia (síntese de ATP), translocação de assimilados, absorção de N e síntese de proteínas e amido (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O conhecimento sobre a dinâmica de disponibilidade de K para as plantas tem sido gerado, em sua maior parte, nas regiões temperadas, principalmente em função de que as fontes de K nos solos de regiões temperadas estão mais associados a origem de formação do solo (Litologia). Nas regiões tropicais, pesquisas têm enfatizado a quantificação de K trocável e a relação existente entre essa forma e a absorção pelas plantas, em função da fração de K nessas regiões estarem mais associadas a matéria orgânica do solo. Dentre os nutrientes essenciais às plantas, é possível que o K seja aquele cuja dinâmica de disponibilidade esteja mais intimamente relacionada com a

composição mineralógica do solo, razão pela qual justifica a existência de estudos que relacionem mineralogia com disponibilidade (MELO *et al.*, 2004).

Os principais minerais ligados à disponibilidade de K nos solos brasileiros são os feldspatos potássicos, micas, vermiculitas e esmectitas que, ao serem intemperizados, liberam-no para a solução do solo, onde será absorvido pelas plantas. Os minerais secundários, produtos da intemperização dos primários, também podem apresentar K na sua estrutura, por esse motivo constituem fontes potenciais de K (CURI *et al.*, 2005).

#### 2.5.11 Sódio

Durante a intemperização dos minerais primários, que compõem a rocha ou o material de origem do solo, através de processos físicos, químicos e biológicos mediados pela ação de fatores como clima, relevo, organismos vivos e o tempo, os sais solúveis que constituem as rochas são liberados dando início à formação do solo, logo em condições naturais o Na presente no solo está intimamente ligado ao seu processo de formação (RICHARDS, 1954; PEDROTTI *et al.*, 2015).

Entretanto esse íon é altamente móvel e solúvel no solo, sendo que fatores geológicos, climáticos e topográficos influenciam sobremaneira nos teores desse elemento no solo (RIBEIRO, 2010).

De maneira geral teores elevados de Na são incomuns em solos argilosos, e comuns em regiões de clima árido e semiárido, por apresentarem déficit hídrico não há condições favoráveis para que ocorra lixiviação. Com a evaporação superando e muito a precipitação, a drenagem dos sais solúveis é deficiente, o que contribui para a acumulação desses sais no perfil e na superfície do solo (AYERS e WESTCOT, 1991; WANDERLEY, 2009).

#### 2.5.12 Zinco

O zinco ocorre em pequenas quantidades em quase todas as rochas ígneas, encontrado principalmente combinado a enxofre e oxigênio, sob a

forma de sulfeto e óxido, associado a Pb, Cu, Ag e Fe. Seus principais depósitos são sulfetos sob a forma de esfalerita (ZnS) (TEIXEIRA *et al.*, 2000; KALWA, 2011).

O Zn é empregado em larga escala na metalurgia, principalmente como constituinte do latão e bronze, na galvanização, em que é depositado como uma camada para inibir a corrosão do aço. O óxido de zinco (ZnO), é um pigmento branco muito utilizado na fabricação de tintas, cosméticos, fármacos, protetores solares, maquiagem, revestimentos plásticos, borracha, aditivo alimentar (HEM, 1985; TEIXEIRA *et al.*, 2000).

O sulfato de zinco (ZnS) é empregado em telas de raios-X e em televisores. Além disso, o Zn é um dos elementos essenciais para quase todas as formas de vida, está presente em várias enzimas distribuídas pelo corpo, importante para o bom funcionamento do sistema imunológico e manutenção do equilíbrio ácido-base no organismo (MEDEIROS, 2012; LOPES, 2015).

## 2.6 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A Análise de Componentes Principais (ACP) é um dos métodos da estatística multivariada, que tem por finalidade identificar a relação entre características extraídas dos dados visando sua redução, eliminação de sobreposições e a escolha das formas mais relevantes dos mesmos a partir de combinações lineares das variáveis originais (MOITA NETO 2009).

Para (Hongyu *et al.*, 2015) a ACP é uma técnica estatística de análise multivariada que transforma linearmente um conjunto original de variáveis, inicialmente correlacionadas entre si, num conjunto substancialmente menor de variáveis não correlacionadas que contém a maior parte da informação do conjunto original.



### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Caracterização de solos de remanescentes florestais de áreas com cobertura vegetal natural da Mesorregião Oeste do Paraná, mediante a determinação de parâmetros físicos e químicos.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Determinar os parâmetros físico-químicos: análise textural, pH, matéria orgânica, carbono orgânico e fósforo;
- b) Determinar os metais disponíveis no solo: alumínio, cálcio, cádmio, chumbo, cobre, crômio, ferro, magnésio, manganês, potássio, sódio e zinco;
- c) Aplicar a análise multivariada nos resultados determinados.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Mesorregião Oeste Paranaense está localizada no terceiro planalto paranaense e abrange uma área de 2.290.859 hectares, que correspondem cerca de 11,5% do território estadual (Figura 3). Essa região faz fronteira com a Argentina e o Paraguai e possui como principais divisas os rios, Piquiri, Paraná e Iguaçu. É constituída por 50 municípios, dos quais se destacam Cascavel, Toledo e Foz do Iguaçu, em função de suas dimensões populacionais e níveis de polarização (IPARDES, 2003).

**Figura 3 - Região Oeste do Paraná**



Fonte: Adaptado de IPARDES (2003).

Dentre as Regiões do Estado, a mesorregião Oeste destaca-se pelo processo de desenvolvimento tecnológico na produção agropecuária. A constituição dos segmentos industriais, principalmente a jusante do setor e através de organizações de cooperativas, bem como a importância das

exportações primárias, definiram a dinâmica da economia regional e sua articulação às economias estadual, nacional e mundial (IPARDES, 2003).

#### 4.2 ÁREAS PROTEGIDAS POR LEI

Entre as áreas protegidas por lei, na Mesorregião Oeste, têm-se áreas situadas em meio rural e urbano cuja maior parte encontra-se a longo da principal bacia de drenagem, a Bacia Hidrográfica do Paraná 3 (BP3). As áreas urbanas são de extrema importância na determinação da qualidade de vida da população, uma vez que atuam sobre o clima, a qualidade do ar, o nível de poluição sonora e na paisagem.

Entre as áreas de conservação federais, destaca-se o Parque Nacional do Iguaçu, com área total de 185.262,20 hectares, criado pelo decreto federal 1.035 de 1939, somada a área contígua argentina, abrange uma área de 225 mil hectares.

A área de conservação Estadual na BP3 é o Parque Estadual da Cabeça do Cachorro (anteriormente enquadrado como Área de Relevante Interesse Ecológico), localizada no município de São Pedro do Iguaçu, com 60,98 ha, criada pelo Decreto Estadual 7.456/1990.

No âmbito municipal destacam-se as seguintes áreas de conservação: Refúgio Biológico Bela Vista no Município de Foz do Iguaçu, com área de 1.920 ha; Área de Proteção Ambiental Cidade Municipal *del Guayrá*, em Terra Roxa, com 10.931,97 ha; a Área de Relevante Interesse Ecológico de Santa Helena (Refúgio Biológico de Santa Helena), com 1.479,79 ha; Parque Ecológico Diva Paim Barth, em Toledo, com 20,66 ha; e o Parque Municipal *Tupã-Mbae*, em Medianeira, com 1,58 ha (IAP/DIBAP, 2010).

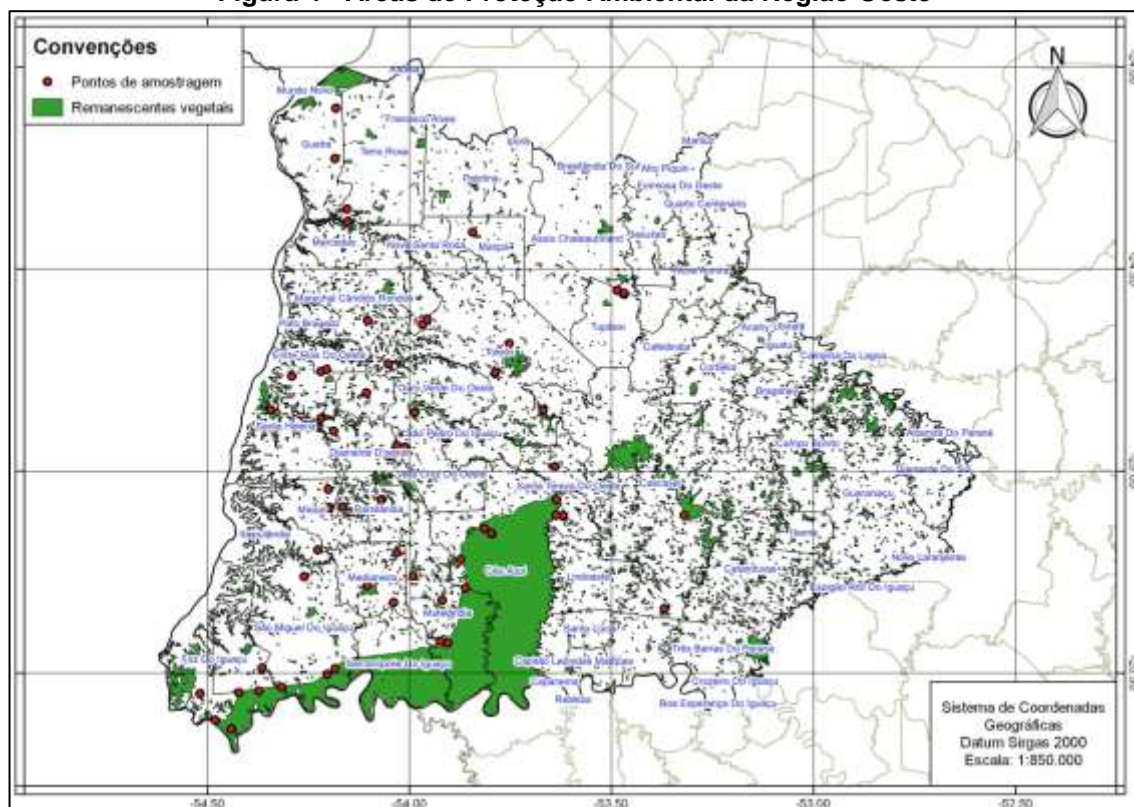
Em meio rural encontram-se as áreas protegidas pelas Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) da BP3, destacam-se mais de 2.080 hectares (IAP/DIBAP, 2010).

Estas áreas consideram locais em potencial para a obtenção de solos naturais de cobertura nativa ou de baixo impacto antrópico. A identificação geográfica desses locais, junto ao órgão ambiental estadual permitiu a definição dos pontos de coleta.

### 4.3 DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA

Para escolha dos locais amostrados foram tomadas as áreas consideradas pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP) e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), como áreas de Proteção ambiental. Através das imagens fornecidas pela ONG (Organização não Governamental) SOS Mata Atlântica usando o *software* Qgis versão 2.14.5 foi possível elaborar o mapa de remanescentes florestais da região Oeste do Paraná (Figura 4). A acessibilidade ao local de coleta também foi considerada.

**Figura 4 - Áreas de Proteção Ambiental da Região Oeste**

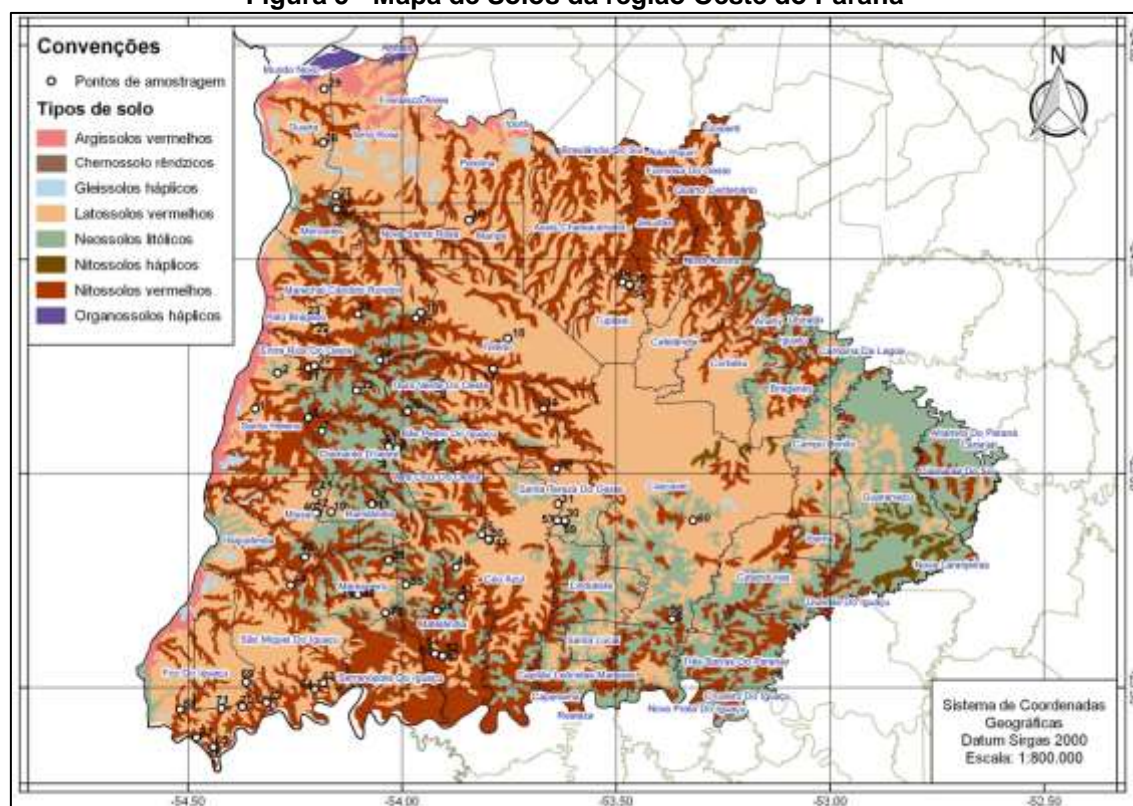


**Fonte: Autoria própria**

Em seguida foi feita uma sobreposição com a carta de solos Paraná com o intuito de contemplar o máximo possível de tipos de solo existentes na área amostrada. O mapa pedológico foi confeccionado usando o mesmo *software* considerou a Base Cartográfica fornecida pelo ITCG - 1999 (Instituto

de Terras, Cartografia e Geociências do Paraná), (Figura 5). Ambos os mapas são fundamentais para o estudo proposto.

**Figura 5 - Mapa de Solos da região Oeste do Paraná**



**Fonte: Autoria própria**

Nos 73 pontos amostrados foram encontradas seis ordens de solos: Latossolo Vermelho (LV), Neossolo Regolítico (RR), Nitossolo Vermelho (NV), Argissolo Vermelho (PV), Chernossolo Rêndzico (MD) e Gleissolo Háplico (GX). Para alguns tipos de solos as informações contidas na carta de solos não eram condizentes com as características dos locais amostrados, sendo necessária abertura de trincheira para o reconhecimento do solo. As coordenadas geográficas, geologia, características locais, município e tipos de solo dos pontos amostrados são apresentados na Tabela 1.

Continua

Tabela 1 – Coordenadas geográficas, Formação geológica, características locais e tipos de solo

Ponto	Coordenadas Geográficas		Geologia *		Município	Solo	Características dos locais de amostragem
	S	W	Formação/Tipo de Rocha	Unidade			
1	24°50'55.38"	54°20'35.99"	Serra Geral/Basalto	RL	S.H	LV	Lavoura de soja no entorno
2	24°45'54.74"	54°17'27.49"	Serra Geral/Basalto	RL	S.H	RR	Pastagem no entorno
3	24°50'57.26"	53°40'9.82"	Serra Geral/Basalto	RE	C.VEL	NV	Pastagem no entorno
4	24°57'47.17"	54° 3'3.19"	Serra Geral/Basalto	RPPN	D.O	RR	Pastagem no entorno
5	24°56'27.04"	54° 0'41.47"	Serra Geral/Basalto	RL	V.C.O	RR	Pastagem e lavoura no entorno
6	24°52'10.73"	54°13'8.68"	Serra Geral/Basalto	RL	D.O	NV	Lavoura e eucalipto no entorno
7	24°54'4.57"	54°11'14.75"	Serra Geral/Basalto	RL	D.O	RR	Lavoura e pastagem no entorno
8	24°47'59.26"	53°54'55.98"	Serra Geral/Basalto	RL	O.V	RR	Lavoura e pastagem no entorno
9	24°47'26.15"	53°55'36.36"	Serra Geral/Basalto	RL	O.V	RR	Lavoura e pastagem no entorno
10	25° 4'13.95"	54° 4'5.46"	Serra Geral/Basalto	RL	R	RR	Pastagem no entorno
11	25° 4'18.01"	54° 4'13.80"	Serra Geral/Basalto	RL	R	RR	Pastagem no entorno
12	25° 5'22.39"	54° 9'56.93"	Serra Geral/Basalto	RPPN	R	RR	Pastagem no entorno
13	24°45'29.25"	53°47'17.99"	Serra Geral/Basalto	RL	T	NV	Lavoura de soja no entorno
14	24°45'21.30"	53°47'14.66"	Serra Geral/Basalto	RL	T	RR	Lavoura de soja no entorno
15	24°41'4.46"	53°45'11.70"	Serra Geral/Basalto	RPPN	T	LV	Lavoura de soja e suinocultura no entorno
16	24°38'15.73"	53°58'3.87"	Serra Geral/Basalto	RL	Q.P	NV	Lavoura de soja no entorno
17	24°37'26.37"	53°57'22.12"	Serra Geral/Basalto	RL	Q.P	NV	Pastagem e suinocultura no entorno
18	24°26'20.10"	53°58'45.11"	Serra Geral/Basalto	RL	N.S.R	LV	Lavoura de soja no entorno
19	24°24'31.72"	53°50'37.19"	Serra Geral/Basalto	RL	M	LV	Lavoura de soja no entorno
20	24°45'13.29"	54°13'8.35"	Serra Geral/Basalto	RL	E.R.O	NV	Lavoura de soja no entorno
21	24°44'55.22"	54°12'16.62"	Serra Geral/Basalto	RL	E.R.O	GX	Pastagem e suinocultura no entorno
22	24°38'42.97"	54°12'15.39"	Serra Geral/Basalto	RL	P.B	NV	Lavoura e pastagem no entorno
23	24°38'6.07"	54°15'31.00"	Serra Geral/Basalto	RL	P.B	LV	Lavoura de soja e suinocultura no entorno
24	24°44'6.82"	54° 3'8.04"	Serra Geral/Basalto	RL	M.C.R	RR	Pastagem no entorno
25	24°37'40.01"	54° 6'11.79"	Serra Geral/Basalto	RL	M.C.R	NV	Lavoura de soja e suinocultura no entorno



Continua

Coordenadas geográficas			Geologia *				
Ponto	S	W	Formação/Tipo de Rocha	Unidade	Município	Solo	Características dos locais de amostragem
26	24°22'56.60"	54° 9'11.00"	Serra Geral/Basalto	RL	M	RR	Lavoura e pastagem no entorno
27	24°21'6.12"	54° 9'15.88"	Serra Geral/Basalto	RL	T.R	NV	Lavoura e pastagem no entorno
28	24°13'36.63"	54°11'3.97"	Serra Geral/Basalto	RPPN	G	LV	Lavoura de soja no entorno
29	24° 6'6.87"	54°10'55.60"	Caiuá/Arenito	RL	G	PV	Lavoura de soja no entorno
30	25° 6'44.20"	53°37'10.17"	Serra Geral/Basalto	RL	S.T.O	MD	Lavoura e pastagem no entorno
31	24°59'20.33"	53°38'23.74"	Serra Geral/Basalto	RL	S.T.O	LV	Lavoura de soja no entorno
32	24°51'18.31"	53°59'14.98"	Serra Geral/Basalto	RL	S.P.I	NV	Lavoura de soja no entorno
33	24°48'23.22"	54° 6'23.79"	Serra Geral/Basalto	RL	S.J.P	RR	Lavoura e pastagem no entorno
34	24°33'11.08"	53°29'6.96"	Serra Geral/Basalto	RL	TU	LV	Lavoura de soja no entorno
35	24°33'45.51"	53°28'5.60"	Serra Geral/Basalto	RL	TU	NV	Lavoura de soja no entorno
36	24°33'34.25"	53°28'7.82"	Serra Geral/Basalto	RL	TU	LV	Lavoura de soja no entorno
37	25°19'12.12"	53°55'9.23"	Serra Geral/Basalto	RL	MA	NV	Lavoura de soja no entorno
38	25°15'34.91"	53°59'27.24"	Serra Geral/Basalto	RL	MA	RR	Lavoura e pastagem no entorno
39	25°12'9.03"	54° 1'53.72"	Serra Geral/Basalto	RL	ME	NV	Lavoura e pastagem no entorno
40	25° 5'32.20"	54°11'59.87"	Serra Geral/Basalto	RL	MI	RR	Lavoura e suinocultura no entorno
41	25° 5'24.88"	54°11'55.40"	Serra Geral/Basalto	RL	MI	GX	Alagado e pastagem no entorno
42	25° 2'43.70"	54°12'2.27"	Serra Geral/Basalto	RL	MI	LV	Lavoura e pastagem no entorno
43	25°11'42.85"	54°13'36.27"	Serra Geral/Basalto	RL	I	NV	Lavoura de soja no entorno
44	25°15'40.56"	54°15'37.85"	Serra Geral/Basalto	RL	S.M.I	NV	Lavoura de soja no entorno
45	25° 9'19.80"	53°47'45.02"	Serra Geral/Basalto	PARNA	C.A	RR	Mata nativa PARNA entorno
46	25° 9'13.25"	53°47'52.12"	Serra Geral/Basalto	PARNA	C.A	RR	Mata nativa PARNA entorno
47	25° 8'32.17"	53°48'51.84"	Serra Geral/Basalto	PARNA	C.A	LV	Mata nativa PARNA entorno
48	25°16'57.50"	54° 6'15.37"	Serra Geral/Basalto	RL	ME	NV	Cidade no entorno
49	25°16'59.34"	54° 6'13.61"	Serra Geral/Basalto	RL	ME	RR	Cidade no entorno
50	25°13'9.26"	53°52'24.58"	Serra Geral/Basalto	PARNA	C.A	LV	Lavoura e pastagem no entorno
51	25°17'22.58"	53°51'41.15"	Serra Geral/Basalto	PARNA	C.A	NV	Lavoura e pastagem no entorno

## Conclusão

Coordenadas geográficas			Geologia *				
Ponto	S	W	Formação/Tipo de Rocha	Unidade	Município	Solo	Características dos locais de amostragem
52	25°21'6.18"	53°52'25.14"	Serra Geral/Basalto	PARNA	MA	NV	Lavoura de soja no entorno
53	25°19'13.60"	53°55'8.63"	Serra Geral/Basalto	PARNA	MA	NV	Lavoura e pastagem no entorno
54	25°25'34.27"	53°54'18.65"	Serra Geral/Basalto	PARNA	MA	NV	Lavoura de soja no entorno
55	25°25'15.55"	53°55'23.85"	Serra Geral/Basalto	PARNA	MA	LV	Lavoura e pastagem no entorno
56	25°20'24.66"	53°22'8.46"	Serra Geral/Basalto	PARNA	C.VEL	RR	Lavoura e pastagem no entorno
57	25° 4'16.06"	53°38'9.36"	Serra Geral/Basalto	PARNA	S.T.O	RR	Lavoura e pastagem no entorno
58	25° 6'34.54"	53°38'13.36"	Serra Geral/Basalto	PARNA	S.T.O	LV	Lavoura e pastagem no entorno
59	25° 6'36.25"	53°37'10.70"	Serra Geral/Basalto	RL	S.T.O	MD	Pastagem no entorno
60	25° 6'34.14"	53°19'12.46"	Serra Geral/Basalto	RL	C.VEL	LV	Lavoura e pastagem no entorno
61	24°56'12.80"	54° 1'52.82"	Serra Geral/Basalto	RL	V.C.O	RR	Lavoura e pastagem no entorno
62	25°29'20.52"	54°11'2.47"	Serra Geral/Basalto	PARNA	S.M.I	LV	Lavoura de soja no entorno
63	25°30'11.90"	54°12'13.68"	Serra Geral/Basalto	PARNA	S.M.I	NV	Lavoura de soja no entorno
64	25°32'5.95"	54°19'0.64"	Serra Geral/Basalto	PARNA	S.M.I	NV	Lavoura e pastagem no entorno
65	25°38'19.74"	54°26'28.41"	Serra Geral/Basalto	PARNA	F.I	LV	Mata nativa PARNA entorno
66	25°38'16.94"	54°26'24.25"	Serra Geral/Basalto	PARNA	F.I	LV	Mata nativa PARNA entorno
67	25°37'0.55"	54°28'48.94"	Serra Geral/Basalto	PARNA	F.I	NV	Lavoura e pastagem no entorno
68	25°33'4.79"	54°31'6.69"	Serra Geral/Basalto	RL	F.I	LV	Lavoura e pastagem no entorno
69	25°29'14.28"	54°21'51.94"	Serra Geral/Basalto	RPPN	S.T.I	LV	Lavoura e pastagem no entorno
70	25°32'39.66"	54°22'23.24"	Serra Geral/Basalto	PARNA	S.T.I	NV	Lavoura e pastagem no entorno
71	25°32'54.95"	54°25'19.78"	Serra Geral/Basalto	PARNA	S.T.I	GX	Alagado com lavoura no entorno
72	24°55'5.20"	53°54'44.24"	Serra Geral/Basalto	RB	S.P.I	RR	Lavoura e pastagem no entorno
73	25°19'30.80"	54° 2'19.76"	Serra Geral/Basalto	RPPN	ME	LV	Lavoura e pastagem no entorno

\*Fonte: Mineropar (2001). Legenda: RL – Reserva Legal; RE – Recanto Ecológico; RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural; PARNA – Parque Nacional; RB – Reserva Biológica; S.H – Santa Helena; C.VEL – Cascavel; D.O – Diamante do Oeste; V.C.O – Vera Cruz do Oeste; O.V – Ouro Verde; R – Ramilândia; T – Toledo; Q.P – Quatro Pontes; N.S.R – Nova Santa Rosa; M – Mercedes; E.R.O – Entre Rios do Oeste; P.B – Pato Bragado; M.C.R – Marechal Candido Rondon; T.R – Terra Rocha; G – Guaíra; S.T.O – Santa Tereza do Oeste; S.P.I – São Pedro do Iguaçu; S.J.P – São José das Palmeiras; TU – Tupãssi; MA – Matelândia; ME – Medianeira; MI – Missal; I – Itaipulândia; S.M.I – São Miguel do Iguaçu; C.A – Céu Azul; F.I – Foz do Iguaçu; S.T.I – Santa Teresinha de Itaipu.



A ocorrência de Latossolos predomina no estado em 31%, a planície litorânea e as áreas mais declivosas do estado apresentam a menor ocorrência dessa classe de solo. Os Neossolos são predominantes em 22% do território paranaense, ocorrendo em todas as regiões, porém com pouca incidência na região noroeste. Nitossolos ocupam 15% do território paranaense, principalmente nas regiões de rochas basálticas (norte, oeste e sudoeste do estado) e em relevos moderadamente declivosos (LIMA, 2012).

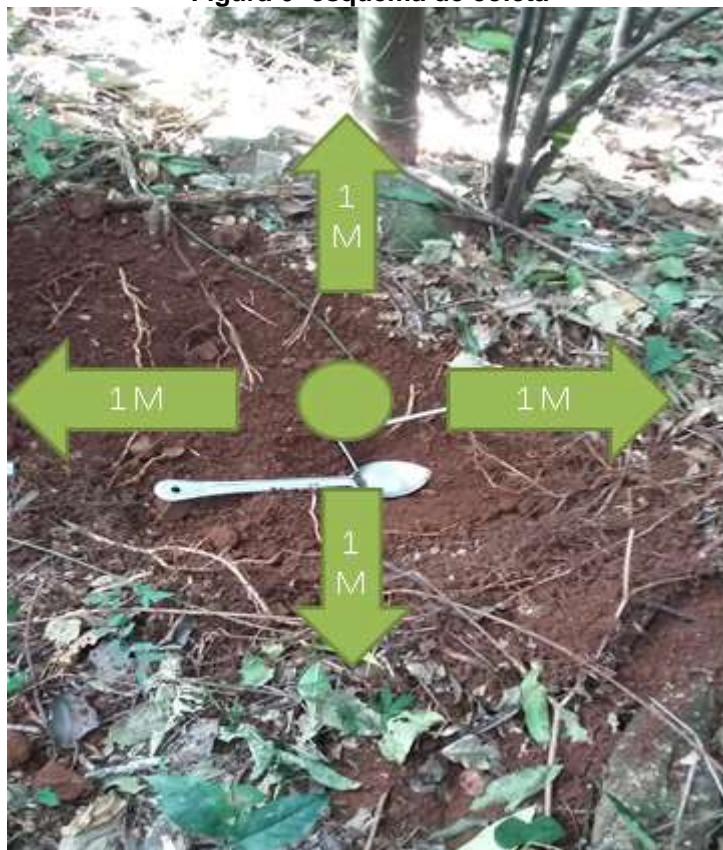
Argissolos ocorrem em 15,5% do território paranaense, desde o litoral até o noroeste. Contudo, são escassos nas regiões de rochas basálticas (norte, oeste e sudoeste do estado). Normalmente ocupam relevos moderadamente declivosos. Gleissolos e Chernossolos ocupam menos de 2% do território do estado, e geralmente ocorrem em áreas planas ou abaciadas, várzeas e banhados dos rios, nas quais geralmente apresentam excesso de água (EMBRAPA, 2007).

#### 4.4 PROCEDIMENTOS PARA COLETA E PREPARO DE AMOSTRAS

As coletas seguiram calendário específico, no qual foram adotados procedimentos de manuseio, preservação, acondicionamento e transporte de acordo com normas nacionais e internacionais, respeitando-se os prazos de validade, juntamente com as características regionais (CONAMA, 2009).

Para obtenção das amostras foi necessário fazer a limpeza da área de coleta inclusive a serapilheira, posteriormente, com o uso de uma pequena enxada de aço inoxidável, o solo foi perfurado em cinco pontos equidistantes a um metro um do outro (Figura 6).

Figura 6- esquema de coleta



Fonte: Autoria própria

Em seguida, com o uso de uma pá também de aço inoxidável foram retiradas cinco subamostras em profundidade de 0 a 20 cm, que após homogeneizadas, formaram uma amostra composta. Na sequência, foram acondicionadas em sacos plásticos para análises inorgânicas, e em recipientes de alumínio para determinações orgânicas com identificação de nome do município, tipo de solo de acordo com a carta de solos do Paraná.

#### 4.5 ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

A análise textural foi determinada de acordo com o método da pipeta na qual foi pesado 20g de amostra de TFSA, adicionado 100 mL de água destilada e 25 mL de Hidróxido de Sódio  $1 \text{ mol L}^{-1}$ . Na sequência agitado em *shaker* por 16 horas a 150 ciclos por minuto, peneirado em malha 0,053 mm, 20 cm de diâmetro, sendo a fração de areia total retida na peneira, seca em estufa por 24 horas, e a fração silte e argila foram pipetadas alíquotas de 25

mL em tempos distintos de acordo com a lei de Stokes, e secas em estufa por 24 horas, e realizados os cálculos necessários (EMBRAPA, 1997; EMBRAPA, 2012). Devido a elevada discrepância entre as medidas (elevado desvio padrão), obtidos com a metodologia utilizada, neste estudo foi usado o somatório da fração argila + silte na discussão dos resultados.

O potencial hidrogeniônico no solo foi determinado imediatamente após a chegada das amostras ao laboratório. O método utilizado estimou a atividade dos íons  $H^+$  na suspensão do solo, utilizando  $CaCl_2 \ 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$  para a manutenção do equilíbrio iônico da solução. Foram transferidos  $8 \text{ cm}^3$  de solo para um béquer de poliuretano de 60 mL e adicionados 20 mL de  $CaCl_2 \ 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ . A solução foi agitada durante 15 minutos a 250 rpm e a leitura foi efetuada com o uso de um potenciômetro, após 30 minutos (PAVAN *et al.*, 1992).

A matéria orgânica (MO) foi determinada pela técnica de gravimetria (KIEHL, 1985). Os cadinhos foram secos em estufa a  $100 - 110 \text{ }^\circ\text{C}$  durante três horas, retirados para esfriar em dessecador, em seguida foram pesadas alíquotas de aproximadamente 5g de amostra em balança analítica com quatro casas decimais, e transferidas para a mufla a  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  durante uma hora, em seguida pesados e realizados os cálculos.

O carbono orgânico total (CO) foi obtido dividindo-se os teores de matéria orgânica pelo fator de Van Bemmelen (1,724). A aplicação deste fator baseia-se no pressuposto de que a matéria orgânica é constituída por 58% de carbono orgânico total, sendo muito utilizado para estimar quantitativamente a fração orgânica de solo.

A determinação de Fósforo foi realizada por extração em solução de Mehlich (mistura de  $H_2SO_4 \ 0,025N + HCl \ 0,05N$ ) e determinação por colorimetria, conforme (PAVAN *et al.*, 1992).

#### 4.6 ELEMENTOS METÁLICOS DISPONÍVEIS

Para quantificar os teores de elementos metálicos disponíveis alumínio, cálcio, cádmio, chumbo, cobre, crômio, ferro, magnésio, manganês, potássio,

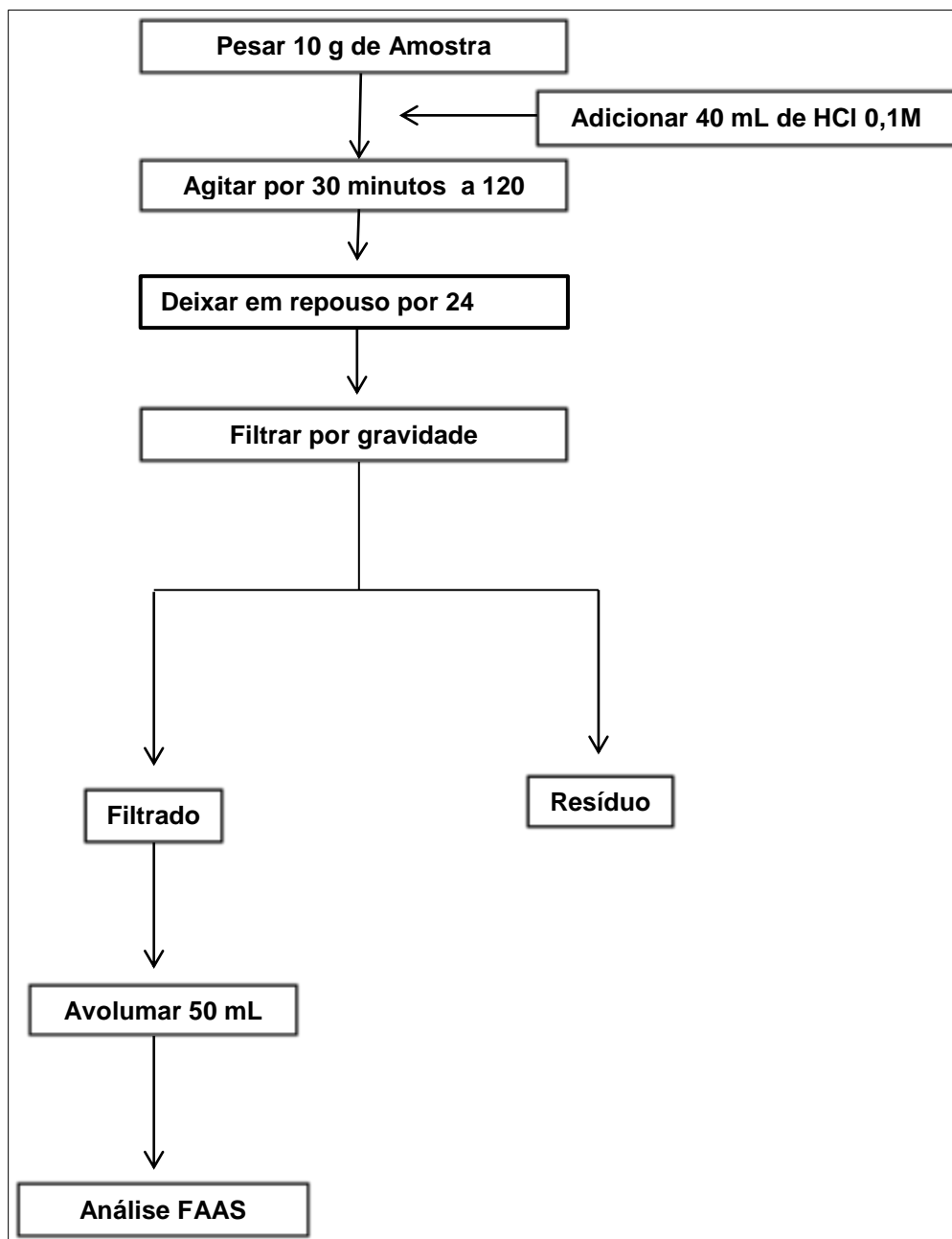
sódio e zinco foi empregada a extração ácida das amostras de solos com HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> (TEDESCO, 1995; PELOZATO, 2008).

A metodologia escolhida para ser usada neste estudo é recomendada também pela Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CFSR/SC, 2004).

Pereira *et al.*, (2001) compararam três métodos de abertura de amostras em 103 amostras de horizontes superficiais de solos representativos do Estado do Rio de Janeiro, e concluíram que o extrator HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> foi o que apresentou maior capacidade de extração de Cu, Fe, Zn e Mn, quando comparado com o DTPA-TEA e o Mehlich-1.

O método HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> consiste em dispor ao meio aquoso apenas a fração de metais ambientalmente disponíveis, na qual foi pesado aproximadamente 10 g de TFSA, transferida para *erlenmeyer*, adicionado 40,00 mL de HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> e agitadas em agitador horizontal, a 120 rpm, durante 30 minutos a 25 °C. Após a agitação, as amostras permaneceram em repouso por 24 horas e após este período as suspensões foram coletadas e filtradas e armazenadas em frasco de vidro a 4 °C para em seguida fazer as análises por espectrometria de absorção atômica (TEDESCO, 1995; PELOZATO, 2008). Este procedimento está descrito no fluxograma da Figura 7.

**Figura 7 - Fluxograma do procedimento de extração ácida para estudo dos íons metálicos disponíveis no solo**



**Fonte: Autoria própria**

Os extratos foram submetidos a espectrofotometria de absorção atômica, (*Flame Atomic Absorption Spectrometer*) (Variam – spectra AA-220). O FAAS, foi calibrado com o uso de soluções padrão de 1000 ppm dos íons metálicos em estudo por meio calibração externa na faixa linear para cada analito. As medidas de absorbância foram realizadas no modo de integração de

área. As quantificações nas amostras ocorreram através da curva de calibração obtida com os padrões dos metais avaliados.

O método foi validado por meio da avaliação da linearidade e análise de regressão das curvas de calibração para cada metal, pela determinação dos limites de quantificação e detecção.

Para a linearidade, foi considerado como critério o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), sendo este adequado quando próximo de 100%.

O Limite de Detecção (LD) permite estimar a menor concentração em que o analito possa ser detectado, mas não necessariamente quantificado. Já o Limite de Quantificação (LQ) representa a menor concentração de um analito que pode ser medido (RIBANI *et al.*, 2004; LOPES, 2014). Para ter maior precisão estatística, uma maior concentração precisa ser registrada para o LQ. O cálculo do LD e o LQ foram baseados em parâmetros da curva analítica, o limite de detecção (equação 1) e o limite de quantificação (equação 2) podem ser expressos como:

$$LD = 3 \times \frac{s}{S} \quad (1)$$

$$LQ = 10 \times \frac{s}{S} \quad (2)$$

Na qual o  $s$  é a estimativa do padrão da resposta que pode ser a estimativa do desvio padrão do branco, e o  $S$  é o coeficiente angular da curva analítica.

#### 4.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos foram avaliados por análise estatística descritiva. As possíveis relações entre íons metálicos e parâmetros de caracterização físicos e químicos complementares foram verificados a partir do estudo da existência de uma possível relação linear entre dois dos fatores quantitativos com o uso do coeficiente  $r$ .

Para verificar similaridades e diferenças entre as amostras de solo com relação aos parâmetros de caracterização e metais foi aplicada Análise de

Componentes Principais (ACP). Esta foi realizada através da determinação da distância entre os dados das amostras, calculados considerando as médias das variáveis. Toda a análise estatística foi realizada usando o *software estatística* 10.0 ao nível de significância de 95%.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 TIPOS DE SOLOS NA ÁREA DE ESTUDO

O atual sistema de identificação, classificação e mapeamento dos solos (Embrapa, 2013) classifica os solos em 13 ordens distintas, sendo que no Paraná Latossolos, Neossolos, Nitossolos e Argissolos são as ordens mais representativas, conforme Tabela 2. As demais ordens Cambissolos, Gleissolos, Chernossolos e Organossolos ocorrem em menor proporção (LIMA 2012).

**Tabela 2- Ocorrências de solos no Paraná e percentual do conjunto de amostra**

<b>Solos do Estado</b>	<b>Ocorrência (%)</b>	<b>Solos dos pontos amostrados</b>	<b>Ocorrência (%)</b>
Latossolos	31	Latossolo Vermelho	28,76
Neossolos	22	Neossolo Regolítico	30,13
Argissolos	15,5	Argissolo Vermelho	1,36
Nitossolos	15	Nitossolo Vermelho	32,87
Gleissolos	1	Gleissolo Háptico	4,10
Cambissolos	11	Chernossolo Rêndzico	2,73
Espodossolos	0,5	-	-
Organossolos	0,5	-	-

**Fonte: LIMA, 2012.**

**Nota: (-) Solos não coletados/encontrados.**

Os solos Latossolos possuem maior ocorrência no estado, seguidos de Neossolos, Argissolos e Nitossolos. No conjunto de amostra a maior porcentagem de solos coletados são de solos NV, seguidos por RR, LV, GX, MD e PV.

O solo Argissolo representa 15,5% de ocorrência no estado do Paraná, na região amostrada apenas 1,36%, isso se deve pelo fato de que nas regiões de rochas basálticas norte, oeste e sudoeste do estado esses solos são de pouca ocorrência. De acordo com Lima (2012), os solos Argissolos ocorrem predominantemente do litoral até o noroeste do estado.

Os tipos de solos e a ocorrência variam em função da atuação do material de origem, clima, relevo, tempo e organismos e os processos como a adição, remoção, translocação e transformação, dessa forma os solos encontrados em cada estação amostral refletem sua história, desde sua



gênese até o presente. A atuação de fenômenos físicos e químicos no material de origem provoca progressivas transformações e determina as características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas dos solos formados (GHIDIN *et al.*, 2006).

## 5.2 CARACTERIZAÇÕES DOS PARÂMETROS COMPLEMENTARES

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos parâmetros de caracterização areia, argila + silte, pH, matéria orgânica, carbono orgânico e fósforo total, expressos de acordo com as respectivas classes de solo.

Tabela 3 – Parâmetros de caracterização físicos e químicos para as amostras de solo						Continua
Ponto	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	A + S (g kg <sup>-1</sup> )	pH	M.O (%)	C.O (%)	Pt (mg kg <sup>-1</sup> )
PV 29	844,04 ± 0,8	155,95 ± 0,4	3,72 ± 0,1	1,90 ± 0,1	1,05 ± 2.10 <sup>-3</sup>	3,75 ± 1,3
MD 30	450,48 ± 3,9	549,51 ± 2	5,36 ± 0,1	13,22 ± 0,1	7,34 ± 1.10 <sup>-3</sup>	7,27 ± 3,3
MD 59	325,45 ± 1,6	674,54 ± 2,3	5,39 ± 2.10 <sup>-4</sup>	14,51 ± 0,1	8,06 ± 1.10 <sup>-3</sup>	2,15 ± 0,5
GX 21	148,65 ± 0,5	851,34 ± 1,2	5,26 ± 4.10 <sup>-3</sup>	3,88 ± 0,1	2,15 ± 3.10 <sup>-3</sup>	3,97 ± 0,4
GX 41	323,78 ± 3	676,21 ± 0,1	5,37 ± 1.10 <sup>-4</sup>	8,91 ± 0,1	4,95 ± 0,4	2,68 ± 1
GX 71	133,58 ± 1,5	866,41 ± 2	3,65 ± 5.10 <sup>-3</sup>	13,59 ± 0,2	7,55 ± 2.10 <sup>-3</sup>	2,50 ± 0,5
LV 1	105,56 ± 2	894,43 ± 1	5,34 ± 9.10 <sup>-3</sup>	11,49 ± 0,1	6,45 ± 0,1	4,20 ± 1
LV 15	110,77 ± 0,3	889,22 ± 0,8	3,61 ± 2.10 <sup>-3</sup>	13,48 ± 0,1	7,49 ± 2.10 <sup>-3</sup>	3,60 ± 0,4
LV 18	80,10 ± 0,1	919,89 ± 0,2	4,55 ± 4.10 <sup>-3</sup>	11,43 ± 3.10 <sup>-3</sup>	6,35 ± 6.10 <sup>-3</sup>	9,71 ± 0,3
LV 19	169,16 ± 0,1	830,83 ± 1	6,21 ± 0,2	11,71 ± 0,1	6,51 ± 2.10 <sup>-3</sup>	4,17 ± 0,8
LV 23	103,30 ± 0,1	896,69 ± 3,3	5,52 ± 0,2	11,31 ± 0,2	6,28 ± 1.10 <sup>-3</sup>	2,80 ± 2.10 <sup>-3</sup>
LV 28	146,44 ± 0,1	853,55 ± 0,2	5,43 ± 1.10 <sup>-3</sup>	12,92 ± 0,1	7,17 ± 4.10 <sup>-3</sup>	2,90 ± 0,5
LV 31	71,95 ± 0,1	928,04 ± 0,7	3,7 ± 3.10 <sup>-3</sup>	18,17 ± 0,1	10,09 ± 2.10 <sup>-3</sup>	5,69 ± 0,8
LV 34	153,63 ± 0,6	846,36 ± 1,7	5,4 ± 2.10 <sup>-3</sup>	11,34 ± 4.10 <sup>-3</sup>	6,30 ± 0,1	0,29 ± 0,4
LV 36	184,63 ± 1,3	815,36 ± 1,8	6,07 ± 6.10 <sup>-3</sup>	10,55 ± 4.10 <sup>-3</sup>	5,86 ± 1.10 <sup>-3</sup>	5,13 ± 3
LV 42	186,27 ± 1,8	813,72 ± 3	5,51 ± 7.10 <sup>-3</sup>	13,12 ± 0,1	7,29 ± 3.10 <sup>-3</sup>	0,84 ± 0,2
LV 47	212,08 ± 0,1	787,91 ± 0,7	5,58 ± 3.10 <sup>-3</sup>	17,49 ± 0,1	9,71 ± 8.10 <sup>-3</sup>	0,85 ± 0,2
LV 50	315,14 ± 2,2	684,85 ± 2	5,64 ± 7.10 <sup>-3</sup>	15,06 ± 0,4	8,37 ± 3.10 <sup>-3</sup>	1,95 ± 0,2
LV 55	256,98 ± 0,3	743,01 ± 0,1	5,56 ± 2.10 <sup>-3</sup>	15,31 ± 0,1	8,50 ± 9.10 <sup>-3</sup>	2,71 ± 0,2
LV 58	190,46 ± 0,1	809,53 ± 0,1	5,19 ± 0,2	14,07 ± 0,1	7,81 ± 3.10 <sup>-3</sup>	2,70 ± 0,8
LV 60	281,46 ± 8.10 <sup>-3</sup>	718,53 ± 9	4,2 ± 0,5	10,00 ± 2.10 <sup>-3</sup>	5,55 ± 0,1	2,87 ± 1
LV 62	100,08 ± 0,3	899,91 ± 1,7	4,89 ± 1	13,99 0,2	7,77 ± 1.10 <sup>-3</sup>	1,41 ± 0,5
LV 65	167,86 ± 1,6	832,13 ± 2,6	5,25 ± 0,5	8,77 ± 0,1	4,87 ± 0,3	0,85 ± 0,2
LV 66	190,10 ± 2	809,89 ± 0,4	5,14 ± 0,2	9,37 ± 0,6	5,20 ± 0,5	0,11 ± 0,2
LV 68	72,94 ± 0,7	927,05 ± 0,2	5,20 ± 1	11,11 ± 0,1	6,17 ± 5.10 <sup>-3</sup>	3,07 ± 0,9
LV 69	107,33 ± 2	892,66 ± 1,1	5,38 ± 2,9	11,76 ± 0,1	6,53 ± 0,1	4,16 ± 0,7
LV 73	209,56 ± 0,8	790,43 1 ± 1,2	4,59 ± 5.10 <sup>-3</sup>	9,78 ± 0,1	5,43 ± 0,1	5,29 ± 1,3
NV 3	230,64 ± 0,5	769,35 ± 0,2	5,1 ± 2.10 <sup>-3</sup>	12,70 ± 3.10 <sup>-3</sup>	7,05 ± 0,1	4,87 ± 1,9

## Conclusão

Ponto	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	A + S (g kg <sup>-1</sup> )	pH	M.O (%)	C.O (%)	Pt (mg kg <sup>-1</sup> )
NV 6	65,13 ± 0,2	934,86 ± 1,8	5,83 ± 1.10 <sup>-3</sup>	9,63 ± 0,2	5,35 ± 1.10 <sup>-3</sup>	3,62 ± 1,6
NV 13	143,35 ± 1	856,64 ± 1,3	6,14 ± 0,1	10,57 ± 1.10 <sup>-3</sup>	5,87 ± 0,2	6,37 ± 4
NV 16	295,46 ± 0,1	704,53 ± 0,6	4,72 ± 1.10 <sup>-3</sup>	7,41 ± 0,2	4,12 ± 0,3	3,59 ± 0,5
NV 17	271,97 ± 0,3	728,02 ± 0,6	5,14 ± 1.10 <sup>-3</sup>	8,62 ± 0,1	4,79 ± 0,2	5,24 ± 3,3
NV 20	66,62 ± 0,5	933,37 ± 1,2	6,16 ± 1.10 <sup>-3</sup>	9,45 ± 0,2	5,25 ± 0,6	6,44 ± 3
NV 22	78,35 ± 3	921,64 ± 2	5,26 ± 1.10 <sup>-3</sup>	9,13 ± 1.10 <sup>-3</sup>	5,07 ± 0,2	2,68 ± 0,3
NV 25	292,08 ± 1	707,91 ± 0,4	5,56 ± 1.10 <sup>-3</sup>	10,08 ± 1.10 <sup>-3</sup>	5,60 ± 0,1	2,79 ± 0,5
NV 27	283,47 ± 0,7	716,52 ± 1,4	5,34 ± 0,2	10,80 ± 1.10 <sup>-3</sup>	6,00 ± 1.10 <sup>-3</sup>	3,25 ± 1
NV 32	131,74 ± 1	868,25 ± 0,3	4,76 ± 1.10 <sup>-3</sup>	11,83 ± 1.10 <sup>-3</sup>	6,57 ± 0,8	0,29 ± 1.10 <sup>-3</sup>
NV 35	186,83 ± 6	813,16 ± 4,3	6,15 ± 1.10 <sup>-3</sup>	11,58 ± 0,5	6,43 ± 0,5	3,35 ± 0,4
NV 37	215,30 ± 2	784,69 ± 2,7	6,08 ± 0,4	13,11 ± 0,1	7,28 ± 0,4	0,48 ± 0,2
NV 39	288,59 ± 1	711,40 ± 1,1	5,81 ± 0,1	10,94 1.10 <sup>-3</sup>	6,07 ± 0,4	0,28 ± 0,2
NV 43	97,09 ± 0,05	902,90 ± 1,2	6,21 ± 0,2	12,15 ± 0,01	6,75 ± 0,2	1,40 ± 1
NV 44	452,56 ± 1,4	547,43 ± 2	6,27 ± 0,01	11,20 ± 0,1	6,22 ± 0,03	3,98 ± 3,6
NV 48	261,70 ± 1,3	738,29 ± 1,2	5,82 ± 0,02	11,01 ± 1.10 <sup>-3</sup>	6,12 ± 0,2	24,60 ± 0,2
NV 51	183,80 ± 0,1	816,19 ± 0,9	5,66 ± 2	17,43 ± 0,3	9,68 ± 0,2	3,98 ± 4,1
NV 52	210,99 ± 0,1	789,00 ± 1,2	5,9 ± 0,02	16,70 ± 0,6	9,28 ± 0,3	2,33 ± 0,2
NV 53	250,53 ± 0,05	749,46 ± 0,4	6,08 ± 1.10 <sup>-3</sup>	17,88 ± 0,4	9,93 ± 0,4	2,86 ± 2
NV 54	72,90 ± 1,6	927,09 ± 2,6	5,33 ± 0,1	12,27 ± 1,1	6,81 ± 0,1	5,34 ± 3,4
NV 63	70,24 ± 0,2	929,75 ± 0,3	4,92 ± 0,02	12,86 ± 0,3	7,14 ± 0,1	0,66 ± 1.10 <sup>-3</sup>
NV 64	137,85 ± 0,7	862,14 ± 0,01	5,06 ± 0,04	11,95 ± 0,4	6,64 ± 0,3	0,29 ± 0,5
NV 67	119,71 ± 0,01	880,28 ± 0,6	5,79 ± 0,01	10,17 ± 0,1	5,65 ± 0,05	2,15 ± 1
NV 70	99,13 ± 1,6	900,86 ± 1,5	5,63 ± 0,02	12,62 ± 0,2	7,01 ± 0,3	3,26 ± 1,6
RR 2	563,43 ± 0,8	436,56 ± 1,7	5,42 ± 0,04	13,76 ± 0,8	7,60 ± 0,4	42,66 ± 1,8
RR 4	423,54 ± 0,8	576,45 3,6	5,56 ± 0,2	11,86 ± 0,6	6,59 ± 0,2	8,63 ± 6,5
RR 5	215,38 ± 1,4	784,61 ± 7	5,77 ± 0,1	10,48 ± 0,1	5,82 ± 0,4	1,77 ± 1
RR 7	479,37 ± 2,4	520,62 ± 5,3	5,09 ± 0,01	15,72 ± 0,09	8,73 ± 0,2	7,49 ± 3,4
RR 8	338,83 ± 0,1	661,16 ± 0,5	4,92 ± 0,02	7,31 ± 0,1	4,06 ± 0,1	5,12 ± 2,6
RR 9	387,22 ± 1,1	612,77 ± 4	5,73 ± 1.10 <sup>-3</sup>	10,52 ± 0,2	5,84 ± 0,1	5,66 ± 0,8
RR 10	221,81 ± 0,8	778,18 ± 2	5,54 ± 0,04	9,74 ± 0,4	5,41 ± 0,2	2,89 ± 0,5
RR 11	408,46 ± 2,5	591,53 ± 3	6,21 ± 0,07	11,12 ± 0,08	6,17 ± 0,4	4,35 ± 0,04
RR 12	332,61 ± 0,05	667,38 ± 2	6,19 ± 0,02	8,53 ± 0,2	4,74 ± 0,6	5,98 ± 6,5
RR 14	370,29 ± 1,9	629,70 ± 2,9	6,25 ± 0, 01	9,13 ± 0,3	5,07 ± 0,2	7,05 ± 0,2
RR 24	392,41 ± 3,3	607,58 ± 2,9	5,76 ± 0,03	12,07 ± 0,9	6,70 ± 0,3	8,20 ± 4
RR 26	378,85 ± 1,6	621,14 ± 0,8	5,68 ± 0,01	14,98 ± 0,7	8,32 ± 0,3	5,10 ± 1
RR 33	336,67 ± 0,2	663,32 ± 0,1	5,22 ± 0,1	12,61 ± 0,6	7,00 ± 0,2	2,51 ± 2
RR 38	398,10 ± 0,4	601,89 ± 2,5	6,13 ± 0,1	14,54 ± 0,3	8,07 ± 0,1	3,39 ± 0,2
RR 40	529,54 ± 0,06	470,45 ± 0,6	5,67 ± 0,02	20,06 ± 0,05	11,14 ± 0,2	4,16 ± 0,2
RR 45	357,17 ± 0,6	642,82 ± 0,7	5,00 ± 0,04	9,09 ± 0,06	5,05 ± 0,2	3,41 ± 3,3
RR 46	301,65 ± 0,7	698,34 ± 0,5	5,09 ± 0,01	19,73 ± 0,08	10,96 ± 0,08	2,68 ± 1,8
RR 49	264,75 ± 0,2	735,24 ± 1,7	5,68 ± 0,06	11,03 ± 0,1	6,46 ± 0,5	1,03 ± 1.10 <sup>-3</sup>
RR 56	256,33 ± 0,7	743,66 ± 0,5	5,76 ± 0,1	14,68 ± 0,1	8,15 ± 0,4	3,82 ± 0,3
RR 57	224,37 ± 0,5	775,62 ± 1,6	5,14 ± 0,1	13,86 ± 0,3	7,70 ± 0,08	2,32 ± 0,02
RR 61	133,85 ± 0,7	866,14 ± 0,8	4,91 ± 0,03	11,56 ± 0,2	6,42 ± 0,2	1,38 ± 1
RR 72	240,96 ± 0,2	759,03 ± 0,6	4,36 ± 0,06	5,30 ± 0,08	2,94 ± 0,5	3,23 ± 0,01

**Fonte:** Autoria própria. **Legenda:** PV – Argissolo Vermelho; MD – Chernossolo Rêndzico; GX – Gleissolo Háptico; LV – Latossolo Vermelho; NV – Nitossolo Vermelho; RR – Neossolo Regolítico; A+S – Areia e Silte; pH – Potencial Hidrogeniônico; M.O – Matéria Orgânica; C.O – Carbono Orgânico; Pt – Fósforo Total;  $\pm$  – Desvio padrão.

Os parâmetros de caracterização complementares físicos e químicos apresentados apontam variabilidade entre os teores, sendo que os solos LV e NV apresentaram maiores teores de argila + silte quando comparados aos demais solos. Já os teores de Pt encontrados nos solos LV e NV são semelhantes aos teores dos solos RR, MD e PV. O solo GX apresentou teor de Pt mais baixo entre os demais solos, podendo estar relacionado ao seu caráter hidromórfico. Para o pH os índices foram semelhantes nos solos LV, NV, RR e MD, com um aumento da acidez nos solos GX e PV, que pode estar associado aos processos de lixiviação que ocorre nesses solos. Os teores de MO e CO ficaram próximos para todas as Classes, exceto para o solo PV, que está abaixo dos demais. Este é um solo com horizonte superficial mais arenoso que os demais solos estudados, o que pode ter contribuído na perda da MO através de processos de erosão e lixiviação.

Segundo Costa (2015) as variações de concentrações dos atributos químicos e físicos do solo, são atribuídas às características físicas e químicas de cada solo e também ao material de origem e fatores edafoclimáticos, que influenciam na composição de cada parâmetro. Essas variações nos parâmetros físicos e químicos também se estabeleceram em todos os solos da Mesorregião Oeste.

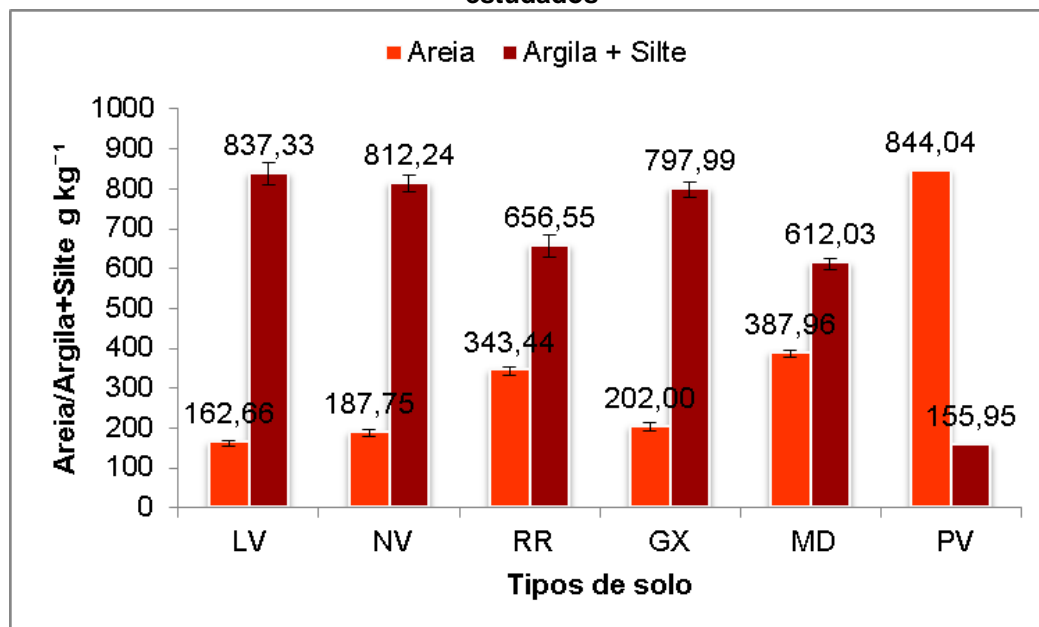
### 5.2.1 Análise textural

A figura 8 apresenta os teores de areia e argila + silte. O menor teor de areia foi encontrado no solo LV, ficando em  $160,26 \text{ g kg}^{-1}$ , seguido pelos solos NV  $180,77 \text{ g kg}^{-1}$ , GX  $200,20 \text{ g kg}^{-1}$ , RR  $340,34 \text{ g kg}^{-1}$ , MD  $380,79 \text{ g kg}^{-1}$  e PV  $840,40 \text{ g kg}^{-1}$ .

Somente no solo PV o teor de areia foi superior ao somatório de argila + silte, quando comparado aos demais solos. Essa maior concentração do teor

de areia no PV pode ser justificada devido a facilidade de migração da argila para o horizonte subsuperficial, conforme já estudado pela (AGEITEC, 2017).

**Figura 8 – Teores médios de Areia e Argila + Silte para as diferentes Ordens de solos estudados**



Fonte: Autoria própria

Outra característica deste solo, que também pode interferir nos teores de areia, está associada a sua posição no relevo, quase sempre no topo da vertente. Essa condição pode favorecer o deflúvio superficial que desloca partículas de menor tamanho das regiões mais altas do relevo para as regiões mais baixas, o que pode contribuir para os baixos teores de partículas pequenas como argila + silte no PV.

Para os solos LV, NV, RR, MD os teores de argila + silte foram sempre superiores aos de areia, indicando que a formação geológica da Serra Geral contribui para formação de partículas de diâmetros menores.

O solo GX apresentou teores de argila + silte parecida com os solos das porções mais altas do relevo de seu entorno LV, NV, RR, o que reforça a contribuição desses solos na sua formação.

Exceto para o solo PV, os teores de argila + silte para os demais solos são semelhantes aos estudos de Rodak *et al.*, (2013) onde encontraram 870,01 e 700,06 g kg<sup>-1</sup> em solos derivados de rochas basálticas no Rio Grande do Sul e Paraná.

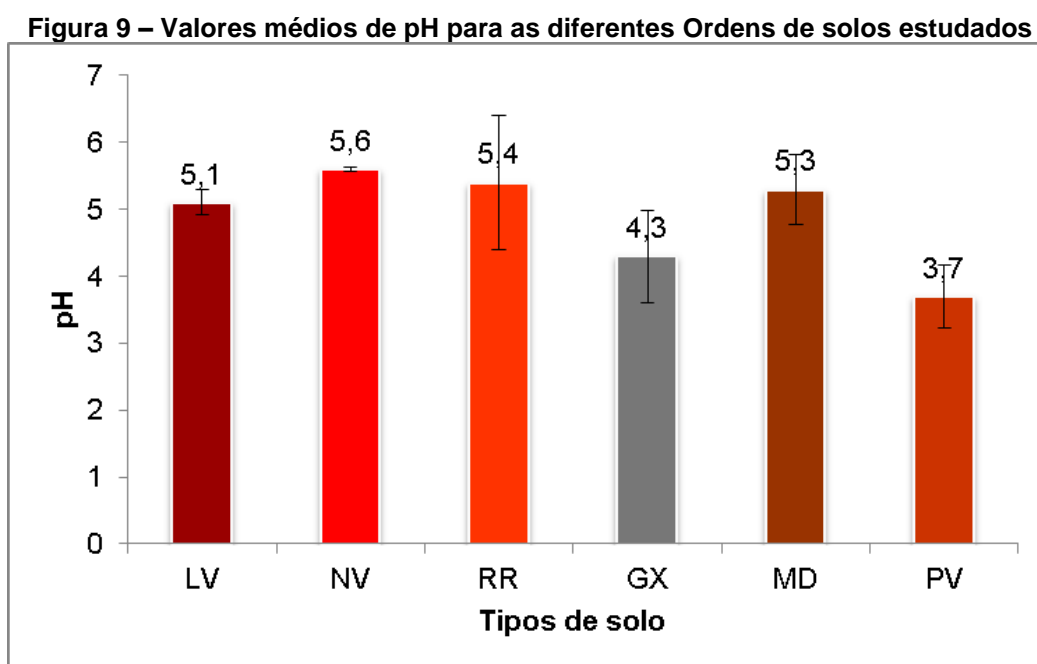
Segundo a Mineropar (2005a; 2005b) o teor médio de 870,20 g kg<sup>-1</sup> de argila + silte foi verificado na região oeste do Paraná sob mata nativa, sem distinguir as classes de solo. Magalhães *et al.*, (2015) também encontraram teor médio de 887,20 g kg<sup>-1</sup> no município de Marechal Cândido Rondon, região oeste do Paraná em LVe e NVd, de regiões agrícolas.

### 5.2.2 pH

Os valores de pH dos solos estudados variaram de 3,7 para o PV à 5,6 para o NV, conforme a Figura 9, indicando características ácidas.

A acidez do solo é representada basicamente pela presença de dois componentes: íons H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup>, estes íons aumentam com a intensa lavagem e lixiviação dos nutrientes do solo, ou pela retirada dos nutrientes catiônicos pela planta (AGEITEC, 2017).

Os valores de pH do solo PV foram os menores da região de estudo. Este solo ocorre geralmente em relevo ondulado, e apresenta altos teores de areia no seu Horizonte A e retêm pouca matéria orgânica, favorecendo processos erosivos e lixiviação de cátions básicos como K, Ca e Mg, aumentando assim a sua acidez (IAC, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2015).



Fonte: Autoria própria

O pH dos solos LV, NV, RR e MD, ficaram entre 5,1 e 5,6. Estes solos também apresentaram maiores teores de MO e argila + silte quando comparado aos demais. O solo GX apresentou pH mais ácido quando comparado aos solos LV, NV e MD e RR, possivelmente provocado por estar em regiões de relevo baixo e geralmente saturado por água, dando a ele um carácter hidromórfico, gerando um decréscimo no potencial eletroquímico conforme descrito também por Coringa *et al.*, (2012).

Cotta (2003), encontrou variações de pH entre 3,9 a 7,7 em amostras procedentes da mata atlântica no sul de São Paulo. Ferreira (2007), ao avaliar diferentes tipos de solos na mata estacional semi-decidual na Bacia do Anhumas em Campinas-SP, encontrou valores entre 4,0 e 6,9 para Latossolos, 4,1 e 6,2 para Nitossolos, 3,8 e 5,8 para Argissolos, estas medidas são semelhantes as obtidas neste estudo, onde obteve-se média simples de pH de 3,7 para PV, 5,1 para LV e 5,6 para NV.

Um estudo realizado em 11 regiões climáticas e geotopográficas distintas, sob mata nativa no Rio Grande do Sul, determinou medidas de pH de 4,6 para PV, 5,2 para LV, 5,3 para NV e 5,1 para MX (SILVEIRA, 2007).

### 5.2.3 Matéria Orgânica

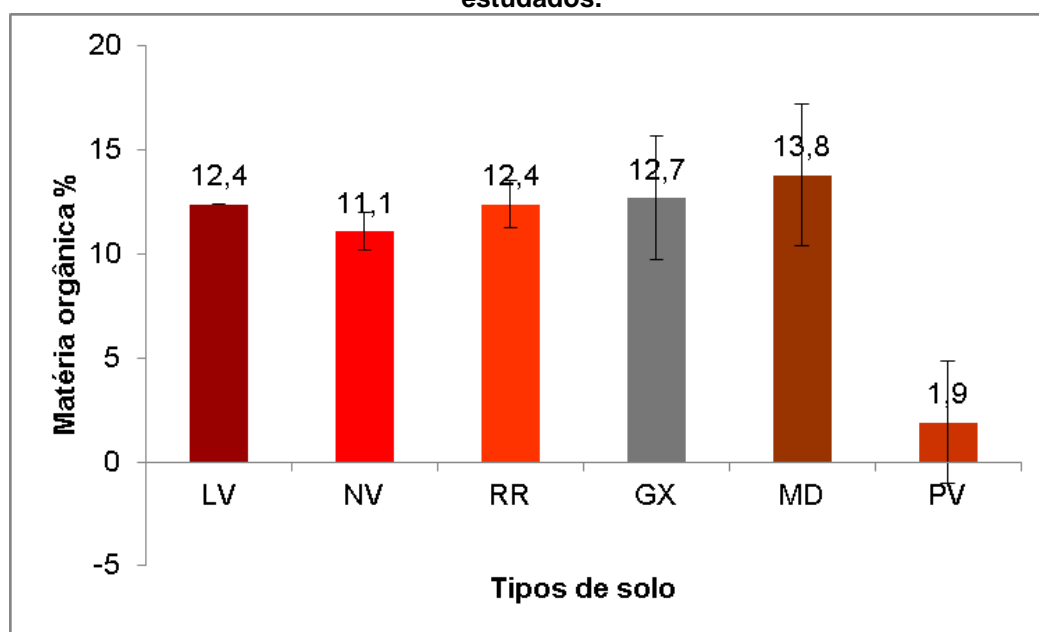
Para a MO, os menores teores foram encontrados em PV (1,9%) e os maiores (13,8%) para os MD, conforme a Figura 10.

O menor teor de MO encontrado no solo PV pode estar associado aos altos teores de areia encontrado nesse solo. De acordo com (Azevedo, Bonumá 2004; Bastos *et al.*, 2005; Burak *et al.*, 2011) o tamanho e origem de partículas do solo influencia na formação de agregados do solo, sendo que partículas maiores que 250 µm contribui para formação de macroagregados do solo, e partículas menores que 250 µm contribuem para formação de microagregados do solo, estando esses componentes intimamente associados a infiltração de água e no controle dos processos erosivos do solo que alteram os teores de MO do solo.

Os demais solos apresentaram teores de MO semelhante entre si, no entanto, a classe MD geralmente apresenta Horizonte A Chernozêmico

(horizonte mineral superficial, relativamente espesso, de cor escura, com alta saturação por bases e rica em MO), este solo obteve os maiores teores de MO entre as Classes estudadas. O GX também possui características distintas dos demais solos, seus teores de MO são geralmente altos devido a atividade biológica anaeróbia em ambiente saturado por água, comum em área de ocorrência desse solo.

**Figura 10 – Teores médios de matéria orgânica para as diferentes Ordens de solos estudados.**



Fonte: Autoria própria

O teor de MO solo é influenciada por características variadas como clima, topografia, material de origem, vegetação e tempo (JENNY, 1961; LA MANNA *et al.*, 2007). Os principais fatores que controlam a formação do humo são temperatura, presença ou ausência de cátions básicos no solo, nitrogênio e drenagem, pois influenciam a atividade biológica, os quais podem variar conforme o tempo e espaço (CERRI; VOLKOFF 1988; MIRANDA *et al.*, 2007).

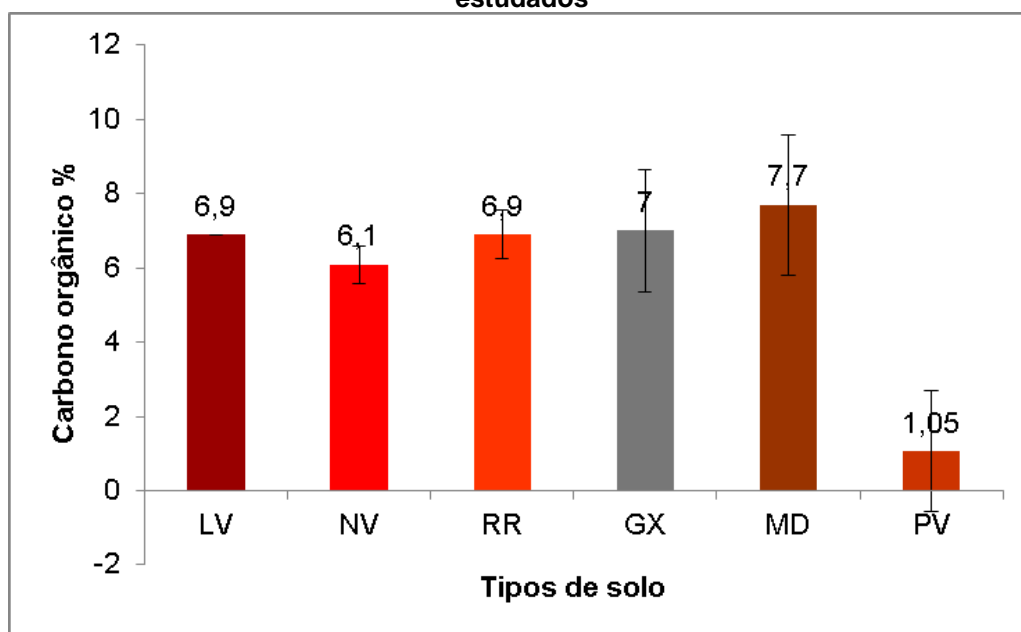
Ao avaliar a qualidade do solo no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira-PETAR, Sul de São Paulo, foram encontradas variações entre 1,5 à 11,1% para matéria orgânica (COTTA, 2003). Ferreira (2007), determinou valores entre 3,1 a 9,1% em solo LV e 2,9 a 4,3% em solo P na mata nativa em Campinas, São Paulo. Estes resultados foram semelhantes aos encontrados nesta pesquisa.

Estudo realizado por Baretta (2007), no Parque Estadual de Campos do Jordão (PECJ), município de Campos do Jordão – SP sob floresta de araucária em solo PVAd de textura argilosa, encontrou teor de matéria orgânica de 15%.

#### 5.2.4 Carbono Orgânico

Os valores de CO determinados nas amostras de solo da região estudada situaram-se entre 1% a 7,7%. Semelhantemente a Matéria Orgânica, o PV apresentou valores inferiores e o MD valores superiores quando comparados aos diferentes solos analisados (Figura 11).

**Figura 11 – Teores médios de carbono orgânico para as diferentes Ordens de solos estudados**



Fonte: Autoria própria

O CO foi determinado por meio do fator de Van Bemmelen, dessa forma os valores variaram na mesma proporção da MO.

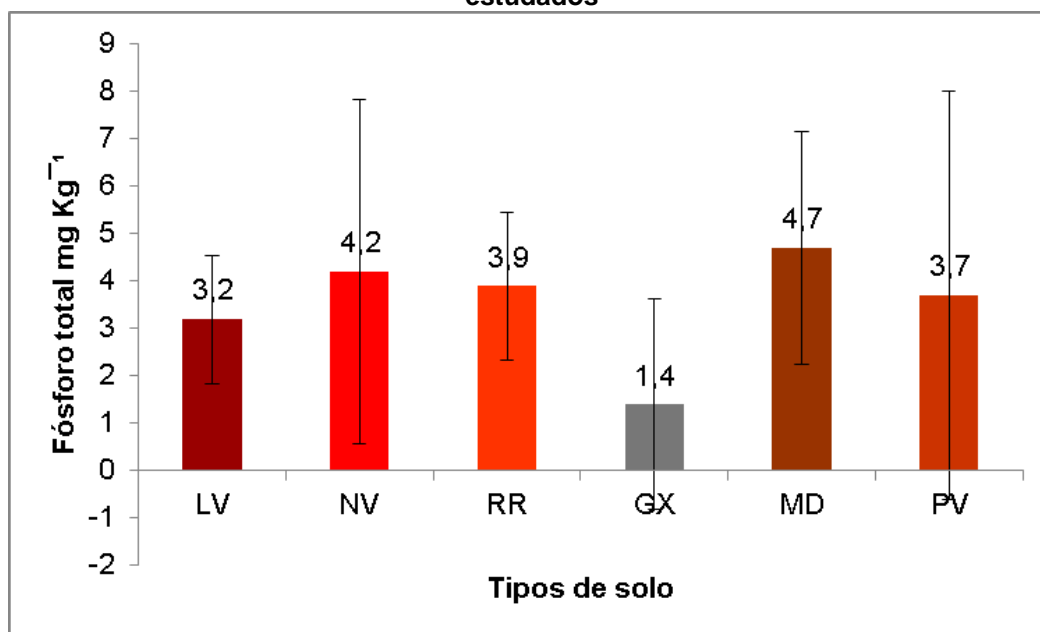
O conteúdo de constituintes orgânicos impõe preponderância de suas propriedades sobre os constituintes minerais. O material do solo será considerado como orgânico quando o teor de carbono for igual ou maior que 80 g kg<sup>-1</sup>, avaliado na fração TFSA, característica essa não encontrada nos solos amostrados, indicando que o solo é de origem mineral (EMBRAPA, 2013).



### 5.2.5 Fósforo

Os valores de fósforo variaram entre 1,4 mg kg<sup>-1</sup> para o solo GX e 4,7 mg kg<sup>-1</sup> para o solo MD, sendo para as demais classes verificadas concentrações intermediárias a estes dois valores (Figura 12).

**Figura 12 – Concentrações médias de fósforo para as diferentes Ordens de solos estudados**



Fonte: Autoria própria

As menores concentrações de Pt no solo GX pode estar associada ao seu carácter hidromórfico e perdas por lixiviação. Os RR e MD são solos de baixo intemperismo, nestes solos o Pt ocorre em minerais primários, na forma orgânica ou mineral. Solos altamente intemperizados como os LV e os NV, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral, conforme também já estudado por (SANTOS *et al.*, 2008).

O teor de Pt mais alto no solo MD, sugere que solos com altos teores de MO tendem a apresentar altos teores de Pt. No estudo de Buschle *et al.*, (2013), em solos de áreas sob vegetação nativa na Planície Litorânea do Estado do Paraná os teores de fósforo variaram de 2,4 a 83 mg kg<sup>-1</sup>, e apresentaram relação positiva entre os teores de argila e carbono orgânico, solos com teores elevados de argila possuem maior capacidade de retenção da matéria orgânica que é rica em P, dessa forma esses três elementos tendem a se relacionar o que já foi amplamente discutido por vários autores (DALTON *et*

*al.*, 1952; WALKER; ADAMS, 1958; SAUNDERS, 1965; TATE; SALCEDO, 1988; HOUSE; DENISON, 2002; BUSCHLE, 2013).

### 5.3 TEORES DE ELEMENTOS METÁLICOS DISPONÍVEIS

Os elementos metálicos escolhidos para este estudo são constituintes naturais do solo ou apresentam elevado risco de contaminação (Cd, Pb e Cr) ao meio ambiente, assim estudar os níveis de concentração em solos preservados é de elevada importância, justificando a sua escolha para geração de valores de referência.

Os íons metálicos se encontram no solo sob diferentes formas, e podem ser determinados nas frações total e lábil. A forma disponível (lábil), é de maior interesse em estudos que visam avaliar o potencial de contaminação desses elementos no solo, pois possuem maior mobilidade. Dessa maneira, facilitam a sua transferência à outros compartimentos ambientais como água sedimentar, organismos e plantas.

As determinações foram realizadas por meio de um equipamento de absorção atômica e as condições utilizadas, bem como os limites de detecção e quantificação calculados, são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4 - Condições experimentais de medida dos íons metálicos por FAAS.**

Metais	$\lambda$ (nm)	i lâmpada (mA)	Fenda (nm)	Chama	LD mg L <sup>-1</sup>	LQ mg L <sup>-1</sup>
Al	309,3	10	0,5	N <sub>2</sub> O/C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	7,27	24,2
Ca	422,7	10	0,5	Ar/C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,31	1,05
Cd	228,8	4	0,5	Ar/C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,02	0,07
Cr	357,9	7	0,2	N <sub>2</sub> O/C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,17	0,58
Cu	324,8	4	0,5	Ar/C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,15	0,51
Fe	248,3	5	0,2	Ar/C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,65	2,17
Mg	285,2	8	0,5	Ar/C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	6,3 <sup>10-4</sup>	7,7 <sup>10-3</sup>
Mn	279,5	5	0,2	Ar/C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	9,8 <sup>10-3</sup>	0,03
Na	589,0	-	-	Ar/C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1,4 <sup>10-3</sup>	4,9 <sup>10-3</sup>
K	766,5	-	-	Ar/C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	3,2 <sup>10-3</sup>	0,01
Pb	217,0	5	1,0	Ar/C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1,06	3,55
Zn	213,9	5	1,0	Ar/C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,02	0,08

Fonte: Autoria própria. Legenda: FAAS – Espectrofotômetro Absorção Atômica com Chama;  $\lambda$ -nm – Comprimento de onda em Nanômetros; i-mA – Corrente da Lâmpada em Milliampère; Fenda – Passagem da chama; LD – Limite de detecção; LQ – Limite de quantificação; N<sub>2</sub>O – Óxido Nítrico; Ar – Ar atmosférico; C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> – Acetileno.

Os valores médios determinados para os elementos metálicos Al, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, e Zn são apresentados na Tabela 5, e ordenados de

acordo com os tipos de solo. Os elementos metálicos Cd, Cr, Pb apresentaram concentrações abaixo do LD.

Continua

Tabela 5 – Teores médios e desvios Padrões em mg kg<sup>-1</sup> de elementos metálicos para todos os tipos de solo

Ponto	Metais								
	Al	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn
<b>PV 29</b>	126,61 ± 23	85,01 ± 1,4	< LD	3,06 ± 0,1	22,86 ± 5,3	11,61 ± 0,7	75,34 ± 2,4	4,56 ± 1	0,18 ± 0,03
<b>MD 30</b>	366,15 ± 8,7	2540,48 ± 107	< LD	3,64 ± 0,1	159,52 ± 1,4	4,42 ± 0,01	349,92 ± 4,2	5,83 ± 0,04	9,16 ± 0,02
<b>MD 59</b>	397,91 ± 19	2144,05 ± 16	< LD	1,29 ± 0,1	87,85 ± 0,6	3,63 ± 0,8	291,70 ± 71	5,17 ± 0,01	2,69 ± 0,1
<b>GX 21</b>	256,71 ± 0,06	352,60 ± 8,8	< LD	2,04 ± 2.10 <sup>-3</sup>	0,88 ± 0,2	4,01 ± 0,7	79,85 ± 0,02	21,60 ± 0,09	0,02 ± 0,01
<b>GX 41</b>	305,92 ± 32	694,45 ± 52	0,17 ± 0,01	4,31 ± 0,03	42,40 ± 0,6	1,68 ± 0,3	209,81 ± 19	25,20 ± 2,3	2,29 ± 0,04
<b>GX 71</b>	753,28 ± 20	234,49 ± 31	0,73 ± 0,01	1,75 ± 0,07	116,08 ± 1,3	0,19 ± 0,2	47,60 ± 12	22,12 ± 0,2	3,44 ± 0,01
<b>LV 1</b>	366,67 ± 22	1012,95 ± 3	< LD	3,75 ± 0,2	148,94 ± 4,7	1,34 ± 0,1	150,80 ± 10	6,57 ± 0,7	2,34 ± 0,01
<b>LV 15</b>	1114,88 ± 10	496,22 ± 36	< LD	2,50 ± 0,1	26,90 ± 1	15,57 ± 1,2	66,47 ± 5	6,12 ± 1,4	0,71 ± 0,05
<b>LV 18</b>	565,33 ± 15	415,62 ± 3	0,22 ± 1.10 <sup>-3</sup>	2,31 ± 0,1	66,88 ± 1,6	55,85 ± 3,4	169,78 ± 4	4,92 ± 1,2	0,52 ± 2.10 <sup>-3</sup>
<b>LV 19</b>	287,91 ± 170	1509,74 ± 46	< LD	3,70 ± 0,6	92,37 ± 20	1,96 ± 1.10 <sup>-3</sup>	377,81 ± 12	5,47 ± 0,2	2,92 ± 0,02
<b>LV 23</b>	411,81 ± 17	1457,41 ± 65	0,57 ± 0,02	6,59 ± 0,3	151,92 ± 8,6	2,29 ± 0,1	474,67 ± 9,6	5,32 ± 0,7	1,95 ± 0,04
<b>LV 28</b>	469,50 ± 1,4	1383,01 ± 23	0,69 ± 0,07	6,47 ± 0,4	105,98 ± 0,1	1,78 ± 0,1	365,15 ± 14	5,93 ± 1	6,28 ± 0,2
<b>LV 31</b>	1506,67 ± 73	133,47 ± 14	< LD	1,41 ± 0,2	75,94 ± 2	25,96 ± 0,1	84,02 ± 32	6,04 ± 0,4	0,85 ± 0,04
<b>LV 34</b>	349,66 ± 4,8	1287,06 ± 10	1,99 ± 0,09	8,98 ± 0,8	155,37 ± 0,1	1,56 ± 0,3	460,21 ± 36	5,59 ± 1.10 <sup>-3</sup>	11,85 ± 0,3
<b>LV 36</b>	314,46 ± 11	848,60 ± 8,02	0,59 ± 0,02	2,44 ± 0,3	81,06 ± 1	2,24 ± 0,2	449,78 ± 1,6	6,09 ± 0,8	7,67 ± 0,07
<b>LV 42</b>	533,27 ± 16	1868,58 ± 108	0,39 ± 2.10 <sup>-3</sup>	2,58 ± 0,5	181,84 ± 0,7	3,28 ± 1.10 <sup>-3</sup>	484,66 ± 4,4	6,11 ± 0,4	6,90 ± 0,2
<b>LV 47</b>	517,03 ± 2,3	670,40 ± 160	0,98 ± 2.10 <sup>-3</sup>	7,20 ± 2.10 <sup>-3</sup>	65,69 ± 0,2	0,66 ± 0,3	188,57 ± 55	4,69 ± 0,01	4,70 ± 0,08
<b>LV 50</b>	428,34 ± 18	1664,52 ± 422	< LD	2,98 ± 0,05	176,83 ± 3,8	1,66 ± 0,1	531,98 ± 17	5,57 ± 0,02	19,92 ± 0,7
<b>LV 55</b>	289,44 ± 17	3552,95 ± 31	< LD	2,42 ± 0,3	107,95 ± 0,03	4,16 ± 0,5	596,84 ± 12	22,96 ± 0,5	17,50 ± 0,06
<b>LV 58</b>	622,01 ± 34	878,95 ± 54	0,46 ± 0,01	1,78 ± 0,2	45,74 ± 0,1	2,73 ± 0,1	201,03 ± 7	4,93 ± 0,01	3,15 ± 0,8
<b>LV 60</b>	297,34 ± 16	925,33 ± 120	1,25 ± 0,02	1,35 ± 0,01	25,51 ± 0,1	2,61 ± 0,05	468,15 ± 2,4	4,52 ± 0,4	10,90 ± 0,3
<b>LV 62</b>	412,68 ± 6	1026,06 ± 205	< LD	7,86 ± 0,1	128,45 ± 7	1,26 ± 0,1	332,24 ± 11	5,31 ± 0,7	3,82 ± 0,08
<b>LV 65</b>	239,54 ± 12	1173,54 ± 19	< LD	8,36 ± 0,4	63,06 ± 0,3	1,06 ± 0,04	279,77 ± 7	5,65 ± 1,1	6,35 ± 0,01
<b>LV 66</b>	357,21 ± 10	1141,06 ± 17	< LD	7,18 ± 0,6	84,39 ± 2,1	0,53 ± 0,1	373,01 ± 22	5,24 ± 0,7	4,99 ± 0,1
<b>LV 68</b>	459,93 ± 56	600,31 ± 14	< LD	1,26 ± 0,1	163,59 ± 2	0,93 ± 0,04	287,91 ± 5,2	4,76 ± 0,1	0,15 ± 0,04

Continua

Ponto	Metais								
	Al	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn
<b>LV 69</b>	433,06 ± 31	1320,18 ± 45	< LD	7,08 ± 1.10 <sup>-3</sup>	185,76 ± 7,6	0,06 ± 0,03	366,24 ± 7,3	6,71 ± 0,7	2,94 ± 0,1
<b>LV 73</b>	361,79 ± 14	771,51 ± 8,9	1,24 ± 0,01	8,81 ± 0,08	156,70 ± 2,2	0,30 ± 0,04	586,28 ± 12	3,31 ± 0,1	21,02 ± 0,3
<b>NV 3</b>	293,24 ± 52	1826,36 ± 11	0,86 ± 0,2	2,95 ± 0,05	56,10 ± 9,7	4,82 ± 0,1	235,10 ± 53	42,72 ± 19	22,41 ± 4,6
<b>NV 6</b>	327,17 ± 14	1350,31 ± 3,3	2,39 ± 0,09	1,51 ± 0,08	137,98 ± 6,7	2,11 ± 0,1	533,13 ± 27	5,88 ± 0,4	8,70 ± 0,3
<b>NV 13</b>	428,96 ± 22	1109,44 ± 217	1,08 ± 0,04	9,22 ± 0,5	297,77 ± 19	1,84 ± 0,08	510,00 ± 20	5,06 ± 1,	4,68 ± 0,09
<b>NV 16</b>	217,80 ± 22	1771,24 ± 37	0,63 ± 0,04	5,36 ± 0,1	100,94 ± 5,5	2,97 ± 0,1	475,99 ± 24	6,30 ± 0,8	11,25 ± 0,3
<b>NV 17</b>	330,73 ± 0,03	2070,73 ± 13	1,94 ± 1.10 <sup>-3</sup>	2,10 ± 0,1	146,05 ± 1,7	4,03 ± 0,1	468,48 ± 2,7	28,51 ± 0,9	21,42 ± 1
<b>NV 20</b>	353,35 ± 4,8	809,95 ± 33	1,81 ± 0,05	1,43 ± 0,03	142,35 ± 0,5	0,90 ± 0,02	432,56 ± 4,4	3,46 ± 0,2	1,67 ± 0,06
<b>NV 22</b>	511,82 ± 14	742,17 ± 11	1,87 ± 0,05	1,26 ± 0,08	84,55 ± 2,5	1,68 ± 0,08	553,37 ± 17	4,04 ± 0,4	2,68 ± 0,1
<b>NV 25</b>	352,33 ± 16	707,93 ± 33	0,21 ± 0,9	1,71 ± 0,2	54,52 ± 7,1	2,58 ± 0,1	445,78 ± 30	7,06 ± 0,1	6,75 ± 0,1
<b>NV 27</b>	393,65 ± 8,4	1887,08 ± 85	1,18 ± 0,02	5,80 ± 0,1	106,04 ± 3,6	3,22 ± 0,05	720,82 ± 4,8	5,87 ± 0,02	25,18 ± 0,5
<b>NV 32</b>	445,33 ± 13	1855,03 ± 1,9	0,30 ± 1,3	6,49 ± 0,1	286,08 ± 10	2,65 ± 0,2	512,39 ± 59	7,18 ± 0,2	9,56 ± 0,04
<b>NV 35</b>	250,75 ± 28	1014,94 ± 37	0,80 ± 0,02	1,71 ± 0,1	160,79 ± 2,2	1,68 ± 0,02	406,34 ± 8,8	5,88 ± 0,7	7,92 ± 0,09
<b>NV 37</b>	405,03 ± 80	1166,95 ± 21	0,51 ± 0,01	5,79 ± 0,2	32,96 ± 9,7	3,08 ± 0,03	569,58 ± 1,4	6,97 ± 1.10 <sup>-3</sup>	6,37 ± 0,05
<b>NV 39</b>	447,29 ± 59	1179,98 ± 13	1,14 ± 0,04	2,25 ± 0,1	29,78 ± 6	0,97 ± 0,01	589,71 ± 14	6,15 ± 0,6	7,65 ± 0,09
<b>NV 43</b>	379,14 ± 2,2	1869,63 ± 19	1,08 ± 0,05	6,23 ± 0,4	129,72 ± 0,5	3,25 ± 0,1	693,00 ± 3,5	6,25 ± 0,6	7,78 ± 0,01
<b>NV 44</b>	314,54 ± 6	2105,78 ± 0,7	< LD	2,94 ± 0,1	123,72 ± 1,2	3,35 ± 0,08	595,14 ± 6,3	7,29 ± 0,08	14,68 ± 0,2
<b>NV 48</b>	470,36 ± 2,2	1283,77 ± 5,1	0,85 ± 0,03	3,53 ± 0,2	115,86 ± 1,3	3,98 ± 0,2	415,67 ± 11	38,61 ± 3,5	33,04 ± 0,2
<b>NV 51</b>	586,86 ± 11	1463,70 ± 121	< LD	3,01 ± 0,2	185,20 ± 0,2	2,12 ± 0,1	404,72 ± 5,6	23,42 ± 2,1	7,76 ± 0,3
<b>NV 52</b>	378,35 ± 35	1864,29 ± 107	< LD	8,73 ± 0,1	110,43 ± 1,2	2,24 ± 1.10 <sup>-3</sup>	554,19 ± 2,6	5,51 ± 0,7	8,20 ± 0,01
<b>NV 53</b>	269,77 ± 3,6	1458,17 ± 111	< LD	1,18 ± 0,05	181,93 ± 4,6	3,83 ± 0,1	534,42 ± 7,1	5,44 ± 0,2	9,71 ± 0,01
<b>NV 54</b>	555,91 ± 1	960,44 ± 32	< LD	10,00 ± 0,04	117,67 ± 2,8	1,68 ± 0,1	259,53 ± 10	4,91 ± 1,5	4,34 ± 0,01
<b>NV 63</b>	395,50 ± 25	680,18 ± 14	< LD	7,07 ± 0,01	154,74 ± 5,3	1,50 ± 0,1	398,44 ± 20	4,65 ± 1,4	4,39 ± 0,2
<b>NV 64</b>	270,43 ± 2,4	743,42 ± 17	0,52 ± 1.10 <sup>-3</sup>	6,91 ± 0,08	73,67 ± 0,4	2,17 ± 0,06	477,54 ± 4,3	4,37 ± 0,3	17,27 ± 0,2
<b>NV 67</b>	306,40 ± 6,5	581,26 ± 9	< LD	3,22 ± 0,7	130,22 ± 2,3	1,90 ± 0,5	381,59 ± 81	4,73 ± 0,04	6,03 ± 0,3
<b>NV 70</b>	349,73 ± 34	1341,85 ± 48	< LD	4,89 ± 0,3	161,28 ± 3	2,77 ± 0,08	640,12 ± 0,1	5,30 ± 0,2	27,62 ± 1,4

## Conclusão

Ponto	Metais								Zn
	Al	Ca	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	
RR 2	49,97 ± 1,3	3596,14 ± 1035	< LD	0,99 ± 0,2	162,56 ± 2,2	4,28 ± 0,05	151,00 ± 2	27,91 ± 7	5,29 ± 0,05
RR 4	399,70 ± 48	2880,95 ± 322	< LD	0,80 ± 0,2	92,57 ± 6,6	4,22 ± 0,4	358,36 ± 36	34,24 ± 5	14,47 ± 1,4
RR 5	370,72 ± 12	981,21 ± 83	1,03 ± 0,03	4,88 ± 0,2	132,06 ± 2,4	1,48 ± 0,06	330,46 ± 0,4	5,40 ± 0,1	6,05 ± 0,1
RR 7	731,56 ± 10	2483,34 ± 88	< LD	2,18 ± 0,1	138,91 ± 1,7	3,87 ± 0,09	339,34 ± 9	21,63 ± 0,08	7,59 ± 1.10 <sup>-3</sup>
RR 8	311,18 ± 10	1320,13 ± 5,6	0,73 ± 0,04	1,81 ± 0,6	77,65 ± 7	2,22 ± 0,2	606,05 ± 26	5,11 ± 0,6	15,17 ± 0,3
RR 9	401,85 ± 5,3	2558,11 ± 232	0,20 ± 1.10 <sup>-3</sup>	2,84 ± 0,2	129,54 ± 9	3,22 ± 0,3	418,64 ± 74	6,67 ± 1.10 <sup>-3</sup>	9,37 ± 0,05
RR 10	662,08 ± 2,4	1520,95 ± 28	0,21 ± 0,01	3,20 ± 0,4	94,86 ± 1,5	3,04 ± 0,07	451,46 ± 14	22,72 ± 0,1	3,70 ± 0,01
RR 11	346,06 ± 1,3	1902,88 ± 64	< LD	3,15 ± 0,1	262,89 ± 0,8	3,19 ± 0,04	394,82 ± 3,5	6,22 ± 0,7	18,28 ± 2
RR 12	431,98 ± 0,1	2575,30 ± 51	< LD	1,70 ± 0,2	192,48 ± 0,1	4,13 ± 0,06	440,81 ± 0,7	6,80 ± 0,05	16,87 ± 0,9
RR 14	396,97 ± 33	2384,68 ± 3,9	0,33 ± 0,09	6,40 ± 5	100,96 ± 0,5	1,96 ± 0,01	668,48 ± 14	6,24 ± 0,7	14,61 ± 0,7
RR 24	178,36 ± 6,1	2688,26 ± 27	< LD	0,84 ± 0,08	125,82 ± 0,4	3,72 ± 0,07	481,63 ± 1.10 <sup>-3</sup>	6,07 ± 0,6	11,69 ± 0,4
RR 26	146,48 ± 2,4	2870,06 ± 187	< LD	0,75 ± 0,1	191,12 ± 2	5,43 ± 0,2	330,21 ± 57	21,40 ± 0,06	9,28 ± 0,02
RR 33	265,43 ± 2,3	2945,11 ± 31	< LD	0,90 ± 1.10 <sup>-3</sup>	146,47 ± 3	5,34 ± 0,06	356,39 ± 16	21,20 ± 0,06	6,31 ± 0,05
RR 38	375,74 ± 24	2662,68 ± 86	< LD	1,04 ± 0,02	245,28 ± 6	3,42 ± 0,03	567,01 ± 9,8	6,01 ± 0,1	8,90 ± 0,06
RR 40	100,85 ± 40	3186,03 ± 27	< LD	0,38 ± 2	130,27 ± 28	4,72 ± 0,09	302,36 ± 41	21,29 ± 0,2	4,51 ± 0,1
RR 45	411,88 ± 2,6	1170,89 ± 53	< LD	2,14 ± 0,1	25,59 ± 3,5	2,69 ± 0,1	387,56 ± 18	5,90 ± 0,03	5,25 ± 0,2
RR 46	696,49 ± 87	1413,41 ± 9,3	< LD	3,83 ± 0,4	125,78 ± 4	2,17 ± 0,1	421,08 ± 9,1	6,20 ± 0,3	8,93 ± 0,1
RR 49	259,36 ± 8,5	1964,15 ± 22	0,92 ± 0,02	8,47 ± 0,02	71,21 ± 4,2	5,24 ± 0,02	401,62 ± 3,5	6,86 ± 0,08	3,83 ± 0,1
RR 56	554,82 ± 51	1025,24 ± 20	< LD	1,44 ± 0,1	106,06 ± 4,7	1,75 ± 0,08	248,98 ± 6,2	4,72 ± 0,01	4,43 ± 0,1
RR 57	424,78 ± 57	811,72 ± 72	1,38 ± 1.10 <sup>-3</sup>	1,59 ± 0,1	63,92 ± 6,3	1,47 ± 0,04	496,97 ± 16	1,79 ± 2,5	6,61 ± 0,2
RR 61	365,36 ± 22	1452,29 ± 2,4	0,27 ± 0,09	1,92 ± 0,4	65,42 ± 0,1	2,94 ± 0,2	438,58 ± 4,8	5,35 ± 0,8	9,46 ± 0,01
RR 72	360,04 ± 30	455,36 ± 5,3	2,06 ± 0,07	1,24 ± 0,2	64,50 ± 0,3	0,68 ± 0,5	362,56 ± 22	4,31 ± 1,4	7,60 ± 0,02

Fonte: Autoria própria. PV – Argissolo Vermelho; MD – Chernossolo Rêndzico; GX – Gleissolo Háplico; LV – Latossolo Vermelho; NV – Nitossolo Vermelho; RR – Neossolo Regolítico; Al – Alumínio; Ca – Cálcio; Cu – Cobre; Fe – Ferro; K – Potássio; Mg – Magnésio; Mn – Manganês; Na – Sódio; Zn – Zinco.

Os elementos Cd, Cr e Pb apresentaram concentrações abaixo do LD <0,0237 mg L<sup>-1</sup>, 0,1767 mg L<sup>-1</sup>, 1,0670 mg L<sup>-1</sup> repectivamente

No solo LV foram encontradas maiores concentrações de Al e Fe. No solo NV os elementos que apresentaram maior concentração foram Cu, Mn e Zn. Conforme Raij, (1986) e Ribas, (2010), os solos LV e NV levam a maiores remoções de sílica e bases do perfil, resultando em predomínio de minerais óxidos de Fe e Al e silicatados 1:1, como a caulinita, na constituição mineralógica da fração argila do solo.

No solo RR o K foi o elemento em maior concentração em relação aos outros solos, indicando associação com o material de origem que é rico em K, e também com a Classe de solo, pois o RR é um solo pouco desenvolvido pedogeneticamente, e apresenta características do material de origem.

No solo GX o elemento com maior teor foi o Na. Os teores de Na mais elevados no GX em relação aos demais solos, possivelmente estão associados ao material de origem e a alta solubilidade desse íon, que pode se solubilizar com as águas da precipitação e serem carregados para regiões mais rebaixadas do relevo, áreas de ocorrência do GX.

No solo MD o Ca foi o elemento encontrado em maior concentração. Segundo (Sengik, 2003) solos argilosos são ricos em cálcio disponível devido a sua formação sobre rochas ricas em minerais com alto teor de cálcio, constituindo as principais fontes de cálcio mineral do solo. Solos arenosos, com baixos teores de matéria orgânica, lixiviados e erodidos, são potencialmente pobres em cálcio.

No solo PV o Mg foi o elemento com teor mais elevado em relação aos demais solos, possivelmente os teores de Mg no PV estão associados ao material de origem.

A ocorrência natural de elementos metálicos no solo depende principalmente, do material de origem, (Litologia) dos processos de formação (Pedogênese), da composição e proporção dos componentes de sua fase sólida (FADIGAS, 2002).

A disponibilidade de íons metálicos no solo é controlada por propriedades e características químicas como acidez ativa (pH), concentração do metal, CTC e teor de matéria orgânica, sendo que a adsorção, precipitação, complexação e as transformações redox são processos envolvidos na estabilização de íons metálicos no solo (ALLOWAY, 1995).

### 5.3.1 Alumínio

O menor teor de Al foi encontrado no solo PV 126,61 mg kg<sup>-1</sup> e maior para o solo LV 489,28 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 13). O PV possui teores de areia elevado em ambiente superficial, e para este solo foi verificado baixo teor de MO em relação aos outros solos, o pH médio de 3,7 no PV foi o mais ácido de todos os solos analisadas. Essas características contribuem para perda de Al por erosão ou lixiviação.

Segundo Urrutia *et al.*, (1995); Zambrosi *et al.*, (2007) a interação entre o Al e a MO do solo é uma das reações que mais influencia as propriedades dos solos ácidos.

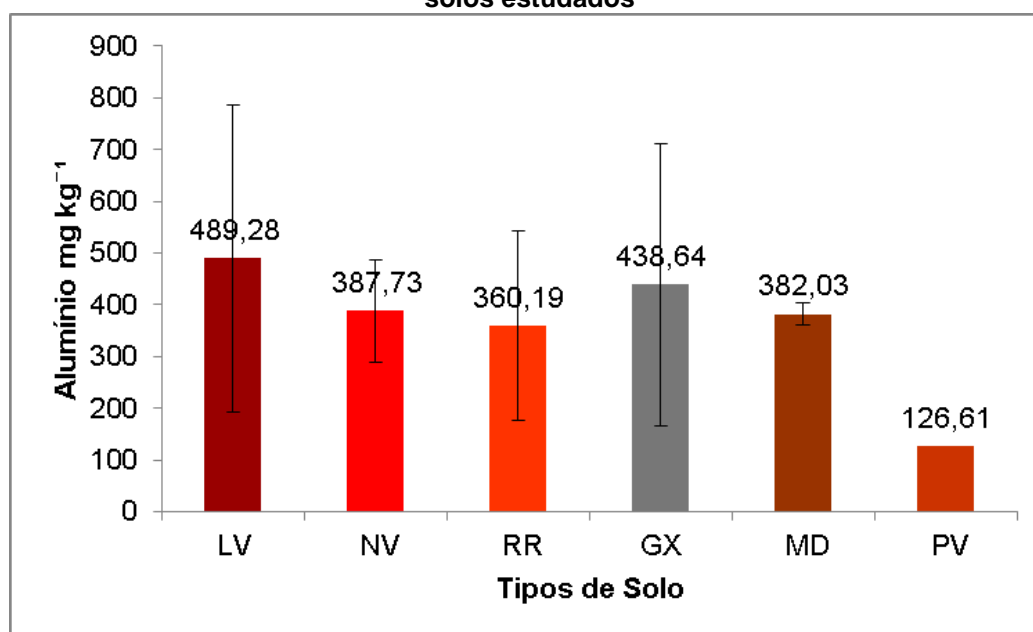
O solo LV apresentou teor de Al mais próximo do solo GX quando comparado com aos solos NV, RR, MD. No entanto o pH, MO e teor argila + silte, que de maneira geral controlam as concentrações de Al, foi mais semelhante entre os solos LV e NV.

O teor de Al no GX foi o segundo maior valor 438,64 mg kg<sup>-1</sup>, nesse solo foi encontrado pH médio de 4,3. Segundo Bohnen, (1995); Echart; Molina, (2001), em pH  $\leq$  a 5,5 o hidrogênio H<sup>+</sup> atua sobre os minerais liberando íons Al<sup>3+</sup> na solução do solo.

Os solos MD, RR e NV apresentaram teores de Al menores que os solos LV e GX, conseqüentemente observa-se que as bases Ca e K foram maiores nos solos MD, RR e NV, quando comparada aos solos GX e LV. Isso se deve possivelmente pelo fato de que íons de Al atuam como inibidor de bases do solo.



**Figura 13 – Concentrações médias de Alumínio disponível para as diferentes ordens de solos estudados**



Fonte: Autoria própria

O solo PV pertence à formação geológica Arenito/Caiuá, pois solos formados sobre granitos, gnaisses, arenitos e siltitos apresentam menores teores de íons metálicos, entre eles o Al, quando comparados com aqueles formados sobre rochas básicas (VALADARES, 1975; ROVERS *et al.*, 1983; TILLER, 1989; FADIGAS, 2002).

Estudo realizado no Estado do Paraná em solos naturais determinou teores de Al variando de 1,79 a 512,62 mg kg<sup>-1</sup> em 41 amostras de solo de área de mata nativa (MINEROPAR, 2005a, 2005b).

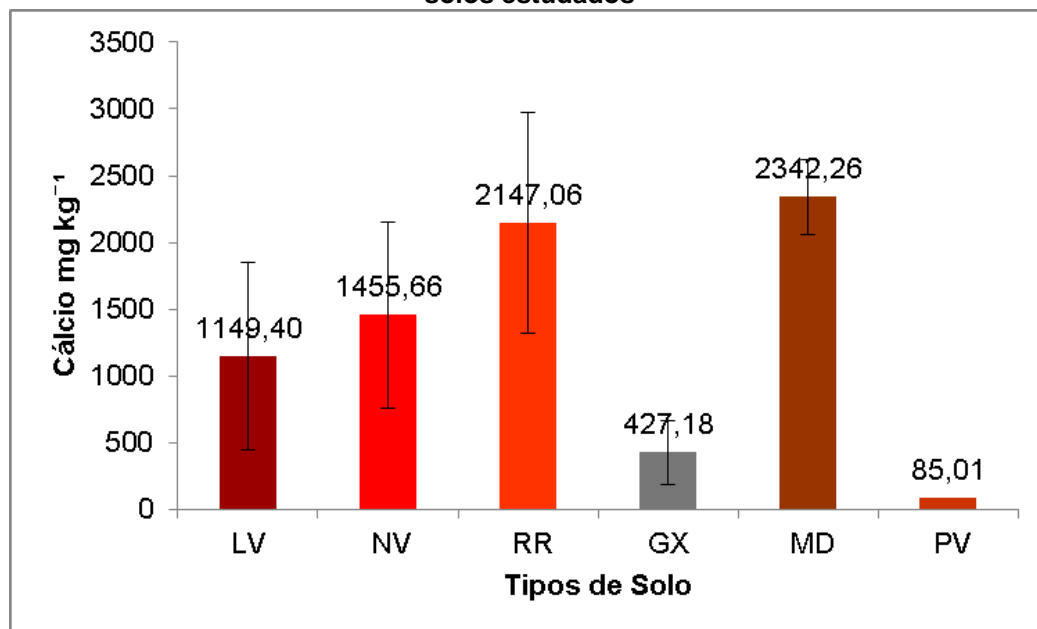
### 5.3.2 Cálcio

Para o Ca a menor concentração determinada foi de 85,01 mg kg<sup>-1</sup> para o solo PV e maior de 2342,26 mg kg<sup>-1</sup> para o solo MD (Figura 14).

Os solos PV, GX, LV apresentaram menores teores de Ca, inversamente ao pH, pois o Ca atua como um íon de caráter básico. Os teores de Ca que ocorreram nos solos LV, NV e RR, são inversamente proporcionais ao Al que pode atuar como íon inibidor de bases do solo. Já a maior concentração nos solos MD se deve ao maior teor de matéria orgânica,

comparado aos outros solos e ao material de origem, segundo a Ageitec (2017), rico em carbonato de cálcio.

**Figura 14 – Concentrações médias de Cálcio disponível para as diferentes ordens de solos estudados**



Fonte: Autoria própria

A menor concentração de Ca encontrada no solo PV, e maior concentração de Mg também no PV pode indicar relação inversa entre estes elementos. O Ca e o Mg possuem propriedades químicas próximas, como o raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade fazendo com que haja competição pelos sítios de adsorção no solo, e na absorção pelas raízes. Segundo Orlando Filho *et al.*, (1996); Medeiros *et al.*, (2008) a presença de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro.

Ribas (2010) estudou os solos de 12 municípios no centro sul do estado do Paraná a fim de montar um banco de dados que representasse a fertilidade atual dos solos da região, e encontrou teores de Ca de 880,44 mg kg<sup>-1</sup> em solos agricultáveis.

Uma Pesquisa realizada na região oeste do Paraná encontrou teor médio de Ca de 474,24 mg kg<sup>-1</sup> em áreas de mata nativa (MINEROPAR, 2005a, 2005b).

Rodak *et al.*, (2013) avaliaram os solos sob cultivo de soja de diversos estados entre eles Paraná e Rio Grande do Sul, e encontraram teores de Ca de 917,83 mg kg<sup>-1</sup> para o município de Palotina – PR, 460,92 mg kg<sup>-1</sup> Londrina –

PR, 863,72 mg kg<sup>-1</sup> Coxilha – RS e 729, 45 mg kg<sup>-1</sup> Campo Novo – RS. Em solos agricultáveis na Bacia Hidrográfica do Paraná III Rocha (2016) encontrou teores de Ca Variando de 1270,53 mg kg<sup>-1</sup> a 1334,66 mg kg<sup>-1</sup> na camada superficial.

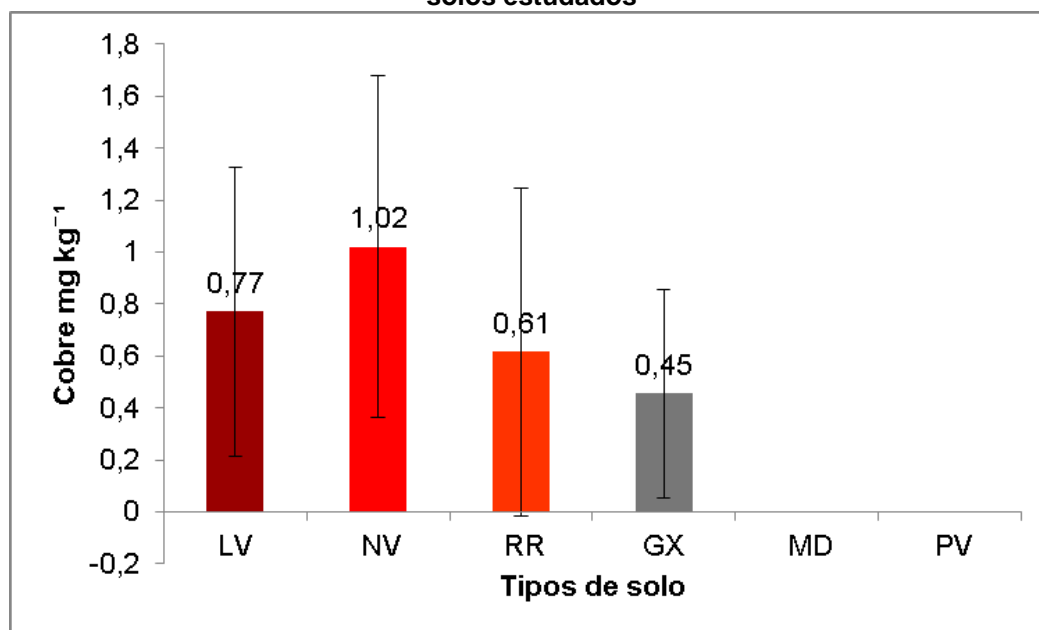
### 5.3.3 Cobre

A menor concentração de Cu foi encontrada no solo GX 0,45 mg kg<sup>-1</sup>, e a maior de 1,02 mg kg<sup>-1</sup> para o solo NV (Figura 15).

Os teores Cu encontrados nos solos NV e LV, podem estar associados aos altos teores Fe e Al encontrados nesses solos, segundo Freitas (2010), os óxidos e hidróxidos de Fe e Al, mesmo em baixas concentrações influenciam significativamente a adsorção de metais, devido a acentuada afinidade destes pela superfície reativa dos óxidos.

A MO influencia a disponibilidade de Cu na solução do solo, pois este íon forma complexos estáveis facilmente com as substâncias húmicas da MO, possível justificativa para os teores de Cu encontrados nesse estudo, que obteve teores elevados de MO para todos os tipos de solo estudados exceto para o PV. No estudo de Prado *et al.*, (2006), sobre a interação de Zn e Cu com ácidos húmicos (AH) foi verificado que o complexo AH-Cu é mais estável quando comparado com o AH-Zn.

**Figura 15 – Concentrações médias de Cobre disponível para as diferentes Ordens de solos estudados**



Fonte: Autoria própria

Neste estudo os solos apresentaram características ácidas pH 3,7 a 5,6 essas condições, de modo geral, favorecem a solubilização e mobilização de íons metálicos na solução do solo e, por extensão, as perdas desses elementos por lixiviação. No entanto, a argila + silte e a matéria orgânica com exceção do PV apresentaram teores que podem de influenciar na retenção da grande maioria dos elementos metálicos no solo (ALLEONI *et al.*, 2005; GUILHERME *et al.* 2005; PAYE *et al.*, 2010).

Vendrame *et al.*, (2007) determinaram teores totais e disponíveis de Cu em 54 amostras de LV sob pastagens no Cerrado brasileiro e encontraram valores de 28,76 mg kg<sup>-1</sup> para extração total e 0,97 mg kg<sup>-1</sup> para extração disponível.

Pereira *et al.*, (2001) pesquisaram coleção de solos da (Embrapa Solos e do Departamento de Solos da UFRRJ), composta por 32 Argissolos, 27 Latossolos, 13 Gleissolos, 10 Neossolos, 7 Planossolos, 4 Cambissolos, 4 Chernossolos, 2 Espodossolos, 2 Organossolos, 1 Vertissolo e 1 Nitossolo, e encontraram teores disponíveis de Cu variando de 0 a 39,22 mg kg<sup>-1</sup>.

Bortolon; Gianello (2009) encontraram teores de Cu variando de 0,2 a 10,7 mg kg<sup>-1</sup> em solos das classes mais representativas do Estado do RS.

Variações nas concentrações de Cu podem ocorrer devido às características de cada tipo de solo, local de coleta, relevo, composição do

material de origem, cobertura vegetal condições climáticas e procedimentos de extração. Ressalta-se que a solução extratora de HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> usada nesse estudo também é usada pela Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CFSR/SC, 2004).

#### 5.3.4 Ferro

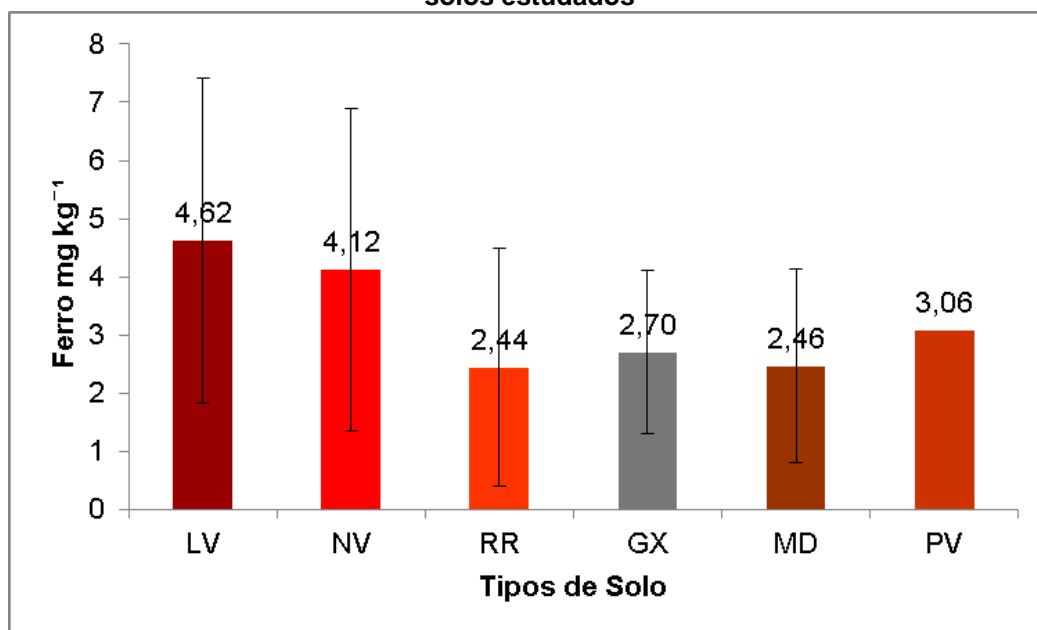
O menor teor de Fe foi de 2,44 mg kg<sup>-1</sup> para o solo RR e maior para o solo LV 4,62 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 16).

Os menores teores de Fe encontrados no solo RR pode estar associado ao seu menor desenvolvimento genético em relação aos solos LV e NV que apresentaram teores mais elevados de Fe. Outro fator que pode contribuir para teores de Fe inferiores no solo RR, comparado aos solos LV e NV é a granulometria deste, que apresentou teor de areia mais elevado comparado aos solos LV e NV. O solo RR geralmente ocorre em relevo dissecado que os demais solos deste estudo, o que pode favorecer perdas de Fe por processos lixiviação.

O solo GX apresentou concentração média de 2,70 mg kg<sup>-1</sup>, próximas dos solos RR, MD e PV. O solo GX possui saturação por água durante o ano todo ou parte dele, esperava-se encontrar teores mais elevados de Fe, devido ao alto potencial de redução do Fe, que é comum em solos com carácter hidromórfico como o GX.

Possivelmente os teores de Fe nos solos MD e PV não estão associados a retenção química dos sítios ativos da MO, pois o teor de Fe é maior no solo PV, que obteve teor de MO sete vezes menor que o MD. No entanto quando se observa a variável pH o solo PV é mais ácido que todos os solos estudados, já o solo MD é menos ácido que os demais solos, indicando que solos mais ácidos podem disponibilizar mais Fe na solução do solo.

**Figura 16 – Concentrações médias de Ferro disponível para as diferentes Ordens de solos estudados**



Fonte: Autoria própria

Exceto o solo PV os solos estudados são ricos em argila e minerais como caulinita e oxihidróxidos de Fe e Al, como hematita, goethita e gibbsita. No entanto o Fe apresenta-se, originalmente, na estrutura dos minerais primários e, após sofrer oxidação, precipitasse como oxihidróxidos de baixa solubilidade, tornando-se pouco disponível às plantas (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989; GUERINOT; YI, 1994; KÄMPF e CURI, 2000; SILVA, 2008; MIELKI, 2014).

Estudo realizado na região oeste do Paraná em solos naturais encontrou teores disponíveis de Fe variando de 16,1 a 24,4 mg kg<sup>-1</sup> no Horizonte B (MINEROPAR, 2005a, 2005b). Castro *et al.*, (2015) trabalharam com 12 amostras de Latossolos e 1 de Neossolo sob vegetação natural ou em regeneração, e determinaram teores de Fe disponível segundo os métodos DTPA-TEA, Mehlich-1 e Mehlich-3, e encontraram 52,6, 64,4 e 65,2 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente.

Em Latossolos sob pastagens no Cerrado Brasileiro Vendrame *et al.*, (2007) determinaram teores de Fe totais e disponíveis no qual encontraram teores de 66.690 mg kg<sup>-1</sup> e 29,67 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente.

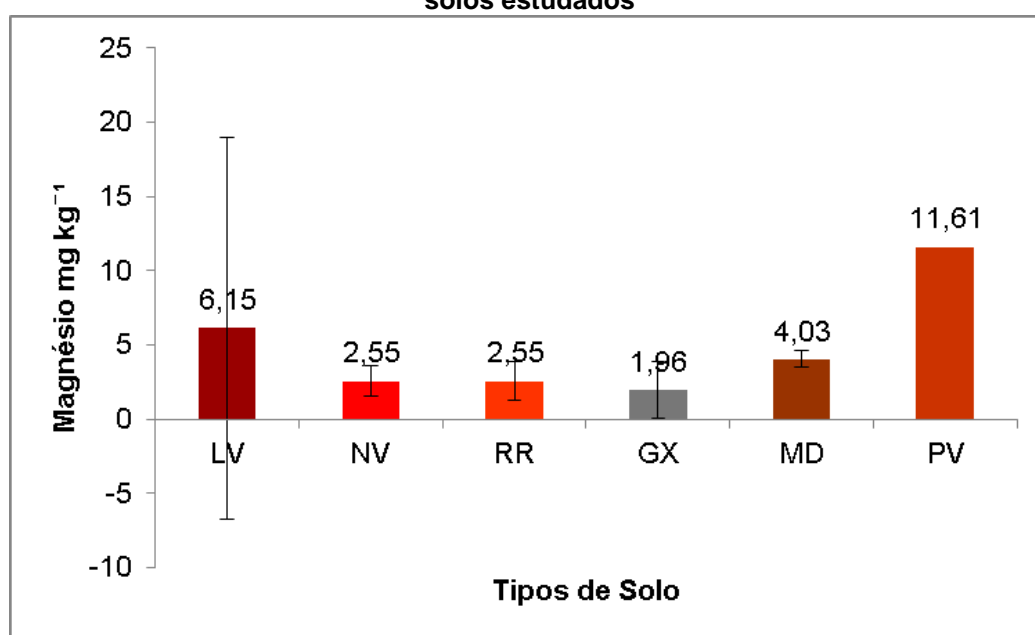
Embora solos derivados de rochas basálticas apresentem teores altos de ferro e cor avermelhada atribuída à natureza dos óxidos de Fe presentes no material originário, deve se considerar que o extrator utilizado dispõe na

solução apenas os íons que estão mais fracamente retidos aos coloides do solo.

### 5.3.5 Magnésio

A concentração mínima de Mg foi determinada no solo GX 1,96 mg kg<sup>-1</sup>, e máxima para o solo PV 11,61 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 17).

**Figura 17 – Concentrações médias de Magnésio disponível para as diferentes Ordens de solos estudados**



Fonte: Autoria própria

Os menores teores de Mg no solo GX se devem possivelmente a perdas desse elemento por lixiviação e erosão laminar. Em condições de saturação por água esse íon pode solubilizar-se na solução do solo, sendo carregado para regiões mais baixas do relevo.

O solo PV geralmente é pobre em bases como Ca, K, Mg e Na, no entanto foi encontrado no solo PV deste estudo teor de Mg maior que os demais solos analisados. Alguns autores defendem que as propriedades químicas próximas do Mg e do Ca como o raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade possa interferir nos processos de adsorção desses elementos no solo, e na absorção pelas raízes. (ORLANDO FILHO *et al.*, 1996; MEDEIROS *et al.*, 2008).

O teor de Mg no solo MD foi menor que no solo PV, indicando que a fonte de Mg nesses dois solos pode estar relacionada ao material de origem, visto que o teor de MO foi inverso para esses dois solos. A mesma justificativa pode ser ampliada para os solos LV, NV e RR, que obtiveram teores de Mg e MO semelhantes entre si.

Outro fator que aponta para fonte de Mg estar mais associada ao material de origem que com a MO, são os valores de pH encontrados em todos os solos, pois geralmente os teores de bases do solo são mais elevados em solos com pH menos ácido, verifica-se o inverso, o maior teor de Mg encontrado no solo PV em pH mais ácido que os demais solos. Para as bases Ca, K e Na ocorreu o inverso do Mg, pois foram menores sempre em pH mais ácido para todos os tipos de solo.

Sengik, (2003) afirma que, na estrutura das camadas da argila, são observadas lâminas de argila dominada por sílica tetraédrica, o outro por octaédro de alumínio e ou de magnésio. Podendo ser mais uma justificativa para os teores de Mg no solo PV.

Entre os tipos de solos pesquisados por Costa (2015), no Espírito Santo o maior teor de Mg 94,81 mg kg<sup>-1</sup> foi encontrado no solo PVAd, e menor 29,17 mg kg<sup>-1</sup> para o solo LVAd. Concentrações semelhantes foram encontradas em solos de Mato Grosso e Rondônia 33,42 mg kg<sup>-1</sup> (SANTOS; ALLEONI,2013), e no Litoral do Paraná, 30,39 mg kg<sup>-1</sup> (BUSCHLE,2017).

### 5.3.6 Manganês

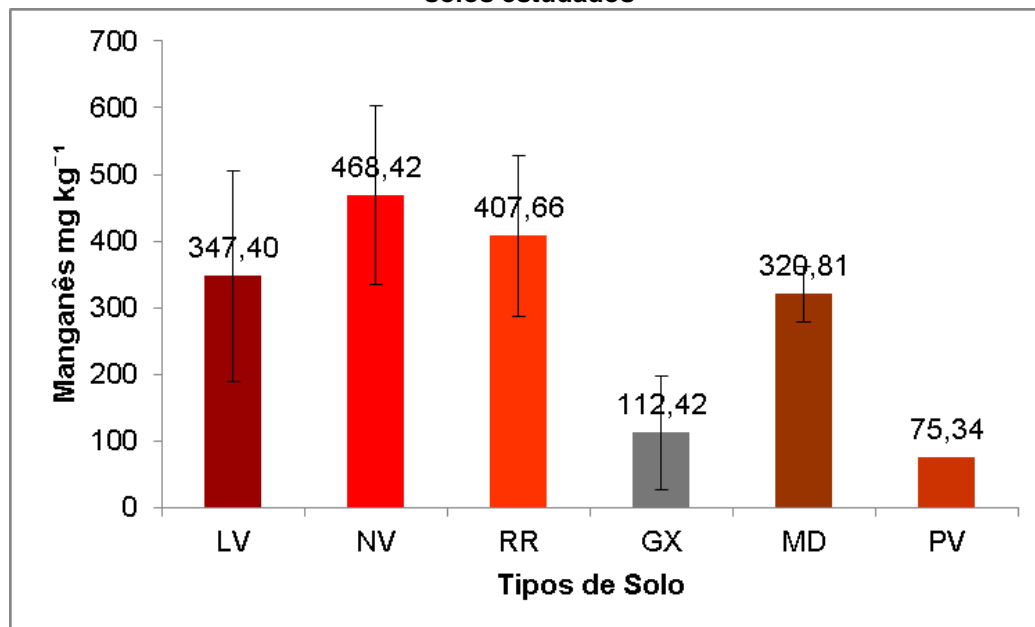
Na figura 18, são apresentadas as concentrações de Mn. O menor teor de Mn foi encontrado no solo PV 75,34 mg kg<sup>-1</sup>, e maior 479,70 mg kg<sup>-1</sup> para os solo NV.

O solo PV apresentou menor concentração para o Mn, e para todos os íons metálicos determinados, exceto para o Mg. O baixo acúmulo de matéria orgânica e baixo teor de argila + silte encontrado no solo PV são possíveis justificativas para tais concentrações. Essas duas variáveis, juntamente com o pH, que também foi mais ácido no PV que nos demais solos, de acordo com



Barona; Romero (1996); Fadigas (2002), controlam várias reações no solo e podem influenciar a disponibilidade do Mn na solução do solo.

**Figura 18 – Concentrações médias de Manganês disponível para as diferentes Ordens de solos estudados**



Fonte: Autoria própria

Os teores de Mn nos solos LV, NV, RR e MD são mais semelhantes entre si, que quando comparado ao solo GX. No solo GX foi encontrado teor de matéria orgânica e argila + silte parecido com os solos LV, NV, RR e MD, no entanto o solo GX apresenta carácter hidromórfico e o pH do solo GX foi mais ácido, o que aponta que o pH e a saturação por água esteja influenciando as concentrações de Mn. Burt *et al.*, (2003); Biondi *et al.*, (2011) afirmam que as formas de Mn mais disponíveis às plantas é dependente do pH e potencial de oxirredução.

Teores de Mn foram determinados em 103 amostras de horizontes superficiais de solos representativos do Estado do Rio de Janeiro, segundo três métodos. O método Mehlich-1 apresentou teores de 0,24 a 185,13 mg kg<sup>-1</sup>, DTPA-TEA 0 a 283,75 e HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> 0 a 467,50. O método HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> apresentou maior capacidade de extração neste estudo quando comparado com o DTPA-TEA e o Mehlich-1 (PEREIRA *et al.*, 2001).

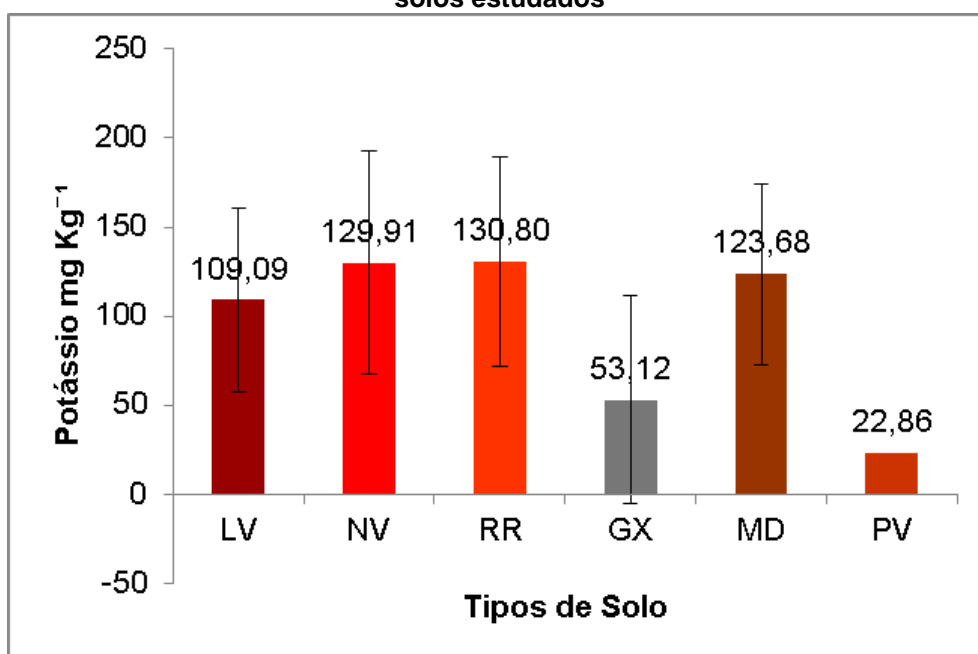
A pesquisa realizada por Vendrame *et al.*, (2007) na classe dos Latossolos do Cerrado Brasileiro determinou teores disponíveis de Mn de 5,47 mg kg<sup>-1</sup> e totais de 151 mg kg<sup>-1</sup>.

Concentrações semelhantes ao solo PV deste estudo foram determinadas em solos do Espírito Santo por Paye *et al.*, (2010) 131,69 mg kg<sup>-1</sup>, e 88,53 mg kg<sup>-1</sup> por (COSTA; COSTA 2015).

### 5.3.7 Potássio

Para o K, o menor teor foi encontrado no solo PV 22,86 mg kg<sup>-1</sup>, e maior para o solo RR 130,80 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 19).

**Figura 19 – Concentrações médias de Potássio disponível para as diferentes Ordens de solos estudados**



Fonte: Autoria própria

Os maiores teores de K no solo RR, indicam que as fontes de K nesse solo, pode estar associada a composição mineralógica e minerais primários, visto que são solos pouco desenvolvido geneticamente. Segundo Melo *et al.*, (2004), dentre os nutrientes essenciais às plantas, é provável que o K seja aquele cuja dinâmica de disponibilidade esteja mais intimamente relacionada com a composição mineralógica do solo.

O menor teor de K no solo PV, pode estar associado ao material de origem distinto dos demais solos e as perdas por lixiviação, devido a mobilidade desse íon no solo. Outra característica refere-se aos teores de

argila + silte podem influenciar na capacidade de adsorção de K no solo, porém para o solo PV a argila + silte foram sempre inferiores aos teores encontrados nos demais solos.

Exceto o Mg as demais bases Ca, K, e Na apresentaram teores menores no solo PV, quando comparado aos demais solos. O solo PV apresentou pH mais ácido quando comparado aos outros solos, o que indica que a acidez possivelmente é uma das causas da diminuição de bases do solo PV.

Os solos LV, NV e MD apresentaram teores de K semelhante. Ressalta-se que nesses solos foram encontrados altos teores de matéria orgânica comparados entre si, e pH menos ácido que o solo PV. De acordo com Raij *et al.*, (1997) solos muito intemperizados como LV e NV são pobres em K, o que sugere importante contribuição da matéria orgânica no fornecimento deste macronutriente.

O solo GX apresentou a segunda menor concentração de K de todos os solos analisadas 53,13 mg kg<sup>-1</sup>. A saturação por água condição verificada nos três pontos de coleta dos solos GX, pontos 21, 41 e 71, o pH mais ácido que os solos LV, NV, RR, MD, a alta mobilidade e capacidade de lixiviação do K, possivelmente contribuíram para teores mais baixos, comparado aos solos LV, NV, RR, MD.

Baretta (2007), analisou o solo LVAd sob mata nativa com predomínio de araucária em Campos do Jordão SP e encontrou teores de K de 125,12 mg kg<sup>-1</sup>. No litoral do Paraná Buschle *et al.*, (2017) determinou teor médio de K de 78,20 mg kg<sup>-1</sup> em ambiente de vegetação natural. Castro *et al.*, (2015) pesquisaram 12 Latossolos e 1 Neossolo sob mata nativa e encontraram teor médio de 80 mg kg<sup>-1</sup> de K.

Em solos agricultáveis no município de Marechal Cândido Rondon (Steiner, 2009) encontrou teores de 198,1 mg kg<sup>-1</sup> em LVef com extração em solução Mehlich-1.

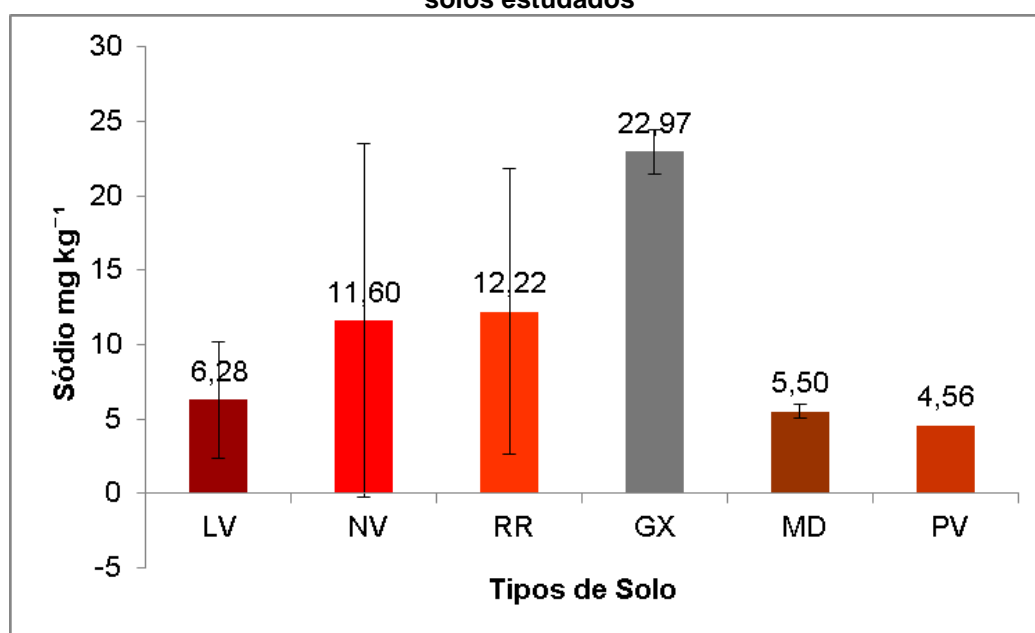
Os teores de K no solo estão sujeitos a variações devido a diversos fatores que influenciam sua disponibilidade, das quais: teor trocável e em solução, mineralogia do solo, CTC, textura, umidade, poder tampão e o grau de desenvolvimento pedogenético do solo ((MIELNICZUK, 1978; CHAVES KINJO, 1987; SILVA *et al.*, 2000; SANTOS, 2013).

### 5.3.8 Sódio

O Na apresentou valor mínimo de 4,56 mg kg<sup>-1</sup> no solo PV, e máximo de 22,97 mg kg<sup>-1</sup> no solo GX (Figura 20).

De acordo com Ageitec (2017), o solo GX são solos formados a partir da contribuição de partículas dos solos das regiões mais altas do relevo.

**Figura 20 – Concentrações médias de Sódio disponível para as diferentes Ordens de solos estudados**



Fonte: Autoria própria

O maior teor de Na encontrado no solo GX, pode ser explicado pelo fato de que o Na, é um íon com alta solubilidade comparado ao Ca, Mg e K, dessa forma é provável que íons de Na migrem com as águas de drenagem da bacia hidrográfica para as áreas mais baixas do relevo, acarretando em concentrações mais altas em solos de baixadas como o GX.

Os menores teores de Na encontrados no solo PV, pode estar associado a acidez deste solo, pois em solos ácidos a concentração de bases geralmente diminui, enquanto que a concentração de H<sup>+</sup> livres e Al<sup>3+</sup>, aumentam. Esse comportamento foi observado com os íons Ca, Na e K no PV deste estudo.

Os solos NV e RR apresentaram concentrações de Na mais elevada quando comparados aos solos LV e MD, pode-se observar que os solos NV e RR possuem menor acidez, que os solos LV e MD, possível justificativa para

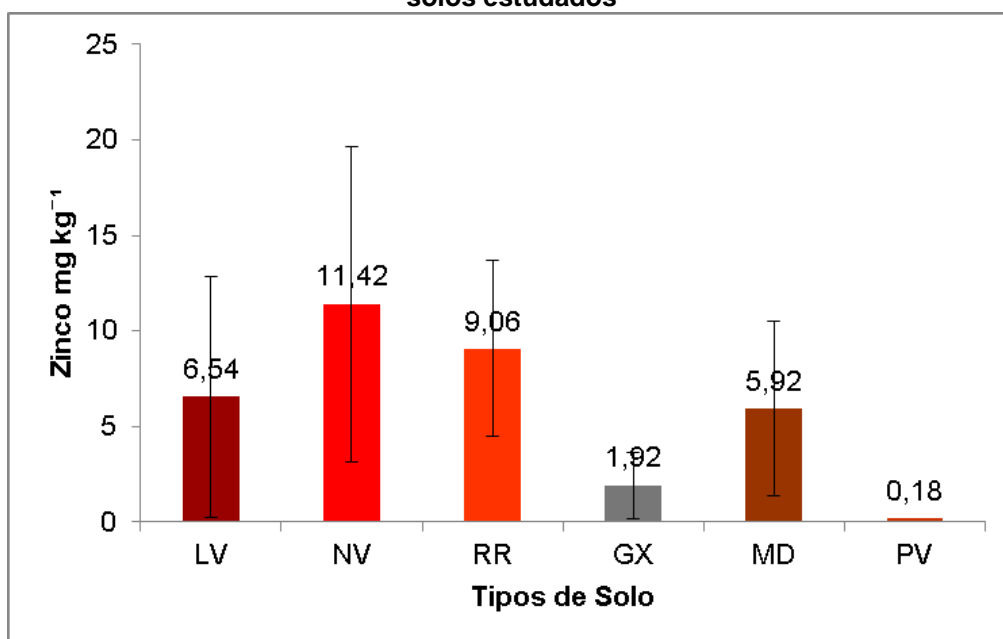
diferença nas concentrações desses solos. Verifica-se também que o RR apresentou a segunda maior concentração de Na  $12,22 \text{ mg kg}^{-1}$ , apontando para contribuições do material de origem, visto que este solo é geneticamente pouco desenvolvido comparado aos demais.

Estudo realizado por Costa (2015), encontrou teores de Na para o solo GX de  $17,00 \text{ mg kg}^{-1}$  no Espírito Santo. No Rio de Janeiro Miranda (2005), encontrou concentração de Na em Gleissolo sob mata alagada teor médio de Na de  $9,20 \text{ mg kg}^{-1}$ .

### 5.3.9 Zinco

Para o Zn a menor concentração determinada foi de  $0,18 \text{ mg kg}^{-1}$  no solo PV, sendo o maior teor  $11,42 \text{ mg kg}^{-1}$  encontrado no solo NV (Figura 21). O Zn pode ser considerado tóxico para as plantas, quando em concentrações acima de  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  (KABATA-PENDIAS; PENDIAS 2001). Portanto para região pesquisada não se observa tal efeito, uma vez que o maior teor de Zn foi de  $33,04 \text{ mg kg}^{-1}$  no ponto 48.

**Figura 21 – Concentrações médias de Zinco disponível para as diferentes Ordens de solos estudados**



Fonte: Autoria própria

O menor teor de Zn no solo PV pode estar associado ao baixo teor de matéria orgânica encontrado no mesmo, pois a matéria orgânica possui sítios ativos que podem adsorver e complexar íons metálicos como o Zn.

Outro fator que pode estar contribuindo para a concentração de Zn no solo PV refere-se ao material de origem deste solo o Arenito/Caiuá, pois solos formados sobre granitos, gnaisses, arenitos e siltitos apresentam menores teores de íons metálicos, entre eles o Zn, quando comparados com aqueles formados sobre rochas básicas (VALADARES, 1975; ROVERS et al., 1983; TILLER, 1989; FADIGAS, 2002).

Estudo realizado no estado de Santa Catarina por Pelozato (2008), verificou que solos da região oeste derivados de rochas basálticas continham mais Zn que os solos da serra leste derivados de rochas sedimentares migmatito e granito.

As concentrações de Zn encontradas nos solos LV, NV, RR e MD são próximas entre si, pois nesses solos foram encontrados valores de pH semelhantes entre si também, e altos teores de MO e argila + silte, quando comparado ao solo PV. De acordo com Uren (1992); Freitas (2010), essas variáveis de maneira geral controlam os processos de adsorção e complexação de íons metálicos no solo, possíveis justificativas para os teores semelhantes encontrados nesses solos.

O solo GX apresentou segunda menor concentração de Zn 1,92 mg kg<sup>-1</sup>. O Zn é pouco solúvel na solução do solo, portanto possui menor mobilidade quando comparado a outros íons como Ca, K Mg e Na. Dessa forma os teores de Zn encontrados no solo GX possivelmente estão associados ao carreamento de partículas não dissolvidas, orgânicas e minerais de argila das regiões mais altas do relevo.

No rio Grande do Sul, (Bortolon; Gianello 2009) trabalharam com os principais tipos de solo do Estado, e determinaram concentrações de Zn variando de 0,7 a 7,8 mg kg<sup>-1</sup>. Vendrame *et al.*, (2007) determinaram teores disponíveis de Zn em Latossolos sob pastagem no Cerrado Brasileiro, e encontraram teor médio de 0,43 mg kg<sup>-1</sup>.

Pereira *et al.*, (2001) compararam três métodos de abertura de amostras, na qual encontraram valores de 0,14 – 12,69 Mehlich-1, 0,47 – 19,20

DTPA-TEA e 0,00 – 24,88 HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup>, em 103 amostras de horizontes superficiais de solos representativos do Estado do Rio de Janeiro.

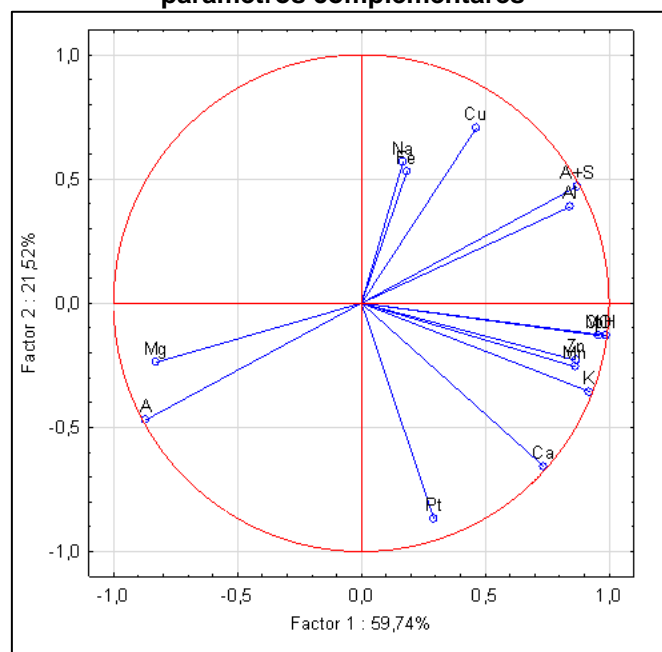
## 5.4 ANÁLISE MULTIVARIADA POR COMPONENTES PRINCIPAIS

### 5.4.1 ACP para elementos metálicos e parâmetros complementares

Primeiramente foi aplicada a ACP com todas as variáveis com o objetivo de obter o máximo de informação, em termos da variação total dos dados, com menor perda possível da informação. A variância contida em cada componente principal gerado foi expressa pelos autovalores da matriz padronizada, de modo que o maior autovalor está associado ao primeiro componente principal (CP), o segundo maior autovalor ao segundo CP, e assim sucessivamente, até que o menor autovalor esteja associado ao último CP, colocando os primeiros como os mais importantes. Dessa forma, os primeiros componentes principais gerados pela ACP explicam a maior parte da variância dos dados originais (SILVA *et al.*, 2013).

Os resultados mostraram que as duas primeiras componentes principais (Fator 1 e Fator 2) conseguem explicar 59,74% e 21,52%, respectivamente, totalizando 81,26% da variabilidade nos dados (Figura 22).

**Figura 22 - Peso das duas primeiras componentes principais para elementos metálicos e parâmetros complementares**

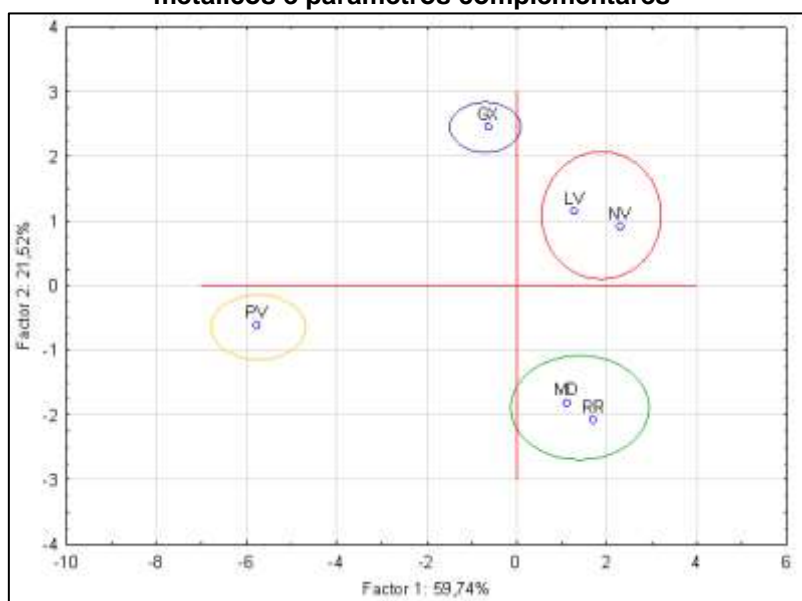


**Fonte: Autoria própria**

Para a primeira componente principal (Fator 1), é possível observar que as variáveis Na, Cu, Al, Fe, Zn, Mn, K, Ca, A+S, MO, CO, pH e Pt são inversamente correlacionadas com as variáveis A e Mg. Essa inversão pode estar relacionada a origem de formação Arenito/Caiuá, e a estrutura das camadas da argila, que de acordo com Sengik, (2003), um tipo de lâmina de argila é dominado por sílica tetraédrica, o outro por octaédro de alumínio e ou de magnésio.

O agrupamento formado no primeiro quadrante apresentado na figura Figura 23 aponta similaridade entre os solos LV e NV, inversamente correlacionado ao solo PV terceiro quadrante. O quarto quadrante indica semelhança entre os solos RR e MD, inversamente correlacionado ao solo GX.

**Figura 23 – Escores da primeira e segunda componente principal para elementos metálicos e parâmetros complementares**



**Fonte: Autoria própria**

As variáveis Al, Fe, Cu, Na e A+S apresentaram maior similaridade, forçando a separação dos solos LV e NV no quadrante superior direito. Esses solos são oriundos de rochas básicas e ultrabásicas, são solos minerais, homogêneos, com pouca diferenciação entre os horizontes ou camadas, em geral são profundos bem drenados, argilosos ou muito argilosos segundo Ageitec, (2017) o que pode justificar semelhança entre elas.

Em solos com altos teores de argila + silte os óxidos de Fe e Mn funcionam como complexantes e adsorventes químicos de diversos íons



metálicos. Atuam dessa forma devido de sua capacidade de adsorção, e ampla distribuição nos solos (PRESTON *et al.*, 2013).

As variáveis Zn, Mn, K, Ca, MO, CO, Pt e pH apresentaram maior similaridade, forçando a separação dos solos RR e MD no quadrante inferior direito. Embora sejam dois solos diferentes MD e RR algumas características contribuem para sua aproximação. O solo MD apresentou teor de MO e valor de pH semelhante ao solo RR, essas duas variáveis de maneira geral influenciam as demais, agrupando esses dois solos em um mesmo quadrante.

O Mg e a Al foram os elementos com maior peso negativo responsáveis por agrupar o solo PV no quadrante inferior esquerdo. Esse comportamento pode ser explicado principalmente pelo fato do solo PV apresentar altos teores de areia em horizonte superficial, e os teores de Mg indicam associação com a estrutura das camadas da argila, na qual um tipo de lâmina é dominado por sílica tetraédrica, o outro por octaédro de alumínio e ou de magnésio (SENGIK, 2003).

O Na correlacionou-se negativamente com as variáveis Ca, K, Mn, Zn, Pt, MO, CO e pH forçando o agrupamento do solo GX no quadrante superior esquerdo. O Na possui alta solubilidade na solução do solo quando comparado com outros cátions K, Mg e Ca. A baixa capacidade de adsorção do Na, faz com que esse íon migre para solução do solo, mais facilmente em solos com carácter hidromórfico como são os GX, quando comparado com solos bem drenados como LV, NV, RR.

Em um segundo momento foi aplicada a ACP somente para os elementos metálicos, com o objetivo de verificar a variabilidade dos dados sem os parâmetros físicos e químicos, no entanto não houve diferença na separação das classes de solos, assim, optou-se por trabalhara com todas as variáveis, conforme apresentado a cima.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As metodologias aplicadas nas determinações dos íons metálicos e parâmetros físico-químicos são amplamente difundidas na literatura e foram de fácil aplicação na determinação dos atributos, exceto para a granulometria, que apresentou elevados desvios padrões e variabilidade.

Os teores de argila + silte foram superiores a  $600 \text{ g kg}^{-1}$  em todas as classes de solos, com exceção para o solo PV. O pH ficou entre 3,72 a 5,60, mostrando-se levemente ácido em todos os pontos amostrados. Já os teores de carbono orgânico apontam para solos de origem mineral, ficando abaixo de 10%. O fósforo total apresentou concentrações entre 0,11 a  $24,6 \text{ mg kg}^{-1}$ , semelhantes aos valores encontrados em outros estudos realizados no país com solos de características semelhantes.

Os elementos metálicos Fe, Al, Cu, Mn, e Zn, apresentaram as maiores concentrações nos solos LV e NV, indicando relação com os teores de argila + silte, visto que para esses dois solos os teores de argila + silte foram superiores a  $800 \text{ g kg}^{-1}$ . Apontam também que o material de origem é rico nesses elementos, principalmente Fe e Al.

As bases do solo apresentaram as seguintes concentrações: Ca ( $2342,26 \text{ mg kg}^{-1}$ ) para o solo MD, para o K a maior concentração foi encontrada no solo RR ( $130,80 \text{ mg kg}^{-1}$ ), o teor de Na foi de ( $23,97 \text{ mg kg}^{-1}$ ), no solo GX, e a maior concentração de Mg foi encontrado no solo PV ( $11,61 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

Com aplicação de Análise de Componentes Principais foi possível perceber, com base nas concentrações dos íons metálicos e parâmetros complementares, que as seis classes de solo apresentaram diferenças estatísticas, separando-as em quatro pequenos grupos, GX; PV; LV e NV; e MD e RR, com destaque para as variáveis Na, Fe, Cu, A+S e Al que separaram os solos LV e NV dos demais, e das variáveis pH, MO, CO, Zn, Mn, K, Ca, Pt que distinguiram os solos MD e RR.

## 7 REFERÊNCIAS

ABREU, C.A.; LOPES, A.S. SANTOS, G.C.G. **Micronutrientes**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, Soc. Bras. Ci. Solo, 2007. p.645-736.

ABREU, C. A. ; ABREU, M. F.; BERTON, R. S . Análise química de solo para metais pesados. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.(Org.). Tópicos em Ciência do Solo. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002, v. 2, p. 645-692.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY – ARSDR. Perfil toxicológico para o chumbo. Disponível em:<http://www.atsdr.cdc.gov/Toxprofiles/tp13.pdf> Acesso em 11 de setembro de 2017.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR. Toxicological Profile for Cadmium. U.S. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA. 2008.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY – ATSDR. CERCLA priority list of hazardous substances. Disponível em <[www.atsdr.cdc.gov/cercla/05list.html](http://www.atsdr.cdc.gov/cercla/05list.html)>. Acesso em 12 Nov. 2017.

AGEITEC. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Solos Tropicais: árvore do conhecimento. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONTAG01\\_7\\_2212200611538.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_7_2212200611538.html)>. Acesso em 11 de julho de 2017.

ALEXANDRINO, R.C.S. **Determinação do Valor de Prevenção Para Solos Contaminados Por Chumbo no Estado de Minas Gerais**. 146f. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal de Lavras – Minas Gerais, 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 10664 - Águas - determinação de resíduos (sólidos) - método gravimétrico**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 1989. 7 p.

ADRIANO, D.C. **Trace elements in the terrestrial environment**. 2.ed. New York, Springer, 2001. 867p.

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. Glasgow, Blackie Academic & Professional, 1995. 368p.

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um latossolo vermelho-escuro e a sustentabilidade de agrossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:933-942, 1999.

ANDREOLI, V. C.; ANDREOLI, N. A.; JUNIOR, J. J. Formação e Características dos Solos para o Entedimento de sua Importância Agrícola e Ambiental- **Coleção Agrinho**, 511, 2012.

ARAÚJO, F. F. de; GIL, F. C.; TIRITAN, C. S. Lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de *brachiaria decumbens* e na atividade da desidrogenase. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 39, n. 1, p. 1-6, jan./mar, 2009.

AZEVEDO, A. C.; BONUMÁ, A. S. **Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 609-617, 2004.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Tradução de GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande, PB: UFPB, 218p, 1991.

BARONA, A.; ROMERO, F. Distribution of metals in soils and relationships among fractions by principal component analysis. Soil Technology, Cremlingen, v.8, p.303-319, 1996.

BATAGLIA, O.C. RAIJ, B. **Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo**. R. Bras. Ci. Solo, 13:205-212, 1989.

BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H. V.; CORRÊA, M. M.; COSTA, L. M. **Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas**. R. Bras. Ci. Solo, 29:21-31, 2005.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J., Dinâmica da Matéria Orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CARMARGO, F. A. O. **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo – Ecossistemas Tropicais & Subtropicais**. 2 ed. Porto Alegre, 2008.

BERTSCH, P. M.; SEAMAN, J. C. 1999. Characterization of complex mineral assemblages: Implications for contaminant transport and environmental remediation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 96: 3350-3357.

BORGES, R. C. **Aplicação de resíduo URA na remediação química de solos contaminados por Cd, Pb e Zn.**, 2007, 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C. **Disponibilidade de cobre e zinco em Solos do sul do Brasil**. R. Bras. Ci. Solo, 33:647-658, 2009.

BOSS, C.B. FREDEEN, K.J. Concepts, instrumentation and techniques in inductively coupled plasma optical emission spectrometry. New York, Perkin Elmer, 1997.110p.

BRANDÃO, M. C. S. **Avaliação do Potencial Fitoextrator e das Alterações Anatômicas Foliares Causadas por Metais Pesados em *Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult e *Urochloa decumbens* (Stapf.) Webster.** 66p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas, 2014.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009.** Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em 02/09/2016.

BRADL, H.B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 277, p. 1-18, 2004.

BROOKS, R. R. **Serpentine and its vegetation: a multidisciplinary approach.** London, Croom Helm, 1987. 454p.

BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z. ZHAO, F. Function of nutrients: micronutrients. In: MARSCHNER, P., ed. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3.ed. London, Academic Press Elsevier, 2012. p. 191-248.

BURAK, D. L.; FONTES, M. P. F.; BECQUER, T. **Microagregados estáveis e reserva de nutrientes em latossolo vermelho sob pastagem em região de cerrado.** Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 41, n. 2, p. 229-241, abr./jun. 2011.

BUSCHLE, B.N. **Valores de referência de qualidade para elementos-traço em solos da planície litorânea do estado do paraná.** 2013. 41f. Dissertação (mestrado) (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, JMAS. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas.** 2009.

CAMARGO, C. E. O.; ALMEIDA, O. B. Tolerância de cultivares de arroz a diferentes níveis de alumínio em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v. 42, n. 17, p. 191-201, 1983.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C. Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. de (Ed.) *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/ POTAFOS, 2001. cap.5, p. 89-124.

CAMPOS, M.L.; PIERANGELI, M.A.P.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.G.S.M.; CURI, N. Baseline concentration of heavy metals in Brazilian Latosols. *Comm. Soil Sci. Plant. Anal.*, 34:547-557, 2003.

CAMPOS, M. C. C. **Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais.** *Ambiência Guarapuava (PR)* v.6 n.3 p.547 - 565 Set./Dez. 2010.

CASTRO, G. F.; MIELKI, G. F.; SCHULTHAIS, F.; KER, J. C.; VERGÜTZ, L.; NOVAIS, R. F. Avaliação da Disponibilidade de Ferro em Solos Tropicais por Diferentes Métodos de Extração. **Anais.** XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal – RN, 2015.

CAVALLARO, N.; McBRIDE, M. B. Activities of Cu and Cd in soil solution as effected by pH. **Soil Science Society of America Journal**, n. 44, p. 729-732, 1980.

CERRI, C.C. & VOLKOFF, B. **Matéria orgânica de três solos dos campos inundáveis da Ilha de Marajó/PA.** *R. Bras. Ci. Solo*, 12:93-100, 1988.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo:** Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. Série Relatórios. 2009.

CHAVES, L. H. G.; KINJO, T. **Relação quantidade/intensidade de potássio em solos do trópico semiárido brasileiro.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 11, n. 3, p. 257-261, 1987.

CHERNICHARRO, C. A. de L. **Reatores anaeróbios.** v. 5, Belo Horizonte: SEGRAC, 1997. 246 p.

CLARK, R. B. "Marine Pollution". 5ª Edição. Oxford University Press, Oxford. p. 237. 2001.

CRESPO, A. A. **Estatística fácil.** 14. Ed. São Paulo: Saraiva, 1997.

COELHO, G. F; GONSALVES, A. C. J; CARVALHO, E. A; PARZIANELLO, R. R; RODRIGUES. V **Avaliação dos teores de matéria orgânica em solos na região oeste do Paraná.** *Synergismus scyentifica UTFPR*, v. 4, n. 1, 2009.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - CFSRS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, SBCS - NRS/UFRGS, 2004. 400p.

COOPER, Miguel. **Granulometria e textura do solo.** Aula - LSO 310-Física do Solo, 2015.

CORINGA, E. A. O.; COUTO, E. G.; PEREZ, X. L. O.; TORRADO, P. V. **Atributos de solos hidromórficos no Pantanal Norte Matogrossense.** *Acta Amaz.* vol.42 no.1 Manaus Mar. 2012.

COSTA, Joaquim Botelho da. **Caracterização e constituição do solo**. 5. ed. Fundação Calouste Gulbenkian: Lisboa, 1995.

COSTA, A. F. S.; COSTA, A. N. **Valores Orientadores de Qualidade de Solos no Espírito Santo**. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – INCAPER, Vitória, ES, 2015.

COTTA, J. A. O; REZENDE, M. O. O; PIOVANI M. R. “**Avaliação do teor de metais em sedimento do Rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – PETAR**”. São Paulo, Brasil. Química Nova, v. 29, nº. 1, p. 40-45 (2006).

COTTA, J. A. O. **Diagnóstico ambiental do solo e sedimento do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR)**. 2003. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

CUI, Y.; WANG, Q. Physiological responses of maize to elemental sulphur and cadmium stress. Plant, **Soil and Environment**, v. 52, n. 11, p. 523–529. 2006.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. P. 90.

CURI, N.; KÄMPF, N. MARQUES, J.J. **Mineralogia e formas de potássio em solos do Brasil**. In: YAMADA, T. ROBERTS, T.L., eds. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p.71-92.

DALLAGO, B.S.L. **Efeito da Suplementação de Cromo (Cr) Sobre o Desempenho Produtivo, a População de Protozoários e a Resposta Imunitária em Ovinos**. 65f. Dissertação (mestrado). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade de Brasília, 2008.

DALTON, J.D.; RUSSEL, G.C. SIELING, D.H. **Effect of organic matter on phosphate availability**. Soil Science, v.73, 1952.

DANCEY, C. e REIDY, J. Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows. Artmed Editora, dezembro de 2006.

De Vos, B; S Lettens; B.Muys JA Deckers. 2007 **análises Walkley-Black do solo florestal de carbono orgânico: recuperação, limitações e incerteza**. Uso do Solo e Gestão 23: 221-229.

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M. LIEBIG, M.A. Soil health and sustainability. Adv. Agron., 56:1-54, 1996.

ECHART, C. L.; CAVALLI-MOLINA, S. **Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético**. Revista Ciência Rural, Santa Maria, v. 31, n. 3, p. 531-541, 2001.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Toxidez de alumínio em culturas anuais**. Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 63 São Carlos, 2006. 35p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Mapa de Solos do Estado do Paraná**. Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2007.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite. Campinas – SP, 2010.

FADIGAS, F.S.; SOBRINHO, N.M.B.A.; MAZUR, N.; ANJOS, L.H.C. FREIXO, A.A. **Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros**. Bragantia, 61:151-159, 2002.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 294 p.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. Ano Internacional dos Solos – [fao.org/soils](http://fao.org/soils) – 2015.

FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**, 432p. Viçosa: SBCS, 2006.

FERNANDES, F.A.; FERNANDES, A.H.B.M.; SOARES, M. T. S.; PELLEGRIN, L.A.; LIMA, I.B.T. 2007. Update Map of Soils of the Pantanal lowlands for the Brazilian System of Soil Classification. Comunicado Técnico 61 - Brasília-DF: Embrapa Pantanal, 2007. 6 p.

FERREIRA, L. V; VENTICINQUE, E; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos avançados**, v. 19, n. 53, p. 157-166, 2005.



FERREIRA, I.C.M **Associações entre solos e remanescentes de vegetação nativa em Campinas.** 107f. Dissertação (mestrado). (Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agronômico, Campinas-SP 2007.

FORD, R. G.; ACHEINOST, A. C.; SPARKS, D. L. Frontiers in metal sorption/precipitation mechanisms on soil mineral surfaces. **Advances in Agronomy**, n. 74,p. 41-62, 2001.

FONSECA, F. P.; CZUY, D. C. Formação Arenito Caiuá: Uso, Ocupação do Solo e Problemas Ambientais na Região Noroeste do Paraná. **Anais.** III Simpósio Nacional de Geografia Agrária – II Simpósio Internacional de Geografia Agrária Jornada Ariovaldo Umbelino de Oliveira – Presidente Prudente-SP, 11 a 15 de novembro de 2005.

FREITAS, I. C. V.; MALDONADO, A. C. D.; ALVARENGA, C. B.; CAMARGO, C.; WENDLING, B. **Adsorção e Dessorção de Metais no Solo e Coeficientes de Isotermas de Freundlich e Langmuir.** Agropecuária Técnica – v. 31, n. 2, 2010.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas.** (2003) 231 f. Tese (doutorado) Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS 2003.

GEORGE, T. S.; TURNER, B. L.; GREGORY, P. J.; CADE-MENUM, B. J.; RICHARDSON, A. E. **Depletion of organic phosphorus from Oxisols in relation to phosphatase activities in the rhizosphere.** Eur. J. Soil Sci., 57: 1-47, 2006.

GUERINOT, M.L. e YI, Y. Iron: Nutritious, noxious, and not readily available. Plant Physiol., 104:815-820, 1994.

GOLOBOČANIN, D. D.; ŠKRBIĆ, B. D.; MILJEVIĆ, N. R. Principal component analysis for soil contamination with PAHs. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 72, n. 2, p. 219-223, 2004.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente 2006. 8p.

GONÇALVES, G. K.; MEURER, E. J.; BORTOLON, L.; GONÇALVES, D R. N. **Relação Entre Óxidos de Ferro e de Manganês e a Sorção de Fósforo em Solos no Rio Grande do Sul.** R. Bras. Ci. Solo, 35:1633-1639, 2011.

GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A.; SILVA, L. S, J.; CARMARGO, F. A. O, Dinâmica da Matéria Orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CARMARGO, F. A. O. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo – Ecossistemas Tropicais & Subtropicais. 2 ed. Porto Alegre, 2008.

GHIDIN, A. A.; MELO, V. F.; LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C. **Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná.** I - Mineralogia

da fração argila. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, p. 1-16, 2006.

HEM, J. D. "Study and Determination of the Chemical Characteristics of Natural Waters". 3ª Edição, US Geological Survey Water-Supply Paper 2254. p. 263, 1985.

HOUSE, W.A. DENISON, F.H. Total phosphorus content of river sediments in relationship to calcium, iron and organic matter concentrations. *Science of the Total Environment* v.282-283, 2002.

HUGEN, C.; MIQUELLUTI, D. J.; CAMPOS, M. L.; LMEIDA, J. A.; FERREIRA, É. R. N. C.; POZZAN, M. **Teores de Cu e Zn em Perfis de Solos de Diferentes Litologias em Santa Catarina**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.17, n.6, p.622–628, 2013.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; JUNIOR, G. J. O. **Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação**. *E&S Engineering and Science*, 2015, 5:1.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná**. Versão 1.0.2000.(formato digital) 1 CD, 2000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manuais técnicos em geociências 2ª edição 2007**. Rio de Janeiro, 2007.

Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Leituras regionais : Mesorregião Geográfica Oeste Paranaense / Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social**. – Curitiba : IPARDES : BRDE, 2003.

JENNY, H. 1961. **Derivação das equações de fator de solo do Estado e dos ecossistemas**. *Solo Sci. Soc. Am., Proc.* 25: 385-388.

JENNE, E.A. Adsorption of metals by geomeia: Data analysis, models, controlling factors, and related issues. In: JENNE, E.A. (Ed.) *Adsorption of metals by geomeia: variables, mechanisms, and model applications*. San Diego: Academic Press, 1998, cap.1, p.1-73.

KABATA-PENDIAS A. e MUKHERJEE, A.B. Trace elements from soil to human. Berlin, Springer, 2007. 576p.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. 3 ed. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 2001. 413p.

Kalwa, Miguel. **Diagnóstico da concentração de HPAs e íons metálicos em sedimentos do Lago de Itaipu-PR**. 2011. 87 f. Dissertação (mestrado) – (Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada, área de concentração em Química Analítica), Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava, 2011.

KÄMPF, N. e CURI, N. Óxidos de ferro: Indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. e SCHAEFER, C.E.G.R., ed. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Soc. Bras. Ci. Solo, 2000. p.107-138.

KESLER, S. E. Mineral Resources, Economics and the Environment. Macmillan College Publishing Company, New York, p. 391. 1994.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, Editora Agronômica: Ceres Ltda., 1985.

Konen, M. E., P. M. Jacobs, C. L. Burras, B. J. Talaga, and J. A. Mason. **Equations for predicting soil organic carbon using loss-on-ignition for north central U.S. soils**. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:1878–1881- 2002.

KURASZ, G.; ROSOT, N. C.; DE OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D. Caracterização do entorno da reserva florestal EMBRAPA/EPAGRI de Caçador (SC) usando imagem Ikonos. **Floresta**, Curitiba, PR, v.38, n.4, p.641-649, 2008.

LA MANNA, L; BUDUBA, C; ALONSO, V; DAVEL, M; PUENTES, C; JIRISARRI, J. **Comparación de Métodos Analíticos Para la Determinación de Materia Orgánica en Suelos de la Región Andino-Patagónica: Efectos de la Vegetación y el Tipo de Suelo**. Cl. Suelo (Argentina) 25(2): 179-188, 2007.

LEI, M.; ZHANG, Y.; KHAN, S.; QUIN, P.; LIAO, B. **Pollution, fractionation and mobility of Pb, Cd, Cu and Zn in garden and paddy soils from Pb/Zn mining area**. Environmental Monitoring and Assessment. v. 168, p. 215-222. 2010.

LIMA, Mário. A bacia Hidrográfica do Rio do Campos: estratégias técnicas no controle da poluição hídrica. In: **Relação Homem/Natureza sob a ótica da Interdisciplinaridade**. Org. Dalva helena de Medeiros *et al.* Campo Mourão: Fecilcam, 2008.

LIMA, C. C.; LIMA, R. M.; Melo, F. V.; **O Solo no Meio ambiente**: Abordagem para Professores do Ensino Fundamental e Alunos do Ensino Médio. 1ª edição. CURITIBA – PR: Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias- UFPR, 2012.

LINDSAY, W.L. COX, F.R. Micronutrients soil testing for tropics. In: VLEK, P.L.G, ed. Micronutrients in tropical food crop production: developments in plant and soil sciences. Dordrecht, Martinus Nighoff, 1985. p.169-200.

LIU, L.; GE, W.; BESTEL, S.; JONES, D.; SHI, J.; SONG, Y. CHEN, X. Plant exploitation of the last foragers at Shizitan in the Middle Yellow River Valley China: evidence from grinding stones. *Journal of Archaeological Science*, 38:3524-3532, 2011.

LOPES, Thiara. Reis. **Caracterização do esgoto sanitário e lodo proveniente de reator anaeróbio e de lagoas de estabilização para**

**avaliação da eficiência na remoção de contaminantes.** 2015. 122 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2015.

LOPES, M. C. S.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do solo e calagem.** São Paulo, ed. 3. 1990, 22p.

LUTGENS, F. K.; TARBUCK, E. J. "Essentials of Geology". 3ª Edição. Merrill Publishing Company, Columbus. p. 378. 1989.

MAGALHÃES, V. L.; CUNHA, J. E.; NÓBREGA, M. T. **Análise do Sistema Poroso e Hídrico de Uma Vertente Constituída Por "Latossolo/Nitossolo".** Revista Perspectiva Geográfica, v. 10, p. 43-62, 2015.

MALAVOLTA, E. **Micronutrientes e metais pesados:** mitos, mistificação e fatos. São Paulo: Produquímica, 1994. 140p.

MALUCHE-BARETTA, C.R.D **Diversidade Microbiana em Solos Sob Florestas de *Araucária Angustifolia*.** 2007, f. 184 Tese Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2007.

Martins, V. **Solubilização de fontes de potássio e seu efeito em atributos do solo e no crescimento e nutrição do capim-marandu.** 2013. 95 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

MARQUES J.J.; SCHULZE, D.G.; CURI, N.; MERTZMAN, S.A. **Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils.** Geoderma, v.121, p.31-43, 2004.

MARQUES JÚNIOR, J.; LEPSCH, I. F. **Depósitos superficiais neocenoicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto, SP.** Geociências, São Paulo (SP), v.19 p.90-106, 2000.

MATTOS, J.K.A **Caracterização das comunidades de nematoides em oito sistemas de uso da terra nos serrados do Brasil.** Brasília, 1999. 113f. Tese (Doutorado)- Universidade de Brasília.

MATOS, W.O. **Especiação redox de cromo em solo acidentalmente contaminado com solução sulfocrômica.** Química Nova, São Paulo, v. 31, n. 6, p. 1450-1454, 2008.

McGRATH, S.P., SMITH, S. N. In: ALLOWAY. B.J. **Heavy metals in soils.** New York: John Wiley, 1990. p.125-50.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. **Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos.** CES Revista v. 24 Juiz de Fora 2010.

MELO, G.W.; MEURER, E.J.;PINTO, L.F.S. **Fontes de potássio em solos distroférricos cauliniticos originados de basalto no Rio Grande do Sul.** R. Bras. Ci. Solo, 28:597- 603, 2004.

METCALF, L.; EDDY, H. **Wastewater Engineering:** Treatment and Reuse. 4 ed. Revisado por George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. New York: McGraw -Hill, 2003.

MIELNICZUK, J. O potássio no solo. Piracicaba: Instituto de Potassa e do Fosfato. 1978. 80 p.

MIELKI, G. F. **Disponibilidade de Ferro em Solos Tropicais e sua Absorção Pelas Plantas.** 35f. (Dissertação), Solos e Nutrição de Plantas. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2014.

MILAGRES,J. J. M.; ALVAREZ, V. H.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Determinação de Fe, Zn, Cu e Mn extraídos do solo por diferentes extratores e dosados por espectrofotometria de emissão ótica em plasma induzido e espectrofotometria de absorção atômica.** R. Bras. Ci. Solo, 31:237-245, 2007.

MINEROPAR – MINERAIS DO PARANÁ. Atlas Comentado da Geologia e dos Recursos Minerais do Estado do Paraná. Secretaria da Indústria, do Comércio e do Turismo/MINEROPAR, Curitiba, 2001. 125p.

MINEROPAR - MINERAIS DO PARANÁ S.A. Geoquímica de solo - horizonte B: relatório final de projeto. Curitiba, MINEROPAR, 1.v. 2005a. 408p.

MINEROPAR - MINERAIS DO PARANÁ S.A. Geoquímica de solo - horizonte B: relatório final de projeto. Curitiba, MINEROPAR, 2.v. 2005b. 449p.

MIRANDA, C.C.; CANELLAS, L. P.; NASCIMENTO, M.T.; **Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em plantios abandonados de eucalipto.** R. Bras. Ci. Solo, 31:905-916, 2007.

MIRANDA, C. C. **Caracterização da Matéria Orgânica do Solo em fragmentos de Mata Atlântica e em plantios abandonados de eucalipto, Reserva Biológica União-RJ.** 82f. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; março, 2005.

Miyazawa, M; Pavan, M.A; Oliveira, E.L; M. IONASHIRO, M; Silva, A.K. **Gravimetric Determination of Soil Organic Matter.** Brazilian Archives of Biology and Technology, v.43, n.5, p. 475-478, 2000.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v. 21, n. 4, p. 467-469, 1998.

MOITA NETO, J. M. (2009). Estatística Multivariada na Pesquisa, volume 5. Sapiência (FAPEPI).

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. **Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar.** Pesq. Agrop.Br., Brasília, v.40 p.69-77, 2005.

NECKE, H. **Produtividade e Componentes de Produção do Milho Fertilizado Com Diferentes Fontes e Doses de Zn e Disponibilidade dos Metais Pesados Tóxicos Cd, Pb e Cr.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2011.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. **Total carbon, organic carbon, and organic matter.** In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Madison, Soil Science of America and American Society of Agronomy, 1996. p. 961-1010.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F; ALVARES, V. H.; BARROS. N. F.; FONTES, R. B. C.; NEVES, J. C. L. 58 Fertilidade do solo 2007. 1. ed. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Viçosa, M G, p. 471-550, 2007.

NUNES, D.A.D. **Mineralização de fósforo orgânico em solos sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem.** Dissertação (mestrado), 59 f. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes – RJ, 2011.

OLIVEIRA, Y. M. M. de. **Investigation of remote sensing for assessing and monitoring the araucaria forest of Brazil.** 247 p. Tese (DPhil) - University of Oxford, Oxford, UK, 2000.

OLIVEIRA, J. B. de; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil:** guia auxiliar para seu reconhecimento. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.

OLIVEIRA, D. L. **Solos uma questão de sustentabilidade.** Gestão & Tecnologia. Faculdade Delta. Edição III janeiro/fevereiro 2010, Goiânia, Goiás.

OLIVEIRA, A. B.; NASCIMENTO, C. W. A. **Formas de manganês e ferro em solos de referência de Pernambuco.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, 30: 99-110, 2006.

OLIVEIRA, A. N.; MINAS, S. F.; SILVA, B. I. A.; PEIXOTO, E. L. T.; ARAÚJO, J. A.; MOURA, E. S. **Avaliação dos indicadores da acidez do solo por meio do uso de análise de agrupamento.** *Anais.* XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal – RN, 2015.

PARRON, L. M.; BUSTAMANTE, M. M. da C.; PRADO, C. L. C. **Mineralização de nitrogênio e biomassa microbiana em solos de mata de galerias: efeito do gradiente topográfico.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. EMBRAPA. Comunicado técnico, 88 - 2003.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de Análise Química de Solo e Controle de Qualidade**. IAPAR, p. 12-14, Londrina, PR, 1992.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. **Disponibilidade de nutrientes no Solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de Resíduos vegetais**. R. Bras. Ci. Solo, 32:911-920, 2008.

PAYE, H.S.; MELLO, J.W.V.; ABRAHÃO, W.A.P.; FERNANDES FILHO, E.I.; DIAS, L.C.P.; CASTRO, M.L.O.; MELO, S.B. FRANÇA, M.M. **Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no Estado do Espírito Santo**. R. Bras. Ci. Solo, 34:2041-2051, 2010.

PEIJNENBURG, W. J. G. M.; JAGER, T. Monitoring approaches to assess bioaccessibility and bioavailability of metals: matrix issues. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.56, p. 63-77, 2003.

PENDIAS, A. K. **Trace elements in soils and plants**. 4 ed. CRC Press: Taylor & Francis Group, Nova York, 2012.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. **Causas e consequências do processo de salinização dos solos**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, n. 2, mai-ago. 2015, p. 1308-1324.

PRADO, A.G.S.; TORRES, J. D.; MARTINS, P. C.; PERTUSATTI, J.; BOLZON, L. B.; FARIA, E. A. **Studies on copper (II)- and zinc (II)-mixed ligand complexes of humic acid**. Journal of Hazardous Materials B, v. 136, p. 585-588, 2006.

PRESTON, W.; NASCIMENTO, C. W. A.; FERREIRA, H. A.; SILVA, W.R.; SILVA, W. M. **Relações entre Teores de Metais Pesados e Características Químicas e Físicas dos Solos no Estado do Rio Grande do Norte**. *Anais*. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Florianópolis- SC, 2013.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100).

RAIJ, B. V. Simpósio Avançado de Química e Fertilidade do Solo: **Propriedades Eletroquímicas de Solos**. Campinas: Fundação Cargill. 1986. p.9-39.

REICHERT, M. J. **Solos Florestais**. Centro de Ciências Rurais, Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS.

REINERT, D.J; REICHERT, M. J. **Propriedades física do solo**. Universidade Federal de Santa Maria Centro de Ciências Rurais. Santa Maria – RS, 2006.

RESCK, D.V.S.; FERREIRA, E.A.B.; FIGUEIREDO, C.C.; ZINN, Y.L. **Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado**. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Editores). Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. revisada e atualizada – Porto Alegre : Metropole, 2008. 654p.

REIS, A. S.; GONÇALVES, F. B.; SANTANA, W. D.; PEREIRA, A. S.; ABREU, P. C.; SOARES, G. O. S. **Caracterização e classificação de solo hidromórfico em área de APP do rio Santo Antônio Gurupi – TO. Anais. XXX Congresso Brasileiro de Agronomia**. Fortaleza – CE, 2017.

RHEINHEIMER, D.S.; CAMPOS, B.H.C.; GIACOMINI, S.J.; CONCEIÇÃO, P. C.; BORTOLUZZI, E. C. **Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:435-440, 2008.

RIBANI, M; BOTTOLI, C. B. G; COLLINS, C. H; JARDIM, I. C. S. F; MELO, L. F. C. **Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos**. Química Nova, v. 27, n. 5, p. 771-780, 2004.

RIBAS, C. **Caracterização da Fertilidade Atual dos Solos da Região de Guarapuava-PR**. 52 f. Dissertação de mestrado em Agronomia. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Guarapuava, 2010.

RIBEIRO, M. R. **Origem e Classificação dos Solos Afetados por Sais**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Eds.). Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza, INCTSal. p.11-19, 2010.

ROCHA, R. A. da; AFONSO, J. C. Manganês. **Quim. Nova da Escola**, v. 34, n. 2, p. 103-105, 2012.

RODAK, B.W. **Níquel em Solos e na Cultura de Soja**. 88 f. Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba Fevereiro, 2014.

RODAK, B. W.; PASCOALINO, J. A. L.; ALVES, S. J. F.; JUNIOR, A. O.; CASTRO, C.; MORAES, M. F. Disponibilidade de Níquel Associada a Características Químicas e Texturais de Solos Destinados do Cultivo de Soja. **Anais. XXXIV Congresso Brasileiro de ciência do solo**. Florianópolis SC, 2013.

RODRIGUES, A. B. C.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; SCARAMUZZA, J. F.; ROCHA, F. **Atributos Químicos em Solo sob Floresta Nativa e Capoeira**. UNICiências, v.14, n.1, 2010.

ROVERS, H.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Níquel total e solúvel em DTPA em solos do Estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.7, n.3, p.217-220, 1983.



SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações Cálcio e Magnésio Presentes no Solo e Teores Foliares de Macronutrientes. *Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.*, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, jan./mar. 2011.

SALVADOR-BLANES, S.; CORNU, S.; BOURENNANE, H.; KING, D. Controls of the spatial variability of Cr concentration in topsoils of a central French landscape. **Geoderma**, Amsterdam, v.132, p.143–157, 2006.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. **Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.2, p.576-586, mar-abr, 2008.

SANTOS, H. C.; OLIVEIRA, F. H. T; HOFFMANN, R. B; SANTOS, D. **Relações Quantidade/Intensidade de Potássio em Solos Representativos do Estado da Paraíba – Brasil**. *Rev. Cienc. Agrar.*, v. 56, n. 4, p. 338-346, out./dez. 2013.

SATO, J.H. **Métodos para determinação do carbono orgânico em solos do Cerrado**. Dissertação, 90 f. (Programa de pós-graduação em agronomia), Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2013.

SAUNDERS, W.M.H. **Phosphate retention by New Zealand soils and its relationship to free sesquioxides, organic matter, and other soil properties**. *New Zealand Journal of Agricultural Research* v.8, 1965.

SCHNITZER, M. (1991) Soil organic matter – The next 75 years. **Soil Science**, 1:23-27.

SCHWERTMANN, U. e TAYLOR, R.M. Iron Oxides. In: DIXON, J.B. e WEED, S.B., eds. *Minerals in soil environments*. 2.ed. Madison, Soil Sci. Soc. Am., 1989. p.379-438.

SEIDEL, E. P.; COSTA, A. C. S.; LANA, M. C. **Fitodisponibilidade de cobre e produção de matéria seca por plantas de milho em resposta à aplicação de dejetos de suínos**. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. v. 33, n. 6, p.1871-1878, 2009.

SENGIK, E. S. **Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas**. Disponível em: <<http://www.nupel.uem.br/...>>. Acesso em: 05 de agosto de 2017.

SENGIK, E. S. **Os Colóides do Solo**. Disponível em: <<http://www.nupel.uem.br/coloides-2003.pdf>>. Acesso em 05 de janeiro de 2018.

SERRAT, B. M; LIMA, M. R. de; OLIVEIRA, A. C. de; TONUS, F. A.; COSTA, M. A. D.; **Amostragem do solo: perguntas e respostas**. Curitiba:UFPR, Universidade Federal do Paraná, 2002, 17 p.

SILVA, J. B. G; MARTINEZ, M.A; PIRES, C.S; ANDRADE, I.P.S; SILVA, G.T. **Avaliação da condutividade elétrica e ph da solução do solo em uma área**

**fertirrigada com água residuária de bovinocultura de leite.** Irriga, Edição Especial, p. 250 - 263, Botucatu – 2012.

SILVA, Y. J. A. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, Y. J. A. B.; CRUZ, C. M. C. A. **Watershed-scale assessment of background concentrations and guidance values for heavy metals in soils from a semiarid and coastal zone of Brazil.** Environ Monit Assess 187:558 (2015).

SILVA, I. R.; FURTINI NETO, A. E.; FERNANDES, L. A.; CURI, N.; VALE, F. R. **Formas, relação quantidade/intensidade e biodisponibilidade de potássio em diferentes latossolos.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 35, n. 10, p. 2065-2073, 2000.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A.; CERETTA, C. A. **Composição da fase sólida orgânica do solo.** 3 ed. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Evangraf, 2006. p. 63 - 89.

SILVA, P. G.; MARRIEL, I. E.; SANTOS, V. L.; ANDRADE, C. L. T.; SILVA, D. F. **Análise de componentes principais de atributos químicos de um solo adubado com dejetos suínos cultivado com milho.** Anais. XXXIV Congresso Brasileiro de ciência do solo. Florianópolis-SC, 2013.

SILVA, M. L. S.; VITTI, G. C.; TREVIZAM, A. R. **Concentração de metais pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação.** Pesq. agropec. bras. vol.42 no.4 Brasília Apr. 2007.

SILVA, V.; MOTTA, A. C. V.; MELO, V. F.; LIMA, V. C. **Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo.** R. Bras. Ci. Solo, 32:551-559, 2008.

SILVEIRA, A. O. **Atividades Enzimáticas como Indicadores Biológicos da Qualidade de Solos Agrícolas do Rio Grande do Sul.** 2007, F.66. Dissertação (programa de pós-graduação em ciência do solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

SINGH, B. R.; STEINNES, E. Soil and water contamination by heavy metals. In: LAI, R.; STEWART, B.A. (Eds.) **Advances in soil science:** soil process and water quality. USA : Lewis, 1994. p. 233-237.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M.C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C.; BERNOUX, M. **Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado.** Acta Scientiarum Agronomy, 31:709-717, 2009.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – (SBCS). Departamento de Solos. Campus da UFV. Viçosa-MG, 2015. Retirado de: [https://www.sbcs.org.br/?post\\_type=noticia\\_geral&p=3810](https://www.sbcs.org.br/?post_type=noticia_geral&p=3810) . Acesso em 02 de agosto de 2017

SPHEAR, C. R.; SOUZA, L. A. C. Tempo de exposição e fonte de cálcio na seleção de soja tolerante ao alumínio em hidroponia. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Embrapa, 2004, 16p.

STEVENSON, F. J. Humus chemistry: genesis, composition, and reactions. New York: John Willey and Sons, 1994.

STEINER, F.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R.; ZOZ, T. **Disponibilidade de potássio para a soja em solos do estado do Paraná extraído pelas soluções de acetato de amônio, mehlich-1, mehlich-3 e bray-1**. Synergismus scyentifica UTFPR , Pato Branco , 04 (1). 2009.

SWAROWSKY, A.; RIGHES, A. A.; MARCHEZAN,; RHODEN, A. C.; GUBIANI, E. **Concentração de nutrientes na solução do solo, sob diferentes manejos do arroz irrigado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.10, n.2, p.344–351, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TATE, K.R. SALCEDO, I. Phosphorus control of soil organic matter accumulation and cycling. **Biogeochemistry**, v.5, 1988.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. **“Decifrando a Terra”**. Oficina de Textos. São Paulo – SP. 558p. 2000.

THENGH, B.K.G., TATE, K.R., SOLLINS, P., MORIS, N., NADKARNI, N., TATE III, R.L. (1989) Constituents of Organic Matter in Temperate and Tropical Soils. In: Coleman, D.C., Oades, J.M., Uehara, G. (eds.) Dynamics Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems. Hawaii: University of Hawaii Press, p.5-32.

TILLER, K.G. Heavy metals in soil and their environmental significance. **Advances in Soil Science**, New York, v.9, p.113-142, 1989.

THIAGO, N. O. S.; MARANGONI, B. S.; SEGNINI, A.; OLIVEIRA, P. P. A.; MILORI, D. M. B. P. Caracterização de Cálcio em Solo Por Técnica Libs. **Anais**. Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária. São Carlos, 2014. 269 – 272p.

TONG, S. et al Environmental lead exposure: a public health problem of global dimensions. **Bulletin of the World Health Organization**, Switzerland, v. 78, n. 9, p. 1068-1077, 2000.

TUREKIAN, K.K. WEDEPOHL, K.H. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geological Society of America Bulletin, 72:175-192, 1961.

URE, A.M.; QUEVAUVILLER, P.; MUNTAU, H. GRIEPINK, B. Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the Commission of the European Communities. Intern. J. Environ. Anal. Chem., 51:135- 151, 1993.

UREN, N.C. Forms, reactions and availability of nickel in soils. Advances in Agronomy, New York, v. 48, p. 141-203, 1992.

VALADARES, J.M.A.S. Cobre em solos do Estado de São Paulo: cobre total. **Bragantia**, Campinas, v.34, p.125 -132, 1975.

VIEIRA, M. A.; **Pedologia e Classificação dos solos**: Intemperismo, Fatores de Formação e Processos de Formação; 2011.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e o tratamento de esgotos**. 2 ed. v. 1, Belo Horizonte: SEGRAC. 1996, 243 p.

YRUELA, I. Copper in plants. **Braz. J. Plant Physiol.** v. 17, n. 2, p.145-156, 2005.

WALKER, T.W.; ADAMS, A.F.R. **Studies on soil organic matter: I. Influence of phosphorus content of parent materials on accumulations of carbon, nitrogen, sulfur, and organic phosphorus in grassland soils**. Soil Science, v.85:6 – p. 307-318, 1958.

WANDERLEY, R. A. **Salinização de solos sob aplicação de rejeito de dessalinizadores com e sem adição de fertilizantes**. 52 f. (Dissertação de Mestrado) – Universidade de Federal Rural de Pernambuco-Recife, 2009.

W.H.O. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health criteria and other supporting information**. Guidelines for drinking-water quality 2ª Edição, v. 2., Genebra,1996.

W.H.O. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Chromium in drinking-water**. Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality, 2003.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME; E. Dinâmica da agregação de um solo Franco-arenoso em cinco sistemas de Culturas em rotação e em sucessão. Seção VI-manejo e conservação do solo e da água. 2004. **Revista Brasileira Ci. Solo**, 28:891-900.

ZECH, W., SENESI, N., GUGGENBERGER, G., KAISER, K., LEHMANN, J., MIANO, T.M., MILTNER, A., SCHROTH, G. (1997) Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79:117-161.