



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ROSANA KOSTECKI DE LIMA

**CARACTERIZAÇÃO DE UMA PEDOSSEQUÊNCIA
REPRESENTATIVA DOS SOLOS DO NORTE DO PARANÁ E
IDENTIFICAÇÃO DE SUAS ASSINATURAS ESPECTRAIS**

Londrina
2019

ROSANA KOSTECKI DE LIMA

**CARACTERIZAÇÃO DE UMA PEDOSSEQUÊNCIA
REPRESENTATIVA DOS SOLOS DO NORTE DO PARANÁ E
IDENTIFICAÇÃO DE SUAS ASSINATURAS ESPECTRAIS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Geografia da Universidade Estadual de
Londrina, para obtenção do Título de Mestre em
Geografia.

Orientadora: Prof. Dr. Pedro Rodolfo Siqueira
Vendrame

Londrina
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Lima, Rosana Kostecki.

Caracterização de uma pedossequência representativa do Norte do Paraná e identificação de suas assinaturas espectrais. / Rosana Kostecki Lima. - Londrina, 2019. 89 f. : il.

Orientador: Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame.

Coorientador: .

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, , 2019.

Inclui bibliografia.

1. erosão - Tese. 2. espectroscopia vis-NIR - Tese. 3. solos - Tese. I. Rodolfo Siqueira Vendrame, Pedro. II. , . III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. . IV. Título.

ROSANA KOSTECKI DE LIMA

**CARACTERIZAÇÃO DE UMA PEDOSSEQUÊNCIA
REPRESENTATIVA DOS SOLOS DO NORTE DO PARANÁ E
IDENTIFICAÇÃO DE SUAS ASSINATURAS ESPECTRAIS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina, para obtenção do Título de Mestre em Geografia.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof. Dr. Pedro Rodolfo Siqueira
Vendrame
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Dr. Robélio Leandro Marchão
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária –
EMBRAPA

Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
UTFPR

Londrina, 15 de fevereiro de 2019.

LIMA, Rosana Kostecki de. **Caracterização de uma pedossequência representativa dos solos do Norte do Paraná e identificação de suas assinaturas espectrais**. 2019. 86 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

RESUMO

A identificação de atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo são realizadas muitas vezes com o intuito de identificar a suscetibilidade dos solos aos processos erosivos. Estudos desses atributos aliados a dinâmica do relevo permitem compreender melhor os processos de degradação, auxiliar na recuperação dos solos e de áreas degradadas. O objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização textural e mineralógica de solos localizados em uma pedossequência sobre basalto, identificar as classes de solos por métodos convencionais e avaliar as suas assinaturas espectrais na faixa do visível e infravermelho próximo. Foram descritos e coletadas amostras em 11 perfis, desde o topo até a base (sopé) em vertente. Os solos foram descritos através do manual de coleta e descrição de solos em campo. Classificados até quarto nível categórico de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Também foram realizadas análises químicas de todos os perfis, e mineralógicas apenas dos horizontes diagnósticos. Os perfis estudados localizam-se nos seguintes pontos da pedossequência: (P1) topo, (P2) a (P5) meia encosta, (P6) ao (P9) encosta, (P10) e (P11) sopé. Os solos foram classificados como Latossolo Vermelho distroférico típico no topo, Cambissolo Háplico Tb eutroférico e Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico em meia encosta, Nitossolo Vermelho eutroférico, distroférico latossólico e típico em encosta e meia encosta. Em sopé Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico. Verificou-se maiores teores de Si em perfis situados nas partes mais inclinadas do relevo em encosta e sopé (P6 ao P11), solos menos intemperizados, devido ao possível transporte lateral de montante a jusante da vertente. Foram verificados menores teores de argila nos horizontes superficiais, possivelmente em função de argiluviação ou elutriação, erosão seletiva de partículas finas dessas camadas. Na espectroscopia, os espectros identificados na faixa do Vis-NIR indicaram seis bandas principais de absorção, entre 400 e 778 nm, 780 e 1102 nm, 1366 e 1446 nm, 1870 e 2134 nm, 2136 e 2294 nm e 2346 e 2416 nm. Foi possível observar as mesmas bandas de absorção entre os perfis da pedossequência e do banco espectral, porém com intensidades diferentes. A análise de componentes principais permitiu observar agrupamento dos solos mais intemperizados em relação aos menos intemperizados, situados nas partes mais altas e mais baixas da pedossequência, respectivamente. A posição na paisagem foi mais eficaz em agrupar as assinaturas espectrais do que a classificação dos solos.

Palavras-chave: Identificação do solo. Atributos físicos. Vis-NIRS. Intemperismo.

LIMA, Rosana Kostecki de. **Characterization of a representative pedossequece of the soils of north Paraná and identification of its spectral signatures.** 2019. 86 p. Dissertation (Master's Degree in Geography) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

ABSTRACT

The identification of physical, chemical and mineralogical attributes of the soil are often carried out in order to identify soil susceptibility to erosive processes. Studies of these attributes combined with the dynamics of the relief allow a better understanding of degradation processes, assisting in the recovery of soils and degraded areas. The objective of this paper was to perform the textural and mineralogical characterization of soils located in a pedossequece on basalt, to identify the soil classes by conventional methods and to evaluate their spectral signatures in the band of visible and near infrared. They were described and samples were collected in 11 profiles, from the top to the base (foothill) in slope. The soils have been described through the manual for the collection and description of soils in the field. Classified to the fourth categorical level according to the Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Chemical analyzes of all the profiles were also carried out, and mineralogical only of the diagnostic horizons. The profiles studied were located at the following points of the pedossequece: (P1) top, (P2) a (P5) half hillside, (P6) to (P9) hillside, (P10) and (P11) deposition foothill. The soils were classified as Latossolo Vermelho distroférrico típico at the top, Cambissolo Háplico tb eutroférrico and Nitossolo Vermelho eutroférrico latossólico in half hillside, Nitossolo Vermelho eutroférrico, distroférrico latossólico and típico in half hillside and hillside. In deposition foothill Nitossolo Vermelho eutroférrico latossólico. Higher Si contents were found in profiles located on the sloping slopes of hillside and foothill (P6 to P11), less weathered soils, due to the possible upstream lateral transport downstream of the slope. Lower clay contents were observed in the superficial horizons, possibly due to clay or elutriation, selective erosion of fine particles from these layers. In spectroscopy, spectra identified in the Vis-NIR range indicated six main absorption bands, ranging from 400 to 778 nm, 780 and 1102 nm, 1366 and 1446 nm, 1870 and 2134 nm, 2136 and 2294 nm and 2346 and 2416 nm. It was possible to observe the same absorption bands between the pedossequece and spectral bank profiles, but with different intensities. The analysis of main components allowed to observe grouping of the most weathered soils in relation to the less weathered ones, located in the highest and lowest parts of the pedossequece, respectively. The position in the landscape was more effective in grouping the spectral signatures than the classification of the soils.

Keywords: Soil identification. Physical attributes. Vis-NIRS. Weathering.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer imensamente a minha mãe que sempre ajudou para que eu pudesse estudar.

Ao professor Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame, que acreditou na minha capacidade e me orientou com tamanha dedicação. Agradeço pelos ensinamentos, paciência e toda contribuição pessoal e profissional.

Aos meus amigos Glauber Stefan e Hermiliano Decco, que realizaram as tradagens junto a todo auxílio no laboratório ao longo dos dois anos de mestrado.

Ao Marcio Praxedes, técnico de laboratório de Solos da Uel, pelo auxílio na execução das análises químicas, também ao Lucas Moraes, Jaqueline Felix, Alex Figueiredo, Larissa Oliveira e ao Luciano Hideo pela participação no trabalho de campo.

À Jaqueline Felix na etapa de espectroscopia Vis-NIR e toda sua paciência e apoio junto a pesquisa.

Ao professor Luciano Nardini Gomes pela ajuda nos trabalho, desde estudos anteriores.

Ao professor Fábio Lopes do Laboratório de Física Nuclear Aplicada, na cordialidade em realizar a análise dos elementos totais dos solos.

Aos membros da banca examinadora, Maurício Moreira dos Santos e Robélio Leandro Marchão pela disponibilidade e disposição em contribuir com a pesquisa, fornecendo seus conhecimentos e correções necessárias para a finalização do trabalho.

Aos meus amigos que tiveram muita paciência durante os períodos difíceis, Glauber Stefan, Hermiliano Decco, Diego Vila, Angélica Oliveira, Paula Simonato, Cármen Fanzlau, Rafaela Pifer e Mayara Batista.

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudos.

À Universidade Estadual de Londrina e ao Programa de Pós Graduação de Geografia (PPGEO) pela oportunidade.

A todos que colaboraram de alguma forma, pois sem a ajuda de cada um não seria possível a realização do trabalho.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Estrutura de um mineral 1:1, caulinita.....	19
Figura 2-	Estrutura de um mineral 2:1.....	19
Figura 3-	Localização geográfica da área e estudo, município de Londrina- PR.....	31
Figura 4-	Análise temporal da área de pastagem.....	34
Figura 5-	Fotos mostrando paisagem da área de estudo: a) Topo a vertente; b) Extração de cores tabela Munsell; c) Quebra de relevo vertente; d) Tradagem ponto de coleta.....	35
Figura 6-	Pontos marcados com GPS (n: 116) para confecção da planialtimetria, Londrina, PR.....	36
Figura 7-	Mapa planialtimétrico da área de estudo, Londrina, PR.....	37
Figura 8-	Espectrofotômetro de fluorescência de raio-x, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.....	40
Figura 9-	Perfil topográfico da área de estudo sentido noroeste, Londrina, PR.....	42
Figura 10-	Perfil pedomorfológico da área de estudo, Londrina, PR.....	43
Figura 11-	Localização geográfica da área de estudo, município de Londrina- PR.....	61
Figura 12-	Espectros e absorbância na faixa do visível e infravermelho próximo (400 nm a 2500 nm) média dos horizontes da Pedossequência. Horizontes A, B, Bw e C.....	67
Figura 13-	Espectros de absorbância na faixa do vis-NIRS (400 nm a 2.500 nm) dos horizontes diagnósticos da Pedossequência em comparação a espectros de horizontes diagnósticos do banco espectral.....	68
Figura 14-	Análise de componentes principais (ACP) dos horizontes diagnósticos da Pedossequência e amostras do banco espectral.....	70
Figura 15-	Análise de componentes principais (ACP) dos horizontes diagnósticos da Pedossequência.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classes de tamanho das partículas do solo	18
Tabela 2- Descrição macromorfológica de perfis de solos desenvolvidos de basalto, Londrina, Paraná.....	44
Tabela 3- Resultados dos atributos físicos e químicos dos solos desenvolvidos de basalto, Londrina, Paraná	53
Tabela 4- Elementos totais dos horizontes diagnósticos	55
Tabela 5- Resultados de atributos granulométricos e químicos de solos desenvolvidos de basalto, Londrina, PR.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MO	Matéria orgânica
CTC	Capacidade de troca de cátions
NIR	Espectroscopia no infravermelho próximo
ACP	Análise de componentes principais
C	Carbono
SIBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
TFSA	Terra fina seca ao ar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
2	REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1	Conceitos de Pedologia	6
2.2	Fatores de Formação do Solo	8
2.2.1	Material de Origem	9
2.2.2	Clima	11
2.2.3	Relevo.....	12
2.2.4	Organismos.....	14
2.2.5	Tempo.....	15
2.3	Relação dos solos com o relevo na perspectiva da paisagem.....	16
2.4	Textura do solo	17
2.5	Mineralogia da fração argila.....	18
2.5.1	Caulinita	20
2.5.2	Óxidos de Ferro	21
2.6	Espectroscopia Vis-NIR e sua aplicação na Ciência do Sol	22
2.6.1	Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR) na caracterização de solos	25
3	ARTIGO A - CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE SOLOS EM UMA PEDOSSEQUÊNCIA REPRESENTATIVA DO NORTE DO ESTADO DO PARANÁ	27
3.1	RESUMO	27
3.2	ABSTRACT	27
3.3	INTRODUÇÃO.....	29
3.4	MATERIAL E METODOS.....	30
3.4.1	Localização da Área de Estudo	30
3.4.2	Caracterização da Área de Pastagem.....	32
3.4.3	Coleta de Solos	38
3.4.4	Análises Químicas	38
3.4.5	Análises granulométricas	39
3.4.6	Análise Mineralógica	40
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41

3.5.1	Descrição Geral da Pedossequência	41
3.5.2	Macromorfologia e Classificação dos Solos	44
3.5.3	Caracterização granulométrica e química dos solos.....	53
3.5.4	Mineralogia	55
	CONCLUSÕES	56
4	ARTIGO B- ASSINATURAS ESPECTRAIS DE SOLOS ORIUNDOS DE BASALTO EM UMA PEDOSSEQUÊNCIA NO NORTE DO PARANÁ.....	58
4.1	RESUMO	58
4.2	ABSTRACT	58
4.3	INTRODUÇÃO.....	59
4.4	MATERIAL E METODOS.....	60
4.4.1	Área de Estudo	60
4.4.2	Coleta das amostras	61
4.4.3	Análises de Referência	62
4.4.4	Coleta dos Espectros Vis-NIR.....	62
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.5.1	Descrição Geral dos Solos.....	63
4.5.2	Assinaturas Espectrais.....	65
4.5.3	Análise de Componentes Principais	69
4.5.4	Perspectivas na Pedologia e Conservação dos Solos	71
4.6	CONCLUSÕES	72
	REFERÊNCIAS	73
	ANEXOS	86
	Anexo 1- Paisagem da área de estudo, distrito de Maravilha, PR	86
	Anexo 2- Sinais de erosão em sulcos.....	86

1 INTRODUÇÃO

O solo pode ser entendido como resultado da interação do material de origem, clima, relevo e organismos ao longo do tempo (KÄMPF; CURI, 2012). O material de origem e as formas de relevo modificam-se então pela atuação do clima e dos organismos, fatores considerados ativos no processo de formação dos solos (KER et al., 2012). Sua importância no contexto geográfico se dá por ser um dos principais constituintes do meio físico-natural.

Do mesmo modo, os estudos sobre a forma do relevo e sua dinâmica, permitem compreender com maior exatidão o comportamento dos diferentes tipos de solos através de suas posições ocupadas na paisagem. Tal como, as suas diferenciações situadas em posições menos ou mais inclinadas que influenciam a quantidade de água incorporada no solo, resultando em diversas intensidades de reações químicas, provocando distintos graus de intemperismo e alterações nos minerais constituintes.

Sendo assim, o conhecimento sobre os elementos e aspectos do solo são essenciais e imprescindíveis para sua conservação em situações de mau uso e manejo. Sua conservação pode ser realizada de diversas formas colocando em prática medidas de acordo com Lepsch (2016) de caráter edáfico, mecânico ou vegetativo.

A motivação de se trabalhar em uma pedossequência desenvolvida sobre basalto, partiu da abrangência desses solos na região norte do Estado do Paraná. Ademais, a motivação da área escolhida permeou a hipótese de haver um transporte de partículas finas do solo e sedimentos, das partes mais altas para as partes mais baixas chegando ao Ribeirão os Apertados, por conta dos sinais erosivos aparentes e falta de manejo adequado.

O trabalho foi desenvolvido em pedossequência sendo realizada a caracterização do relevo, descrição e identificação dos solos por métodos convencionais. Na sequência, foram produzidas assinaturas espectrais das diferentes classes de solos na faixa do Vis-NIR que foram comparadas a um banco espectral de horizontes diagnósticos de Nitossolos Vermelhos eutroféricos típicos e Nitossolos Vermelhos eutroféricos latossólicos oriundos de basalto em Bela Vista do Paraíso, PR.

Os atributos caracterizados na pesquisa foram a morfologia, química, textura e a mineralogia dos solos. Ademais, os solos foram classificados de acordo com o Sistema

Brasileiro de Classificação de Solos. Esses conhecimentos permitem identificar a suscetibilidade dos solos aos processos erosivos, conhecimento necessário na gestão ambiental.

Dessa forma o objetivo deste trabalho foi realizar a caracterização textural e mineralógica de solos localizados em uma pedossequência sobre basalto, identificar as classes de solos por métodos convencionais e avaliar as suas assinaturas espectrais na faixa do visível e infravermelho próximo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Conceitos de Pedologia

Quando iniciamos as buscas sobre o significado de solo, é possível verificar que existem várias definições e vertentes. Junto às relações com a paisagem, os solos derivam de combinações de elementos de extrema importância para a natureza partindo de seu material de origem, seguida pelo clima, o relevo, os microrganismos e o tempo. De acordo com Espíndola (2008) há diversas definições de solo para muitos autores, e não é simples sua definição, devido ao fato de tratar-se de um material complexo, multifuncional, cujos conceitos variam em função de sua utilização.

Pode ser considerado produtos friáveis e móveis formados na superfície da Terra como resultado da desagregação e decomposição das rochas pela ação do intemperismo Toledo et al. (2001). Em uma definição tradicional de significado, o solo é conceituado como o meio natural para o crescimento de plantas terrestres (USDA, 2014).

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, o solo consiste em uma “coleção de corpos naturais formado por parte sólida, líquida e gasosa, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais. Contém matéria viva e podem ser vegetados” (EMBRAPA, 2018). Em outras palavras também pode ser considerado um sistema aberto entre os diversos ecossistemas do planeta Terra, que se encontra constantemente sob ação de fluxos de matéria e energia. Essa condição o torna um sistema dinâmico, ou seja, o solo evolui, desenvolve-se e forma-se de maneira contínua no ambiente em que está inserido.

Vale ressaltar que, o conceito/definição de solo varia conforme quem o emite e sua área do conhecimento. Porém em sentido amplo e com base em estudos mais aprofundados sobre a temática abordada, o solo não tem uma definição universal aceita, pois o uso desse recurso é quem tem condicionado a forma com que ele é entendido (CERTINI; UGOLINI, 2013).

Na geomorfologia o solo é considerado um formador continuado tridimensional da paisagem, que permite a existência da vida a partir dos diversos fatores condicionantes que agem de forma integrada onde os organismos atuam sobre o material de origem, relevo sob ação do clima ao longo do tempo. Dentre suas características físico-químicas

dependentes da natureza químico- mineralógica dos fragmentos que o formam. Segundo Teixeira et al. (2009) para o engenheiro civil é considerado material base na fundação de obras. Para o geólogo o solo é o produto da alteração das rochas ou fonte de matéria prima. Já para o arqueólogo é o material essencial para suas pesquisas de registro das antigas civilizações. Enquanto que para o engenheiro agrônomo ou o agricultor é o meio utilizado para o desenvolvimento das plantas.

Com o avanço das ciências na segunda metade do século XIX o geólogo e pesquisador russo Vasilii Vasilevich Dokuchaev (1846-1903), sugeriu a compreensão do solo como um corpo natural organizado. Dokuchaev pôde desenvolver um modelo que explicasse as relações entre os fatores ambientais e a distribuição geográfica das diferentes classes de solo, através de estudos voltados à produção agrícola na Rússia, inicialmente aplicada à camada superficial. Porém antes de suas descobertas o solo era considerado um produto somente da transformação físico-química da rocha, um corpo inerte, passando posteriormente a ser identificado como material que evolui com o tempo sob ação dos fatores ativos: biosfera, clima e topografia.

Através da aplicação dos princípios de estratigrafia para a descrição dos solos, então, o cientista constatou que os solos eram constituídos por uma sucessão vertical de camadas horizontais, resultantes da ação conjunta de diversos fatores. Permitindo-o compreender os fatores de formação do solo como o material de origem, relevo, clima, organismos agindo sobre o tempo (KÄMPF; CURI, 2012).

Dokuchaev também desenvolveu princípios de cartografia (mapeamento) de solos e definiu direções de seu desenvolvimento, executou intensas pesquisas, bem como o trabalho “Russian Chernozem” realizado na região de Chernozem na Rússia através de estudos e gerações de teses posteriormente comprovadas em análises químicas, marcaram o nascimento da Pedologia.

Para o desenvolvimento da Ciência do Solo no início do século XX um modelo de equação foi inicialmente proposto por Shaw (1930): $S=M (C+V)^T+D$, S= solo,

1. M= material de origem,
2. C= clima,
3. V= organismos,
4. T= Tempo
5. D= alteração do solo por erosão e deposição (KÄMPF; CURI, 2012).

Posteriormente, modificada por Jenny (1941): $S = f(m, r, o, c, v, t)$; em que f = função; m = material de origem; r = relevo; o = organismos, v = vegetação; t = tempo (EMBRAPA, 2018).

A equação ou modelo proposto é uma expressão qualitativa da formação do solo que perdura até a atualidade e que contribui para os novos fundamentos da Pedologia, expressos através da relação dos fatores de formação do solo sob a ação da dinâmica interna do sistema do solo junto dos processos pedogenéticos específicos para determinado pedoambiente. Resultando em solos com propriedades e características próprias que desempenham suas funções na natureza e na paisagem em que se inserem (EMBRAPA, 2018).

O solo é de fundamental importância para a fauna, flora e seres humanos por exercer inúmeras funções como: ação filtrante e protetora da qualidade da água, regulação na distribuição, armazenagem, escoamento e infiltração da água da chuva e de irrigação para plantações. Armazenagem e ciclagem de nutrientes para as plantas como suporte de oxigênio, água, microrganismos e outros elementos essenciais na composição biótica do ecossistema terrestre. É utilizado na sociedade também como substrato para obras civis (casas, estradas,) e matéria prima (artesanato, cerâmica) e entre outros. É um meio insubstituível para a agricultura, pela produção de alimentos que sustenta a população mundial.

2.2 Fatores de Formação do Solo

Os solos na paisagem se diferenciam conforme a interação de seus fatores de formação que são (clima, organismos vivos, material de origem e relevo) através do tempo, contendo matéria viva e em parte modificado pela ação humana, capaz de sustentar plantas, de reter água, de armazenar e transformar resíduos e suportar construções (BECK et al., 2004).

A relação entre esses cinco fatores definem a classe de solo que irá se desenvolver em cada paisagem. Originado da decomposição da rocha o solo passa por diversos processos químicos sendo os mais importantes (hidrólise, hidratação, carbonatação, oxidação, redução e solubilização) (PASTORE; FONTES., 1998; LEPSCH, 2016). Sua intensidade de intemperismo químico é equivalente ao aumento de temperatura. O intemperismo físico está relacionado com o processo de crescimento radicular das

plantas, desintegração, congelamento da água, outros. Enquanto os biológicos está ligado aos processos de bioturbação, decomposição de matéria orgânica, atividades dos microrganismos, bactérias e outros.

Assim conforme Kämpf e Curi (2009) os efeitos do intemperismo podem ser observados na dissolução de elementos alterados, na formação de novos minerais e de solo. Logo os processos de alteração, transformação e de neotransformação de minerais são dominados pelos processos de intemperização química. Compreendendo a parte superior do regolito, o intemperismo da- se continuidade com a pedogênese em conjunto com os processos químicos e pela intensidade dos processos biológicos. Sendo considerada uma ação lenta, há a importância de não subestimar a ação do intemperismo em estudos do solo. Presente habitualmente no sistema solo, com alteração dos materiais afetados pelo clima, chuva e pela temperatura.

Conforme Stolt et al. (1993) a ocorrência da variabilidade dos solos nas paisagens e sua evolução, são influenciados pelas condições climáticas, hidrologia, litologia e quando associados à acontecimentos geomorfológicos.

Dentre todos esses aspectos relatados que condicionam a formação dos solos, verifica-se a importância de conhece-los com maior detalhe, compreendendo todos esses fatores e suas características, que influem de forma direta no sistema solo.

2.2.1 Material de Origem

A definição de um dos fatores de formação do solo, material de origem se refere ao estado inicial do sistema solo ou é o estado do sistema solo no tempo zero de sua formação (JENNY, 1941). Em outras palavras, trata- se de denominações como rocha mãe, estando implícito a ideia de que o substrato alterado deva proporcionar diretamente a formação do solo, com a ação dos produtos liberados junto ao meio biológico. De fato, desde a presunção do termo pedologia, eram citadas *classes de terras de solos gerados* oriundos de diversas rochas, e *classes de terras de aluviões* derivados de *materiais móveis* (AESCHLIMANN et al., 2010) que seriam os depósitos aluviais, turfas, seixos e entre outros.

As superfícies sofrem desgastes na pedosfera através de mudanças climáticas e tectônica, juntamente de transportes por arrastes, despendimentos e depósitos em superfícies estabilizadas, passando a compor novos solos com a constituição do material

de origem, vários já em estágio de intemperismo avançado. Como é o exemplo dos Latossolos Brasileiros, em que seu espessamento é abreviado de maneira que forem favoráveis suas condições locais, conforme diferentes tempos geológicos e regiões geográficas (ESPINDOLA, 2016). Podemos citar os Latossolos Vermelhos do norte do Paraná oriundos de formação basáltica (rochas vulcânicas) comparado aos Latossolos Amarelos sob formação barreiras na região de Tucuruí estado do Pará.

No material de origem encontramos três principais variáveis importantes na influência do solo, que são o grau de consolidação, a composição e a granulometria. O grau de consolidação se refere aos materiais não consolidados, a qual o desenvolvimento do perfil de solo pode acontecer sem antes ter ocorrido o intemperismo da rocha a material fino (KÄMPF; CURI, 2012).

Já a composição do material de origem está ligado à sua interferência na velocidade de intemperização da rocha, na alteração do suprimento de elementos, na composição do solo, como por exemplo, rochas máficas (ricas em materiais ferromagnesianos e plagioclásios) fornecem altos teores de cátions de reação básica e de Fe, favorecendo a formação de esmectita em ambientes de lixiviação restrita, dentre outros argilominerais.

Enquanto a granulometria é o principal determinante da textura do solo, capaz de alterar suas propriedades como o teor de MO, CTC, drenagem e retenção da água. A textura é a proporção relativa dos diferentes tamanhos de partículas, em determinada massa de solo, ou a quantidade de areia, argila e silte que fazem parte de uma amostra de terra fina (LEPSCH, 2016).

Outra questão também importante que deve ser observada quando trata-se da relação solo e material de origem são as descontinuidades, designada por Fiori & Carmignani (2009) como qualquer quebra mecânica ou fratura presente num maciço rochoso, o que demonstra a importância de qualificar a sua origem, podendo ser natural ou artificial devido ao desmonte da rocha por explosivos. Ou seja, pode ser que o material encontrado regolito é composto por depósitos superficiais de materiais intemperizados provenientes de outra rocha fonte. Por isso cabe ao pesquisador a necessidade de averiguar cada situação em particular, e verificar qual material de origem pode ser encontrado de acordo com o conhecimento da geologia local junto ao relevo.

2.2.2 Clima

O clima atua diretamente de maneira contínua e dinâmica na formação do solo a partir de atributos como (precipitação pluviométrica, temperatura e o vento), controlando a intensidade dos processos atuantes sob cada condição específica de cada região.

A água presente no solo é o principal agente do intemperismo das rochas e dos minerais, além de inúmeras funções essenciais para a vida do ecossistema terrestre. Sua importância está no crescimento e desenvolvimento das plantas, dos microrganismos essenciais para a formação do solo, na disponibilidade de umidade do sistema, presentes para a lixiviação e o intemperismo. Atuam em processos como adição e remoção de elementos no interior do perfil do solo (KÄMPF; CURI, 2012). Deste modo, o regime de umidade do solo é representado pelo balanço hídrico, que descreve muitos atributos climáticos importantes para a formação do solo e desenvolvimento das plantas.

Enquanto a temperatura age de maneira indireta na pedogênese, pois controla a quantidade de umidade disponível para os processos de formação do solo, influenciando atividade biológica, natureza dos resíduos orgânicos, sobretudo as reações químicas que ocorrem constantemente.

Sendo a temperatura e a precipitação pluvial as propriedades do clima que tem maior significância pedogenética (YOUNG, 1976).

Já o vento de acordo com Kämpf e Curi (2012) é um importante agente modelador do relevo, de transporte e distribuição de materiais e sedimentos propensos na superfície. Assim como o declive que influencia de forma significativa nas condições microclimáticas, na vegetação, na concentração de umidade do solo e na sua formação, que ocorrem de forma desigual dando características diferentes sobre o relevo e cada perfil de solo (KÄMPF; CURI, 2012).

Algo também significativo que devemos ressaltar na temática de clima para os processos de formação do solo é o Paleoclima, no qual significa de acordo com (SHAETZL; ANDERSON, 2005 apud KÄMPF; CURI, 2012, p.221) o clima de um período do passado geológico. Assim um solo originado de um tempo geológico pretérito para Suguio (1998) é chamado de paleossolo e pode apresentar-se na superfície do terreno ou soterrado em subsuperfície.

As glaciações estão intimamente ligadas com o paleoclima, pois são eventos que ocorreram há bilhões de anos atrás, e estão associadas com a ciclicidade da quantidade de insolação (radiação solar) derivado da oscilação da órbita terrestre. Os períodos de avanço glaciais são conhecidos como glaciações, regulados pelas variações climáticas, enquanto a época de recuo das camadas de gelo é conhecido como período interglacial.

Conforme Kämpf e Curi (2012) através deste movimento de avanço e recuo das geleiras, os sedimentos depositados auxiliam a formação dos solos dos hemisférios. Nas áreas mais próximas aos trópicos, ou seja, onde não houve a ocorrência de glaciações, a formação do solo se deu de acordo com os períodos secos e úmidos. Já em períodos secos de menores volumes de chuvas nos trópicos, coincidiu com períodos frios e glaciais nas altas e médias latitudes, que durante o período interglacial no hemisfério norte associou-se com período mais úmido nos trópicos e subtropicais.

De acordo com Guerra e Guerra (2003), um paleossolo pode ser identificado pela presença de horizonte mais escuro em camada de subsuperfície, podendo ser horizonte A de solo recoberto por sedimentos e materiais há um tempo passado.

Os constituintes minerais das rochas também chamados de rocha parental exerce influência sob a alteração intempérica, pois há minerais que são mais suscetíveis à alteração do que outros. Em relação à diferença de comportamento dos minerais sobre o intemperismo, está a formação de perfis mais ricos em minerais que são mais resistentes como quartzo, e menos ricos em minerais mais modificáveis. A textura da rocha também é um elemento de interferência, como por exemplo a tendência dos materiais arenosos terem mais permeabilidade e infiltração da água do que os argilosos (RETALLACK, 2005).

2.2.3 Relevo

O relevo é a configuração da superfície do terreno, está relacionado com a distribuição espacial dos solos em todas as escalas da paisagem. É resultante da sobreposição e inter-relações entre a atmosfera, hidrosfera, biosfera e litosfera. Estudar o relevo significa tratar das características naturais e físicas do espaço e de como essas características se encontram relacionadas com a vida do homem. Pois o mesmo é um dos componentes da litosfera que está intrinsecamente ligado com as rochas, com o clima que o esculpe através do intemperismo e com os solos.

Sendo assim, as diferentes formas do relevo provem da atuação desses elementos juntos, porém de forma desigual ao longo do tempo e no espaço, que se alteram continuamente e estão em constante estado de evolução (GUERRA; CUNHA, 2012). De acordo com os princípios de Walter Penck (1953 apud ROSS 1992) as formas do relevo terrestre são consideradas produtos da ação dos processos endógenos e exógenos no interior da Terra e da atmosfera. Também existem inúmeras formas e diferentes tamanhos do relevo na contínua e imensa superfície terrestre, onde “os diferentes tamanhos de formas estão diretamente associados à cronologia e à gênese” (ROSS, 1992, p. 21).

A relação do relevo com os processos de formação do solo são amplas e diversas, atuam de maneira direta, já a influência do mesmo sob os fatores ambientais se dá de forma indireta (KÄMPF; CURI, 2012). Os efeitos diretos do relevo na distribuição das diferentes classes de solo podem ser abordados por Ruhe (1960) dentre outros autores, em sua relação solo- paisagem na perspectiva geomorfológica ou por Milne (1935) na relação solo-paisagem sob o conceito de catena, com destinações de mapeamentos de solos.

Vidal-Torrado e Lepsch (1999) afirmam que existe uma relação cronológica entre os solos e as superfícies geomórficas, já que superfícies geomorficamente mais estabilizadas exibem condições para maior desenvolvimento e estabilidade dos solos, na mesma proporção que superfícies menos estáveis têm, normalmente, são solos mais variados e menos desenvolvidos. Cunha et al. (2005) destacam que a diversidade das classes de solos, igualmente a estabilidade geomórfica das superfícies, está associada ao tempo e ao relevo. Tendo em vista que a geomorfologia de acordo com Guerra e Guerra (2003) é:

[...] é a ciência que estuda as formas de relevo, tendo em vista a origem, a estrutura, a natureza das rochas, o clima da região e as diferentes forças endógenas e exógenas que, de modo geral, entram como fatores construtores e destruidores do relevo terrestre (GUERRA; GUERRA, 2003, p. 203).

Entende-se que a Geomorfologia relaciona com outros saberes, que fundamentam sua sistematização, como a Geologia, Geografia, Pedologia, Climatologia e entre outras, as quais os objetos de estudo influenciam na dinâmica e na evolução do relevo.

2.2.4 Organismos

A ação dos organismos presentes no solo (vegetais, fungos, líquens, musgos, insetos, bactérias, minhocas, microrganismos), fauna e a flora, exercem o papel de extrema importância em sua formação, pois agem na transformação dos constituintes orgânicos e minerais. Sendo um pré-requisito a presença dos organismos vivos para a formação do solo.

Cada organismo exerce seu papel diferenciado sob o solo, como as minhocas, saúvas e térmitas, nas ações transformadoras do meio (bioturbação). Os roedores, que ao se movimentar pelo solo contribuem para a formação de agregados estruturais e a transferência de materiais do subsolo para a superfície. Assim as atividades da fauna e flora são variadas, pois atuam desde a decomposição do material de origem, fungos, líquens até mesmo a desordem dos horizontes. Intervém também na permeabilidade do solo, estrutura e aeração da superfície até as camadas mais profundas (RESENDE et al., 2014).

Já os organismos, resíduos de vegetais e animais quando se decompõe, são adicionados ao solo e transformados em fração orgânica, constituída de nutrientes que permitem o intenso desenvolvimento microbiano e não é possível separar do material orgânico morto. A matéria orgânica é importante para a qualidade, sobretudo a biomassa do solo.

Segundo Kononova (1984), a dinâmica da matéria orgânica é conduzida principalmente pela adição de múltiplos resíduos orgânicos, e pela contínua transformação dos mesmos sob ação dos fatores: físicos, químicos, biológicos, climáticos e do uso e manejo da terra. Além dessa camada de vegetação na superfície, que atua na proteção do solo contra erosão e auxilia em sua estruturação física através das raízes que proporcionam mais porosidade ao solo e permitem uma maior capacidade de infiltração e percolação de água. De acordo com Guerra e Botelho (1996) ações inadequadas do homem podem provocar alterações no clima, relevo e na cobertura vegetal, que terão ações distintas sobre a pedogênese.

2.2.5 Tempo

A atuação do tempo sob a formação do solo, se dá de modo que os mesmos estão sempre em processo de constituição e são igualmente alterados pelo tempo. O tempo que um solo leva para se formar dependerá do tipo de rocha presente, do relevo e do clima. Um exemplo, são os solos ricos em quartzo, que demoram mais tempo para se formar do que os originados de diabásio (ricos em Fe). Assim a escala do tempo geológico possibilita situar a idade da formação das rochas, que se transformarão em materiais de origem futuros.

Outro exemplo também são as rochas compactadas em climas temperados e frios, as quais precisam de um período maior para a formação dos solos do que comparado aos arenitos, formados em clima tropical úmido (GUERRA; BOTELHO, 1996).

Comparado aos outros fatores de formação o tempo é o mais passivo, pois não gera energia para processos ativos no solo, não adiciona material, porém o solo não é estático, devido a variação com o tempo. A estimativa do estágio de desenvolvimento de um solo está baseado nas feições morfológicas presentes em seu perfil, como solos jovens de perfis pouco desenvolvidos (AR, AC), solo intermediário perfis já mais desenvolvidos (Bi, Bv, Bk) e solos considerados maduros com a presença de (ABC) (KÄMPF; CURI, 2012).

É válido ressaltar que, os solos são recursos naturais que se renovam lentamente, até por conta de seu desenvolvimento sob ação frequente de mudanças climáticas, eventos que causam a erosão, mudança de lugar dos materiais geológicos e dos solos, salientando que muitos são poligenéticos. Desta forma, o homem é capaz de criar novos solos como consequência de suas modificações e intervenções vindo de outros já pré-existentes ou de materiais tecnogênicos (KÄMPF; CURI, 2012).

Como é o exemplo da “Terra Preta de Índio”, denominação regional na Amazônia, definido como horizonte A antrópico, superficialmente escuros, modificado pelo uso contínuo do homem, com adições de material orgânico junto de material não mineral. Destaca-se por sua alta fertilidade, contém resquícios de povos antigos (pré-colombianos) fragmentos de cerâmicas, artefatos líticos, conchas, resto de ossos e entre outros (IBGE, 2015). Tem sido estudado por muitos estudiosos e grupos de pesquisa atualmente.

2.3 Relação dos solos com o relevo na perspectiva da paisagem

O solo quando discutido enquanto corpo dinâmico e em constante evolução, se designa como instrumento de análise, pois a sua formação e atividade consistem na inter-relação dos elementos que constituem a paisagem, os organismos, clima, material de origem, relevo e tempo. As pesquisas na pedologia permitem compreender e monitorar os processos que dependem da relação solo e relevo, o que fornece um conjunto de pesquisas em escalas regionais e locais (ROCHA, 2011). Podendo auxiliar no entendimento da distribuição espacial dos solos e de configuração nos diferentes tipos de relevos e ambientes.

A paisagem é conceituada por Bertrand e Bertrand (2007) como sendo determinada porção do espaço, consequência de uma combinação dinâmica, porém instável, composta por elementos biológicos, físicos e antrópicos os quais reagem conjuntamente uns com os outros, fazendo da paisagem assim intrínseca e inseparável, formando um único conjunto que está em constante evolução. Bem como, para muitos autores esta consiste no próprio objeto de estudo da Geografia, analisados de forma sistêmica e integrada da paisagem.

Conforme Vidal Torrado et al. (2005) os fenômenos terrestres vem tendo um melhor entendimento com o uso do enfoque interdisciplinar, com vários estudos por meio de variáveis que controlam os sistemas naturais. Ou seja, quanto maior forem as características e fenômenos diagnosticados de alteração da pedosfera, melhor será a compreensão das propriedades, origem, evolução e distribuição espacial do solo na paisagem.

Entretanto, muitos autores não incluem em seus campos de pesquisa a pedosfera, sendo o estudo dos solos dotado de um caráter geográfico. O que pode ser observado ao considerarmos a Geografia moderna na Rússia a partir das concepções teóricas do naturalista Dokuchaev, e o quanto exerceu influência sob a ciência (FROLOVA, 2007). Sendo assim, essas ideias fornecem embasamento para a abordagem sistêmica dentro da Geografia, pois a paisagem é compreendida como um complexo territorial homogêneo e descontínuo, representando a síntese de relações dos elementos naturais e humanos em diferentes regiões, da mesma forma que o objeto de estudo da Pedologia (FROLOVA, 2007).

2.4 Textura do solo

O solo é composto por minerais com diferentes tamanhos (frações granulométricas) e composições químicas. A textura é a proporção relativa dos diferentes tamanhos de partículas, em determinada massa de solo, ou quantidade de areia, argila e silte que fazem parte de uma amostra de terra fina (LEPSCH, 2016).

A textura pode ser estimada em laboratório e em campo, no último através da sensibilidade ao tato, na qual umedece-se uma amostra de solo que é trabalhada na mão até formar uma massa homogênea. Esfrega-se o material entre o polegar e o indicador até identificar a sensação que o mesmo apresenta, podendo ser de aspereza, sedosidade e pegajosidade relacionadas com as frações de areia, silte e argila (SANTOS, 2005).

Na prática embora seja complicado avaliar o tamanho das frações e suas formas subdivididas, é perceptível diferir um solo arenoso de um argiloso através da sensação áspera ou muito pegajosa que sentimos nos dedos. Do mesmo modo, a visão e a audição contribuem para a distinção de materiais, como o grão de areia que pode ser observado facilmente a olho nu e percebido por meio do som de material grosseiro, quando esfregados pelos dedos. As areias muito finas também permitem a sensação de sedosidade, representando solos siltosos. Bem como a presença de cascalhos em solo é observável, capaz de distingui-lo como pedregoso. Os teores de silte também torna-se facilmente identificável, pois apresenta a sensação de sedosidade similar ao do talco, não visto à olho nu.

A textura é importante para a descrição, identificação e classificação de solos. Faz referência somente a dimensão entre os tamanhos de partículas de argila, areia e silte, sendo essencial, conhecer quais minerais estão presentes em cada uma das frações granulométricas.

A quantificação das frações granulométricas pode ser realizada em laboratório, a partir de métodos considerados padrões. O principal e mais utilizado é o método da pipeta, por sua precisão e exatidão em relação à outros métodos.

No procedimento, adiciona-se dispersante e repousa a amostra por determinado tempo para o deslocamento vertical das partículas. Posteriormente utiliza-se uma pipeta para a coleta da parte em suspensão. A suspensão estará acima daquela profundidade com somente as partículas menores do que de determinado tamanho. O método da pipeta é

considerado preciso e pode ser empregado a agitação rápida e a agitação lenta para análises de textura (CLAESSEN et al., 1997; FERREIRA, 2010). Em comparação à outros métodos, o critério de escolha para o mais adequado é efetivado com base na maior quantia de argila resgatada que melhor se assemelhará aos resultados do método padrão (pipeta).

É adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, as classes de textura definidas pelo Soil Survey Manual propostas pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Estados Unidos, 1951), que considera quatro classes de tamanho de partículas menores que 2 mm, conforme mostra a (tabela 1).

Tabela 1- Classes de tamanho das partículas do solo

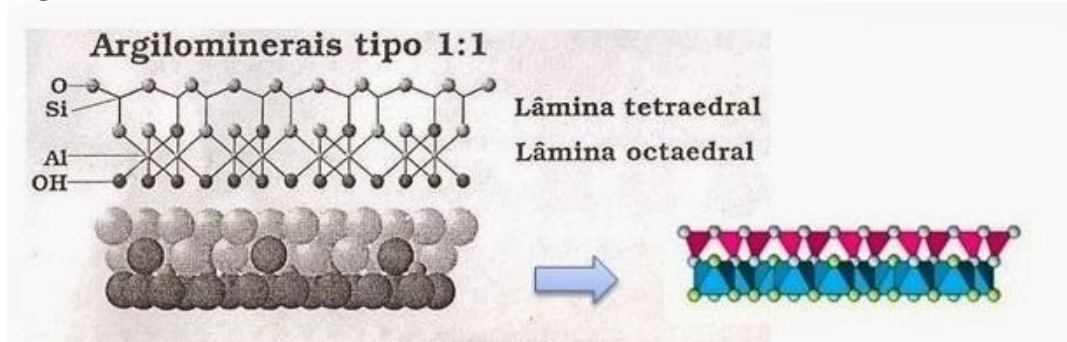
Areia grossa	2 a 0,2 mm ou 2000 a 200 μm
Areia fina	0,2 a 0,05 mm ou 200 a 50 μm
Silte	0,05 a 0,002 mm ou 50 a 2 μm
Argila	menor que 0,002 mm ou 2 μm

Fonte: Soil Survey Manual (Estados Unidos, 1951).

2.5 Mineralogia da fração argila

A fração argila é a fração que propicia plasticidade e pegajosidade ao solo. Essa propriedade se dá pela influência das cargas superficiais das partículas de argila e pela atração individual que exercem mutuamente. A mesma é considerada um fator inerente no solo, e diversos autores apresentam em seus estudos a influência desses minerais nos atributos físicos como: (CURI; FRANZMEIER, 1984; SCHWERTMANN; KÄMPF, 1985). A mineralogia da fração argila dos solos tropicais intemperizados, é formada predominantemente de argilominerais do tipo 1:1 (um tetraedro de silício e um octaedro de alumínio) e de hidróxidos de ferro e alumínio, conforme é o exemplo da caulinita na Figura 1.

Figura 1- Estrutura de um mineral 1:1, caulinita.

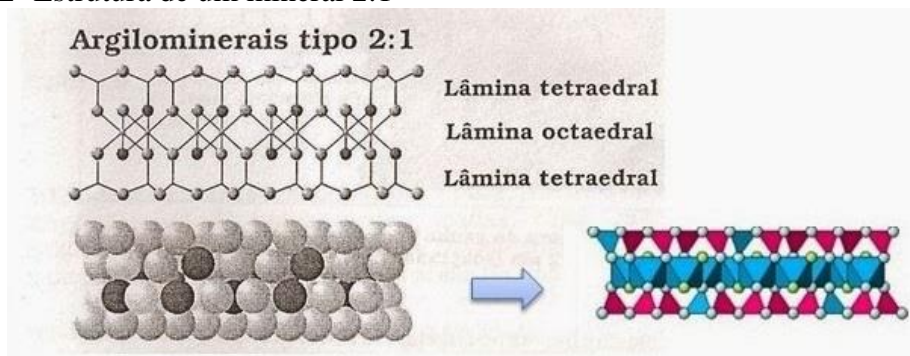


Fonte: Adaptado de (Schulze, 1989).

De acordo com a evolução do solo, sua composição mineral passa a depender mais do ambiente de intemperização e menos da composição do seu material de origem (KÄMPF et al., 2009). Por conta disto, as associações dos argilominerais nos solos são consideradas indicadoras do grau de desenvolvimento do solo, com base em uma frequência de minerais há uma sequência de estabilidade para minerais da fração argila proposto por Jackson et al. (1948) e Jackson e Sherman (1953) apud (KÄMPF et al., 2009).

Os principais constituintes que fazem parte da fração argila em solos de regiões tropicais são a caulinita e os óxidos de ferro (goethita, hematita) e alumínio (gibsitita), (KÄMPF et al., 2009). Porém, também podem ser encontrados minerais 2:1 como, vermiculita, esmectita, clorita, maghemita, materiais amorfos, entre outros (LEPSCH et al., 1977; KER; RESENDE, 1990; DEMATTÊ; MARCONI, 1991). Esta estrutura de minerais pode ser observada na (figura 2).

Figura 2- Estrutura de um mineral 2:1



Fonte: Adaptado de (Schulze, 1989).

De acordo com Kämpf e Curi (2000), os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio apresentam-se como importantes indicadores pedogenéticos devido a sua formação influenciada pelas condições propiciadas pelo ambiente e por perdurarem durante longo tempo no solo. A complexidade do ambiente a qual os minerais da fração argila são formados, justifica elementos com características diferentes desses minerais. (GHIDIN et al., 2006), observaram mudanças no grau de intemperização de minerais da fração argila conforme diferentes posições no relevo, em Latossolos oriundos de basalto em duas topossequências. Na posição mais alta houve o predomínio de solos mais oxidados (gibbsita e hematita), em um Latossolo Vermelho distroférico. E nos locais mais baixos maiores teores de SiO₂ e caulinita na fração argila foram encontrados em perfis de Latossolos Bruno ácrico.

Do mesmo modo, cada mineral sofre sua alteração e cada ambiente ocorre sua transformação através de inúmeros fatores específicos do local. Insere-se então a importância das análises microscópicas e espectrométricas para a identificação dos minerais primários e a formação dos minerais secundários presentes no solo (KÄMPF et al., 2009).

2.5.1 Caulinita

Os argilominerais são silicatos de alumínio, ferro ou magnésio hidratados. Minerais de estrutura 1:1, são argilominerais filossilicatados como caulinita, haloisita, diquita e nacrita. A fórmula empírica para a caulinita é Al₂Si₂O₅(OH)₄ e sua composição química teórica é 46,54% de SiO₂, 39,50% de Al₂O₃ e 13,96% de H₂O (MURRAY, 2007).

A caulinita é o principal constituinte mineral da fração argila presente nos solos brasileiros de (clima tropical úmido), podendo ocorrer em outros climas também. Visto que, a formação desses minerais é ocasionada pelas condições de intenso intemperismo químico junto da lixiviação dos elementos provindos da dissolução dos minerais, especialmente cátions de natureza básica como: (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺) e sílica. Sendo seu principal processo de formação ocorrido por dissolução dos minerais primários (feldspato, mica, anfibólio, olivina, piroxênio), e reprecipitação de Si e de Al oriundo da solução do solo (neogênese) (KÄMPF et al., 2009).

Outros fatores também determinam sua formação como, o intemperismo e transformação dos minerais secundários mais ricos em sílica (2:1), como acontece no

processo de dessilicação, que é a remoção de sílica do solo (KÄMPF et al., 2009). A caulinita se forma quando a dessilicação é moderada, ao contrário da total condicionada pela gibbsita. Sendo assim, a mesma tende a se ajustar face a face na forma de placas ou camadas, aumentando o grau de coesão das partículas do solo, conferindo propriedade plástica às argilas (RESENDE et al., 2014).

Em diversos processos físicos- químicos do solo a caulinita exerce influência nos aspectos de retenção de água, formação de agregados, porosidade, drenagem, lixiviação dos nutrientes, reações de troca e entre outros (KÄMPF et al., 2009). Considerando que as propriedades físicas e químicas da caulinita são fortemente influenciadas por sua ordem estrutural (VACULÍKOVÁ et al., 2011).

2.5.2 Óxidos de Ferro

Os óxidos de ferro são os constituintes minerais predominantes nas regiões tropicais e subtropicais, junto com a caulinita. Formados sob influência das diversas condições do ambiente, são grandes indicadores pedogenéticos e importantes minerais em ambientes intemperizados, destaca-se presente nas classes de solos Latossolos, Argissolos, Nitossolos e Plintossolos. Representado por 58% do território brasileiro altamente explorado na agricultura brasileira estão os Latossolos e Argissolos, (EMBRAPA, 2018).

Autores como Resende et al., (1987) salientam que a proporção dos óxidos e hidróxidos de ferro, na maioria das vezes, é menor que à soma da caulinita e gibbsita. A gibbsita é encontrada em solos de avançado estágio de intemperismo como é o caso dos Latossolos e Argissolos (SOIL SURVEY STAFF, 1996). Em altos valores desse mineral, é favorecida a agregação do solo na forma de estrutura granular fina e bastante estável (CAMPOS et al., 2008), situação de solos bem evoluídos.

A hematita e a goethita são os minerais mais representativos dos óxidos de ferro, nos solos tropicais com destaque nos solos brasileiros, responsáveis pela dinâmica química e física do solo e são formados durante o processo de intemperismo dos materiais primários (rochas vulcânicas). São minerais formados sob condições distintas, sua relação se dá de forma que o aumento da concentração de um acontece em detrimento do outro, refletindo a condição de formação do mineral e servindo como indicador pedogenético (KÄMPF; CURI, 2000).

Já outros minerais como a magnetita e ilmenita são comumente encontrados na fração areia e silte, em decorrência da ação do intemperismo ao longo do tempo, que dissolvidos, liberam Fe para o solo (CORNELL; SCHWERTMANN, 2003). É válido também destacar que, dentre os grupos de óxidos de ferro, a magnetita e maghemita são minerais ferrimagnéticos atribuindo magnetização espontânea em contato a um campo magnético (ímã). Distinção produzida no momento da cristalização do mineral pedogênico, decorrente das propriedades de rotação dos elétrons não pareados e do impulso angular orbital (CRAIK, 1995; LUQUE, 2008).

Evidencia-se que, os principais óxidos de ferro constituintes dos solos tropicais, hematita e goethita são minerais antiferromagnéticos de baixa magnetização, 27 a 169, 35 a 125 $10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Outros minerais, que não fazem parte do grupo dos óxidos, comumente encontrados no solo como, o quartzo e a caulinita são diamagnéticos, apresentando suscetibilidade negativa, pois não dispõem ferro na sua estrutura (DEARING, 1994).

2.6 Espectroscopia Vis-NIR e sua aplicação na Ciência do Solo

A história da espectroscopia começa por volta de 1643-1727 com Isaac Newton, com estudos sobre a luz. Sendo o primeiro a desenvolver diversos experimentos elaborados e regras matemáticas sobre refração da luz. Descobriu que a luz branca do sol era um somatório de outras. Algo que pode ser comparado à um prisma, onde, a luz colorida visível no prisma e em arco-íris representa uma pequena fração de amplo espectro, conhecido como espectro eletromagnético (OLIVEIRA, 2001).

Seu trabalho foi complementado então por Frederick William Herschel que utilizava do mesmo princípio. Quando realizou certa experiência com o auxílio de um termômetro, registrando o valor da temperatura (calor) atrelado a cada cor que possui a luz solar. Observando um aumento da temperatura (causado pela radiação não visível) acima da região vermelha descobriu-se a luz no infravermelho próximo (ALMEIDA, 2009). Sendo essa radiação um tipo de espectroscopia vibracional, que aborda sobre a região posterior a do visível, emprega energia na faixa de $2,65 \times 10^{-19}$ a $7,96 \times 10^{-20}$ equivalente à (780- 2.500 nm) (PASQUINI, 2003). Seu conhecimento em matemática e óptica permitiu que complementasse os estudos de Isaac Newton até então.

Segundo Farmer & Palmieri (1975), a espectroscopia no infravermelho está entre uma das poucas técnicas capaz de proporcionar informações a respeito da estrutura e composição de fases amorfas, tal como o solo moído, material útil para caracterização molecular de espécies inorgânicas. Comparado aos métodos convencionais (padrões de laboratório) pode-se analisar centenas de amostras em um mesmo dia e sem preparo.

No ramo da microbiologia do solo, a espectroscopia (NIRS) tem auxiliado de forma vantajosa às análises de referência na determinação de matéria orgânica e outros tipos de matéria, como avaliação de biomassa, nitrogênio e carbono (DRENNEN et al., 1991).

Marchão et al. (2010) em estudos para quantificar estoques de carbono e nitrogênio do solo por meio da espectroscopia NIRS, encontraram valores satisfatórios do coeficiente de determinação do modelo de predição ($R^2 = 0,94$ para C e N) e evidenciaram que o método apresenta potencial para uso nos Latossolos. Verificou-se também em trabalhos de (BARTHÈS et al., 2006; BRUNET et al., 2007) que alguns elementos são interferentes nos resultados das análises espectroscópicas referentes à predição do Carbono, como a quantidade e preparo de amostras.

Já em estudos que auxiliam as determinações da mineralogia dos solos, também há boas respostas quanto ao potencial da ferramenta em quantificar de forma ágil e satisfatória conteúdos de areia e argila, teores de gibbsita e caulinita (principalmente em solos intemperizados), além de teores de nitrogênio (MADARI et al., 2005; MARCHÃO et al., 2010).

Na classificação de solos o uso da espectroscopia foi utilizado em trabalhos de (DEMATTÊ et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2013), bem como no auxílio dos métodos padrões de referência de classificação de solos, onde seu uso apresentou-se satisfatório. Demattê et al., (2015) mostraram que os dados espectrais são obtidos como diferenciadores entre horizontes de cada perfil avaliado, relacionados à intensidade, feições de absorção e morfologia da curva, em estudos em uma topossequência na região de Piracicaba, SP.

A radiação no Infravermelho Próximo consiste na incidência de um feixe de luz com comprimento de onda na região do infravermelho próximo nas amostras que são avaliadas. As ligações contidas nas substâncias orgânicas absorvem certa quantidade da energia incidente, o que permite identificar o número e tipo de ligações moleculares que

contem a amostra, mediante o emprego de espectrômetros, que medem a diferença da quantidade de luz emitida e refletida (FERNANDES et al., 2010).

São formadas com base na irradiância de energia, as curvas espectrais dos solos (assinaturas espectrais) interagindo com o solo resultando na reflectância em diferentes comprimentos de onda, captada por sensores. No entanto, a radiação eletromagnética é formada por fótons de energia, no ato da incidência sobre uma amostra orgânica, a energia do fóton pode ser absorvida ou não (BARBOSA, 2007). O modo que os espectros do solo no Vis se comportam é afetado por diferentes fatores, sobressaindo-se: a cor, composição mineralógica, granulometria, a classe de solo e o teor de umidade (EPIPHANIO et al., 1992).

Já o surgimento da espectroscopia Vis-NIR desenvolveu-se rapidamente a partir da década de 80 com o intuito de tornar-se uma ferramenta rápida para análises de produtos farmacêuticos, alimentícios e agrícolas (BLANCO; VILLARROYA, 2002).

O uso da espectroscopia Vis-NIR tem como escopo principal obter informações qualitativas ou quantitativas de uma amostra, por conta da interação das ondas eletromagnéticas do infravermelho com os constituintes da amostra, envolvendo as bandas de absorção correspondentes a qualquer tipo de molécula contendo as ligações C-H, O-H, N-H e S-H, sem nenhum pré-tratamento da amostra (PASQUINI, 2003).

Nos estudos da espectroscopia voltados para a ciência do solo, foi formado um banco de dados espectrais, chamado Biblioteca Espectral de solos. Sendo a primeira biblioteca iniciada em 1995 pelo Departamento de Ciência do Solo da ESALQ, assim como outros países que estão desenvolvendo suas bibliotecas com o intuito de ter uma base do uso da espectroscopia em ciência do solo (Austrália, Estados Unidos, Europa, África e entre outros).

Recentemente foi lançado o projeto “Biblioteca Espectral de Solos do Brasil”¹ (BESB) por pesquisadores brasileiros, que está em crescimento através de parcerias, afim de organizar um conjunto de amostras de solo e relaciona-las com seus espectros eletromagnéticos, que melhor represente o território Brasileiro (BELINASSO; DEMATTE; ROMEIRO, 2010; SATO, 2015). Com o objetivo de demonstrar o potencial da ferramenta para o uso em solos tropicais, fortalecer a criação de novos polos de

¹ “Biblioteca Espectral de Solos do Brasil “. Disponível em: < <http://bibliotecaespectral.wix.com/esalq> > Acesso em 07/12/2018.

desenvolvimento na comunidade científica nacional e criar um grupo de pesquisa em espectroscopia a nível nacional.

2.6.1 Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR) na caracterização de solos

A espectroscopia no infravermelho trata-se de uma técnica de extrema importância para a análise de solos, por ser sensível à composição química, substituição isomórfica e cristalinidade, gerando informações imprescindíveis nos quesitos de identificação de minerais, propriedades de suas superfícies e reatividade (WILSON, 1994). Inúmeros fatores que estão relacionados à formação dos solos são determinantes para a feição espectral: material de origem, topografia (relevo), conteúdo e qualidade da matéria orgânica e clima.

O aumento em metodologias de quantificação de atributos por meio do sensoriamento espectral resulta das significativas vantagens que as mesmas possuem sobre as análises convencionais, ainda mais utilizadas. As principais vantagens estão na variedade de atributos de uma amostra do solo, que podem ser estimados a partir de um espectro; na economia financeira e de mão de obra; além da conservação da amostra e o não uso de reagentes químicos constituindo um método não destrutivo (BROWN et al., 2006; VISCARRA ROSSEL et al., 2006).

Ressalta-se também a importância dessas metodologias em ter maior precisão dos dados em comparação as técnicas convencionais, que alteram o equilíbrio entre as fases do solo (VISCARRA ROSSEL et al., 2006). Como é o exemplo do método de referência padrão da Pipeta, método analítico convencional mais utilizado na obtenção da textura do solo. Este método tradicional é utilizado para a etapa de calibração de amostras no (Vis-NIR), porém análises nesta metodologia podem vir a substituí-lo e garantir qualidade e especificações indispensáveis para cada análise (AMORIM, 1996). Uma das vantagens da implantação da espectroscopia Vis-NIR para a análise de solo, seria a capacidade de armazenamento de dados dessas amostras em tempo real em um computador, algo que facilita a construção de uma biblioteca espectral, (base de dados espectral de solos).

As técnicas da espectroscopia de reflectância Vis-NIR estão sendo cada dia mais utilizadas nos estudos de solos para estimar atributos de umidade, granulometria, capacidade de troca de cátions, teores de carbono orgânico, pH, mineralogia, condutividade elétrica, potássio, cálcio e entre outros (BEN-DOR; BANIN, 1995;

SHEPHERD; WALSH, 2002; FONTÁN et al., 2010). Vários autores têm evidenciado a eficiência desta técnica para estimar características físicas do solo (STENBERG; NORDKVIST; SALOMONSSON, 1995; COZZOLINO; MORÓN, 2003; SORENSEN; DALSGAARD, 2003). Dentre conteúdos de macro e micronutrientes também (DUNN et al., 2002).

O potencial do Vis-Nir na caracterização e discriminação dos solos, está presente conforme Sousa Junior et al. (2008) na influência de importantes constituintes na intensidade de reflectância e feição espectral, silte e areia, minerais como quartzo, magnetita, esmectita, caulinita, matéria orgânica e o ferro total presentes em uma amostra. O quartzo segundo Bellinaso et al. (2010) e outros autores apresenta forte albedo e ausência de aspectos de absorção observado em espectros de solos arenosos.

Dentre outros diversos fatores também podem estar ligados a feição espectral do solo como de acordo com Resende et al. (2005) relacionados com sua formação como o material de origem, que pode ocasionar uma diferenciação no tipo da argila, o clima, a topografia, material vegetal e entre outros.

Curvas espectrais de camadas mais profundas com menores teores de matéria orgânica, tendem a apresentar melhores definições do que horizontes superficiais 0-20 cm com maiores teores, o que pode mascarar algumas das feições do solo (DEMATTÊ; EPHIPHANIO; FORMAGGIO, 2003). Por isso há a importância da retirada de MO em trabalhos que visam estudar as feições espectrais das camadas o solo.

Vale ressaltar também a dificuldade de estudos da espectroscopia Vis-NIR para construção de um banco de dados robusto em solos homogêneos, como os oriundos de basalto do Norte do Estado do Paraná, diferentemente de solos mais heterogêneos que sofreram maior ação do intemperismo em outras regiões do Brasil.

3 ARTIGO A - CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE SOLOS EM UMA PEDOSSEQUÊNCIA REPRESENTATIVA DO NORTE DO ESTADO DO PARANÁ.

3.1 RESUMO

Trabalhos de identificação e classificação dos solos são cada vez mais importantes em estudos de dinâmica da paisagem com o intuito de conhecê-los para aplicar um uso adequado. A configuração do relevo altera a intensidade de intemperismo do solo bem como o transporte de sedimentos erodindo a superfície, acelerado por seu mal uso e manejo inadequado pelo homem. Esse trabalho teve como objetivo interpretar a gênese relacionada com a dinâmica do relevo, caracterizar e identificar solos oriundos de basalto em uma pedossequência localizada em Londrina, Paraná. Os perfis estudados localizaram-se nos seguintes pontos da pedossequência: (P1) topo, (P2) a (P5) meia encosta, (P6) ao (P9) encosta e (P10) e (P11) sopé. Os perfis foram descritos, caracterizados e classificados de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. O relevo foi descrito como sendo convexa no topo e côncavo na base da vertente. Ao longo da pedossequência foram identificados Latossolo Vermelho distroférico típico no topo, Cambissolo Háplico Tb eutroférico e Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico em meia encosta, Nitossolo Vermelho eutroférico, distroférico latossólico e típico em encosta e meia encosta. Em sopé Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico. Verificou-se maiores teores de Si em perfis situados após quebra de relevo em encosta e sopé (P6 ao P11), sendo solos menos intemperizados, devido ao possível transporte lateral de montante a jusante da vertente. O relevo e suas variações de formas e declividades, junto as condições atuais da pastagem foram os principais fatores que alteraram os atributos do solo, refletindo no estado atual da vertente.

Palavras-chave: Classificação, identificação, pedossequência, atributos do solo.

3.2 ABSTRACT

Land identification and classification of soils are increasingly important in studies of landscape dynamics in order to know them for proper use. The relief configuration changes the intensity of soil weathering as well as the transport of sediments eroding the surface, accelerated by its misuse and inadequate management by man. The objective of this paper was to interpret the genesis related to the dynamics of relief, characterize and identify soils originating from basalt in a pedosequence located in Londrina, Paraná State. The profiles studied were located at the following points of the pedosequence: (P1) top, (P2) to (P5) half hillside, (P6) to (P9) hillside, (P10) and (P11) deposition foothill. The profiles were described, characterized and classified according to the criteria of the Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. The Landscape was described as being concave at the top and convex at the base of the slope. Along the pedosequence was found Latossolo Vermelho distroférico típico at the top, Cambissolo Háplico Tb eutroférico and Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico in half hillside, Nitossolo

Vermelho eutroférico, distroférico latossólico and típico in hillside and half hillside. In deposition foothill Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico. Higher levels of Si were found in profiles located after hillside and half hillside (P6 to P11), with less weathered soils due to the possible lateral upstream transport of the slope. The relief of its variations of forms and slope were the main factors that altered the attributes of the soil, reflecting in the current state of the slope.

Key-Words: Classification, identification, pedossequece, soil attributes.

3.3 INTRODUÇÃO

Os estudos de gênese e identificação de solos partem da compreensão da dinâmica do relevo local e entendimento das relações do solo com a geomorfologia (OLIVEIRA, 2005; RESENDE et al., 2014). Não se restringindo apenas à análises laboratoriais, mas se baseando também em modelos de paisagem como ferramenta auxiliar.

Os solos na paisagem se diferenciam conforme a interação de seus fatores de formação (BECK et al., 2000). Ao trabalhar as relações entre os elementos que constituem a paisagem, com base em informações espacializadas do relevo, torna-se o entendimento da geografia dos solos mais simplificada, junto da predição do comportamento dos mesmos (CAMPOS et al., 2007).

As pesquisas das relações solo-paisagem têm utilizado abordagens analíticas mais eficientes em levantamentos detalhados de solo e relevo, relacionando feições da superfície do terreno com elementos de subsuperfície e seus atributos (CAMPOS, 2012). O perfil de curvatura da paisagem, côncavo, linear ou convexo pode acelerar ou reduzir o grau de intemperismo do terreno, assim como o transporte de sedimentos de processos erosivos, atrelados às condições atuais de conservação do solo.

De acordo com Park & Burt (2002), em materiais de origem semelhantes, os aspectos topográficos são os mais importantes indicadores na variação nas propriedades do solo. Ghidin et al., (2006), Campos et al. (2007) e Montanari et al. (2010) também desenvolveram trabalhos que comprovaram essa relação.

Boulet et al. (1982) sugeriu uma análise bidimensional de relevo que busca compreender as variações do sistema pedológico e sua distribuição horizontal/lateral na paisagem. Fumiya, (2013) identificou Nitossolos latossólicos e Cambissolos em vertente, através dessa metodologia como objetivo em estudos sobre uma topossequência sobre basaltos em Marumbi, PR. Trabalhos como (MANOSSO; CZUY, 2005; GHIDIN et al., 2006; SILVA et al., 2009) também realizaram caracterizações morfológicas em solos oriundos de basalto no Paraná.

Neste trabalho foram realizadas sondagens conforme os princípios de Boulet et al. (1982) em perfil de forma convexa no topo e côncava na base. Análises macromorfológicas, granulométricas, químicas e mineralógicas foram realizadas com o

objetivo de interpretar a gênese relacionada com a dinâmica do relevo, caracterizar e identificar os solos.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Localização da Área de Estudo

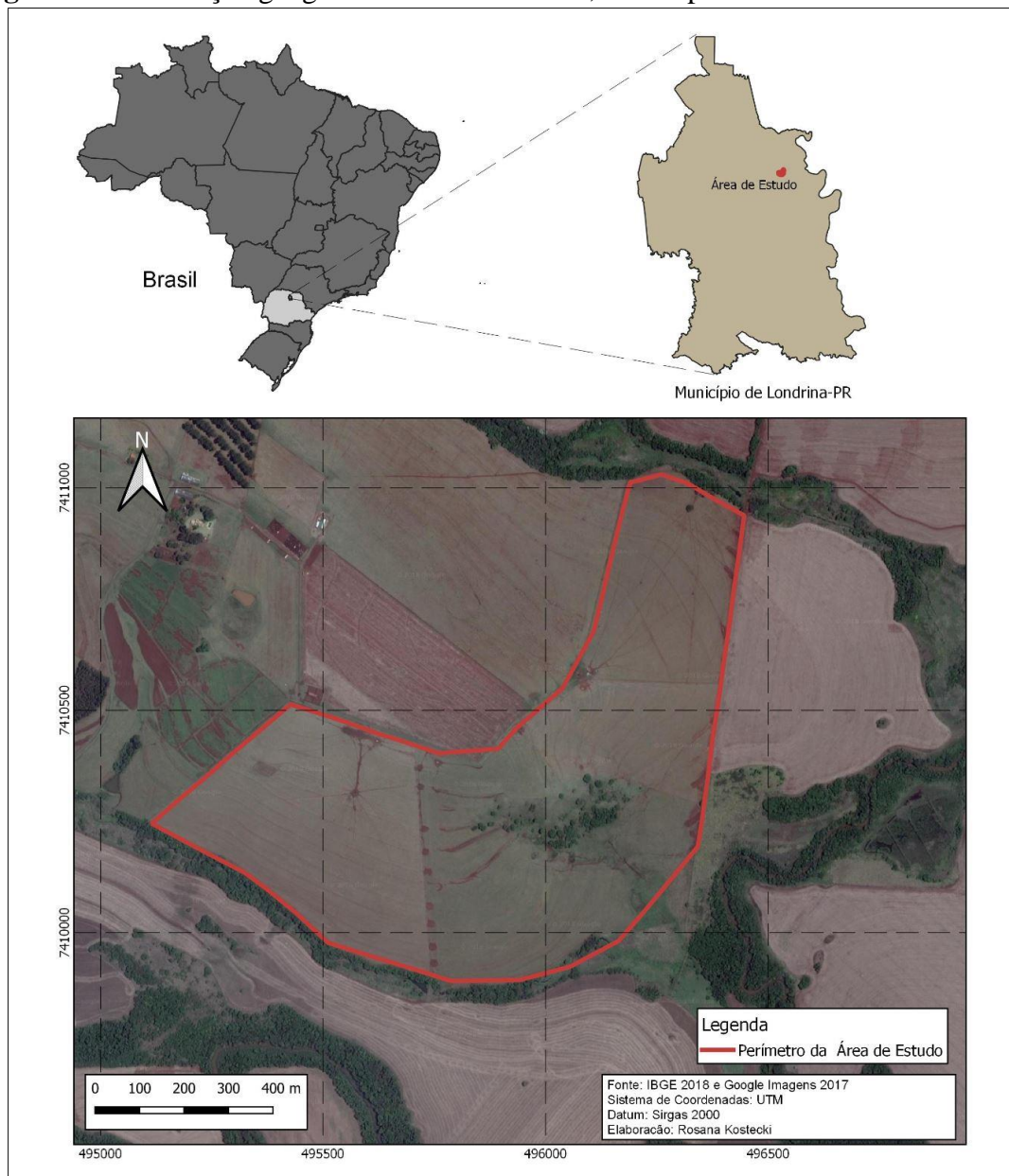
Na região do distrito de Maravilha predominam propriedades rurais com diversos tipos de usos, em sua maioria de pastagem, seguido por cultivo de soja, milho e criação de pequenos animais como caprinos, aves, suínos e entre outros (ROSSI, 2012).

Londrina está inserida geologicamente na parte sudeste da Bacia Sedimentar do Paraná. De acordo com Mineropar, (2001) no município predomina a Formação Serra Geral, constituída por extensos derrames de rochas ígneas, predominando basaltos, de idade jurássica-cretácea. Observa-se também no município, embora com menor abrangência, o afloramento de rochas sedimentares das Formações Rio do Rastro, Pirambóia e Botucatu (MINEROPAR, 2001).

Na geomorfologia, a região está situada na unidade morfoescultural do Terceiro Planalto Paranaense. A maior parte se enquadra na subunidade morfoescultural do Planalto de Londrina, apresentando relevo com dissecação média, vertentes e vales em “V”, topos alongados. Algumas áreas na porção noroeste do município estão dentro da subunidade do Planalto de Maringá que possui geomorfologia com topos alongados, aplainados, dissecação baixa, vertentes convexas e vales em “V”. Já na porção sudoeste, perto do rio Tibagi, há pequenas extensões inseridas na subunidade chamada morfoestrutural do Planalto do Foz do Areia, com relevo de dissecação alta, vertentes retilíneas e côncavas, topos alongados e vales em degraus (MINEROPAR, 2006).

A área de estudo está localizada no norte do Estado do Paraná, distrito de Maravilha, Londrina - PR, entre as coordenadas 23°41'88,21" de latitude sul e 51°03'94,59" de longitude oeste. A propriedade, denominada Fazenda Carranca, está localizada às margens do ribeirão dos Apertados, afluente do rio Tibagi (Figura 3), com área total de 400 ha, sendo que o recorte escolhido apresenta aproximadamente 50 ha.

Figura 3- Localização geográfica da área e estudo, município de Londrina- PR.



Fonte: Dados do próprio autor.

Na geomorfologia, a região está situada na unidade morfoescultural do Terceiro Planalto Paranaense. A maior parte se enquadra na subunidade morfoescultural do Planalto de Londrina, apresentando relevo com dissecação média, vertentes e vales em “V”, topos alongados. Algumas áreas na porção noroeste do município estão dentro da subunidade do Planalto de Maringá, que possui geomorfologia com topos alongados e aplainados, dissecação baixa, vertentes convexas e vales em “V”. Já na porção sudoeste, perto do rio Tibagi, há pequenas extensões inseridas na subunidade chamada

morfoestrutural do Planalto do Foz do Areia, com relevo de dissecação alta, vertentes retilíneas e côncavas, topos alongados e vales em degraus (MINEROPAR, 2006).

Os solos do município de Londrina, PR são considerados evoluídos, devido a ação dos fatores de formação, onde pode ser verificado a predominância de Latossolos Vermelhos (29,2%) e Nitossolos Vermelhos (20,9%), classes oriundas do processo de latolização (ferralitização) (BOGNOLA et al., 2011).

A região de Londrina tem temperatura média anual entre 21 °C e 22 °C, e precipitação média anual de 1.400 mm a 1.600 mm. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é classificado como Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfa), caracterizado por verões quentes e concentração de chuvas nos meses de verão (IAPAR, 2000).

3.4.2 Caracterização da Área de Pastagem

Na área estudada, resgatando um histórico no período de 15 anos, o perímetro desde então apresenta cobertura de vegetação composta por gramíneas do gênero *Brachiaria*, sob uso de pasteio de gado moderado.

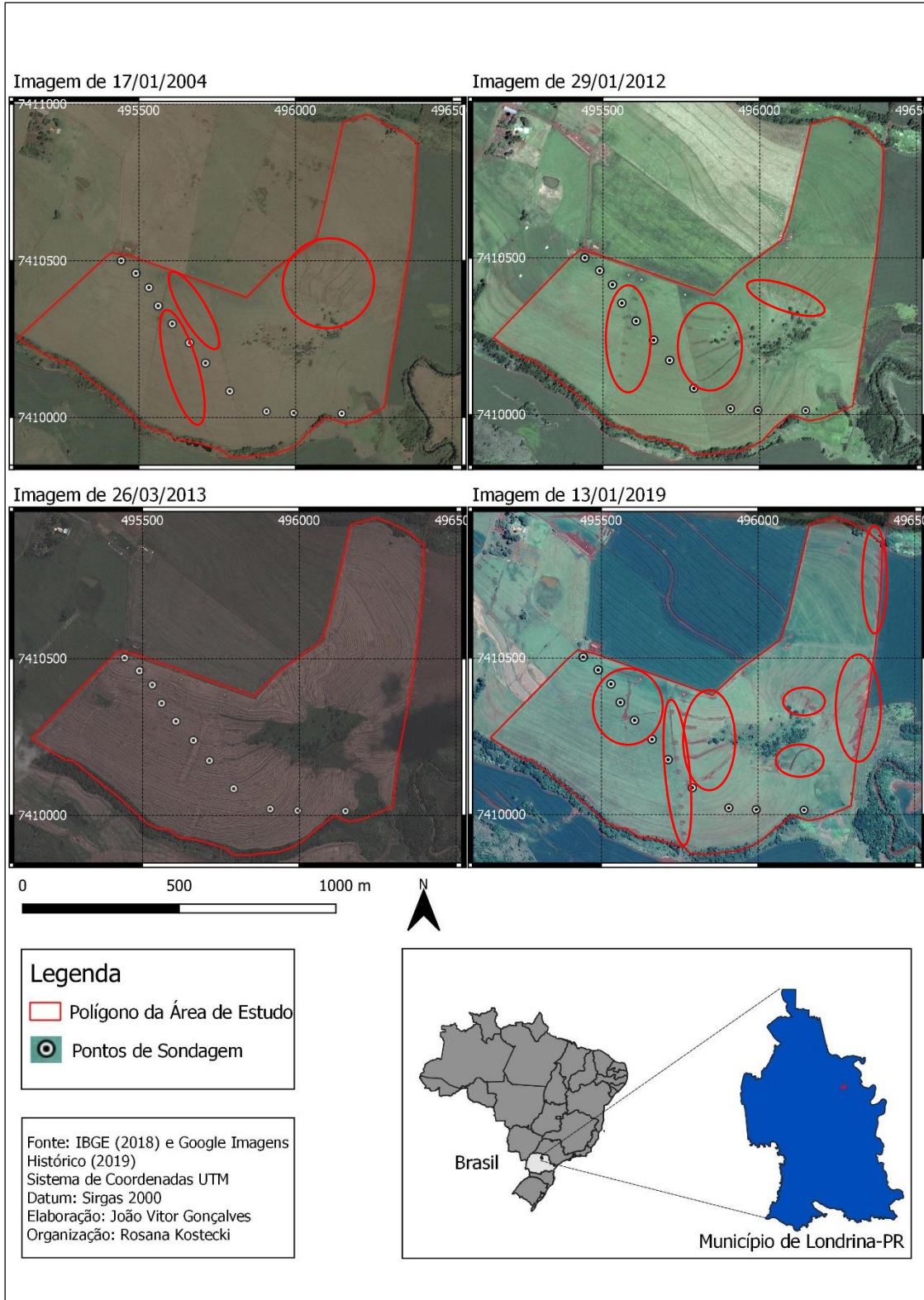
Na época das coletas de solo em Junho de 2018, foram identificadas atividades que alteram a qualidade ambiental da área, como a utilização do solo sem adequações necessárias para contenção de água pluvial (curvas de nível). Visto que, ações preventivas aos processos erosivos são benéficas tanto à manutenção da qualidade do solo, quanto dos corpos hídricos, pois o solo perde nutrientes ao ser erodido além de partículas na fração argila que é acumulado nos leitos dos rios gerando assoreamento. A pastagem já apresentava sulcos e traços de erosão, principalmente ligando os caminhos de pisoteio do gado e passagem feita por trator.

A Figura 4 ilustra séries temporais de diferentes datas extraídas do Google Earth Pro. Na imagem de 17/01/2004, a mais antiga possível de se obter, pode-se observar no período de verão o solo coberto de cobertura vegetal com pequenos sinais de erosão que são vistos dentro dos círculos vermelhos (figura 4). Já em mesmo período da data 29/01/2012 é possível visualizar sinais mais aparentes com solo mais exposto. Em 26/03/2013 foi efetuado a reforma da pastagem com passagem de grade apenas, sem a construção de curvas de nível adequadas, como é necessário para contenção da água e prevenção à erosão. Na imagem de 13/01/2019 a mais recente obtida, observa-se manchas

de solo exposto com remoção de cobertura vegetal, bem aparentes já não encontrado em outras datas.

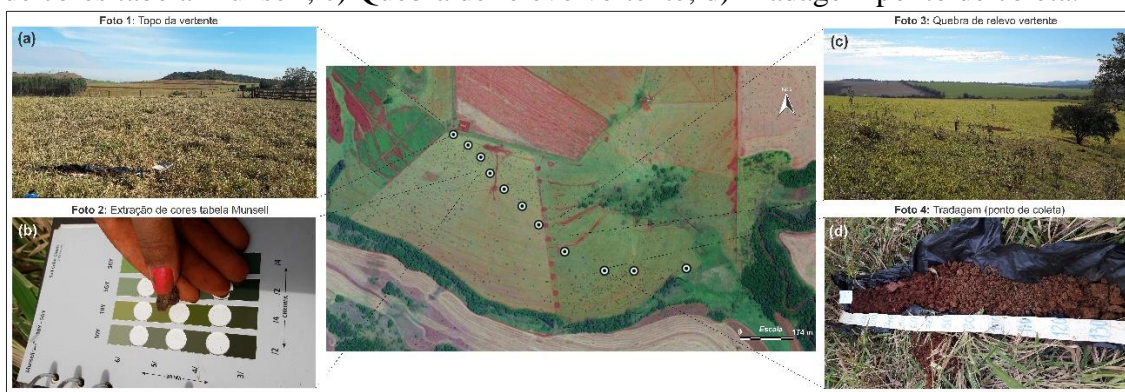
O que mostra que a reforma da pastagem não foi feita adequadamente, além da necessidade de manutenção para prevenção dos processos erosivos.

Figura 4- Análise temporal da área de pastagem



O relevo possui vertentes planas à onduladas, com predominância de forma côncava, conforme pode ser verificado na figura 5.

Figura 5- Fotos mostrando paisagem da área de estudo: a) Topo a vertente; b) Extração de cores tabela Munsell; c) Quebra de relevo vertente; d) Tradagem ponto de coleta.



Fonte: Dados do próprio autor.

Foram realizadas 11 sondagens desde o topo até a base da vertente (sopé), onde as amostras coletadas foram analisadas e descritas no compartimento da paisagem ao longo da pedossequência (Figura 5). A descrição dos perfis seguiu a metodologia de Santos et al., (2005) e os solos foram classificados até o quarto nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018). As cores seca e úmida dos pontos foram determinadas com o auxílio da Carta Munsell (Figura 5- B).

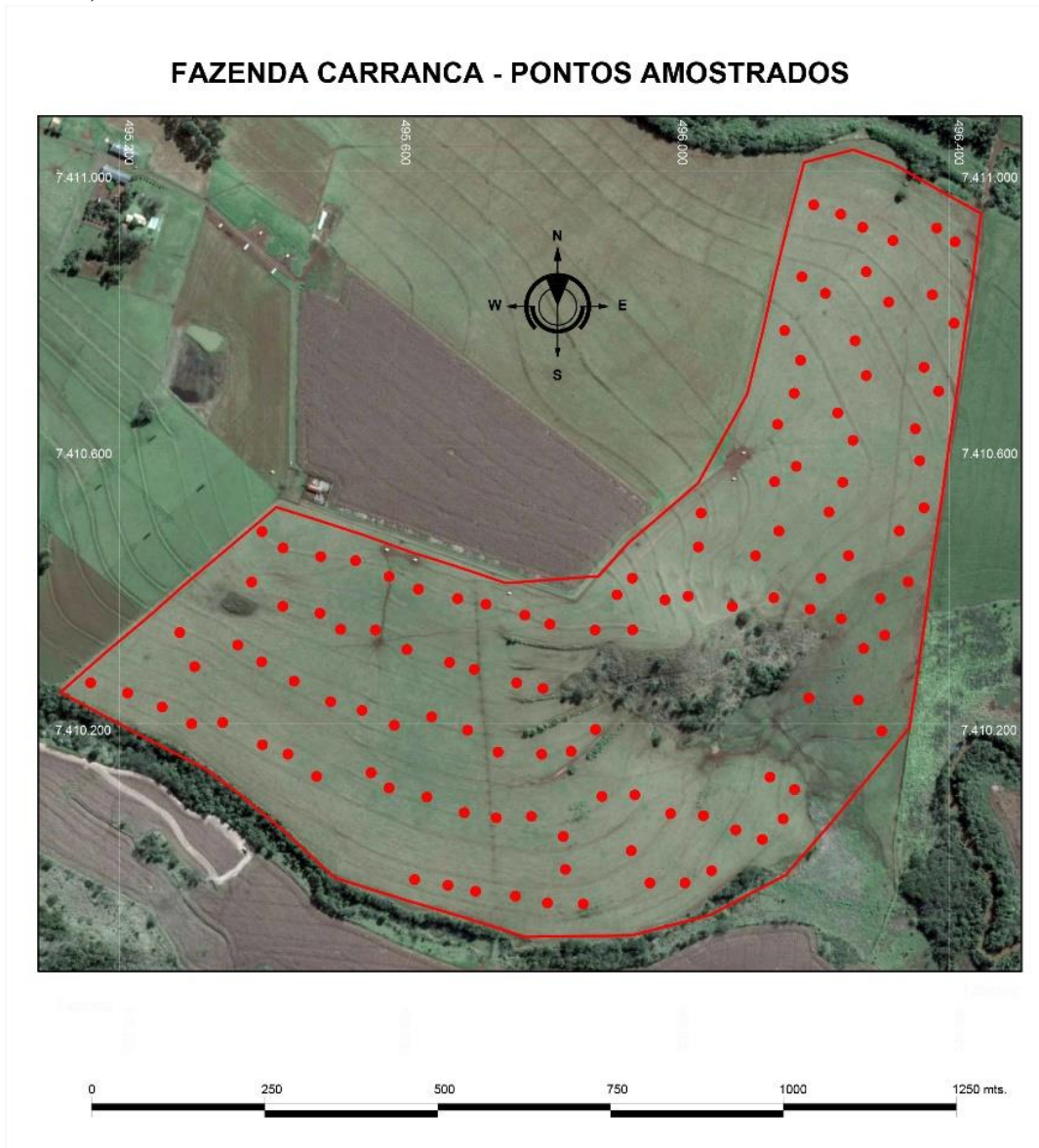
A distribuição das tradagens ao longo da pedossequência foi determinada a partir dos princípios de Boulet et al. (1982), também adotada por Fumiya (2013). A técnica consiste em uma análise de cobertura pedológica através de sondagens do topo até a base da vertente (perpendicular as curvas altimétricas), sendo possível constatar variações verticais e horizontais presentes no solo, e a relação com outros elementos da paisagem como quebras de relevo (Figura 5-C). As tradagens foram realizadas no sentido NO-SE, totalizando 940 metros de extensão. As unidades de vertente foram classificadas de acordo com o modelo de Dalrymple et al. (1968).

Para descrição e caracterização das sondagens, demarcou-se um transecto e coletou-se as amostras com o auxílio de trado. Em cada ponto as amostragens chegaram até 1,95 m de profundidade ou até contato lítico, ou presença de zona saturada. As amostras foram dispostas na superfície em sacos plásticos para identificação e separação dos horizontes (Figura 5- D), feitas através de variações de cor, textura, consistência, cerosidade e presença de calhaus ou cascalho.

O primeiro ponto foi localizado no topo da vertente (Figura 5- A). Para a execução do transecto foi preparado um perfil pedomorfológico a partir de 11 sondagens que teve

por base a confecção do mapa planialtimétrico (Figura 7) realizado após a coleta de 116 pontos georreferenciados com Gps Garmin modelo 60CSX, estabelecidos através de gride aleatório (Figura 6).

Figura 6- Pontos marcados com GPS (n: 116) para confecção da planialtimetria, Londrina, PR.

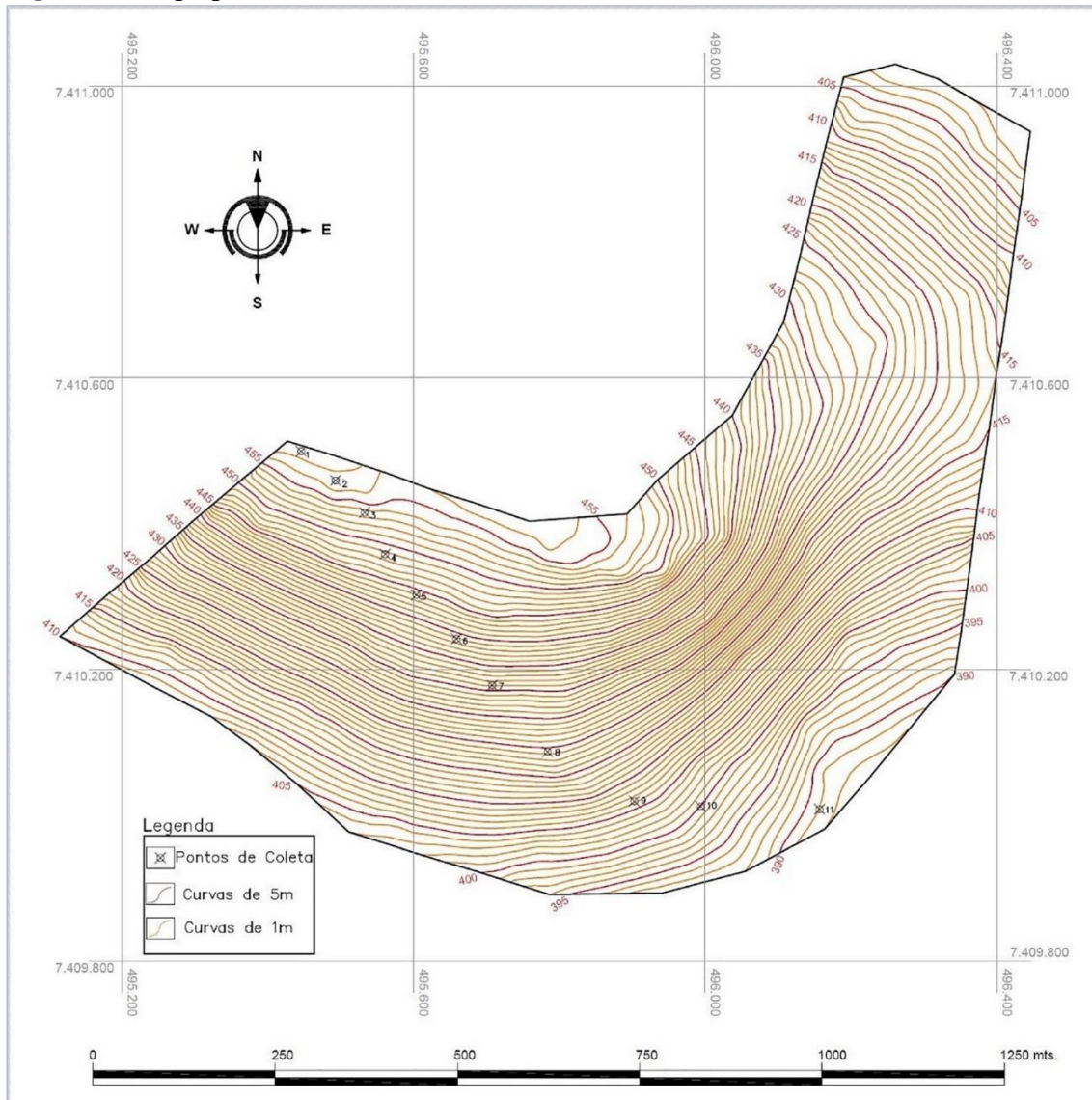


Fonte: Dados do próprio autor.

Após a coleta dos pontos, as coordenadas foram transportadas para o Google Earth como ferramenta de apoio, para subtrair a informação de altimetria (coordenada Z). A altimetria foi usada na interpolação dos pontos, para a criação de um modelo digital de

elevação no software topográfico Datageosis, utilizado na geração das curvas de nível. Por fim, foram transportados para o AutoCAD Map 3D 2016 para o tratamento final dos dados.

Figura 7- Mapa planialtimétrico da área de estudo, Londrina, PR.



Fonte: Dados do próprio autor.

3.4.3 Coleta de Solos

Para a coleta dos solos, foram marcados pontos com estacas a um espaçamento de 50 metros aproximadamente, de acordo com observação do mapa planialtimétrico confeccionado. No total foram marcados e descritos 11 perfis de solo.

A coleta foi realizada em partes representativas da paisagem, realizada com o auxílio de trado holandês (material inoxidável), na qual penetra o solo por movimento de rotação transportando-o à superfície. Em seguida, as amostras foram colocadas sobre plásticos abertos e esticados para a descrição e separação dos horizontes. Posteriormente, foram então identificadas e levadas para o laboratório, para secarem ao ar em temperatura ambiente. Após a secagem as amostras foram peneiradas em malha de 2,0 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), para a efetivação das análises químicas e granulométricas.

3.4.4 Análises Químicas

As análises químicas seguiram o padrão descrito no manual de análises químicas proposto por Pavan et al., (1992). Os atributos analisados foram: potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alumínio trocáveis (Al^{3+}), pH, acidez potencial $H^+ + Al^{3+}$ e carbono orgânico das amostras. Os valores de CTC (capacidade de troca de cátions), soma (SB) e saturação de bases (V%) foram calculados com base nos resultados das análises, assim como a matéria orgânica. As análises tiveram como principal objetivo auxiliar na classificação dos perfis de solo até o 4º nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos Embrapa, (2018).

Determinaram-se o pH $CaCl_2$, acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), K^+ trocável através de extração MEHLICH-1. Os teores de Al, Ca e Mg trocáveis foram extraídos com KCl 1,0 mol L^{-1} e determinados por absorção atômica, conforme descrito em Pavan et al., (1992).

A partir desses resultados foram calculados a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC) e a saturação de bases (V). A soma de bases é obtida pela soma dos valores dos cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ . A capacidade de troca de cátions pode ser obtida pela soma das bases com a acidez potencial. A saturação de bases (V%) é estimada da relação entre a soma de bases e a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CAMARGO et al., 2009): $V = (SB/CTC) \times 100$.

O carbono total foi determinado pelo método Walkley e Black (1934), onde o carbono é oxidado por uma solução de ($K_2Cr_2O_7$) em meio ácido, reação acelerada por adição de ácido sulfúrico concentrado, e o excesso de dicromato é titulado com sulfato ferroso amoniacal e o teor de C estimado baseado na quantidade de dicromato reduzido. (PAVAN et al., 1992). A partir do valor de carbono orgânico calcula-se os teores de matéria orgânica seguindo a equação: M.O. (%) = C (%) x 1,724. Sendo o dicromato reduzido equivalente ao carbono orgânico na amostra, em que calculou-se a matéria orgânica baseado na quantidade de $Cr_2O_7^{2-}$ reduzido.

3.4.5 Análises granulométricas

Para a análise granulométrica foi utilizado o método da pipeta com agitação lenta (CLAESSEN, 1997). A análise foi realizada em temperatura controlada no Laboratório de Solos da Universidade Estadual de Londrina, de acordo com a seguinte sequência:

- A. Pesou-se 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA), transportando-a para um recipiente de agitação, com mais 100 ml de água destilada e posteriormente 10 ml de NaOH 1N.
- B. Colocou-se o recipiente para agitar em mesa agitadora orbital horizontal linear de (30rpm) por um período de 16 horas.
- C. Após o término da agitação foi feita a transferência do material do frasco para uma proveta de 1000 ml e completado o volume do recipiente com água destilada sendo agitado manualmente por 30 segundos e deixado em repouso por 4 minutos.
- D. Em seguida a agitação foi realizada a pipetagem da solução, pipetando 10 ml da solução em uma profundidade de 10 cm (amostragem do silte+ argila), alocada em uma placa de petri, transportada para uma estufa em temperatura 105°C por 24 horas.
- E. Passado 4 horas do repouso, considerando a temperatura ambiente da solução igual a 20°C, foi pipetado 10 ml da solução em uma profundidade de 5 cm da amostragem de argila, levado para estufa em placa de petri a 105°C por 24 horas.

Calculou-se as frações de silte, argila e areia do solo através dos cálculos de acordo com o manual Claessen (1997):

- 1) % silte = [(1° leitura corrigida – 2° leitura corrigida) x 50]/massa de TFSA
% argila = [2° leitura corrigida x 50]/massa de TFSA
- 2) % argila natural (argila dispersa na água) = [leitura corrigida x 50]/massa de TFSA

3) $\% \text{ areia} = 100 - \% \text{ silte} - \% \text{ argila grau de flocculação} = (\text{argila total} - \text{argila natural}) / \text{argila total} \times 100$

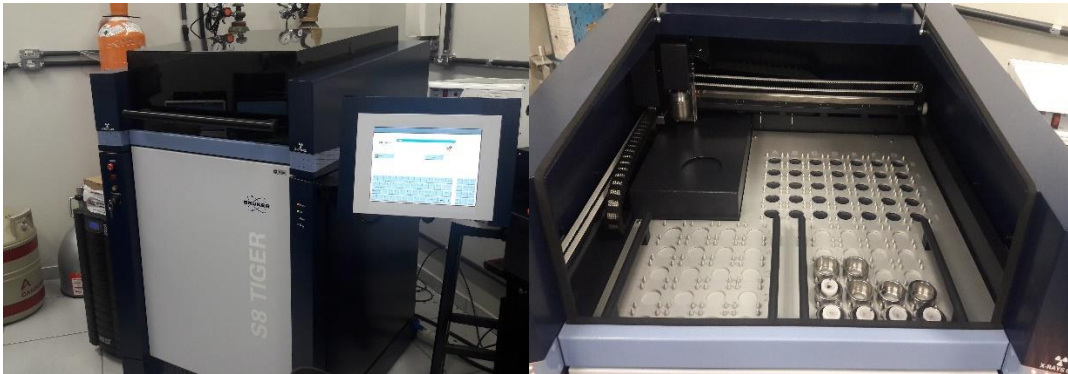
Pode-se dizer que a textura compõe um dos atributos físicos mais importantes do solo, por ter a capacidade de influenciar a maior parte das propriedades físicas e químicas, como a velocidade de infiltração de água, profundidades dos sistemas radiculares, acúmulo de matéria orgânica, entre outros.

Sendo assim, para apurar os dados dos percentuais de areia, silte e argila, utilizou-se o triângulo textural para identificar às classes texturais dos solos.

3.4.6 Análise Mineralógica

A determinação dos teores totais de Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 nos horizontes diagnósticos foi estimada em amostras de solo moídas a 0,149 mm. O equipamento utilizado foi espectrofotômetro de fluorescência de raio-X S8 TIGER Series 2 Wdxf da marca Bruker por dispersão de comprimento de onda (Figura 8).

Figura 8- Espectrofotômetro de fluorescência de raio-x, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.



Fonte: próprio autor.

O método consiste na radiação de energia de raio-x, que provoca a excitação dos átomos do elemento a ser analisado. Essa excitação emite uma energia oriunda da característica cada elemento químico a partir de uma fonte de excitação controlada (BECKHOFF, 2006).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Descrição Geral da Pedossequência

A partir do transecto e do mapa planialtimétrico realizado foi possível verificar grande amplitude na altimetria. O transecto no sentido NO-SE, apresentou 70 m de amplitude, entre as cotas 458 e 388 m em distância de 935 m, conforme pode ser verificado na figura 6.

As diferenças de declividades e altitudes são suficientes para interferir na dinâmica da água nos solos, visto que a topografia condiciona a intensidade e direção dos fluxos hídricos (VIDAL TORRADO et al., 2005).

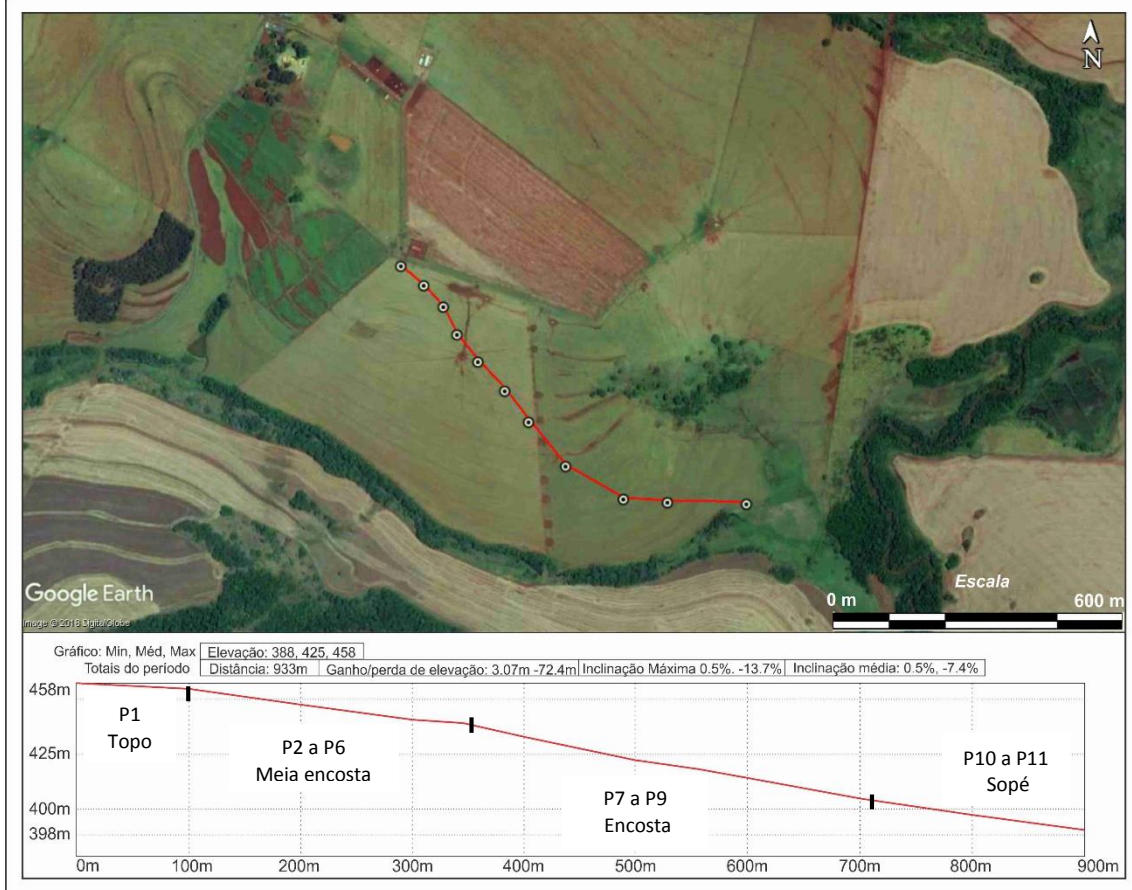
O primeiro ponto se encontra em uma cota de aproximadamente 458 m e o último de 388 m, sob relevo de forma convexa no topo e côncava na base. Montanari et al. (2005) em estudos entre feições côncava e linear, constataram que a forma côncava proporcionou maior variação das propriedades dos solos, teor de matéria orgânica e taxa de erosão, quando comparada a feição topográfica linear da vertente, o que demonstra sua importância em estudos de identificação e conservação dos solos.

Seguindo a distribuição das classes de declividade da Embrapa (2018) a superfície topográfica do transecto obteve declividades classificadas em: plano (0-3%), suave ondulado (3-8%) e ondulado (8-20%). Com base nessa identificação relacionada com aspectos presentes no solo e outros elementos na paisagem, a vertente foi caracterizada em quatro diferentes segmentos: topo, meia encosta, encosta e sopé.

O perfil 1 localiza-se em relevo plano, no topo da vertente. O perfil dois encontra-se em declividade suave ondulado, variando de 5,1 % a 6,6 % de declive até o quinto perfil disposto em campo como meia encosta, de acordo com os cálculos obtidos através do mapa planialtimétrico. Posteriormente, no sexto perfil (P6) identificou-se o relevo em encosta, onde, conforme variações perceptíveis de declive se acentua pouco mais que perfis anteriores, seguindo mesmo padrão de declividade até o antepenúltimo ponto (P9). Este segmento apresenta sinais de erosão laminar e os perfis acompanham uma mesma dinâmica no relevo, dos fluxos hídricos em direção ao ribeirão dos Apertados. Os dois últimos perfis (P10) e (P11) foram definidos por representar a área de sopé da vertente,

por estarem em compartimento de baixada em declividade menos acentuada que os pontos imediatamente anteriores.

Figura 9- Perfil topográfico da área de estudo sentido noroeste, Londrina, PR.

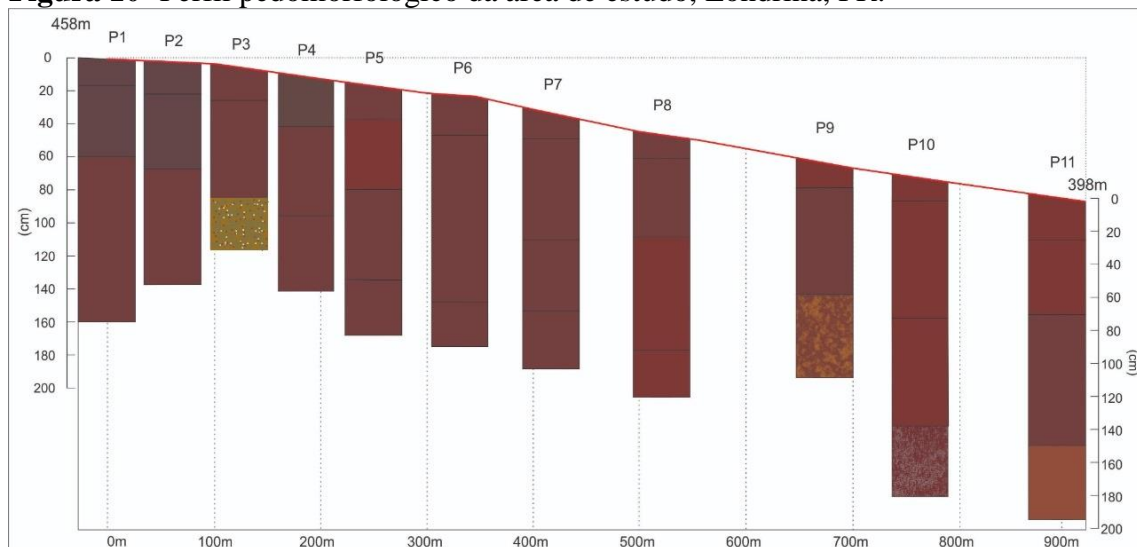


Fonte: próprio autor.

Meireles et al. (2012) também verificaram grande influência do relevo no desenvolvimento dos solos, mostrando que houveram comportamentos diferentes dos atributos físicos e químicos associados diretamente às formas do relevo. Estudando uma topossequência de origem basáltica e empregando metodologia similar verificaram que os Latossolos se localizaram no topo e em áreas de pouca declividade, como já discutido e bem detalhado por outros autores.

A disposição das tradagens pode ser vista também com maior detalhe no perfil pedomorfológico Figura 10.

Figura 10- Perfil pedomorfológico da área de estudo, Londrina, PR.



Fonte: próprio autor.

3.5.2 Macromorfologia e Classificação dos Solos

Neste tópico será apresentada a descrição da macromorfologia (Tabela 2), classificação e discussão dos perfis, suas relações e comportamentos na vertente.

Tabela 2- Descrição macromorfológica de perfis de solos desenvolvidos de basalto, Londrina, Paraná.

Horizonte	Prof. (cm)	Cor	Atributos do solo				Cerosidade (2)
			Consistência (1)				
			úmida	Seca/úmida	Plast	Pegaj	
<i>Latossolo Vermelho distroférico típico</i>							
P1 A	0-18	10R 3/3	d/fr.	lp.	mpg.	-	
P1 AB	18-60	10R 3/3	md/mfr.	lp.	mpg.	-	
P1 BA	60-110	10R 3/4	d/fr.	lp.	mpg.	-	
P1 Bw	110-160	10R 3/4	m/fr.	lp.	mpg.	-	
<i>Nitossolo vermelho eutroférico latossólico</i>							
P2 A	0-20	10R 3/3	ma/ma.	lp.	mpg.	-	
P2 Bt	20-65	10R 3/4	fr/md.	lp.	mpg.	pr.	
P2 Bw	65-135	10R 3/3	m/s.	lp.	mpg.	-	
<i>Cambissolo háplico Tb eutroférico</i>							
P3 A	0-20	10R 3/3	m/m.	np.	mpg.	-	
P3 Bi	20-80	10R 3/3	fr/md.	lp.	mpg.	-	
P3 C	80-110	5YR 6/8*				-	
<i>Nitossolo vermelho eutroférico latossólico</i>							
P4 A	0-30	10R 3/6	fr/d.	lp.	lpg.	-	
P4 Bt	30-84	10R 3/3	f/md.	p.	mpg.	pr.	
P4 Bw	84-130	10R 3/3	fr/d.	p.	mpg.	-	
<i>Nitossolo vermelho distroférico latossólico</i>							
P5 A	0-20	10R 3/4	f/d.	p.	pg.	-	
P5 Bt1	20-62	10R 3/4	f/md.	p.	mpg.	pr.	
P5 Bt2	62-117	10R 3/4	f/md.	p.	mpg.	pr.	
P5 Bw	117-150	10R 3/6	fr/s.	p.	pg.	-	
<i>Nitossolo vermelho eutroférico latossólico</i>							
P6 A	0-25	10R 3/4	fr/ld.	p.	pg.	-	
P6 Bt	25-125	10R 3/4	f/md.	p.	mpg.	pr.	
P6 Bw	125-160	10R 3/4	fr/ld.	lp.	pg.	-	
<i>Nitossolo vermelho eutroférico latossólico</i>							
P7 A	0-15	10R 3/3	fr/ld.	lp.	pg.	-	
P7 Bt1	15-77	10R 3/3	f/md.	p.	mpg.	pr.	
P7 Bt2	77-120	10R 3/3	f/md.	p.	mpg.	pr.	
P7 Bw	120-155	10R 3/3	fr/md.	p.	pg.	-	
<i>Nitossolo vermelho eutroférico latossólico</i>							
P8 A	0-15	10R 3/4	f/ld.	p.	pg.	-	
P8 Bt1	15-62	10R 3/4	f/md.	mp.	mpg.	pr.	
P8 Bt2	62-130	10R 3/6	f/md.	mp.	mpg.	pr.	
P8 Bw	130-160	10R 3/6	fr/md.	p.	pg.	-	
<i>Nitossolo vermelho eutroférico típico</i>							
P9 A	0-15	10R 3/4	fr/d.	p.	pg.	-	
P9 Bt	15-80	10R 3/6	mf/md.	p.	mpg.	pr.	
P9 C	80-130	5YR 3/6*	fr/m.	lp.	-	-	
<i>Nitossolo vermelho eutroférico típico</i>							
P10 A	0-18	10R 3/4	fr/ld.	p.	lpg.	-	
P10 Bt1	18-85	10R 3/6	f/md.	p.	lpg.	pr.	
P10 Bt2	85-147	10R 3/6	f/md.	p.	lpg.	pr.	
P10 BC	147-195	10R 3/4*	f/md.	p.	pg.	-	
<i>Nitossolo vermelho eutroférico latossólico</i>							
P11 A	0-25	10R 3/4	fr/md.	lp.	lpg.	-	
P11 Bt1	25-70	10R 3/6	fr/md.	p.	pg.	pr.	
P11 Bt2	70-150	2,5YR 5/6	f/md.	p.	pg.	pr.	
P11 Bw	150-195	2,5YR 3/6	f/md.	p.	mpg.	-	

* Mosq: Mosqueado; po: pouco; co: comum; di: distinto. *5YR 3/3; co. e di; 5YR 3/6; co. e di; 2,5YR 4/0; di. ⁽²⁾ fr: friável; s: solta; m: macia; f: firme; d: dura; ld: ligeiramente dura; md: muito dura; plast: plasticidade; mp: muito plástica; np: não plástica; lp: ligeiramente plástica; p: plástica; pegaj: pegajosidade; pg: ligeiramente pegajosa; pg: pegajosa; ⁽³⁾ pr: presente.

Perfil 1- LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO TÍPICO.

Os horizontes do perfil 1 dividiram-se em: A (0-18 cm), AB (18-60 cm), BA (60-110 cm) e Bw (110-160 cm).

O primeiro ao segundo perfil encontra-se localizado no topo da vertente em declive de 1,2%, sob relevo plano de acordo com Embrapa, (2018). As amostras apresentaram cores homogêneas na avaliação seca para as quatro camadas, com matiz 10R, valor e croma 3/4, variando na cor úmida nas duas primeiras (Tabela 2). Valores e cromas menores em superfície demonstram tons mais escuros, podendo estar relacionados a maiores conteúdos de matéria orgânica.

A consistência seca dos horizontes foi de friável a muito friável, enquanto a consistência úmida variou de macia a dura. Quanto a plasticidade e a pegajosidade, todas as camadas apresentaram ligeira plasticidade e muita pegajosidade.

Os valores de argila encontrados no perfil 1 variaram de 495 a 565 g kg⁻¹ (Tabela 3), classificados como argilosos. Foi possível observar maior concentração de argila na camada AB com valor de 565 g kg⁻¹ e também menor concentração de silte (195 g kg⁻¹). Os teores de silte variam entre 145 a 265 g kg⁻¹ próximos aos valores encontrados por Ghidin et al. (2006) (entre 150 e 260 g kg⁻¹) em uma topossequência de Latossolos oriundos de rochas basálticas, também no Estado do Paraná. Os mesmos autores obtiveram valores de argila mais elevados, entre 680 a 780 g kg⁻¹, sem relatos de erosão ao longo da vertente.

Perfil 2- NITOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO LATOSSÓLICO.

Os horizontes do perfil 2 dividiram-se em: HA (0-20 cm), HBt (20-65 cm) e HBw (65-135 cm).

Cores homogêneas também foram verificadas para as quatro camadas, de matiz 10R, valores/ cromas 3/3 na camada superficial e 3/4 no restante nas amostras secas, tendo oscilação nas úmidas conforme todos os perfis (Tabela 2). A presença de cerosidade no HBt foi essencial para a identificação da classe de solo, presente em todos os perfis de Nitossolo Vermelho.

As consistências variaram de solta a muito dura nas amostras secas, friável a macia nas úmidas. Todos os horizontes apresentaram ligeira plasticidade e muita pegajosidade como no perfil 1.

Os valores de argila encontrados em todos os horizontes do perfil 2 (Tabela 3) ficaram acima de 500 g kg^{-1} classificados como argilosos. Foi possível observar uma maior concentração de argila na camada Bt com 560 g kg^{-1} e menores concentrações no HA e Bw com valores iguais, de 505 g kg^{-1} . Ferreira et al. (2002) avaliando um perfil de Nitossolo Vermelho desenvolvido de basalto toleítico, da região do Triângulo Mineiro (MG) em uma profundidade de 40-60 cm abrangendo o horizonte Bt, obtiveram valores de 100 g kg^{-1} de areia, 210 g kg^{-1} de silte e 690 g kg^{-1} de argila. Sousa Junior e Demattê (2008) verificaram porcentagem significativa de Nitossolos (17%) em área de superfície ondulada em recorte de 9.000 ha na região de Ibaté e São Carlos, SP. Reis et al. (2004) também verificaram predominância de Nitossolos em superfícies onduladas na região de Bandeirantes, PR.

Perfil 3- CAMBISSOLO HÁPLICO Tb EUTROFÉRRICO

Os horizontes do perfil 3 dividiram-se em: A (0-20 cm), Bi (20-80 cm) e C (80-110 cm). Do terceiro ao quarto perfil a declividade foi de aproximadamente 7,5%, em relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2018). As amostras dos horizontes A e Bi apresentaram matizes 10R valor/ croma de 3/4 para as amostras secas. Mudança abrupta de cor foi verificada no horizonte C, com presença de mosqueados com aspecto de material rochoso. As cores observadas nesse horizonte foram 5YR 3/4, 5YR 6/8.

A consistência variou de macia nas amostras secas e úmidas do horizonte A, muito dura e friável nas amostras secas e úmidas respectivamente do horizonte classificado como B incipiente por ser pouco desenvolvido, além de ter sido encontrado a presença de materiais primários pouco intemperizados, como quartzos em tamanhos superiores a fração areia.

No HA não foi observado plasticidade, porém muita pegajosidade, enquanto o HBi apresentou consistência ligeiramente plástica e muito pegajosa. Os valores de argila encontrados no HA e no HBi foram acima de 460 g kg^{-1} classificando-os como argilosos (Tabela 3). Com maior quantidade de argila no HBi com 550 g kg^{-1} e menor quantidade

no HC de 370 g kg⁻¹, sendo classificado como franco argiloso por ter também um valor expressivo de areia de 410 g kg⁻¹, algo esperado para horizontes incipientes.

Marques et al. (2007) avaliando um Cambissolo Háptico de Fernando de Noronha desenvolvido de material vulcânico observaram 648 g kg⁻¹ de argila na camada superficial e 400 g kg⁻¹ de argila no horizonte C. Esta classe de solo se desenvolve em sua grande maioria em relevo declivoso (BONNA, 2011; EMBRAPA, 2018), favorecendo processos erosivos dos horizontes superficiais, conforme os resultados obtidos por Benavides Silva e Machado, (2014). A presença dessa classe na Pedossequência sugere cautela no uso dos solos, pois os horizontes A e B podem ser removidos facilmente pela erosão deixando exposto o horizonte C, se não houver uso adequado do solo. Silva et al., (2009) obtiveram na região de Lavras, MG perdas de 175,0 e 13,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em média para Cambissolo Háptico Tb distrófico típico textura argilosa e Latossolo Vermelho distroférico típico, textura muito argilosa, respectivamente.

Perfil 4- NITOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO LATOSSÓLICO.

Os horizontes do perfil 4 dividiram-se em: A (0-30 cm), Bt (30-84 cm) e Bw (84-130 cm).

O quarto ao quinto perfil encontra-se localizado em declividade de 6,0% ainda sob relevo suave ondulado. As cores foram homogêneas, porém tons mais “vivos” no horizonte A de matiz 2,5YR com valor e croma de 3/4 e 10R 3/4 para o restante nas amostras secas.

A consistência dos horizontes variou de dura a muito dura nas amostras secas, firme a friável nas úmidas. O HA difere-se dos outros horizontes por apresentar ligeira plasticidade e ligeira pegajosidade. Os horizontes Bt e Bw apresentaram plásticos e muito pegajosos respectivamente.

As quantidades de argila encontradas no perfil 4 (Tabela 3), ficaram acima de 410 g kg⁻¹ para todos os horizontes, classificados-os como argilosos. Foi possível observar maior concentração de argila na camada Bw com 495 g kg⁻¹ e menor concentração no HA com 410 g kg⁻¹, o que pode nos revelar uma perda de argila das camadas superficiais, possivelmente em função de argiluviação ou elutriação, erosão seletiva de partículas finas nas camadas superficiais.

De acordo com Ferreira et al. (2002) os Nitossolos Vermelhos são mais suscetíveis às erosões laminares em comparação aos Latossolos Vermelhos, em função de diferenças na velocidade de infiltração de água.

Os perfis de 1 a 4 apresentaram relações acima de 0,34 enquanto os demais apresentaram relação silte/argila próximas de 0,20.

Perfil 5- NITOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO LATOSSÓLICO.

Os horizontes do perfil 5 dividiram-se em: A (0-20 cm), Bt1 (20-62 cm), Bt2 (62-117 cm) e Bw (117-150 cm).

O quinto ao sexto perfil apresenta declividade de 6,6%. As cores dos horizontes foram homogêneas, com matiz 10R e valor/croma variando de 3/4 a 3/6, permanecendo-se os mesmos para amostras secas e úmidas (Tabela 2).

A consistência variou de muito dura a solta nas amostras secas, firme a friável nas úmidas. No horizonte Bw o aspecto friável é comum, pois apresentam normalmente estrutura granular “pó de café”, diferente dos horizontes Bt que mantêm estrutura em blocos e prismas. Os horizontes apresentaram-se plásticos, pegajosos a muito pegajosos.

Os valores de argila encontrados nos horizontes do perfil 5 (Tabela 3) ficaram acima de 460 g kg⁻¹ classificados como argilosos. Foi possível observar maior concentração de argila nas duas últimas camadas Bt2 e Bw de 600 g kg⁻¹ enquanto a menor concentração foi no HA com 460 g kg⁻¹, podendo ser também por perda de argila da camada por argiluviação e/ou elutriação. Meireles et al. (2012) em estudos de uma topossequência sobre basalto na região de Batatais, SP em perfil de Nitossolo Vermelho eutroférico típico obtiveram 470 g kg⁻¹ de argila na camada A e 580 g kg⁻¹ no Bt2 entre 87-105 cm, valores próximos aos obtidos em mesmas profundidades para esse perfil.

Perfil 6- NITOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO LATOSSÓLICO.

Os horizontes do perfil 6 dividiram-se em: A (0-25 cm), Bt (25-125 cm) e Bw (125-160 cm).

Do sexto ao sétimo perfil a declividade é de 9,0%, já classificado como relevo ondulado. Situado na quebra da vertente caracterizado a partir de então como encosta, segue até o (P9). As cores observadas também foram homogêneas para os três horizontes, de matiz 10R, com valor/croma 3/6 seca com pequena variação na úmida (Tabela 2).

A consistência variou de ligeiramente dura a muito dura nas amostras secas, e friável a firme nas úmidas. Verificou-se aspectos de ligeira plasticidade e pegajosidade nas amostras dos horizontes A e Bw, enquanto as do Bt apresentaram plasticidade e muita pegajosidade, devido, provavelmente, ao maior teor de argila comparado aos outros horizontes.

Todos os horizontes do perfil 6 foram classificados como argilosos. A menor concentração de argila ocorreu no HA com 475 g kg^{-1} conforme a (Tabela 3), podendo ser também por conta da perda de argila por erodibilidade ou argiluviação /elutriação, como em outros pontos. Maior teor de silte também foi encontrada no HA com 275 g kg^{-1} , enquanto o horizonte Bt apresentou 150 g kg^{-1} e o Bw 155 g kg^{-1} , valores bem abaixo do HA.

Perfil 7- NITOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO LATOSSÓLICO.

Os horizontes do perfil 7 dividiram-se em: A (0-15 cm), Bt1 (15-77 cm), Bt2 (77-120 cm) e Bw (120-155 cm).

O sétimo perfil ao oitavo (P7 ao P8) apresenta declividade de 9,6%. As amostras também apresentaram cores homogêneas como os outros perfis caracterizados como Nitossolo, de coloração avermelhada. Os matizes verificados foram 10R, com valor/croma 3/4 seca e variação para 3/3 úmida em todos os horizontes (Tabela 2).

A consistência dos horizontes variou de ligeiramente dura a muito dura nas amostras secas, e friável a firme nas úmidas. Observou-se plasticidade a ligeira plasticidade, amostras pegajosas a muito pegajosas.

Observou-se também menor concentração de argila na camada superficial (635 g kg^{-1}), no entanto, para este perfil, todos horizontes apresentaram conteúdos de argila acima de 600 g kg^{-1} , classificando-os como muito argilosos. Podendo ser esse menor conteúdo de argila na camada superior devido ao transporte, conforme discutido anteriormente.

Perfil 8- NITOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO LATOSSÓLICO.

Os horizontes do perfil 8 dividiram-se em: A (0-15 cm), Bt1 (15-62 cm), Bt2 (62-130 cm) e Bw (130-160 cm).

O (P8 ao P9) encontra-se em declividade de 9,1 %, ainda sob relevo ondulado. Também de coloração avermelhada e homogênea, com cores secas 10R de matiz, valor/croma 3/4 na camada superficial e 3/6 no restante dos horizontes.

A consistência dos horizontes variou de ligeiramente dura a muito dura nas amostras secas, nas úmidas em muito firme a friável. Para a consistência molhada foi verificado maior plasticidade e maior pegajosidade nos horizontes Bt1 e Bt2, característico de horizontes B níticos (Tabela 2).

Os conteúdos de argila encontrados no perfil 8 (Tabela 3) também ficaram acima de 600 g kg⁻¹ em todos os horizontes, classificando-os como muito argilosos. Observou-se maior concentração de argila no horizonte Bt2 com 835 g kg⁻¹. O menor conteúdo de argila foi verificado, assim como para os demais perfis, na camada superficial com 610 g kg⁻¹, podendo estar relacionado com a perda de argila por erodibilidade ou argiluviação /elutriação, conforme discutido anteriormente.

Medeiros et al. (2018) em um perfil de Nitossolo Vermelho desenvolvido de basalto em Araruna, PR, obtiveram valores mais baixos de argila em horizontes B-níticos, variando de 470 à 580 g kg⁻¹, mais parecidos com os Nitossolos dos compartimentos anteriores (P2 e P4). Essa diferenciação de processo evolutivo do relevo pode estar atrelada à erosão atuante em toda vertente, seguindo teorias de Davis, iniciando pelo (rejuvenescimento) época onde ocorreu o soerguimento relativo continental e incisão de vales. Posteriormente houve a regressão das encostas formando um perfil convexo no topo e côncavo na base (TORRADO et al., 2005) como configura-se a pedossequência.

Perfil 9- NITOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO TÍPICO.

Os horizontes do perfil 9 dividiram-se em: A (0-15 cm), Bt (15-80 cm), HC (80-130 cm).

O (P9 ao P10) está sob declividade de 6,5% em relevo suave ondulado. Os horizontes A e Bt apresentaram cores seca 10R 3/4 e 10R 3/6, respectivamente. Para as

úmidas permaneceram as mesmas (Tabela 2). O Horizonte C foi caracterizado com mosqueado, além de aparentar ser um material rochoso em aparente decomposição.

A consistência variou bastante nos três horizontes, ficando entre dura, muito dura e macia nas amostras secas, enquanto nas úmidas foram de friável a muito firme. O HA apresentou plasticidade e pegajosidade, o Bt plasticidade e muita pegajosidade e o HC ligeira plasticidade e nenhum aspecto de pegajosidade por ser um material aparentemente rochoso (Tabela 2).

Os conteúdos de argila encontrados no perfil 9 (Tabela 3), diferenciaram-se bastante entre os horizontes. No HA foi possível observar 555 g kg⁻¹ de argila e também um alto teor de silte, 345 g kg⁻¹. No horizonte Bt foi encontrado 770 g kg⁻¹ de argila, 125 g kg⁻¹ de silte e 105 g kg⁻¹ de areia.

Já o horizonte C apresentou 560 g kg⁻¹ de areia, condizente com a textura de solos menos intemperizados onde as frações granulométricas maiores ainda não sofreram total fragmentação e decomposição via reações físicas, químicas (hidrólise e oxidação) e biológicas.

Perfil 10- NITOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRICO TÍPICO.

Os horizontes do perfil 10 dividiram-se em: A (0-18 cm), Bt1 (18-85 cm), Bt2 (85-147 cm) e BC (147-195 cm).

O (P10 ao P11) está localizado no sopé da vertente, em declive de 6,6%, sob relevo suave ondulado. Os horizontes A e BC apresentaram cores de 10R 3/4 para os estágios seco e úmido. Verificados também na camada BC mosqueados e cromas baixos, o que pode estar ligado a reações de redução de Fe ($Fe^{3+} > Fe^{2+}$). Já as camadas Bt1 e Bt2 permaneceram mesmos valores em amostras úmidas 3/6.

A consistência dos horizontes variou de ligeiramente dura e friável nos estágios seco e úmido do horizonte A, muito dura e firme nos demais horizontes. Quanto a plasticidade e a pegajosidade as camadas variaram de plásticas, pegajosas a ligeiramente pegajosas.

Os conteúdos de argila encontrados neste perfil variaram com a profundidade (Tabela 3). Foi possível observar uma maior concentração de argila no horizonte Bt1, com 810 g kg⁻¹, já, na última camada BC, com 415 g kg⁻¹ de argila, devido a processos discutidos anteriormente.

Magalhães et al. (2017) analisando um Nitossolo Vermelho de uma topossequência Latossolo- Nitossolo de Marechal Cândido Rondon, PR, obtiveram resultados de argila entre 739 à 840 g kg⁻¹ nos horizontes de profundidade 0-200 cm e 86 à 57 g kg⁻¹ de silte. Ressalta-se que, assim como no perfil anterior (P9), também foram encontrados mosqueados na última camada, porém este com aspectos diferentes, podendo estar relacionado à zona de saturação de água por sua posição na vertente, já na área de sopé. Observando que o perfil 10 e 11 já se encontram em uma mesma dinâmica de relevo, diferentes do topo, encosta e meia encosta.

Perfil 11- NITOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO LATOSSÓLICO.

Os horizontes do perfil 11 dividiram-se em: A (0-25 cm), Bt1 (25-70 cm), Bt2 de (70-150 cm) e Bw (150-195 cm).

Localizado próximo as margens do ribeirão dos Apertados, os horizontes A e Bt1 apresentaram cores 10R 3/4 em amostras secas e úmidas. O horizonte Bt2 exibiu 10R 3/6 também em seca e úmida. Já a última amostra apresentou matiz de 2,5YR valor/croma de 4/6 seco e 3/6 na úmida, justificado pelo maior umedecimento e proximidade com o lençol freático. Embora na data de coleta não tenha sido encontrada zona de saturação de água, como verificado no P10, as características morfológicas deste perfil se alinham as condições de sopé, com acúmulo de matérias trazidos das partes mais altas da pedossequência e, portanto, maior espessura que o perfil anterior.

A consistência para os horizontes variou de dura a muito dura nas amostras secas, e friável a firme nas úmidas.

Foi possível observar uma maior concentração de argila na última camada com 805 g kg⁻¹, relacionado com um menor valor de silte com 100 g kg⁻¹ e areia com 95 g kg⁻¹. Já o menor valor de argila foi verificado no horizonte Bt1 com 490 g kg⁻¹ e 325 g kg⁻¹ de areia. As maiores quantidades de areia nas camadas A e Bt1 podem estar atreladas à um transporte e acúmulo, provindo das partes mais altas da vertente.

Campos et al. (2007) em solos de escarpa e sopé de transporte encontrou maiores valores de relação silte/argila, influenciados pelo declive acentuado, dificultando a ação do intemperismo. Já Meireles et al. (2012) em sopé de deposição em perfil de Nitossolo Vermelho eutroférico típico, obtiveram valores de 400g kg⁻¹ e 410g kg⁻¹ de argila nos horizontes A e Bt2 em profundidades de 0-19 e 90-120 cm respectivamente.

3.5.3 Caracterização granulométrica e química dos solos

Na tabela 3 estão apresentados os resultados das análises granulométricas e químicas de todos os horizontes dos perfis avaliados.

Tabela 3- Resultados dos atributos físicos e químicos dos solos desenvolvidos de basalto, Londrina, Paraná.

Horizonte	Prof. -----cm-----	Atributos do solo											V %
		Argila -----g kg ⁻¹ -----	Silte	Areia	pH		M.O. gkg ⁻¹	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC	
					CaCl ₂	H ⁺ +Al ³⁺							
P1 A	0-18	495	280	225	5,2	6,2	24,1	3,62	2,43	1,37	7,42	13,63	54
P1 AB	18-60	565	195	240	5,3	2,9	9,35	1,30	0,89	0,64	2,82	5,77	48
P1 BA	60-110	545	230	225	5,8	3,9	1,56	2,30	1,59	0,16	4,05	8,02	50
P1 Bw	110-160	515	215	270	6,0	6,6	5,45	2,23	1,55	0,39	4,16	10,84	38
P2 A	0-20	505	260	235	5,0	6,6	21,8	3,36	2,39	1,24	6,99	13,68	51
P2 Bt	20-65	560	195	245	5,6	4,2	6,23	2,78	1,42	0,31	4,52	8,80	51
P2 Bw	65-135	505	235	260	5,9	3,4	3,90	2,01	1,51	0,00	3,52	6,94	50
P3 A	0-20	465	255	280	5,3	6,2	26,4	5,07	2,38	0,80	8,26	14,47	57
P3 Bi	20-80	550	195	255	5,5	4,6	6,23	3,99	1,57	0,29	5,85	10,46	55
P3 C	80-110	370	220	410	5,8	4,2	3,90	3,77	1,56	0,16	5,49	9,77	56
P4 A	0-30	410	310	280	5,0	3,1	24,1	3,90	2,39	0,74	7,02	10,20	68
P4 Bt	30-84	470	240	290	5,7	4,2	7,79	3,00	1,30	0,17	4,47	8,75	51
P4 Bw	84-130	495	240	265	5,9	3,6	3,12	2,23	1,10	0,17	3,51	7,19	48
P5 A	0-20	460	265	275	5,1	6,2	20,2	3,67	2,32	0,87	6,86	13,07	52
P5 Bt1	20-62	570	190	240	5,4	4,6	8,57	3,38	2,33	0,35	6,06	10,67	56
P5 Bt2	62-117	600	145	255	5,0	5,3	1,56	2,92	2,21	0,02	5,14	10,49	49
P5 Bw	117-150	600	155	245	5,0	5,3	0,78	1,27	0,21	0,00	1,48	6,83	21
P6 A	0-25	475	275	250	5,0	6,6	16,3	4,52	2,31	1,29	8,12	14,81	54
P6 Bt	25-125	605	150	245	5,6	4,2	7,01	4,23	1,50	0,55	6,28	10,56	59
P6 Bw	125-160	585	155	260	6,0	3,6	18,7	2,52	2,08	0,17	4,78	8,46	56
P7 A	0-15	635	210	155	4,8	7,7	22,60	3,90	2,05	0,78	6,73	14,49	46
P7 Bt1	15-77	745	170	85	5,3	3,6	10,13	3,80	1,48	0,00	5,28	8,96	58
P7 Bt2	77-120	745	155	100	5,6	4,2	6,23	3,43	1,50	0,02	4,94	9,22	53
P7 Bw	120-155	740	185	75	5,9	3,6	1,56	2,31	2,14	0,02	4,47	8,15	54
P8 A	0-15	610	225	165	4,9	7,2	23,38	3,88	2,11	0,74	6,73	13,93	48
P8 Bt1	15-62	765	145	90	5,0	5,3	9,35	6,00	2,24	0,11	8,35	13,70	60
P8 Bt2	62-130	835	100	65	5,5	3,9	4,68	3,59	1,49	0,00	5,08	9,05	56
P8 Bw	130-160	770	150	80	5,8	3,6	2,34	2,52	1,93	0,02	4,46	8,14	54
P9 A	0-15	555	345	100	4,7	7,2	18,70	2,85	1,57	0,57	4,98	12,18	40
P9 Bt	15-80	770	125	105	5,3	4,6	6,23	3,57	1,53	0,00	5,10	9,71	52
P9 C	80-130	340	100	560	5,7	4,2	0,00	3,58	1,60	0,02	5,20	9,48	54
P10 A	0-18	575	130	295	4,7	7,2	17,92	4,37	1,65	0,46	6,48	13,68	47
P10 Bt1	18-85	810	65	125	5,5	4,2	3,90	4,99	1,86	0,00	6,85	11,13	61
P10 Bt2	85-147	765	225	10	5,5	4,6	3,12	3,67	2,25	0,00	5,93	10,54	56
P10 BC	147-195	415	290	295	4,5	7,7	0,78	2,20	2,76	0,07	5,03	12,79	39
P11 A	0-25	525	220	255	5,1	7,2	19,48	7,09	2,68	0,03	9,80	17,00	57
P11 Bt1	25-70	490	185	325	5,1	6,2	10,91	2,90	3,00	0,00	5,90	12,11	48
P11 Bt2	70-150	730	135	135	5,0	5,3	3,12	2,91	2,73	0,04	5,67	11,02	51
P11 Bw	150-195	805	100	95	5,2	4,2	0,78	7,23	3,41	0,07	10,64	14,92	71

*M.O.= matéria orgânica; Ca= cálcio; Mg= magnésio; K= potássio; SB= soma de bases; CTC pH7= capacidade de troca de cátions em pH 7; V= saturação por bases.

Os valores de $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ indicaram baixa acidez, com valores acima de 5,0 na maioria das amostras, exceto os horizontes A nos perfis 7, 8, 9 e 10, o que segundo Souza e Lobato (2004) são considerados pH de médio a adequado. Não foram verificadas grandes variações nos valores de pH entre os horizontes, no entanto, com exceção dos perfis P5 e P10, todos apresentaram aumento de pH em profundidade, o que está de acordo com os resultados apresentados por Rodrigues e Klamt (1978) que verificam que o pH aumentou em 0,5 unidades, com a profundidade.

Para os teores de matéria orgânica, verificou-se pequenas variações entre os perfis avaliados (Tabela 3). Para todos os perfis houve decréscimo de C. org com a profundidade, o que é esperado para maioria dos solos, exceto Espodossolos e Neossolos Flúvicos. A matéria orgânica é considerada todo conteúdo que provém de diversos estágios de decomposição dos vegetais e animais, influenciando em diversos atributos do solo como aeração, estruturação, agregação das partículas, infiltração e absorção de água, refletindo em maior resistência do solo à erosão (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Os valores de SB dos perfis de 1 a 7 decresceram em profundidade, já para os demais, essa tendência se inverteu. Esse fato pode estar ligado à posição dos perfis ao longo do transecto estudado, onde a erosão e elutriação arrastam materiais e possíveis corretivos e fertilizantes das partes mais altas e depositam nas partes mais baixas. Bem como o formato do relevo que se configura de forma convexa no topo e côncava na base.

A maioria dos perfis, exceto 1 e 5, obtiveram alta saturação de bases ($V > 50\%$) nos horizontes diagnósticos identificados o que reflete a riqueza do material de origem em bases trocáveis. Ademais, todos os horizontes diagnósticos apresentaram caráter férrico (Fe_2O_3 180 g kg^{-1} a $< 360 \text{ g kg}^{-1}$) (EMBRAPA, 2018), como pode ser visto na (Tabela 4).

Os valores da capacidade de troca catiônica (CTC) diminuíram com a profundidade (Tabela 3), estando esses resultados coerentes. A CTC é importante pela relação com a floculação, estruturação do solo, retenção de água e consistência, estando diretamente relacionado à erosão.

Já a acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) em quase todos os perfis, com exceção do 4 e 10, aumentou em profundidade, aparentemente não havendo relação direta com suas posições na vertente.

De maneira geral os atributos químicos permitem inferir que as condições atuais dos solos são condizentes com áreas em bom estado de conservação, o que pode estar

ligado à reforma de pastagem realizada pelo produtor no ano de 2014, ou seja, quatro anos antes da realização desse estudo. Critérios como taxa de lotação e demais informações não foram avaliadas.

3.5.4 Mineralogia

Na tabela 4 estão apresentados os teores de elementos totais dos horizontes diagnósticos dos 11 perfis da pedossequência, avaliados pelo método da fluorescência de raio-x. Também estão apresentados os valores das relações Ki e Kr, calculados por meio dos teores totais de Si, Al e Fe, com a finalidade de inferir sobre o estágio de intemperização dos solos. Os índices de Ki e Kr foram calculados respectivamente pelas relações moleculares $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ e $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{FeO}_3)$.

Tabela 4- Elementos totais dos horizontes diagnósticos.

Perfil	Horizonte	Profundidade -----cm-----	Elementos totais dos H-diagnósticos				
			SiO ₂	Fe ₂ O ₄ -----g kg ⁻¹ -----	Al ₂ O ₃	Ki	Kr
1- LVdf ¹	Bw	60-110	244,0	256,0	232,0	1,78	1,05
2- NVer ²	Bt	20-65	245,0	256,0	228,0	1,82	1,06
3- CXbef ³	Bi	20-80	214,0	274,0	214,0	1,70	0,93
4- NVer ⁴	Bt	30-84	250,0	245,0	264,0	1,60	1,00
5- NVdf ⁵	Bt2	62-117	258,0	225,0	240,0	1,82	1,14
6- NVer ⁶	Bt	25-125	301,0	224,0	270,0	1,89	1,23
7- NVer ⁷	Bt2	77-120	300,0	229,0	251,0	2,03	1,28
8- NVer ⁸	Bt2	62-130	262,0	207,0	235,0	1,89	1,21
9- NVer ⁹	Bt	15-80	328,0	206,0	257,0	2,16	1,43
10- NVer ¹⁰	Bt2	85-147	309,0	221,0	255,0	2,06	1,32
11- NVer ¹¹	Bt2	70-150	280,0	244,0	225,0	2,11	1,69

ki: relação molar $1,7 \times (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$. kr: $1,7 (\text{SiO}_2 / [\text{Al}_2\text{O}_3 + (0,64 \text{ Fe}_2\text{O}_3)])$. ¹ Latossolo vermelho distroférico típico. ² Nitossolo vermelho eutroférico latossólico. ³ Cambissolo háplico Tb eutroférico. ⁴ Nitossolo vermelho eutroférico latossólico. ⁵ Nitossolo vermelho distroférico latossólico. ⁶ Nitossolo vermelho eutroférico latossólico. ⁷ Nitossolo vermelho eutroférico latossólico. ⁸ Nitossolo vermelho eutroférico latossólico. ⁹ Nitossolo vermelho eutroférico típico. ¹⁰ Nitossolo vermelho eutroférico típico. ¹¹ Nitossolo vermelho eutroférico latossólico.

Verificou-se predomínio de Fe₂O₃ sob SiO₂ e Al₂O₃ nos horizontes diagnósticos dos três primeiros perfis. Para os demais (5 ao 11), exceção ao P4 onde o teor de Al₂O₃ foi o maior entre os óxidos avaliados, os teores de SiO₂ foram sempre maiores do que os de Fe₂O₃ e Al₂O₃ caracterizando-os como menos intemperizados ou menos evoluídos. Esses resultados estão condizentes com as observações realizadas em campo, que revelou diversos horizontes com a presença de minerais primários nos perfis de relevos mais acentuados entre a encosta e o sopé.

Os maiores conteúdos de SiO₂ nos solos de encosta e sopé podem estar ligados ao transporte lateral de SiO₂, corroborando com Ghidin et al., (2006) que também obtiveram

maiores teores de SiO₂ em solos de posições mais baixas na topossequência. Essa tendência pode ser explicada por Bocquier (1973) ao afirmar em que as perdas se dão de montante a jusante, do mesmo modo que a acumulação se dá ao contrário de jusante a montante.

De modo geral, os teores de Fe₂O₃ em todos os horizontes diagnósticos foram altos, maiores que 180 g kg⁻¹ caracterizando-os como férricos. As maiores quantidade de Fe₂O₃ foram encontradas nos perfis das partes mais altas (P1 a P3) o que pode estar ligado a maior aeração dos solos e então processos de oxidação mais acentuados (Pereira et al., 2010).

Observou-se, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, que os valores de Ki e Kr de todos os perfis foram maiores que 0,75 e, portanto, de caráter caulínítico.

Os maiores valores de Ki foram verificados nos perfis 7, 9, 10 e 11, solos localizados na parte mais baixa do transecto em (encosta), que aparentemente estão relacionados com os maiores teores de Si. Diferente de perfis que se localizam nas áreas mais altas em topo ou meia encosta, com menores valores de ki na pedossequência, o que indica maior nível de intemperismo.

CONCLUSÕES

Todos os solos do transecto apresentaram textura variando de argilosa a muito argilosa, condizente com o material de origem.

As classes de solos identificadas foram Latossolo Vermelho distroférico típico, Nitossolos Vermelhos eutroféricos típicos, Nitossolos Vermelhos eutroféricos latossólicos, Nitossolos Vermelhos distroféricos latossólicos e Cambissolo Háptico Tb eutroférico.

Os perfis apresentaram menores teores de argila nos horizontes superficiais, possivelmente em função de argiluviação ou elutriação.

Verificou-se maiores teores de SiO₂ em perfis localizados na encosta e sopé, sendo solos menos intemperizados que os perfis do topo e meia encosta. Os perfis do topo e meia encosta, com exceção do perfil 4, apresentaram maiores teores de Fe₂O₃. Altos valores de Ki foram encontrados nos perfis 7, 9, 10 e 11, solos localizados nas partes mais baixas do transecto (encosta), que aparentemente estão relacionados a menor grau de

intemperismo ou, a acúmulo de Si nas partes mais baixas da vertente, estando de acordo com a hipótese esperada, de que há um transporte das partes mais altas para as partes mais baixas da pedossequência.

O material de origem e o uso dos solos são os mesmos, portanto, as diferenças encontradas podem ser atribuídas às variações de declividade, bem como a configuração da vertente, convexa no topo e côncava na base.

4 ARTIGO B- ASSINATURAS ESPECTRAIS DE SOLOS ORIUNDOS DE BASALTO EM UMA PEDOSSEQUÊNCIA NO NORTE DO PARANÁ.

4.1 RESUMO

A espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) pode ser utilizada na discriminação de perfis, de atributos físicos, químicos, mineralógicos e em outras propriedades do solo. Este trabalho teve como objetivo identificar assinaturas espectrais de diferentes classes de solos localizados em uma pedossequência representativa da região norte do Estado do Paraná e compará-las a um banco de espectros de solos de basalto. As amostras utilizadas foram de 11 perfis de solos identificados e classificados até o 4º nível categórico, seguindo critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. A distribuição dos perfis ao longo da pedossêquencia seguiu em (P1) topo, (P2) a (P5) meia encosta, (P6) ao (P9) encosta, (P10) e (P11) sopé. Os solos foram classificados como: Latossolo Vermelho distroférico típico no topo, Cambissolo Háplico Tb eutroférico e Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico em meia encosta, Nitossolo Vermelho eutroférico, distroférico latossólico e típico em encosta e meia encosta. Em sopé foi classificado como Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico. O banco espectral de dados constituiu-se de horizontes diagnósticos de Nitossolos Vermelhos eutroféricos típicos e Nitossolos Vermelhos eutroféricos latossólicos de uma propriedade situada em área de basalto em Bela Vista do Paraíso. Os espectros na faixa do Vis-NIR indicaram seis bandas principais de absorção, entre 400 e 778 nm, 780 e 1102 nm, 1366 e 1446 nm, 1870 e 2134 nm, 2136 e 2294 nm e 2346 e 2416 nm, indicando solos bem desenvolvidos e intemperizados característicos do Norte do Estado do Paraná. Foi possível observar no gráfico das assinaturas espectrais, mesmas bandas de absorção entre os perfis da pedossequência e do banco espectral, porém com intensidades diferentes. As assinaturas espectrais revelaram que a posição dos perfis no relevo foi mais expressiva em discriminar as assinaturas espectrais do que a classificação dos solos. Solos localizados em áreas menos acentuadas nos segmentos topo e meia encosta (P1 a P4) apresentaram maiores absorbâncias e acima da média do banco espectral. Já os solos localizados nos segmentos meia encosta, encosta e sopé (P5 a P11) apresentaram menores absorbâncias e nas mesmas faixas ou abaixo da média do banco espectral.

Palavras-chave: Assinatura espectral, relevo, Vis-NIR, absorbância.

4.2 ABSTRACT

Near infrared spectroscopy (NIRS) can be used to discriminate profiles, physical, chemical, mineralogical and other soil properties. This paper aimed to identify spectral signatures of different soil classes located in a pedossequence representative of the north region of the State of Paraná and compare them to a bank of spectra of basalt soils. The samples used were 11 soil profiles identified and classified up to the 4th categorical level, following the criteria of the Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2018). The distribution of the profiles along the pedossequence followed in (P1) top, (P2) to (P5) half hillside, (P6) to (P9) hillside, (P10) and (P11) in deposition foothill. The soils were

classified as: Latossolo Vermelho distroférico típico at the top, Cambissolo Háplico Tb eutroférico and Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico at half hillside, Nitossolo Vermelho eutroférico, distroférico latossólico and típico at hillside and half hillside. In the foothills it was classified as Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico. The spectral database consisted of diagnostic horizons of Nitossolos Vermelhos eutroféricos típicos and Nitossolos Vermelhos eutroféricos latossólicos of a property situated in basalt area in Bela Vista do Paraíso. Spectra in the Vis-NIR range indicated six major absorption bands, ranging from 400 to 778 nm, 780 and 1102 nm, 1366 and 1446 nm, 1870 and 2134 nm, 2136 and 2294 nm and 2346 and 2416 nm indicating well developed and weathered soils characteristic of the North of the State of Paraná. It was possible to observe in the graph of the spectral signatures, the same bands of absorption between the profiles of the pedosseque and the spectral bank, but with different intensities. The spectral signatures revealed that the position of the profiles in the relief was more expressive in discriminating the spectral signatures than the classification of the soils. Soils located in less accentuated areas in the top and half hillside segments (P1 to P4) presented higher absorbances and above the average of the spectral bank. The soils located in the half hillside, hillside and foothill segments (P5 to P11) had lower absorbances and in the same bands or below the average of the spectral bank.

Keywords: Spectral signature, relief, Vis-NIR, absorbance.

4.3 Introdução

A aplicação da espectroscopia está presente nos diversos ramos da ciência desde o ano de 1643 com Isaac Newton (OLIVEIRA, 2001). É vantajosa por ser considerada uma ferramenta limpa, não prejudicial ao meio ambiente (GONZAGA, 2006). É mais barata que os métodos tradicionais de análise, o que a torna mais recomendada em estudos de propriedades químicas, físicas, na microbiologia em outros ramos da ciência do solo.

Na classificação de solos, a textura e a mineralogia são considerados atributos diagnósticos que permitem os classificar em diversos níveis categóricos. Nos estudos de levantamento e classificação, há a necessidade de caracterização química, física e mineralógica dos horizontes do solo. Este conjunto de características eleva consideravelmente o número de amostras necessárias para o conhecimento e classificação dos solos, conseqüentemente tem-se um incremento no tempo necessário para as determinações analíticas (Oliveira et al., 2013).

Na discriminação de solos a espectroscopia pode ser utilizada e já foi testada por alguns pesquisadores (DEMATTE et al., 2004). Ela vem sendo estudada e utilizada com o intuito de auxiliar de forma mais ágil os métodos tradicionais trazendo benefícios para o meio ambiente e a sociedade.

Diversos autores destacam maior vantagem em se utilizar a espectroscopia para prever os teores de argila, silte e areia e seu potencial em estimar características físicas do solo (STENBERG; NORDKVIST; SALOMONSSON, 1995; COZZOLINO; MORÓN, 2003; SORENSEN; DALSGAARD, 2003). Além de sua aplicação na classificação dos solos (BELLINASSO et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2013), e na quantificação da mineralogia (VISCARRA ROSSEL; MCGLYNN; MCBRATNEY, 2006; SELLITO et al., 2009).

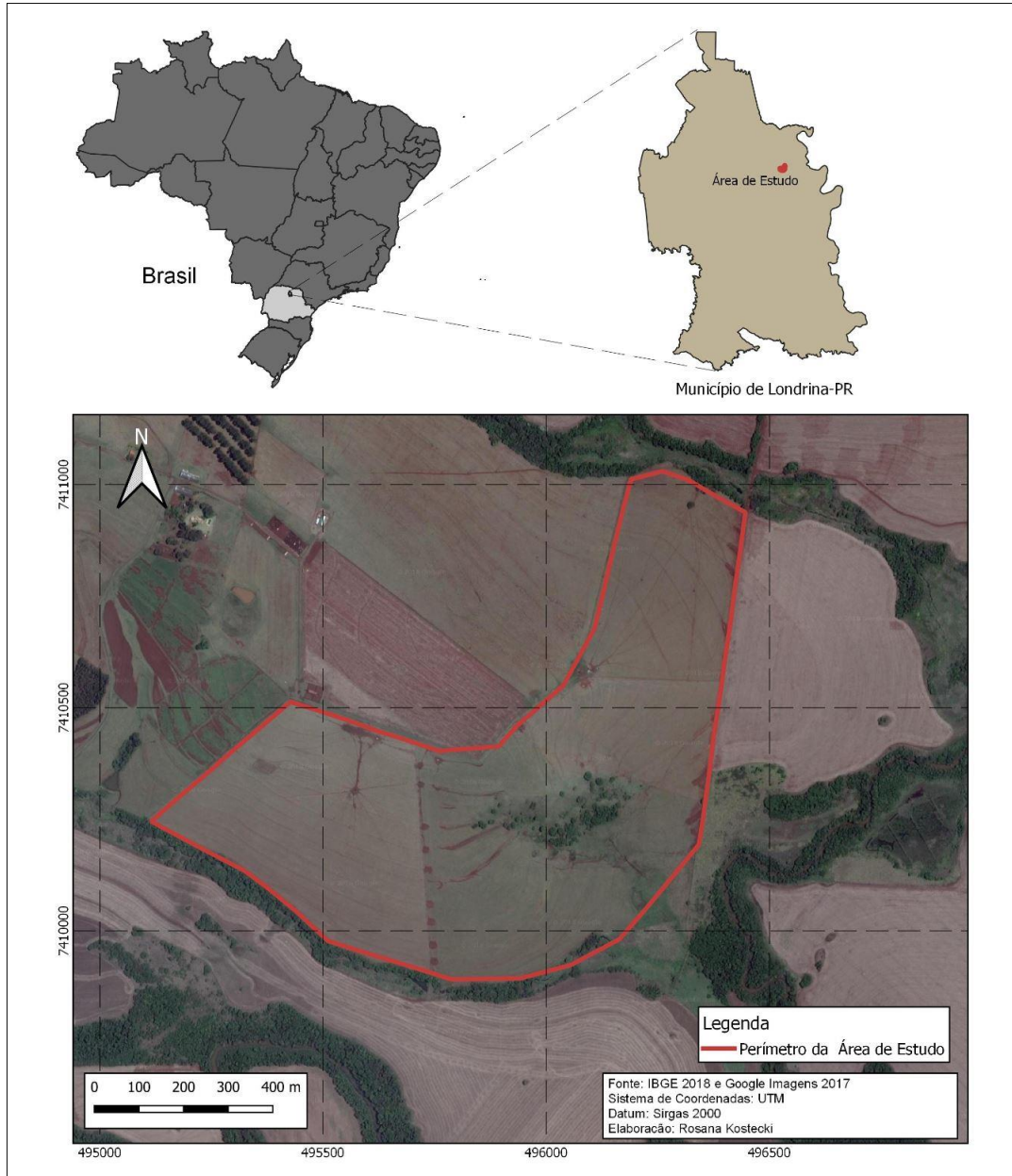
O objetivo deste trabalho foi identificar assinaturas espectrais pela espectroscopia Vis-NIRS de diferentes classes de solos localizados em uma pedossequência representativa da região norte do Estado do Paraná e compará-las a um banco de espectros de solos de basalto. A hipótese desse artigo é que as diferentes posições no relevo influenciam as assinaturas espectrais.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Área de Estudo

A área de estudo está localizada no norte do Estado do Paraná, distrito de Maravilha, Londrina - PR, entre as coordenadas 23°41'88,21" de latitude sul e 51°03'94,59" de longitude oeste. A pedossequência encontra-se situada em uma propriedade denominada Fazenda Carranca, próximo às margens do ribeirão dos Apertados, afluente do rio Tibagi (Figura 11). O recorte escolhido apresenta aproximadamente 50 ha.

Figura 11- Localização geográfica da área de estudo, município de Londrina- PR.



Fonte: Dados do próprio autor.

4.4.2 Coleta das amostras

Para a coleta das amostras de solo foram marcados pontos com estacas a um espaçamento de 50 metros aproximadamente, de acordo com observação do mapa planialtimétrico confeccionado (Figura 6, artigo A). No total foram marcados e descritos 11 perfis de solo.

A coleta ocorreu em partes representativas da paisagem, realizada com o auxílio de trado holandês na qual penetra o solo por movimento de rotação transportando-o à superfície. Em seguida, as amostras foram colocadas sobre plásticos abertos e esticados para que fosse feita a descrição e separação dos horizontes. Na sequência as amostras foram identificadas e levadas para o laboratório, para que secassem ao ar em temperatura ambiente. Após a secagem as amostras foram peneiradas em malha de 2,0 mm para obter a terra fina seca ao ar (TFSA), para a efetivação das análises granulométricas, químicas e mineralógicas.

Em outro momento, para a coleta dos espectros, as amostras foram colocadas em estufas de secagem, em temperatura constante de 40°C por 12 horas para uniformização da umidade.

4.4.3 Análises de Referência

As análises químicas e granulométricas foram realizadas no Laboratório de Solos do departamento de Agronomia da UEL seguindo métodos propostos por Pavan et al., (1992) e Claessen (1997) e detalhados nos itens 3.4.3 e 3.4.4, respectivamente, do artigo A.

As análises para a quantificação de elementos totais nos horizontes diagnósticos foram realizadas no Laboratório de Física Nuclear Aplicada, por meio de fluorescência de raio-X, como destacado no item 3.4.5 do artigo A.

4.4.4 Coleta dos Espectros Vis-NIR

Amostras de TFSA tamisadas a 2,0 mm foram colocadas em estufa a 40°C por um período de 12 horas aproximadamente para obter certa homogeneidade e diminuir os efeitos da umidade que interferem na leitura dos espectros dos solos. Posteriormente transferiu-se aproximadamente 5,0 g de terra de cada amostra (39 no total) dos 11 perfis do transecto para cubetas de quartzo, onde acoplou-as ao espectrômetro.

Todas as amostras foram escaneadas utilizando um espectrômetro modelo FOSS Vis-NIR XDS (FossNIRSystems, Silver Spring, MD, USA) localizado na Universidade Estadual de Londrina, com banda de reflectância entre 400 e 2500 nanômetros para

produzir um espectro composto por 1050 pontos. Os dados espectrais obtidos no modo de reflectância difusa foram gravados como o logaritmo do inverso da reflectância [$\log(1/R)$]. Os espectros foram analisados utilizando o software Unscrambler X versão 10.2 (CAMO Software international).

De posse dos espectros foi possível construir gráficos com a leitura das assinaturas espectrais de cada perfil e compará-las a um banco de espectros de solos desenvolvidos de basalto, obtido em estudos anteriores.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Descrição Geral dos Solos

Os solos foram classificados pelo método convencional utilizando 11 sondagens no sentido NO-SE totalizando 940 metros de extensão conforme os princípios de Boulet et al., (1982). A pedossequência descrita apresenta forma convexa no topo e côncava na base. A descrição dos perfis foi realizada conforme a metodologia de Santos et al., (2005), onde análises macromorfológicas, granulométricas, químicas e mineralógicas foram realizadas e a classificação dos solos se deu até o quarto nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018).

Os solos identificados na área foram Latossolo Vermelho distroférico típico, Nitossolos Vermelhos eutroféricos típicos, Nitossolos Vermelhos distroféricos latossólicos e Nitossolos Vermelhos eutroféricos latossólicos e Cambissolo Háplico Tb eutroférico. O primeiro perfil está localizado em topo identificado como Latossolo Vermelho distroférico típico. Na meia encosta foram identificados Cambissolo Háplico Tb eutroférico e Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico. Em encosta foram encontrados Nitossolos Vermelhos eutroféricos típicos, Nitossolos Vermelhos distroféricos típicos, Nitossolos Vermelhos distroféricos latossólicos, e em sopé Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico.

Todos os solos apresentaram textura variando de argilosa a muito argilosa condizente com o material de origem, que é o basalto. As camadas subsuperficiais apresentaram maiores quantidades de argila, o que pode ser resultado de argiluviação ou elutriação, como discutido no artigo A.

Os perfis com maiores teores de SiO₂ se localizaram em encosta e sopé, sendo solos menos intemperizados que os perfis do topo e meia encosta (Tabela 5). Essas maiores quantidades de SiO₂ podem estar ligados ao transporte lateral de SiO₂ (Ghidin et al., 2006).

Tabela 5- Resultados de atributos granulométricos e químicos de solos desenvolvidos de basalto, Londrina, PR.

<i>Perfil</i>	<i>Horizonte</i>	<i>Argila</i>	<i>Silte</i>	<i>Areia</i>	<i>M.O.</i>	<i>V</i>	<i>SiO₂</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>Al₂O₃</i>
		-----g kg ⁻¹ -----			%			gkg ⁻¹	
P1- LVdf ¹	A	495	280	225	24,1	54			
	AB	565	195	240	9,35	48			
	BA	545	230	225	1,56	50			
	Bw	515	215	270	5,45	38	244,0	256,0	232,0
P2- NVef ²	A	505	260	235	21,8	51			
	Bt	560	195	245	6,23	51	245,0	256,0	228,0
	Bw	505	235	260	3,90	50			
P3- CXbef ³	A	465	255	280	26,4	57			
	Bi	550	195	255	6,23	55	214,0	274,0	214,0
	C	370	220	410	3,90	56			
P4- NVef ⁴	A	410	310	280	24,1	68			
	Bt	470	240	290	7,79	51	250,0	245,0	264,0
	Bw	495	240	265	3,12	48			
P5- NVdf ⁵	A	460	265	275	20,2	52			
	Bt1	570	190	240	8,57	56			
	Bt2	600	145	255	1,56	49	258,0	225,0	240,0
	Bw	600	155	245	0,78	21			
P6- NVef ⁶	A	475	275	250	16,3	54			
	Bt	605	150	245	7,01	59	301,0	224,0	270,0
	Bw	585	155	260	18,7	56			
P7- NVef ⁷	A	635	210	155	22,60	46			
	Bt1	745	170	85	10,13	58			
	Bt2	745	155	100	6,23	53	300,0	229,0	251,0
	Bw	740	185	75	1,56	54			
P8- NVef ⁸	A	610	225	165	23,38	48			
	Bt1	765	145	90	9,35	60			
	Bt2	835	100	65	4,68	56	262,0	207,0	235,0
	Bw	770	150	80	2,34	54			
P9- NVef ⁹	A	555	345	100	18,70	40			
	Bt	770	125	105	6,23	52	328,0	206,0	257,0
	C	340	100	560	0,00	54			
P10- NVef ¹⁰	A	575	130	295	17,92	47			
	Bt1	810	65	125	3,90	61			
	Bt2	765	225	10	3,12	56	309,0	221,0	255,0
	BC	415	290	295	0,78	39			
P11- NVef ¹¹	A	525	220	255	19,48	57			
	Bt1	490	185	325	10,91	48			
	Bt2	730	135	135	3,12	51	280,0	244,0	225,0
	Bw	805	100	95	0,78	71			

¹ Latossolo vermelho distroférico típico. ² Nitossolo vermelho eutroférico latossólico. ³ Cambissolo háplico Tb eutroférico. ⁴ Nitossolo vermelho eutroférico latossólico. ⁵ Nitossolo vermelho distroférico latossólico. ⁶ Nitossolo vermelho eutroférico latossólico. ⁷ Nitossolo vermelho eutroférico latossólico. ⁸ Nitossolo vermelho eutroférico latossólico. ⁹ Nitossolo vermelho eutroférico típico. ¹⁰ Nitossolo vermelho eutroférico típico. ¹¹ Nitossolo vermelho eutroférico latossólico.

Os perfis apresentados com maiores quantidades de Fe_2O_3 foram encontradas nas partes mais altas (P1 a P3). Já os maiores valores de Ki foram verificados nos perfis 7, 9, 10 e 11, solos localizados nas partes mais baixas da vertente em (encosta), o que ajuda a confirmar o menor grau de intemperismo desses solos.

O material de origem e o uso dos solos dos perfis da Pedossequência são os mesmos, portanto, as diferenças encontradas podem ser atribuídas às variações de declividade e formas de relevo, bem como a configuração da vertente côncava no topo e convexa na base.

4.5.2 Assinaturas Espectrais

Os espectros na faixa do Vis-NIR indicaram seis faixas principais de absorção, entre 400 e 778 nm, 780 e 1102 nm, 1366 e 1446 nm, 1870 e 2134 nm, 2136 e 2294 nm e 2346 e 2416 nm. Essas faixas espectrais já foram descritas em trabalhos publicados por diversos autores (BELLINASO et al., 2010; DEMATTÊ et al., 2015; FERRUCIO, 2016), e são características de amostras de solos de basalto, bem desenvolvidos e intemperizados.

Os argilominerais 2:1 influenciam a reflectância nos comprimentos de onda de 1400, 1900 e 2200 nm, e os minerais de argila 1:1 (caulinita) em 2200 nm (Goetz et al., 2009). Conforme Souza- Junior et al., (2008) solos que apresentam picos menores em 1400 e 1900 nm e maiores em 2200 nm são caracterizados por mineralogia mais simples, composta por caulinita, indicando solos mais intemperizados (FIORIO, 2002).

A primeira curva espectral entre 400 e 778 nm na banda do Vis, equivale aos óxidos de ferro e alumínio. Essa banda é importante pois diferentes solos tem a capacidade de absorver e refletir radiação neste comprimento de onda (VIS), tendendo os solos mais claros a refletir mais. De acordo com Demattê et al., (2017) a goethita influencia a formação de espectros nos comprimentos de onda de 425 nm, 480 nm e 600 nm, enquanto a hematita influencia em 750 nm e 1050 nm.

As regiões do espectro entre 1366-1446 nm e 1870-2134 nm, podem estar relacionados com pequenas diferenças de umidade das amostras, conforme resultados obtidos por Felix et al., (2016). De acordo com Marchão et al., (2011), os picos observados em comprimentos de onda de 1400 nm estão associados à água adsorvida em

minerais de argila e grupos de OH. A banda entre 1366 e 1446 nm pode ainda representar diferenças nas quantidades de caulinita entre as amostras.

O maior pico apresentado em aproximadamente 2200 nm indica que a absorbância do horizonte C do perfil 9 é alta pela presença de picos bem definidos, determinado especialmente pelo teor de areia, devido a sua constituição mineralógica rica em quartzo pois reflete uma quantidade expressiva de energia (WHITE et al., 1997; CEZAR et al., 2012). Esse horizonte foi classificado como areno - franco argiloso por ter apresentado 560 g.kg⁻¹ de areia, o valor de areia mais alto entre os perfis estudados.

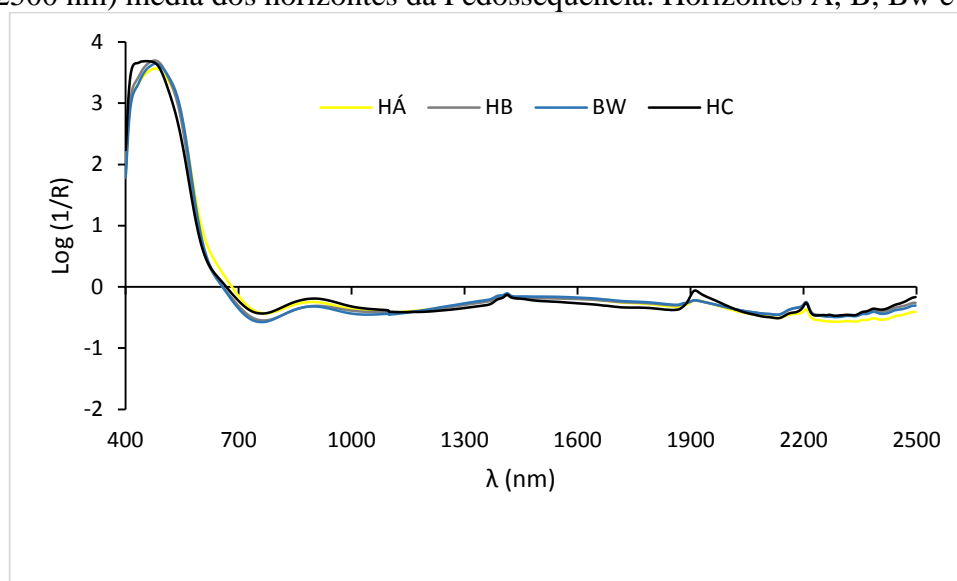
O pico em 2200 nm é característico da caulinita (Al₂Si₂O₅(OH)₄) por apresentar um degrau em sua banda. De acordo com Demattê., (2017) no mesmo comprimento de onda, a água em excesso oculta o efeito dos grupos OH da caulinita por sua menor superfície específica.

Bellinaso et al., (2010) obtiveram assinaturas espectrais semelhantes entre Nitossolos e Latossolos. Porém, na maioria dos perfis de Latossolos, esses autores verificaram a presença de picos característicos de gibbsita em 2265 nm, já para os Nitossolos não. Isto se deve aos Latossolos serem solos mais intemperizados e conterem maiores quantidades de óxidos de Fe e Al e processo de dessilicação (perda de SiO₂) mais intenso.

Encontrou-se na região entre 2346-2416 nm uma sobreposição de picos, o que pode estar relacionado à presença de carbonatos nas amostras, devido a presença da ligação C-O de CO₃²⁻ (MADEIRA NETTO; BATISTA, 2000).

Na figura 12 estão apresentados os comportamentos espectrais dos perfis estudados e a média dos espectros de um banco espectral de solos desenvolvidos de basalto, coletados em Bela Vista do Paraíso, PR em estudos anteriores.

Figura 12- Espectros e absorbância na faixa do visível e infravermelho próximo (400 nm a 2500 nm) média dos horizontes da Pedossequência. Horizontes A, B, Bw e C.



Fonte: o próprio autor.

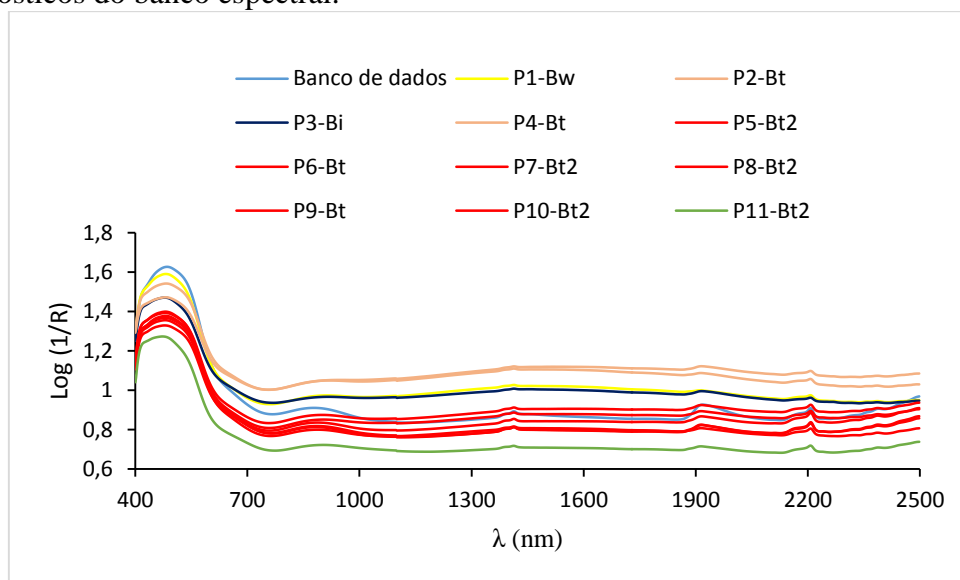
O banco de espectros é composto por 105 amostras de solos da camada 60 – 80 cm que foram classificados como Nitossolos Vermelhos eutroféricos típicos e Nitossolos Vermelhos eutroféricos latossólicos. Esses solos se localizam em relevo plano, suave ondulado e ondulado e estão sob cultivo de lavouras comerciais. Foi possível observar bandas de absorção com mesmo comportamento espectral, porém com intensidades diferentes conforme pode ser verificado na figura 13.

Na faixa de absorção de 400 a 600 nm é possível observar maior absorbância dos perfis do banco espectral, equivalendo aos óxidos de ferro e alumínio, de acordo com Demattê et al., (2017). Se sobressaindo sobre os perfis localizados em topo e meia encosta da Pedossequência (P1 a P4) mais intemperizados, estando o perfil 1 de Latossolo Vermelho sob pico de menor absorbância que do banco espectral. O perfil 11 exibiu a absorbância menos intensa, representado por Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico situado em área de sopé da vertente, apresentando os maiores valores de K_i e K_r da Pedossequência, considerado solos menos intemperizados entre os avaliados.

Entre 750 nm e 1050 nm, influenciados provavelmente pelas quantidades de hematita, os perfis 2 e 4 situados em meia encosta representaram maior absorbância que os perfis do banco espectral e todos os demais, podendo ser justificada por maiores teores de Fe_2O_3 com 256 g kg^{-1} e 245 g kg^{-1} , respectivamente. Em 1366 e 1446 nm esses mesmos

perfis também apresentaram maiores bandas de absorção, podendo ser devido a interferência de caulinita ou água adsorvida em minerais de argila e grupos de OH, como discutido anteriormente.

Figura 13- Espectros de absorbância na faixa do vis-NIRS (400 nm a 2.500 nm) dos horizontes diagnósticos da Pedossequência em comparação aos espectros de horizontes diagnósticos do banco espectral.



Fonte: o próprio autor.

A partir de 1870 nm e nos picos de 2134 nm e 2200 nm esses perfis (P2 e P4) ainda se sobressaíram, porém apresentaram intensidades mais próximas à do banco espectral. Na região entre 2346-2416 nm em aproximadamente 2400 nm os picos dos perfis da Pedossequência se apresentaram menos expressivos quando comparados ao banco espectral, podendo estar relacionado com calcário adicionado ao solo, devido ao carbonato de cálcio, conforme Madeira Netto; Batista, (2000).

Dessa forma, as assinaturas espectrais revelaram que a posição na paisagem foi mais expressiva em separar as assinaturas espectrais do que a classificação dos solos. Solos localizados em áreas menos acentuadas nos segmentos topo e meia encosta (P1 a P4) apresentaram maiores absorbâncias e acima da média do banco espectral. Já os solos localizados nos segmentos meia encosta, encosta e sopé (P5 a P11) apresentaram menores absorbâncias e nas mesmas faixas ou abaixo da média do banco espectral. Esses

comportamentos podem estar ligados ao grau de intemperismo dos solos, como discutido no artigo A.

4.5.3 Análise de Componentes Principais

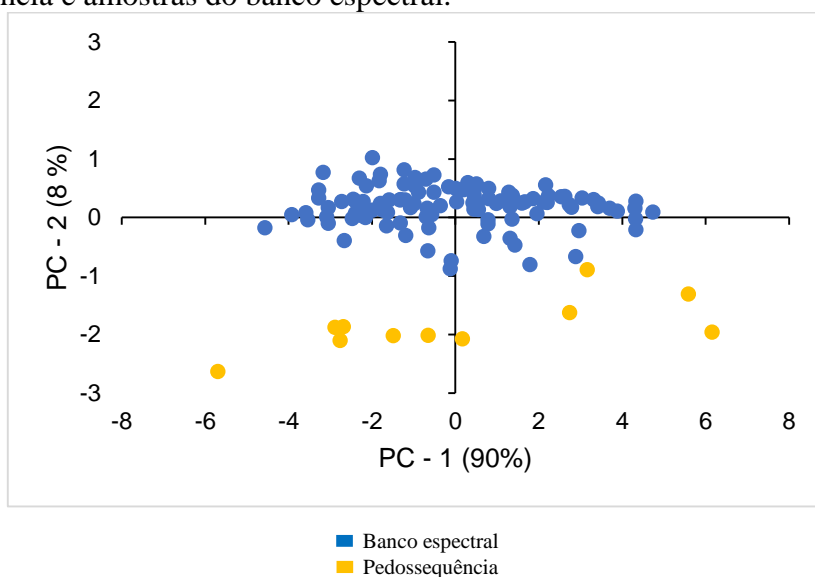
A análise de componentes principais (ACP) baseia-se na transformação linear de “n” variáveis originais em “n” variáveis produzidas pelo sistema. Os eixos x e y, denominados componentes principais, podem ser vistos como “supervariáveis”, construídas pela combinação da correlação entre as variáveis, estes são extraídos em ordem decrescente de importância de acordo com sua contribuição para a variação total dos dados. Os componentes principais, dispostos num espaço de duas dimensões, representam variabilidade suficiente que possa indicar algum padrão a ser interpretado. Autovetor é o valor que representa o peso de cada variável em cada componente (eixos) e funciona como coeficiente de correlação que varia de -1 a +1. As variáveis com elevado autovetor no primeiro eixo tendem a ter autovetor inferior no segundo eixo (Gomes et al., 2004; Tino, 2005, Eberhardt et al., 2008).

A primeira análise de componentes principais (ACP) foi aplicada ao conjunto de dados espectrais dos horizontes diagnósticos da Pedossequência junto com as amostras do banco espectral, conforme apresentado na figura 14.

As duas primeiras componentes principais explicaram 98% da variação total dos dados, sendo 90% no primeiro eixo (PC1) e 8% no segundo eixo (PC2). A distribuição dos pontos da Pedossequência avaliada em relação a distribuição dos pontos do banco espectral, verifica-se que há uma concentração na parte inferior do eixo 2 (PC2), enquanto os pontos do banco espectral se concentraram na parte central e superior do mesmo eixo. Entre os mesmos bancos de amostras é possível verificar uma distribuição semelhante ao longo do eixo 1 (PC1).

Essa variação de correlações dos pontos pode estar relacionada a algum atributo do solo, ou variações de declividade do relevo.

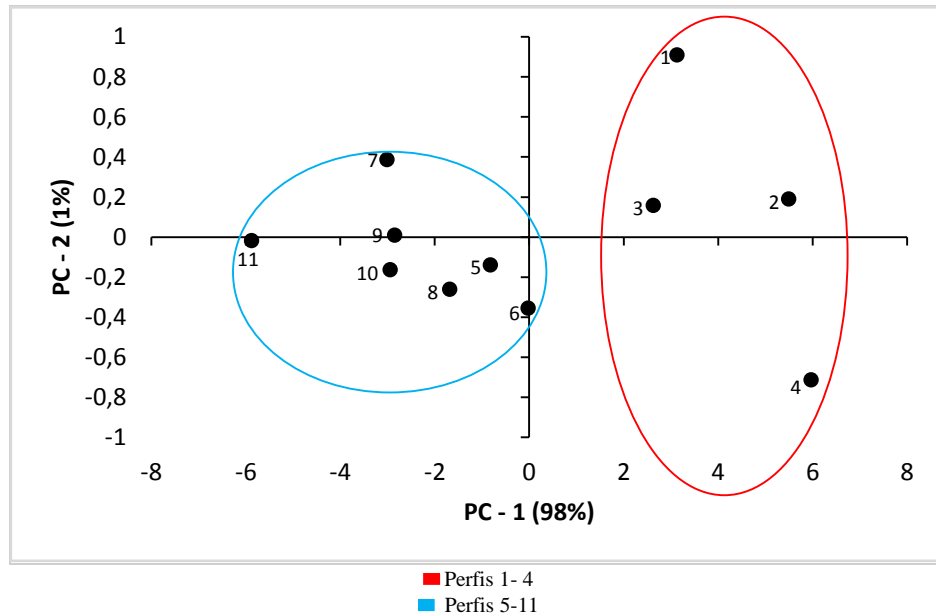
Figura 14- Análise de componentes principais (ACP) dos horizontes diagnósticos da Pedossequência e amostras do banco espectral.



Fonte: o próprio autor.

A segunda análise de componentes principais (PCA) foi aplicada apenas ao conjunto de dados dos horizontes diagnósticos da Pedossequência (figura 15). As duas componentes principais explicaram 99% da variação total dos dados, onde 98% esteve no primeiro eixo (PC1) e 1% no segundo eixo (PC2). Observando a distribuição dos pontos da Pedossequência, pode-se notar que houve uma maior concentração ao lado esquerdo do primeiro eixo (PC1) representados por maior parte de perfis dos segmentos meia encosta, encosta e sopé (círculo azul). Já, ao lado direito da figura, no quadrante positivo do eixo 1, concentraram pontos representativos de áreas com declividades menos acentuadas, dos perfis do topo e meia encosta. Esses resultados reforçam os dados apresentados na figura 13 onde foi sugerido que a posição na paisagem foi mais importante do que a classificação dos solos na separação das assinaturas espectrais.

Figura 15- Análise de componentes principais (ACP) dos horizontes diagnósticos da Pedossequência.



Fonte: o próprio autor.

4.5.4 Perspectivas na Pedologia e Conservação dos Solos.

Em trabalhos de levantamento e classificação do solo é necessário a avaliação de dados morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos dos perfis. Sendo esses elementos base de estudos para adoção de medidas de cunho conservacionista. Na classificação, diversas pesquisas utilizam a espectroscopia Vis-NIR como ferramenta de auxílio. Demattê et al. (2015) caracterizaram diferentes solos em uma topossequência por meio da espectroscopia VIS-NIR-SWIR.

Os resultados permitiram identificar assinaturas espectrais características para solos localizados em diferentes segmentos de uma pedossequência em basalto. A principal constatação foi que, a posição na paisagem foi mais eficaz em agrupar as assinaturas espectrais do que a classificação pura dos solos. Por outro lado, é necessário destacar que a quantidade de perfis estudados (n) foi baixa o que não permite conclusões

a respeito da eficácia da espectroscopia Vis-NIR na identificação de solos classificados de acordo com o SiBCS, (2018).

A identificação de assinaturas espectrais característica para cada segmento de vertente pode, no entanto, ser útil na definição de estratégias de manejo e conservação notadamente em áreas degradadas ou em degradação. Fliebbach et al. (2007) defendem estratégias como práticas integradas de manejo para aumentar a qualidade do solo. Percebe-se também a importância na utilidade da ferramenta Vis-NIRS e seu valor para sociedade atrelado a paisagem, na pesquisa para conservação ambiental.

4.6 CONCLUSÕES

Houve variações nas assinaturas espectrais dos solos. As assinaturas espectrais da pedossequência resultaram em mesmas faixas de absorção, porém com intensidades diferentes em comparação ao banco espectral.

A variação das assinaturas espectrais da pedossequência com o banco espectral revelou que a posição na paisagem foi mais expressiva em separar as assinaturas espectrais do que a classificação dos solos, pelas diferenças de absorbâncias.

A análise de componentes principais permitiu observar agrupamento dos solos mais intemperizados em relação aos menos intemperizados, localizados nas partes mais altas e mais baixas da pedossequência, respectivamente.

REFERÊNCIAS

AESCHLIMANN, J.P.; FROSSARD, E.; FELLER, C. 2010. Friedrich Albert Fallou (1794-1877) et sa "Pedologie". **Étude et Gestion des Sols**, n. 17, p. 255-262.

ALMEIDA, F. **Espectroscopia de Infravermelho Próximo com Transformada de Fourier (FT-NIR) na caracterização de farinhas para alimentação pueril**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biológica) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. 2009.

AMORIM, H. V. **Manual de métodos analíticos para o controle da produção de álcool e açúcar**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ-USP, 1996.

BARBOSA, L. C. **Espectroscopia no infravermelho na caracterização de compostos orgânicos**. Viçosa, MG: Ed. UFV., 2007.

BARTHÈS, B.G.; BRUNET, D.; FERRER, H.; CHOTTEA, J.; FELLER, C. Determination of total carbon and nitrogen content in a range of tropical soils using near infrared spectroscopy: influence of replication and sample grinding and drying. **Near Infrared Spectroscopy**, n. 14, p. 341-348, 2006.

BECK, F. L.; BOHNEN, H.; CABEDA, M.S.V.; CAMARGO, F.A.O.; KAMPF, N.; MEURER, E. J. Projeto pedagógico - ensino de graduação. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 2000, 26 p. (Boletim Técnico, n. 6) In: MEURER, E.J. **Fundamentos de Química do Solo**. 2. ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. 290 p.

BECKHOFF, B.; KANNGIEßER, B.; LANGHOOF, N.; WEDELL, R.; WOLFF, H. **Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis**. Berlin-London: Springer, 2006.

BELLINASSO, H.; DEMATTÊ, J.A.M.; ROMEIRO, S.A. Soil spectral library and its use in soil classification. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 861-870, 2010.

BENAVIDES SILVA, V. C.; MACHADO, P. S. SIG na análise ambiental: suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego Mutuca, Nova Lima - Minas Gerais. **Revista de Geografia**, Pernambuco, v. 31, n. 2, p. 66-87, mar. 2014.

BEN-DOR, E; BANIN, A. Near infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, n. 2, p.364-372, 1995.

BERTRAND, G.; BERTRAND, C. **Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades**. Maringá: Massoni, 2007.

BLANCO, M. VILLARROYA, I. NIR spectroscopy: a rapid-response analytical tool. **Trac-Trends in Analytical Chemistry**, v. 21, n. 4, p. 240-250, 2002.

- BOCQUIER, G. **Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad: interprétation biogeodynamique**. Paris: ORSTOM, 1973. 325p. (Mémoires ORSTOM, 62).
- BOGNOLA, I. A.; CURCIO, G. R.; GOMES, J. B. V.; CAVIGLIONE, J. H.; UHLMANN, A.; CARDOSO, A.; CARVALHO, A. P. de. **Levantamento semidetalhado de solos do Município de Londrina**. Londrina: IAPAR, 2011. 100p.
- BONNA, J. L. **Mapeamento pedológico e de suscetibilidade erosiva no Alto Córrego Prata (Ouro Preto - MG)**. 2011. 119f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2011.
- BOTELHO, M. R. **Avaliação da cor e comportamento espectral de algumas classes de solos do Rio Grande do Sul. Santa Maria**. 2005. 105f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2005.
- BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F. X.; LUCA, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie. **Cahiers ORSTOM Séries Pédologie**, v. 19, n. 4, p. 309-351, 1982.
- BROWN, D.J.; SHEPHERD, K.D.; WALSH, M.G.; MAYS, M.D.; REINSCH, T.G. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, n. 132, p. 273-290, 2006.
- BROWN, R. J. C.; MILTON, M. J. T. Analytical techniques for trace element analysis: an overview. **Trends in Analytical Chemistry**, Amsterdam, v. 24, n. 3, p. 266-274, 2005.
- BRUNET, D.; BARTHÈS, B. G.; CHOTTE, J. L.; FELLER, C. Determination of carbon and nitrogen contents in Alfisols, Oxisols and Ultisols from Africa and Brazil using NIRS analysis: Effects of sample grinding and set heterogeneity. **Geoderma**, Amsterdam, n. 139, p. 106-117, 2007.
- CAMARGO, O. A. et al. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. (Boletim Técnico, 106).
- CAMPOS, M. C. C. Relação solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. **Ambiência**, Guarapuava, v. 8, n. 3, p. 963-982, 2012.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. et al. Relações solo-paisagem em uma litosseqüência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 519-529, 2007.
- CAMPOS, P. M; LACERDA, M. P. C; PAPA, R. A.; GUIMARÃES, E. M.; COSTA NETO, F. Difractometria de raios X aplicada na identificação de gibsita e caulinita em latos solos do Distrito Federal. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9., SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS 2., 2008, Brasília. **Anais...** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. p. 1-7.

- CERTINI, G.; UGOLINI, F. C. An updated, expanded, universal definition of soil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 192, p. 378-379, 2013.
- CEZAR, E.; NANNI, M.R.; CHICATI, M.L.; SOUZA JUNIOR, I.G.; COSTA, A.C.S. Avaliação e quantificação das frações silte, areia e argila por meio de suas respectivas reflectâncias. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1157- 1165, 2012.
- CLAESSEN, M.E.C.; BARRETO, W.O.; PAULA, J.L.; DUARTE, M.N. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Atual, 1997. 212p.
- CORNELL, R. M.; SCHWERTMANN, U. **The Iron Oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses**. 2 ed. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2003. 121p.
- COSTA, M. L.; CARMO, M. S. OLIVEIRA, E. C.; LIMA, H. N.; KERN, D. C.; GOESKE, J. A mineralogia e composição química de fragmentos de cerâmicas arqueológicas em sítios de terra preta de índio. In: TEIXEIRA, W.G., KERN, D. C., MADARI, B. E., LIMA, H. N., WOODS, W. I. (Eds.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 225-241.
- COZZOLINO, D.; MORÓN, A. Exploring the use of near infrared reflectance spectroscopy to study physical properties and microelements in soils. **Journal Near Infrared Spectroscopy**, v. 11, p. 145-154, 2003.
- CRAIK, D. **Magnetism: principles and applications** London: John Wiley and Sons, 1995.
- CUNHA, P. et al. Superfícies geomórficas e atributos de latossolos em uma sequência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 81-90, 2005.
- CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, p. 341-346, 1984.
- DALRYMPLE, J. B.; BLONG, R. J. & CONACHER, A. J. A hypothetical nine unit land a surface model. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Stuttgart, v. 12, p. 60-76, 1968.
- DEARING, J. A. **Environmental magnetic susceptibility: using the Bartington MS2 system**. England: British Library, 1994. 104p.
- DEMATTE, J. A. M. Characterization and discrimination of soils by their reflected electromagnetic energy. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1445-1458, 2002.
- DEMATTE, J. A. M. et al. Chemometric soil analysis on the determination of specific bands for the detection of magnesium and potassium by spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 288, p. 8-22, 2017.

DEMATTÊ, J. A. M.; ARAÚJO, S. R.; FIORIO, P. R.; FOLGARO, C. T.; NANNI, M. R. Espectroscopia VIS-NIR-SWIR spectroscopy in soil evaluation along a toposequence in Piracicaba (SP). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 4, p. 679-688, 2015.

DEMATTÊ, J. A. M.; CAMPOS, R. C.; ALVES, M. C.; FIORIO, P. R.; NANNI, M. R. Visible-NIR reflectance: a new approach on soil evaluation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 121, p. 95-112, 2004.

DEMATTÊ, J. A. M.; EPHIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. C. Influência da matéria orgânica e de formas de ferro na reflectância de solos tropicais. **Bragantia**, v. 62, n. 3, p. 451- 464, 2003.

DEMATTÊ, J. L. I.; MARCONI, A. A drenagem na mineralogia de solos desenvolvidos de diabásio em Piracicaba (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 1-8, 1991.

DRENNEN, J. K.; KRAEMER, E. G.; LODDER, R. A. Advances and perspectives in near-infrared spectrophotometry. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, Boca Raton, v. 22, n. 6, p. 443-475, 1991.

DUNN, B. W.; BEECHER, H. G.; BATTEN, G. D.; CIAVARELLA, S. The potential of near- infrared reflectance spectroscopy for soil analysis- a case study from the Riverine Plain of south- eastern Australia. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 42, n. 5, p. 607-614, 2002.

EBERHARDT, D.N.; VENDRAME, P.R.S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M.F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção de fósforo em Latossolos sob pastagens no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1009-1016, 2008.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 590p.

EPIPHANIO, J. C. N. et al. **Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 1992. p. 131.

ESPINDOLA, C. R. Material de origem do solo. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. 38, p. 59-70, 2017.

ESPINDOLA, C. R. **Retrospectiva crítica sobre a Pedologia**: um repasse bibliográfico. Campinas: Editora da Unicamp, 2008. 397p.

FARMER, V. C.; PALMIERI, F. The characterization of soil minerals by infrared spectroscopy. In: GIESEKING, J. E. (Ed.). **Soil components**. New York: Springer-Verlag, 1975. p. 573-670.

FELIX, J. C.; VENDRAME, P. R. S.; MARCHÃO, R. L.; OLIVEIRA, J. F.; GUIMARÃES, M. F.; BROSSARD, M.; BECQUER, T.; BRITO, O. R. Predição de

fósforo, carbono e nitrogênio em solos de basalto, por meio de espectroscopia NIR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1405–1416, 2016.

FERNANDES, F. A., FERNANDES, A.H.B.M.; MONTEIRO, H.C.; SILVA A.C.G. **Uso da espectrometria de reflectância no infravermelho próximo (NIRS) na análise de carbono de Neossolo do Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2010. 3p. (Comunicado técnico).

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: VAN LIER, Q. J. **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 1-27p.

FERREIRA, M. M; FERREIRA, L.; CURI, N; FERREIRA, M.M.; DE LIMA, M. J.; SILVA, N. L. M.; VITONIRO, T. C. A.; Tipos de dispersantes, formas de agitação e suas relações com a erodibilidade de solos com alto teores de óxidos de ferro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 2, p. 342-353, mar./abr., 2002.

FERRUCIO, C. E. **Espectroscopia Vis-NIR para predição de atributos químicos do solo**. 2016. 83p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2016.

FIORI, P. A; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. 2. ed. Curitiba: Ed. UFPR, 2009. 604 p.

FIORIO, P.R. Dados radiométricos obtidos nos níveis terrestre e orbital na avaliação de solos. 2002. 198p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2002.

FLIEBBACH, A.; OBERHOLZER, H.-R.; GUNST, L.; MÄDER, P. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. **Agriculture, Ecosystem & Environment**, v. 118, p. 273-284, 2007.

FONTÁN, J. M.; CALVACHE, S.; LÓPEZ-BELLIDO, R.J.; LÓPEZ-BELLIDO, L. Soil carbon measurement in clods and sieved samples in a Mediterranean Vertisol by Visible and Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 156, p. 93-98, 2010.

FROLOVA, M. A paisagem dos geógrafos russos: a evolução do olhar geográfico entre o século XIX e o XX. **RA’E GA**, Curitiba, n. 13, p. 159–170, 2007.

FUMIYA, M. H. **Transformações estruturais em uma topossequência sobre basaltos em Marumbi - PR**. 2013. 96f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2013.

GHIDIN, A. A.; MELO, V. F.; LIMA, V. C.; COSTA LIMA, J. M. J. Topossequências de latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. I: mineralogia da fração argila. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 293-306, 2006.

GOETZ, A.F.H.; CURTISS, B. & SHILEY, D.A. Rapid gangue mineral concentration measurement over conveyors by NIR reflectance spectroscopy. **Minerals Engineering**, v. 22, p. 490-499, 2009.

GOMES, J.B.V.; CURI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C.; MARQUES, J.J.G.S. M. & SCHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.137-153, 2004.

GONZAGA, F. B. **Desenvolvimento de um Espectrômetro de Emissão para a região no Infravermelho Próximo**. 2006. 117f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2006.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

GUERRA, A. J. T; BOTELHO, R. G. M. Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 19, p. 93-114, 1996.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manuais técnicos em geociências: manual técnico de pedologia**. 3. ed. Brasília, DF: IBGE, 2015.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Classificação Climática**. 2000. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em 25 set. 2018.

JACKSON, M. L., TYLER, S. A.; WILLIS, A. L.; BOURBEAU, G. A.; PENNINGTON, R. P. Weathering sequence of clay size minerals in soils and sediments. **Journal Physical and Colloid Chemistry**, v. 52, p. 1237-1260, 1948.

JACKSON, M. L.; SHERMAN, G. D., Chemical weathering of minerals in soils. **Advances in Agronomy**, New York, v. 5, p. 219-318, 1953.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: Mac Graw Hill, 1941. 281p.

KÄMPF, N.; CURI, N. Conceitos de solo e sua evolução histórica. In: KER, J.C. et al. **Pedologia: fundamentos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER, J.C et al. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012.

KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de atributos e ambientes pedogênéticos e geoquímicos. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2000. p. 107-138.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: AZEVEDO, A. C. de; MELO, V. de F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.) **Química e Mineralogia do solo: conceitos básicos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v. 1.

KÄMPF, N.; MARQUES, J. J.; CURI, N. Mineralogia dos solos. In: KER, J. C et al. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012.

KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds.). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 81-145.

KER, J. C.; RESENDE, M. Caracterização química e mineralógica de solos brunos subtropicais do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 14, p. 215-225, 1990.

KONONOVA, M. M. Current problems in the study of organic matter accumulation in soils under anaerobiosis. **Soil Science**, Baltimore, v. 137, p. 419-427, 1984.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

LEPSCH, I. F.; MONIZ, A. C.; ROTTA, C. L. Evolução mineralógica de solos derivados da Formação Bauru em Echaporã, São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 1, p. 38-43, 1977.

LUQUE, E. C. **Propiedades magnéticas de los óxidos de hierro en suelos mediterráneos**. 2008. 153 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidad de Córdoba, Córdoba, 2008.

MADARI, B. E.; REEVES III, J. B.; COELHO, M. R.; MACHADO, P. L. O. A.; DEPOLLI, H.; BENITES, V. M.; SOUZA, L. F.; MCCARTY, G. W. Mid and near infrared spectroscopic determination of carbon in diverse set of soil from the Brazilian National Soil Collection. **Spectroscopic Letters**, Londres, v. 38, p. 721-740, 2005.

MADEIRA NETTO, J. S.; BAPTISTA, G. M. M. **Reflectância espectral de solos**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2000. 55p.

MAGALHÃES, V. L.; CUNHA, J. E; NOBREGA, M. T. Dinâmica físico-hídrica de um sistema pedológico Latossolo-Nitossolo. **Mercator**, Fortaleza, v. 16, p. 1-19, 2017.

MANOSSO, F. C.; CZUY, D. C. Caracterização morfológica e pedológica de um processo erosivo em Sarandi, PR. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 14, p. 115-120, 2005.

MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L. C.; VILELA, L.; BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop-livestock management systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, p. 442-450, 2010.

MARCHÃO, R. L.; BRUNET, D.; BECQUER, T. **Predição dos teores de carbono e nitrogênio do solo utilizando espectroscopia de infravermelho próximo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2011. 21p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 304).

MARQUES, F. A.; RIBEIRO, M. R. R.; BITTAR, S. M.; TAVARES FILHO, A. N. T.; LIMA NETO, J. A. & LIMA, J. F. W. F. Caracterização e classificação de Cambissolos do Arquipélago de Fernando de Noronha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1023-1034, 2007.

MEDEIROS, F. B.; MARCATTO, F. S.; SILVEIRA, H.; NÓBREGA, M. T. Avaliação da estabilidade de agregados e a vulnerabilidade à erosão ao longo de uma vertente no município de Araruna, região noroeste do Paraná-Brasil. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 26, n. 55, p. 845-862, 2018.

MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄ by North Carolina Soil Testing Laboratories**. Raleigh: University of North Carolina, 1953.

MEIRELES, H. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; PEREIRA, G. T. Relações solo-paisagem em topossequência de origem basáltica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, p. 129-136, 2012.

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African Soils. **Soil Res.**, v. 4, p. 183-198, 1935.

MINEROPAR. **Atlas comentado da Geologia e dos recursos minerais do Estado do Paraná**- Curitiba: Mineropar, 2001. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/MapasPDF/atlasgeo.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

MINEROPAR. **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná**- Curitiba: Mineropar, 2006. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/2_Geral/Geomorfologia/Atlas_Geomorfologico_Parana_2006.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2018.

MONTANARI, R.; MARQUEZ JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; SOUZA, Z. M.; CAMARGO, L. A. Caracterização mineralógica de Latossolos em diferentes feições do relevo na região de Jaboticabal, SP. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 21, n. 2, p. 191-199, 2010.

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

MUNSELL COLOR. **Munsell soil color charts**: with genuine Munsell color chips. Grand Rapids: Munsell Color, 2009. 1 v.

MURRAY H. H. *Applied Clay Mineralogy: Occurrences, Processing and Application of Kaolins, Bentonites, Palygorskite–Sepiolite, and Common Clays*. Oxford: Elsevier, 2007. 189 p.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. 2. ed. Piracicaba, SP: FEALQ, 2005. 574 p.

OLIVEIRA, J. F.; BROSSARD, M.; VENDRAME, P. R. S.; MAYI, S.; CORAZZA, E. J.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES, M. F. Soil discrimination using diffuse reflectance Vis- NIR spectroscopy in a local toposequence. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 345, p. 11-12, 2013.

OLIVEIRA, L. F. C. Espectroscopia molecular. **Cadernos temáticos de Química Nova na Escola**, n. 4, p. 24-30, maio 2001.

PARK, S. J.; BURT, T.P. Identification and characterization of pedogeomorphological processes on a hillslope. **Soil Science Society of American Journal**, v. 66, p. 1897-1910, 2002.

PASQUINI, C. Near Infrared Spectroscopy: Fundamentals, Practical Aspects and Analytical Applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Campinas, v. 14, p. 198-219, 2003.

PASTORE, E. L.; FONTES, R. M. Caracterização e Classificação de Solos. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p 197-210.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F. de; ZEMPULSKI, H. da C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992. 40 p. (IAPAR. Circular 76).

PEREIRA, M.: G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 508-514, 2010.

REIS, T. E. S.; BARROS, O. N. F.; REIS, L. C. Utilização de sistema de informações geográficas para obtenção das cartas de solo e de declividade do município de Bandeirantes - PR. **Geografia**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 1-17, 2004.

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. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654p.

RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M. Mineralogia da argila de Latossolos estimada por alocação a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, p. 17-23, 1987.

- RESENDE, M.; CURI, N., KER, J. C.; & REZENDE, S. B. **Mineralogia de solos brasileiros** – interpretações e aplicações. Lavras, Universidade Estadual de Lavras, 2005. 192p.
- RESENDE, M.; CURI, N., REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 6. ed. Viçosa, MG: NEPUT, 2014.
- RETALLACK, G. J. Pedogenic carbonate proxies for amount and seasonality of precipitation in paleosols. **Geology**, v. 33, p. 333-336, 2005.
- ROCHA, A. S. **Morfopedologia e Fragilidade Ambiental nos fundos de vale do trecho superior do Córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon - PR**. 2011. 125f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná. 2011.
- RODRIGUES, T. E.; KLAMT, E. Mineralogia e gênese de uma sequência de solos do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, p. 132-139, 1978.
- ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992.
- ROSSI, C. W. Utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para o mapeamento uso do solo da safra verão 2011/2012 do distrito de Maravilha. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 9., 2012. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2012. Disponível em: <<http://www.sinageo.org.br/2012/trabalhos/8/8-381-123.html>>.
- RUHE, R. V. Elements of the soil landscape. **Transactions 7th Int. Congress of Soil Science**, v. 4, p. 165-170, 1960.
- SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.
- SATO, M. V. **Primeira aproximação da biblioteca espectral de solos do Brasil: caracterização de espectros de solos e quantificação de atributos**. 2015. 108p Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2015.
- SCHAETZL, R.; ANDERSON, S. **Soils: genesis and geomorphology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 817p.
- SCHULZE, D.G. An introduction to soil mineralogy. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Eds.) **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 11–34.
- SCHWERTMANN, U.; KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of southern and central Brazil. **Soil Science**, Baltimore, v. 139, p. 344-350, 1985.

- SELLITTO V. M.; FERNANDES R. B. A.; BARRÓN, V.; COLOMBO, C. Comparing two different spectroscopic techniques for the characterization of soil iron oxides: Diffuse versus bi-directional reflectance. **Geoderma**, Amsterdam, v. 149, p. 2-9, 2009.
- SHAW, C. F. Potent factors in soil formation. **Ecology**, Berkeley, v. 11, n. 2, p. 239-245, 1930.
- SHEPHERD, K. D.; WALSH, M. G. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, n.2, p. 988-998, maio/jun., 2002.
- SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; PÉREZ, M. G.; NETO, L. M.; VASQUEZ, F. M. Relações entre matéria orgânica do solo e declividade de vertentes em toposequência de latossolos do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1059-1068, 2007.
- SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1811-1820, 2009.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria Orgânica. In: NOVAIS, F. R.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2007. p. 275-374.
- SILVA, L.; EMER, A. A.; BORTOLINI, C. E.; ARRUDA, J. H. Estudo de um Nitossolo Vermelho com evidencia de caráter coeso da Região Sudoeste do Paraná. **Synergismus scyentifica**, Pato Branco, v. 4, n. 1, p. 301-304, 2009.
- SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**. 7 ed. Washington: USDA, 1996.
- SORENSEN, L. K.; DALSGAARD, S. Determination of clay and other soil properties by near infrared spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, p. 159-167, 2003.
- SOUSA JUNIOR, J. G. A.; DEMATTE, J. A. M. GENU, A. M. Comportamento espectral dos solos na paisagem a partir de dados coletados por sensores terrestre e orbital. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 727-738, 2008.
- SOUSA JUNIOR, J. G. de A.; DEMATTÊ, J. A. M. Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 449-456, 2008.
- SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação** 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

STENBERG, B.; NORDKVIST, E.; SALOMONSSON, L. Use of near infrared reflectance spectra of soils for objective selection of samples. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 159, n. 2, p. 109-114, 1995.

STOLT, M. H.; BAKER, J. C.; SIMPSON, T. W. Soil-landscape relationships in Virginia: I. Soil variability and parent material uniformity. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 57, p. 414-421, mar./abr.,1993.

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Sedimentar e áreas afins**. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 1998.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M. de; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2. ed. Companhia Editora Nacional: São Paulo, 2009.

TINO, V.F. **Utilização da análise de componentes principais para a regulação de máquinas de injeção plástica**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B.; MELFI, A. J. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M. de; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2001. p. 139-166.

USDA. United States Department of Agricultura. **Keys to Soil Taxonomy**. 12. ed., 2014.

USDA. United States Department of Agriculture. Soil Survey Division Staff. **Soil survey manual**. Washington: USDA, 1951. 503p.

VACULÍKOVÁ L.; PLEVOVÁ E.; VALLOVÁ, S.; KOUTNÍK, I. Characterization and differentiation of kaolinites from selected Czech deposits using infrared spectroscopy and differential thermal analysis. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, v. 8, n. 1, p. 59-67, 2011.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F. Relações material de origem/solo e pedogênese em uma sequência de solos predominantemente argilosos e latossólicos sobre psamitos na depressão periférica paulista. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 357-369, 1999.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e aplicações das relações Pedologia-Geomorfologia em regiões tropicais úmidas. In: VIDAL-TORRADO, P. et al. (Org.). **Tópicos em Ciências do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p. 145-192.

VISCARRA ROSSEL, R. A. et al. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, Amsterdam, v. 131, p. 59-75, 2006.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; McGLYNN, R. N.; McBRATNEY, A. B. Determining the composition of mineral-organic mixes using UV-vis-NIR diffuse reflectance spectroscopy, **Geoderma**, Amsterdam, v. 137, p. 70-82, 2006.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, n. 1, p. 29-38, jan./jun.,1934.

WHITE, K; WALDEN, J.; DRAKE, N.; ECKARDT, F.; SETTLE, J. Mapping the iron oxide content of dune sands, Namib Sand Sea, Namibia, using Landsat Thematic Mapper Data. **Remote Sensing Environment**, New York, v. 62, p. 30-39, 1997.

WILSON, M. J. **Clay mineralogy**: spectroscopic and chemical determinative methods. London: Chapman & Hall, 1994. 367p.

YOUNG, A. **Tropical soils and soil survey**. Cambridge: Cambridge University Press, 1976. 468p.

ANEXOS

Anexo 1- Paisagem da área de estudo, distrito de Maravilha, PR.



Fonte: próprio autor.

Anexo 2- Sinais de erosão em sulcos.



Fonte: próprio autor.