



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ROSANA KOSTECKI DE LIMA

**RELAÇÃO ENTRE A MINERALOGIA, PAISAGEM E
ANÁLISE QUALITATIVA DAS ASSINATURAS ESPECTRAIS
DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE BASALTO**

Londrina
2023

ROSANA KOSTECKI DE LIMA

**RELAÇÃO ENTRE A MINERALOGIA, PAISAGEM E
ANÁLISE QUALITATIVA DAS ASSINATURAS ESPECTRAIS
DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE BASALTO**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geografia da Universidade
Estadual de Londrina, como requisito para a
obtenção do Título de DOUTORA em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro R. S. Vendrame

Londrina
2023

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

K86r Lima, Rosana Kostecki de Lima.
Relação entre a mineralogia, paisagem e análise qualitativa das assinaturas espectrais de solos desenvolvidos de basalto. / Rosana Kostecki de Lima Lima. - Londrina, 2023.
143 f. : il.

Orientador: Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame.
Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, , 2023.
Inclui bibliografia.

1. Classes de solos - Tese. 2. paisagem - Tese. 3. mineralogia - Tese. 4. espectroscopia Vis- NIR - Tese. I. Rodolfo Siqueira Vendrame, Pedro. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. . III. Título.

CDU 91

ROSANA KOSTECKI DE LIMA

**RELAÇÃO ENTRE A MINERALOGIA, PAISAGEM E
ANÁLISE QUALITATIVA DAS ASSINATURAS ESPECTRAIS
DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE BASALTO**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do Título de DOUTORA em Geografia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Pedro R. S. Vendrame
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. José Paulo Peccinini Pinese
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Mauricio Moreira dos Santos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR

Prof. Dr. Glenio Guimarães Santos
Universidade Federal de Goiás - UFG

Prof. Dr. Vinicius Vasconcelos de Souza
Universidade de Brasília - UnB

Londrina, 13 de Setembro de 2023.

Dedico esse trabalho as pessoas que sempre
me apoiaram, em especial a minha mãe
Maria de Lourdes Aparecida Kostecki por
toda ajuda e incentivo aos estudos ♥

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Estadual de Londrina e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia- PPGeo, pela formação acadêmica proporcionada para minha formação e por auxiliar no meu desenvolvimento profissional e pessoal. Por ter me proporcionado conhecer pessoas incríveis, que fizeram parte da minha trajetória na vida acadêmica, que carregarei em minha memória e comigo para o resto da vida.

Gostaria de agradecer imensamente a minha mãe que sempre ajudou para que eu pudesse estudar, por todo apoio incondicional.

Ao meu orientador Prof. Dr. Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame que fez grande parte da minha vida acadêmica, pelos anos de orientação, amizade e paciência no auxílio e conhecimento repassado para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores dos Departamentos de Geociências e Geologia e Geomática do CCE/Uel, que contribuíram na transmissão de seus conhecimentos mediante as disciplinas, além auxílios em projetos e em laboratório, que tanto contribuíram nesta trilha, além dos conhecimentos de vida, especialmente aos professores Dr. José Paulo Peccinini Pinease, Dr. Luciano Nardini Gomes, Dr. Rafael Calore Nardini, Dr. Fernanda Leite Ribeiro, Dr. Angelo Spoladore, Dr. André Celligoi, Dr. Osvaldo Coelho Pereira Filho. Bem como aos professores Jeani Pascoal Moura, Eloiza Cristiane Torres, Carlos Alberto Hirata, Marciel Lohman. Aos funcionários do departamento pela amizade, Clenilda, Fabio Santos, secretário Anderson, técnico Dionizio Santos in memoriam.

Aos meus amigos da Pós-Graduação, Agostinho Prado, Guilherme Alves de Oliveira, Caroline Hatada, Hermiliano Decco, Maico Dias, William Santos, Thamy Gioia, Dalila Peres de Oliveira, Jéssica Pizaia.

Ao Marcio Praxedes e ao João, técnicos de laboratório de Solos da Uel, pelo auxílio na execução das análises químicas, também ao Lucas Moraes, Thadeu Melo, Jaqueline Felix, Alex Figueiredo, Tamires Firmino e Luciano Hideo. 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 trabalhos, 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, Dr. José Paulo Peccinini Pinease, Dr. Maurício Moreira dos Santos, Dr. Glenio Guimarães Santos, Dr. Vinicius Vasconcelos

de Souza, pela disponibilidade e disposição em contribuir com a pesquisa, fornecendo seus conhecimentos e correções necessárias para a finalização do trabalho.

Ao Lucas Espíndola que sempre me incentivou na carreira acadêmica, por todo amor e carinho.

Aos meus amigos que tiveram muita paciência durante os períodos difíceis, Hermiliano Decco, Paula Simonato, Angélica Oliveira, Jéssica Porfírio, Giovana de Mari, Rafaela Pifer, Fernanda Chiconato, William Piva, Victória Sampaio. Um agradecimento especial aos meus amigos integrantes do grupo nem chama pelos momentos de descontração e alegria, Fernanda Carmagnani, Isaltino de Paula, Izilda Fróis, Emerson Carli e Renata Alves.

Agradeço a CAPES, pela concessão de bolsa de estudos para realização da minha pesquisa.

“Os conhecimentos nos dão meios para viver. A sabedoria nos dá razões para viver. Sábias são as pessoas que sabem viver. Tolo é aquele que, tendo defendido tese sobre barcos e mapas, não sonha com horizontes, não planeja viagens, não imagina portos. Anda sempre em terra firme por medo do naufrágio”.

(Rubem Alves)

LIMA, Rosana Kostecki. **Relação entre a mineralogia, paisagem e análise qualitativa das assinaturas espectrais de solos desenvolvidos de basalto**. 2023. 143f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

RESUMO

A importância do solo no contexto geográfico se dá por ser um dos principais constituintes do meio físico-natural e integrante modelador das diferentes formas do relevo. A identificação de seus atributos físicos, químicos e mineralógicos são realizadas muitas vezes com o intuito de obter o conhecimento das classes de solos de determinada região e identificar a sua aplicabilidade no planejamento de diversas atividades. O estudo desses atributos aliados a dinâmica do relevo e a configuração da paisagem, permitem compreender melhor os processos de degradação, auxiliando na manutenção da capacidade produtiva dos solos e na correção de áreas já degradadas. A caracterização desses atributos físicos, químicos e mineralógicos podem ser realizadas pelos métodos analíticos tradicionais, no entanto, esses métodos são muito onerosos para se obter informações sobre grande quantidade de pontos de uma área. As geotecnologias e a espacialização de informações têm auxiliado em diversos ramos da ciência do solo e tornado o conhecimento mais ágil, e a espectroscopia Vis-NIR tem auxiliado na predição de atributos do solo. O objetivo central deste trabalho foi descrever e classificar classes de solos desenvolvidos de basalto no Estado do Paraná, determinando a textura e a mineralogia por métodos convencionais de análise, atrelando os atributos mineralógicos e relacionando as assinaturas espectrais no Vis-NIR das classes de solos desenvolvidos de basalto no Estado do Paraná a paisagem. Os resultados permitiram inferir no artigo 1 que dentre as classes pedológicas identificadas as assinaturas espectrais das três áreas foram comparadas e apresentaram picos em 1400, 1900, 2100, 2200 e próximos a 2400 nm, coerentes com os solos de basalto da região norte do Paraná. Os espectros da área 03 apresentaram certo distanciamento das outras áreas, podendo estar relacionado à presença de classes menos intemperizadas na vertente, como os Cambissolos. As assinaturas espectrais no Vis-NIR revelaram que a posição na paisagem foi mais expressiva em separar as assinaturas do que a classificação dos solos no potencial qualitativo, embora tenha apresentado discreta diferença também. No artigo 2 foi possível verificar que o mapeamento das classes de solos identificados até 4º nível categórico foi mais fidedigno a realidade do que o mapeamento realizado por outros autores no Paraná, com baixo nível de detalhamento. Os resultados da análise pedogeomorfológica e da paisagem permitiram delinear o uso e readequações da área de estudo, com sugestões que contemplem a integração dos recursos naturais e aspectos socioeconômicos. Os mapas de distribuições espaciais dos minerais, também permitiram uma visualização do transporte lateral de SiO_2 de montante a jusante dos solos situados no topo e encosta, até as partes mais baixas da vertente conforme a declividade, com acúmulo de SiO_2 no sopé. Os solos utilizados no artigo 02 foram classificados em Cambissolo Flúvico Tb Eutrófico gleissólico, Gleissolo Háplico Tb Eutrófico, duas trincheiras de Nitossolo Vermelho Eutroférico típico e Cambissolo Háplico Tb eutrófico típico. As assinaturas espectrais, identificadas das camadas 60-80 cm dessas classes de solos, podem compor futuros bancos de dados espectrais pedológicos. Pois a diversidade de classes pedológicas identificadas contribuem significativamente para futuras pesquisas mais aprofundadas na compreensão relação solo paisagem na região e para a ciência como um todo.

Palavras-Chave: classes de solos; paisagem; mineralogia; espectroscopia Vis-NIR.

LIMA, Rosana Kostecki. **Relationship between mineralogy, landscape and qualitative analysis of spectral signatures of developed basalt soils.** 2023. 143f. Thesis (Doctorate in Geography) – State University of Londrina, Londrina, 2023.

ABSTRACT

The importance of soil in the geographic context is due to it being one of the main constituents of the physical-natural environment and an integral part of shaping the different forms of relief. The identification of their physical, chemical and mineralogical attributes is often carried out with the aim of obtaining knowledge of the soil classes in a given region and identifying their applicability in the planning of various activities. The study of these attributes, combined with the dynamics of the relief and the configuration of the landscape, allows us to better understand the degradation processes, helping to maintain the productive capacity of the soil and correct areas that have already been degraded. The characterization of these physical, chemical and mineralogical attributes can be carried out using traditional analytical methods, however, these methods are very expensive to obtain information about a large number of points in an area. Geotechnology and the spatialization of information have helped in various areas of soil science and made knowledge more agile, and Vis-NIR spectroscopy has helped in predicting soil attributes. The central objective of this work was to describe and classify classes of soils developed from basalt in the State of Paraná, determining the texture and mineralogy using conventional methods of analysis, linking the mineralogical attributes and relating the spectral signatures in Vis-NIR of the classes of developed soils of basalt in the State of Paraná the landscape. The results allowed us to infer in article 1 that among the pedological classes identified, the spectral signatures of the three areas were compared and presented peaks at 1400, 1900, 2100, 2200 and close to 2400 nm, consistent with the basalt soils of the northern region of Paraná. The spectra of area 03 showed some distance from the other areas, which may be related to the presence of less weathered classes on the slope, such as Cambisols. The spectral signatures in Vis-NIR revealed that the position in the landscape was more significant in separating the signatures than the classification of soils in terms of qualitative potential, although it also showed a slight difference. In article 2, it was possible to verify that the mapping of soil classes identified up to the 4th categorical level was more reliable to reality than the mapping carried out by other authors in Paraná, with a low level of detail. The results of the pedogeomorphological and landscape analysis made it possible to outline the use and readjustments of the study area, with suggestions that include the integration of natural resources and socioeconomic aspects. The spatial distribution maps of minerals also allowed visualization of the lateral transport of SiO₂ from upstream to downstream soils located at the top and slope, to the lowest parts of the slope according to the slope, with accumulation of SiO₂ at the foot. The soils used in article 02 were classified as gleissolic Tb Eutrophic Fluvisol Cambisol, Eutrophic Tb Haplic Gleisol, two trenches of typical Eutrophic Red Nitisol and typical eutrophic Tb Haplic Cambisol. The spectral signatures, identified from the 60-80 cm layers of these soil classes, may form future pedological spectral databases for the region. Because the diversity of pedological classes identified contributes significantly to future, more in-depth research into understanding the soil-landscape relationship in the region and for science as a whole.

Keywords: soil classes; landscape; mineralogy; Vis-NIR spectroscopy.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análise de componentes principais
AL	Alumínio
AS	Ataque Sulfúrico
CO	Carbono orgânico
Ct	Caulinita
CT	Carbono total
CTC	Capacidade de troca de cátions
DRX	Difração de raio X
Fe	Ferro
GB	Gibbsita
GT	Goethita
HM	Hematita
Ki	($\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$)
Kr	($\text{Kr} = \text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$)
MIR	Infravermelho Médio
MO	Matéria Orgânica
NIR	Infravermelho Próximo
NIRS	Estectroscopia de Infravermelho Próximo
SB	Soma de Bases
TFSA	Terra fina seca ao ar
UV	Ultravioleta
V%	Saturação por bases
VIS	Visível

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Classificação dos segmentos de vertente.....	17
Figura 2- Geometria das formas das vertentes. Associações de formas lineares, côncavas e convexas eventualmente encontradas numa encosta.	18
Figura 3- Teoria do Ciclo Geográfico ou Ciclo Erosivo.	20
Figura 4- Modelos clássicos de evolução das vertentes. A) Ciclo erosivo de Davis; B) Interpretação do modelo de Penck por Davis; C) Modelo de Penck; D) Recuo paralelo desenvolvido por King:	23
Figura 5- Estrutura de um argilomineral 1:1.	28
Figura 6- Estrutura de um argilomineral 2:1.	28
Figura 7- Comprimento de onda do Espectro eletromagnético.....	40
Figura 8- Modos vibracionais moleculares. A) Vibrações de estiramento B) Vibrações de deformação angular.....	41
Figura 9- Localização das áreas de estudo nos municípios de Bela Vista do Paraíso e Londrina, Estado do Paraná.....	50
Figura 10- Localização das Trincheiras nas áreas 01, 02 e 03 de estudo.	51
Figura 11- Mapa Geomorfológico das áreas de estudo, no Estado do Paraná.	52
Figura 12- Análise granulométrica:.....	53
Figura 13- Preparo inicial da amostra:	54
Figura 14- Coleta dos espectros realizada no espectrômetro modelo FOSS NIRS SYSTEM XDS (Foss NIRSystems, Silver Spring, MD, USA) com banda de reflectância 400 à 2500nm, localizado no Laboratório de Apoio à Pesquisa Agropecuária (LAPA) da UEL.	54
Figura 15- Assinaturas espectrais área 1.	65
Figura 16- Assinaturas espectrais área 02, Londrina.....	66
Figura 17- Espectros de absorbância na faixa do vis-NIRS (400 nm a 2.500 nm) dos horizontes diagnósticos, área 03, em Londrina- PR.	68
Figura 18- Assinaturas espectrais médias dos horizontes diagnósticos das amostras de solo das áreas P1, P2 e P3.	69
Figura 19- Localização da propriedade Fazenda Bonitão- Primeiro de Maio, Paraná..	81

Figura 20- Mapa pedológico da propriedade Bonitão, no município de Primeiro de Maio, Paraná de acordo com Bhering e Santos (2008) no estado do Paraná, em uma escala de 1:250.000.	83
Figura 21- Fluxograma da metodologia para geração das ortofotos:	85
Figura 22- Espectrofotômetro de fluorescência de raio-X EDX 720 do Laboratório de Análises por Técnicas de Raios X- LARX da UEL.	88
Figura 23- Perfil topográfico da área de estudo Bonitão, Primeiro de Maio, PR.....	90
Figura 24- Mapa Geomorfológico da área de estudo:	91
Figura 25- Mapa hipsométrico da área de estudo.....	92
Figura 26- Mapa de declividade da área de estudo.	93
Figura 27- Mapa das Classes de Solos da área de estudo.....	94
Figura 28- Sinais de processos erosivos na propriedade Bonitão.	95
Figura 29- Mudança abrupta de cor no horizonte C, perfil 3.	98
Figura 30- Perfis P10 e P11 de Gleissolos Háplicos.	99
Figura 31- Distribuição espacial das concentrações de SiO ₂ em horizontes diagnósticos de solos de origem basáltica.	104
Figura 32- Distribuição espacial das concentrações de Al ₂ O ₃ em horizontes diagnósticos de solos de origem basáltica.	104
Figura 33- Distribuição espacial das concentrações de Fe ₂ O ₃ em horizontes diagnósticos de solos de origem basáltica.	106
Figura 34- Trincheira 1.....	108
Figura 35- Trincheira 2.....	109
Figura 36- Trincheira 3.....	111
Figura 37- Trincheira 4.....	112
Figura 38- Espectros de absorbância na faixa do visível e infravermelho próximo (400 nm e 2500 nm). Amostras totais da topossequência dos horizontes A, B, Bw e C.....	116
Figura 39- Médias das assinaturas espectrais das diferentes posições da paisagem. ..	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estágios de alteração química segundo Jackson e Sherman.	25
Tabela 2- Teor de Fe médio de alguns minerais primários encontrados nas rochas da crosta terrestre.....	30
Tabela 3- Ocorrência de classes de solos no Estado do Paraná.....	34
Tabela 4- Efeito da erosividade da água da chuva no solo.....	37
Tabela 5- Granulometria e atributos químicos dos solos (60-80 cm) da área 01.	57
Tabela 6- Granulometria e atributos químicos dos solos (60-80 cm) da área 02.	59
Tabela 7- Granulometria, atributos químicos e mineralógicos dos solos da área 03. ...	60
Tabela 8- Análises mineralógicas de horizontes diagnósticos de solos desenvolvidos de basalto da área 01 do Estado do Paraná.....	63
Tabela 9- Análises mineralógicas de solos desenvolvidos de basalto (60-80 cm) da área 03 do Estado do Paraná.	63
Tabela 10- Descrição macromorfológica de perfis de solos desenvolvidos de basalto, Londrina, Paraná.....	96
Tabela 11- Granulometria e atributos químicos dos solos dos perfis da propriedade Bonitão, Primeiro de Maio, Paraná.	100
Tabela 12- Elementos totais dos horizontes diagnósticos.	103
Tabela 13- Descrição macromorfológica das trincheiras de solos desenvolvidos de basalto, Londrina, Paraná.	107
Tabela 14- Granulometria e atributos químicos das trincheiras de solos da propriedade Bonitão, Primeiro de Maio, Paraná.	114

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	11
3. REFERÊNCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO	11
3.1. Formação e classificação dos solos	11
3.2. Relação solo-paisagem	14
3.3. As teorias dos processos de evolução do relevo.....	19
3.4. Variabilidade espacial dos atributos do solo na paisagem	23
3.5. Mineralogia da fração argila.....	26
3.5.1. Óxidos de ferro nas frações do solo.....	29
3.6.1 Solos tropicais	32
3.6.2. Solos do Estado do Paraná	33
3.6.3. Solos do norte do Estado do Paraná	34
3.7. Processos erosivos	35
3.8. Espectroscopia de infravermelho próximo	39
3.9.1. Espectroscopia aplicada a Ciência do Solo	42
4. ARTIGO I	46
5.1. INTRODUÇÃO.....	47
6.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	49
6.2.1. Descrição da área de estudo.....	49
6.2.2. Coleta das amostras e análise químicas e mineralógicas.....	52
6.2.3. Coleta dos Espectros Vis-NIR	53
6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
6.3.1. Granulometria e atributos químicos dos solos.....	55
6.3.2. Mineralogia dos solos.....	62
6.3.3. Relação da absorbância com a identificação e atributos do solo.....	65
6.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS	73

7. ARTIGO II.....	78
7.1. INTRODUÇÃO.....	79
7.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	80
7.2.1. Caracterização do meio físico da área de estudo.....	80
7.2.2. Coleta de solos.....	83
7.2.3. Confeção dos Mapas.....	84
7.2.4. Análise Granulométrica.....	86
7.2.5. Análises Químicas.....	87
7.2.6. Análises mineralógicas.....	87
7.2.7. Análise das assinaturas espectrais.....	88
7.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	89
7.3.1. Descrição Geral da Área de estudo.....	89
7.3.2. Macromorfologia e Classificação dos Solos.....	96
7.3.3. Granulometria e atributos químicos dos perfis de solo.....	100
7.3.4. Análises Mineralógicas:.....	102
7.3.5. Análise das trincheiras:.....	106
7.3.5.1. Trincheira 1- CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Eutrófico gleissólico.....	107
7.3.5.2. Trincheira 2- GLEISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico.....	109
7.3.5.3. Trincheira 3- NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico.....	110
7.3.5.4. Trincheira 4- NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico.....	111
7.3.5.5. Trincheira 5- CAMBISSOLO HÁPLICO Tb eutrófico típico.....	113
7.3.6. Análise das assinaturas espectrais dos solos.....	115
7.3.7. Sugestões de práticas e adequações para a área de estudo.....	119
7.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	120
REFERÊNCIAS.....	121
 REFERÊNCIAS.....	 126

1. INTRODUÇÃO

O solo em sua mais simples definição trata-se do resultado da interação do material de origem, organismos, clima e relevo ao longo do tempo (KAMPF; CURI, 2012). O material de origem e as formas de relevo modificam-se pela atuação do clima e dos organismos, fatores considerados ativos no processo de formação dos solos (KER et al., 1997).

Sua importância no contexto geográfico se dá por ser um dos principais constituintes do meio físico-natural e integrantes modeladores das diferentes formas do relevo. Muito utilizado nas pesquisas para compreensão das dinâmicas locais, estudos de gênese e identificação, bem como nos estudos relacionados a Geomorfologia (OLIVEIRA, 2005; RESENDE et al., 2014).

A relação do solo com a paisagem e sua interação com o ecossistema como um todo, pode ser compreendido cada vez mais através do estudo e adoção de abordagens multidisciplinares que relacionam distintas variáveis que controlam os sistemas naturais. De acordo com Vidal-Torrado et al., (2005), o enfoque multidisciplinar é importante e reconhecido quando se busca obter melhores respostas à muitas questões, com o intuito de descobrir ou entender algo novo sobre o solo, sua relação com a paisagem e seus componentes.

Os estudos sobre a forma do relevo e sua dinâmica, permitem a compreensão 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, processos ocorrentes e alterações nos minerais constituintes.

Os métodos convencionais de análises e coleta de amostras de solo, são muito onerosos para se obter informações sobre grande quantidade de pontos de uma área, além da necessidade de mão de obra e custos com reagentes. Para o mapeamento de solo a quantidade de amostras necessárias é grande, logo o pesquisador coleta menos amostras prejudicando a precisão dos mapas pedológicos.

As geotecnologias e a espacialização de informações têm auxiliado diversos estudos na Ciência do Solo. Nos últimos anos as técnicas de sensoriamento espectral têm apresentado destaque em estudos de diversas pesquisas como as desenvolvidas por (BEN-

DOR et al., 2008; BEN- DOR, 2009; VENDRAME et al., 2012; VISCARRA ROSSEL, 2016; RAMARAZON Vola et al., 2018; MENDES et al., 2019; RAMIREZ et al., 2019) Os resultados obtidos por esse autores se mostram promissores para o estudo das propriedades do solo e podendo ser utilizadas para a caracterização do perfil pedológico, com o intuito de auxiliar na identificação e classificação dos solos.

Assim, modelos estatísticos e matemáticos de calibração “global” e “local” podem ser realizados a partir da construção de um banco de dados espectrais de amostras de solo. Os dois modelos vêm sendo aplicados com êxito na predição de atributos pedológicos como podemos ver em pesquisas (RABENARIVO et al., 2013; PÉREZ-FERNANDEZ; ROBERTSON, 2016; VISCARRA ROSSEL, 2016).

Sendo assim, esta pesquisa tem como objetivo descrever e classificar classes de solos desenvolvidos de basalto no Estado do Paraná, determinando a textura e a mineralogia por métodos convencionais de análise, atrelando os atributos mineralógicos e relacionando as assinaturas espectrais no Vis-NIR das classes de solos desenvolvidos de basalto no Estado do Paraná a paisagem.

Averiguando o comportamento de suas assinaturas espectrais nas diferentes posições do relevo e as condições pedológicas. Utilizando como base mapas geológicos, topográficos, pedogeomorfológicos das áreas estudadas, sua distribuição espacial, além da predição dos atributos físicos, químicos, biológicos e mineralógicos do solo.

2. OBJETIVOS

- Descrever e classificar classes de solos desenvolvidos de basalto no Estado do Paraná;
- Determinar sua textura e a mineralogia por métodos convencionais de análise;
- Relacionar as assinaturas espectrais no Vis- NIR das classes de solos de basalto com a paisagem;
- Relacionar os resultados dos atributos mineralógicos e pedogeomorfológicos com a paisagem.

3. REFERÊNCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

3.1. Formação e classificação dos solos

O solo em sua mais simples acepção pode ser definido como sendo resultado da interação do material de origem, relevo, clima e organismos ao longo de um período de

tempo (KAMPF; CURI, 2012). Ainda, o termo solo refere-se à parte superior ao regolito, onde configura-se o material solto acima da rocha consolidada.

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), o mesmo pode ser definido como a desintegração e decomposição das rochas (material mineral), matéria orgânica obtida por meio de resíduos de plantas, restos de animais e tecidos microbianos; água obtida da atmosfera, reações químicas, físicas e biológicas no solo; ar ou gases da atmosfera, reações de raízes, micróbios; organismos como minhocas, insetos, macro e micro-organismos, sendo ainda considerado um sistema aberto com fluxos de materiais e energia.

Produto dessa transformação das substâncias orgânicas e minerais da superfície terrestre sob influência dos fatores externos (ambientais) por longo período, com uma organização e morfologia definida (SCHROEDER, 1984). Conceituação estabelecida recentemente pós avanços e desenvolvimentos na ciência, surgidas na segunda metade do século XIX (KAMPF; CURI, 2012).

O primeiro pesquisador responsável pelo conceito pedológico foi Vasilí Vasilevich Dokoutchaev (1846- 1903), que iniciou a ciência da Pedologia. Em estudos e observações em solos russos com fins de avaliação da qualidade e o desenvolvimento da agricultura, foi o primeiro a sugerir a interação entre os seus fatores de formação (KAMPF; CURI, 2012). Após seus estudos, em 1941 seguindo as ideias de Dokoutchaev, Hans Jenny escreveu sua principal obra intitulada “Factors of Soil Formation” na qual todos os fatores tinham o mesmo peso em sua formação (Jenny, 1941). Concepção resumida conforme a equação abaixo:

$$S = f(c, o, r, p, t) \quad (\text{Eq.1})$$

Onde: c= clima; o= organismos; r= relevo; p= material de origem; t= tempo

Esse processo de formação dos solos (gênese) ou a chamada pedogênese, é um processo que pode ser definido de acordo com Muggler et al., (2005) como resultado dos fatores de formação em que atuam: material de origem, relevo, clima, organismos ao longo do tempo, resultando em um material evoluído. Estes ocorrem em razão da ação do intemperismo agindo sob um processo lento que leva centenas ou milhares de anos.

Dentre os agentes mais atuantes no intemperismo estão os relacionados ao clima, como a água (chuva), temperatura, os ventos, logo as variações climáticas determinam a

velocidade de transformação do material de origem na formação do solo ao longo do tempo (OSMAN, 2013). Regiões tropicais em que apresentam altas temperaturas e pluviosidade considerável ao longo do ano, os processos de formação dos solos são mais dinâmicos que em regiões de clima temperado, devido ao conjunto de agentes intempéricos que atuam acelerando este processo. Logo, os solos são mais profundos conforme o clima quente e úmido, e também maiores são as perdas por erosão e lixiviação (LEPSCH, 2002; TOLEDO, 2009).

O fator tempo e o intemperismo também afetam outras mudanças, como observado por Ruhe (1956) que verificou que as propriedades do solo mudavam significativamente conforme a sua idade, logo haviam solos dos mais jovens para os de maior idade e um acréscimo em sua espessura e maior teor de argila nos horizontes B.

Para a caracterização do solo é importante compreender como ele funciona no ecossistema. A partir de técnicas de quantificação física, química, mineralógica e biológica, onde conseguimos caracterizar as amostras e identificar as classes. Nos chamados processos pedogenéticos estão os processos de adições, remoções, translocações e transformações que ocorrem de forma simultânea, o qual temos o solo agrupado em arranjos horizontais e verticais no relevo, sob diferentes condições ambientais de acordo com cada qual esteja submetido.

Posteriormente para a sua classificação é necessário a identificação nesses arranjos horizontais, verticais como os horizontes superficiais, subsuperficiais, e o horizonte diagnóstico (camada que apresenta determinados atributos para fins de classificação).

Esses processos pedogenéticos são interações complexas uma vez que estão em constante movimento a todo momento, devido à dinâmica do ecossistema como um todo. O chamado Pedon, menor porção ou volume reconhecido como um solo, quando associado a um grupo de Pedons (polipeton) parecidos, representa uma unidade de mapeamento. Sendo o Pedon tridimensional, com dimensões laterais e verticais, base para a amostragem, enquanto o perfil representa o solo em duas dimensões lateral e vertical, um alicerce para descrição e ilustração da profundidade lateral e vertical do solo. Assim o relevo e as descrições de perfis pedológicos dão bases para a definição de limites entre unidades (LEPSCH, 2011).

Por isso são importantes e necessárias observações e estudos dos aspectos do relevo ligados à morfogênese associados a pedogênese, para não ser realizada uma mera caracterização de pedons “hipotéticas ou isoladas”, aparentando mosaicos isolados.

De acordo com Queiroz Neto (2001) as formações superficiais que recobrem parcialmente parte da crosta terrestre emersa, são materiais inconsolidados originários da alteração das rochas por ação do intemperismo (físico, químico ou biológico), que podem ter sido realocadas ou retrabalhadas acima de superfícies de erosão, planícies fluviais, durante certo período testemunhando processos morfogenéticos e pedogenéticos responsáveis pela dinâmica e evolução da superfície terrestre.

No quesito da classificação de solo, o estudo do perfil é considerado a base para as descrições pedológicas (OSMAN, 2013). Ao pesquisar os solos existentes no território brasileiro, o país conta com um sistema taxonômico de classificação aberto, hierárquico e multicategórico o (SiBCS) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Com sua classificação própria, composta de 6 níveis categóricos: Ordem, Subordem, Grande Grupo, Subgrupo, Família e Série. Suas informações oriundas dos solos brasileiros abordam diferentes aspectos sobre gênese, morfologia e classificação.

3.2. Relação solo-paisagem

A relação solo paisagem e sua interação com o ecossistema como um todo, pode ser compreendido cada vez mais através do estudo e adoção de abordagens multidisciplinares que relacionam distintas variáveis que controlam os sistemas naturais. Segundo Vidal-Torrado et al., (2005), o enfoque multidisciplinar é importante e reconhecido quando se busca obter melhores respostas à muitas questões, com o intuito de descobrir ou entender algo novo sobre o solo, sua relação com a paisagem e seus componentes.

Como pode-se observar ao longo do tempo, o avanço das geotecnologias, como Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Cartografia Digital, Receptor (GNSS), Modelos Digitais de Terreno (MDT), Modelos Digitais de Elevação (MDE), Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e dentre outras ferramentas contribuíram para o avanço do estudo da paisagem nas Geociências. Além de projetos que também ganharam destaque como o Pronasolos, que tem como principal objetivo o inventário e mapeamento de 1,3 milhões de km² do país nos primeiros dez anos e mais 6,9 milhões de km² até 2048 dos solos Brasileiros em escalas de 1:25.000 a 1:100.000 (PRONASOLOS, 2022).

Sendo assim, é essencial para a compreensão da distribuição espacial dos solos, sua dinâmica interna e a relação com a paisagem, estudos Pedológicos integrados na Geografia vinculando a Geomorfologia (morfogênese), Geologia (material de origem),

Hidrologia (referente aos fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais) e outras subáreas que conferem complementariedade umas com as outras e maior facilidade de entender os processos. De acordo com Tricart (1968), Queiroz Neto (2011), Rubira et al., (2019) compreender as relações pedogeomorfológicas em pesquisas multidisciplinares, é importante pois são capazes de nos revelar as influências da pedogênese na disposição das formas do relevo, ou as influências do relevo sob a formação e espacialização dos solos.

Para Daniels et al., (1971) e Boulet et al., (1982a) as pesquisas relacionadas nessas áreas e seus resultados podem auxiliar muito nas investigações pedológicas, por apontar os locais mais apropriados e intensidade amostral, favorecendo mais completa interpretação dos resultados obtidos em análises de laboratório das amostras de horizontes do solo.

Uma vez que, a exata composição do solo muda de acordo com sua situação de localidade no relevo (SOIL TAXONOMY 2ªed, 1999), bem como efeitos diretos do relevo afetam a distribuição de diferentes classes de solo (RUHE, 1960). Como pode ser visto em trabalhos de (MEIRELES et al., 2012) que os relaciona com os atributos químicos e físicos. Atributos morfológicos do solo, também apresentam dependência com as formas do relevo, quando encontrados em topossequências (NÓBREGA; LOPES, 2018).

Este termo mais abrangente foi adotado após o termo catena ser alterado, conceituado desde meados da década de 1930 por Milne (1935) em seu trabalho original em escalas de detalhe com destinações à mapeamento de solos, onde observou que os perfis modificavam suas características de acordo com sua posição no relevo, ressaltando a importância dos movimentos de matéria ao longo da topografia, diferente do pensamento de outros autores da época que se baseavam na concepção de linearidade dos fenômenos de alteração, deixando de lado o relevo. De acordo com Vidal-Torrado et al., (2005) pode-se refletir que estas concepções se originaram da necessidade de inventar e mapear os solos em pequenas escalas. Posteriormente então com a alteração do termo catena passou-se a considerar mais de um material de origem.

Desde então, a expressão topossequência vem sendo utilizada por pedólogos e pesquisadores, quando em decorrência da posição dos solos no relevo ou na paisagem ocorre a sua variação. Em busca de resolver as demandas da agricultura, identificar, compreender os fatores que formam o solo e como resolver seus problemas de perda de solo, por processos erosivos e manejo incorreto sem o uso de práticas conservacionistas.

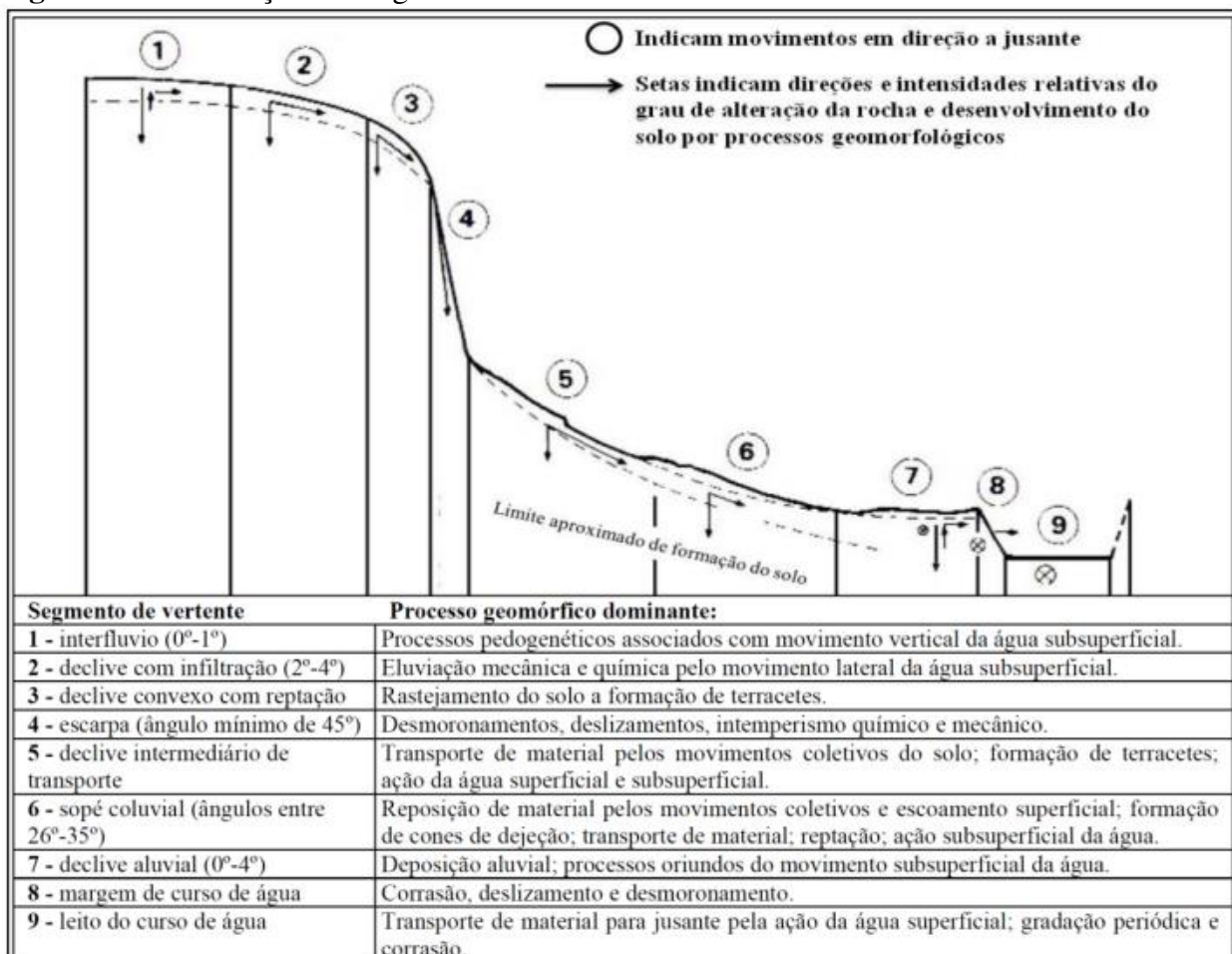
Seguindo a ideia de que a formação pedológica se desenvolve em função da relação e integração de diversos processos controlados por outros fatores que não operam de forma isolada, e sim funcionam sob ação de influência dos ecossistemas próximos. Os estudos bidimensionais do relevo tiveram certa utilidade, ainda que tivessem algumas limitações no seu uso (BUOL ET AL., 1980).

Juntamente à interação dinâmica de estruturas sólidas de macro, microagregados ou materiais inconsolidados sem agregação como salientam Humbel (1978) e Boulet et al., (1979) em suas pesquisas. Boulet et al., (1982b) busca compreender tais variações do sistema pedológico e sua distribuição horizontal/lateral na paisagem, sugerindo a análise bidimensional do relevo. Uma vez que a cobertura pedológica possui certa organização multiescalar, onde os processos, materiais e formas se relacionam de maneira mais complexa que vão desde uma grande escala à uma escala local.

Porém Hall, (1985) ressaltava que os estudos pedogenéticos evoluíram mais quando este conceito meramente de bidimensionalidade do solo foi deixado de lado, e, passou-se a operar também com o conceito de tridimensionalidade de corpos de solo. Prosseguindo nestes princípios Boulet (1982a) e outros pesquisadores como Ruellan et al., (1984), Queiroz Neto, (1988) criaram um planejamento de trabalho denominado *Análise Estrutural da Cobertura Pedológica*, com intuito de produzir estudos na área de ultra detalhe e de intensa integração das relações entre a pedologia-topografia-estratigrafia-hidrologia.

Executada em duas fases: análise bidimensional (levantamento do sistema pedológico em pontos topográficos ao longo de uma vertente, perpendicularmente às curvas de nível) e tridimensional (de representação cartográfica considerando em um plano as curvas de isodiferenciação que evidenciam o aparecimento e desaparecimento dos horizontes em uma área), aderindo como unidade de paisagem a bacia hidrográfica de Primeira Ordem.

A variação pedológica na paisagem é compreendida por meio de trincheiras ao longo de uma vertente, situadas em diferentes segmentos (MAGALHÃES; CUNHA; NÓBREGA, 2015), conforme o modelo de vertente hipotético da classificação de Darlymple et al. (1968) apresentado na (Figura 1), baseado na intensidade dos processos pedogenéticos e processos erosivos que possam ocorrer nos mesmos.

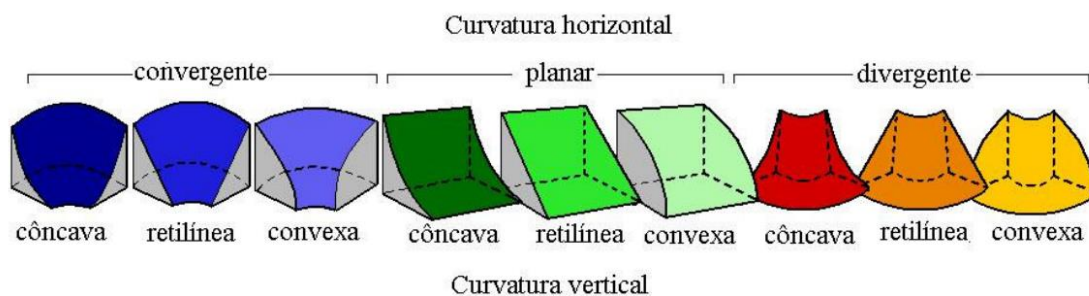
Figura 1- Classificação dos segmentos de vertente.

Fonte: Silveira (2010), adaptado de Darlymple et al., (1968).

São classificados como: 1: interflúvio ou topo; 2: declive de infiltração; 3: declive convexo de *creeping* rastejamento; 4: escarpa; 5: talude de transporte (início do sopé com material em transporte); 6: sopé coluvial; 7: sopé aluvial; 8: talude do canal fluvial; 9: fundo do canal fluvial.

Os processos pedogenéticos e os fluxos hídricos são condicionados por estes segmentos nas diferentes formas de geometrias do relevo: (côncavo ou convexo), inclinações e comprimentos de vertentes ou rampas, além de extensões dessas superfícies. Baseado nas propostas de Ruhe (1975) que constata que as vertentes não podem ser representadas de forma adequada apenas bidimensionalmente e sim tridimensionalmente. Ruhe (1975) e Valeriano (2008) categorizam três subclasses conforme a (Figura 2).

Figura 2- Geometria das formas das vertentes. Associações de formas lineares, côncavas e convexas eventualmente encontradas numa encosta.



Fonte: Figura modificada de Valeriano (2008).

A morfologia das vertentes refere-se então ao parâmetro geométrico de acordo com seu topo ao sopé (base) baseado nas proposições formadas por Troeh (1965) e Ruhe (1975). As feições se expressam em linear/retilíneo quando não há variação da curvatura vertical, côncavas quando há por conta da curvatura vertical negativa ou depressiva, e, convexas em que há curvatura vertical positiva ou protuberante.

Diversos autores apresentam embasamento em seus estudos sobre as variações dos elementos da vertente de acordo com sua morfologia. Como Souza et al., (2003) e Montanari et al., (2005) relatam que as pedoformas côncavas apresentam elevadas variações de valores no seu conteúdo de matéria orgânica, sua granulometria e valores sobre fatores de erosão ao comparar à uma pedoforma linear, apontando e evidenciando que os atributos do solo demonstram comportamentos distintos devido as curvaturas do relevo. Resende et al., (2014) relatam que a erosão do solo nas pedoformas côncavas para as convexas tendem a aumentar, já a linear apresenta maior estabilidade.

Souza Junior e Demattê (2008) e Queiroz Neto (2011) relacionam as áreas dos relevos planos com o fluxo subsuperficial, (maiores taxas de infiltração hídrica) em decorrência do escoamento superficial, que são os principais agentes responsáveis pela intensificação da atuação dos processos geoquímicos oriundos da dissolução em profundidade e hidrólise do intemperismo químico. Esse dinamismo favorece o desenvolvimento de encorpados mantos regolíticos, pobres em nutrientes, que possuem muitas vezes o predomínio de óxidos, baixas capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação de bases (V%).

Em compensação, nos relevos inclinados, os mesmos autores associam a maior ação dos escoamentos superficiais à capacidade de água infiltrada. Sendo assim, as coberturas pedológicas encontram-se na continua abrasão devido à intensa ação dos processos erosivos lineares, o que resulta na atuação limitada da hidrólise e dissolução.

Esta dinâmica ocorre devido à forma dos relevos (escarpados), que proporcionam um contínuo rejuvenescimento dos solos, propiciando solos rasos, que são em sua maioria ricos em minerais primários, e com alta CTC e V% SOUZA JUNIOR E DEMATTÊ (2008) E QUEIROZ NETO (2010 e 2011).

Sobre a evolução do relevo Boulet (1988, 1992) interpreta como ocorrendo a partir do autodesenvolvimento e da transformação dos próprios solos, sob importante influência dos fluxos hídricos. Presentes nos mecanismos de gênese do solo onde pesquisadores em íntima relação com o modelado do relevo desenvolveram teorias, como Delvigne (1965), que expusera quais os meios levados à gênese dos minerais secundários em situações de perda (topo), passagem ou transferência (vertente) e acumulação (sopé) por toda a extensão da topografia.

Bocquier (1971) obteve maior avanço nessa temática, ao declarar que as perdas eram dadas a partir de montante à jusante, afirmando que a acumulação era dada remontantemente ao contrário, criando a teoria biogeodinâmica. Ideias oriundas das novas perspectivas das definições de autoctonia e aloctonia dos materiais possibilitada a partir da Análise Estrutural de Cobertura Pedológica da década de 1970.

Enquanto Chauvel (1977) relatava que as modificações nos estados do Ferro (Fe) associados às transformações laterais de dada classe de solo em outra, indicava que essas mudanças eram causadas de acordo com o aprofundamento do nível de base, cometido por influência do material de origem (causas tectônicas) e/ou climáticas.

3.3. As teorias dos processos de evolução do relevo

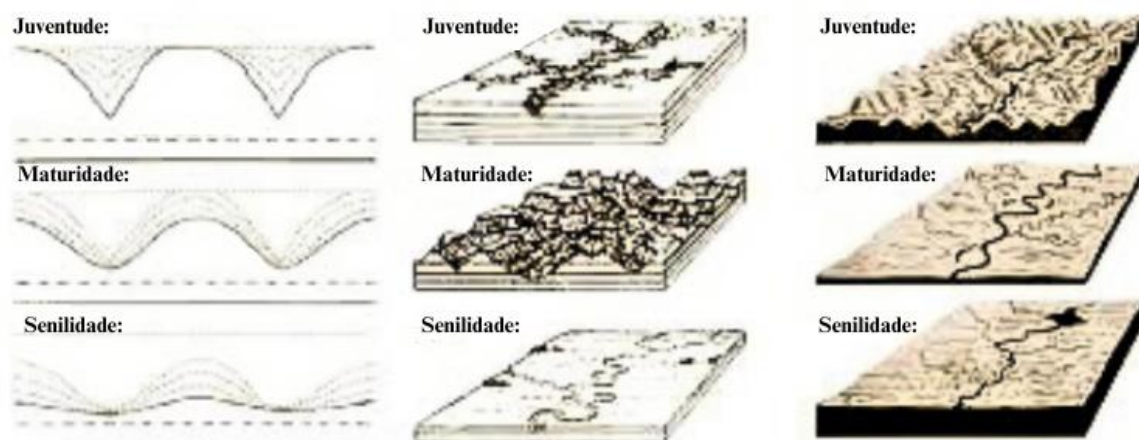
Quando se discute sobre a evolução de um determinado tipo de relevo, temos que o mesmo pode ser explicado de distintas formas, razão pela qual há diversas hipóteses possíveis e teorias que possam responder sobre como foi formada dada superfície. Sendo assim, para descrever e explicar seus processos e evolução é necessário compreender a trajetória em que se constituíram as bases teóricas ao longo do tempo.

Grande parte dos trabalhos clássicos sobre a evolução do relevo são baseados nas transformações das vertentes pela erosão, mais atuantes em períodos distintos do que numa ação incessante do tempo. Onde estão inseridas teorias de autores como Davis (1899), Penck (1953), King (1956), Ruhe (1956) fundamentais para a discussão da temática.

Davis (1850-1934) grande precursor e fundador da disciplina de Geomorfologia, teve em sua técnica desenvolvida intitulada “descrição explanatória” de paisagens em que dizia que a história da evolução da paisagem poderia ser detalhada sob os dados elementos: estrutura, processo e tempo. Seguindo suas teorias de processos evolutivos do relevo a erosão agiria sobre toda sua extensão em dada área, começando pela fase denominada rejuvenescimento onde ocorre o soerguimento relativo continental resultando na incisão dos vales com taludes pronunciados (VIDAL-TORRADO et al., 2005).

Sendo assim, sucedendo então na chamada teoria do ciclo geográfico, ciclo erosivo ou ciclo de Davis, aderindo as seguintes etapas: juventude, maturidade e senilidade. Esse processo pode ser explicado pela ideia de que a diminuição das inclinações do terreno resultaria na regressão das encostas, formando um perfil no topo convexo e côncavo na base, descritos em seus diagramas de evolução da paisagem elaborados por Davis em 1912 e 1932 adaptado por Young (1972), que podem ser vistos na (Figura 3) seguinte:

Figura 3- Teoria do Ciclo Geográfico ou Ciclo Erosivo.



Fonte: Peter Copeland and William Dupré. Landscape Evolution Classroom presentations to accompany Understanding Earth, 3rd edition.

Imagem que retrata a gênese e evolução das formas do relevo ao longo do tempo, que pode ser explicada pela medida em que esse solo foi evoluindo e sendo desgastado de cima para baixo, seria gradualmente aplainado passando pelo processo contínuo sob intemperismo.

De acordo com Marques (2001) passando por um breve soerguimento por ação interna, junto ao desgaste produzido pela erosão e ação da água, resultante na modificação

desse relevo e redução da topografia, criando uma superfície mais aplainada chamada de peneplano. Seguindo este ciclo outro soerguimento também entraria em um novo ciclo erosivo, bem como na vida orgânica e passaria pelas fases de: juventude, maturidade e senilidade Marques (2001).

Para Davis o ciclo de erosão se formava a partir de um rápido soerguimento devido à ação tectônica ou eustática, posterior à uma extensa fase de estabilidade, onde acontecem os processos erosivos e o total rebaixamento da superfície do relevo também reconhecia a influência e a importância que o clima desempenhava sob seus esquemas, além de diversas contribuições para sistematização dos estudos geomorfológicos e na Geografia em Geral (MONTEIRO, 2001).

Penck (1953) em seu modelo elaborado com base em Davis, baseado na ideia de rejuvenescimento do relevo, incorporado a noção de recuo paralelo juntamente ao processo de evolução do relevo com as interferências das geometrias das encostas. Fundamentado nas relações entre a o soerguimento crustal e a denudação (remoção da superfície por processo erosivo), concedeu que a velocidade de cada uma dessas ocorrências e intensidade dos processos, definiriam a geometria das encostas, podendo elas serem convexas (*waxingdevelopment*), côncavas (*waningdevelopment*) e estacionário (*stationarydevelopment*).

Em que as vertentes com perfis côncavos são formadas quando a velocidade de soerguimento é menor que as taxas de denudação; já as vertentes de geometrias convexas são desenvolvidas quando as taxas de soerguimento são maiores que a denudação. Este soerguimento se dava pelo recuo paralelo das vertentes, ocorrência ligada ao grau de entalhamento do talvegue considerando a estrutura geológica e climática (CHRISTOFOLETTI, 2002).

A geometria de encosta retilínea é formada quando há o equilíbrio em ambas as taxas. Apesar de sua grande contribuição para a Ciência Geográfica, sua teoria houve certa crítica por não levar em consideração a heterogeneidade litológica (PENK, 1953; BIGARELLA et al., 1965).

Para Penck (1953) os processos ocorriam de forma concomitantemente em uma mesma escala de tempo, em intensidades variadas. Suas teorias também são utilizadas por King quando este faz inferência a pediplanação dos patamares inferiores, empregando a abordagem de retrocesso paralelo das superfícies com idade mais nova que a da superfície Sul Americana (ROSS, 1991).

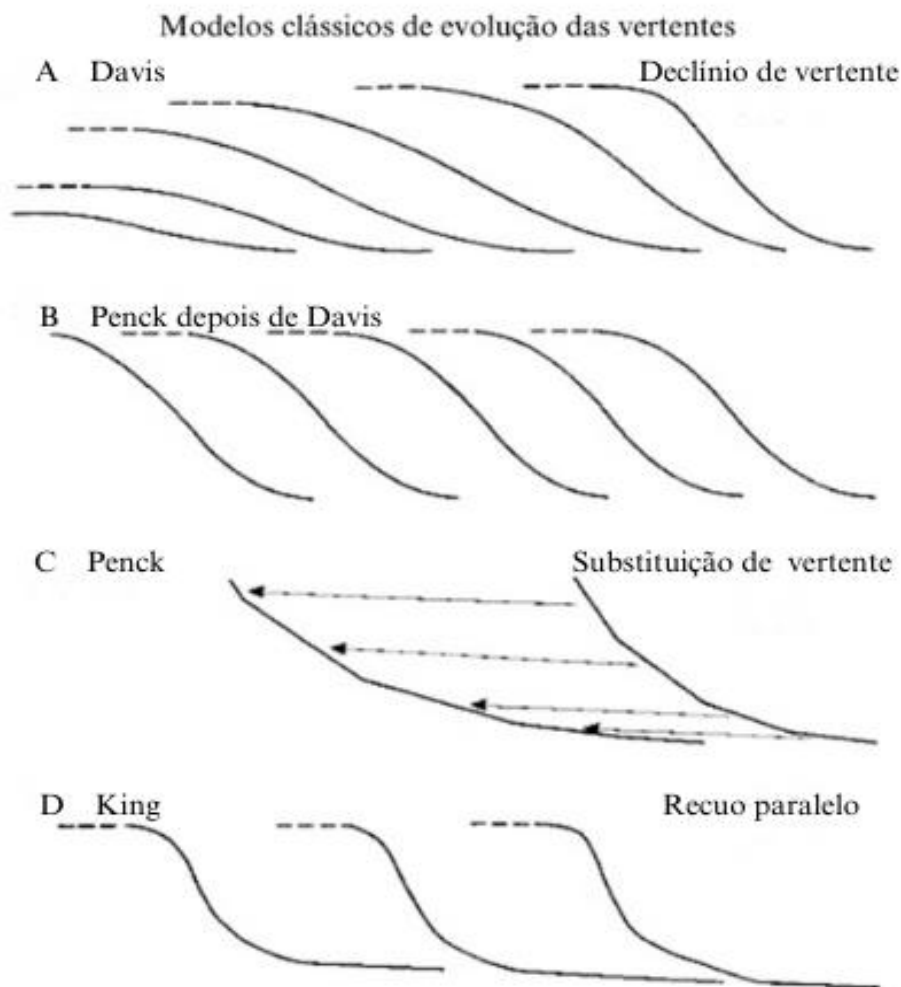
King (1953) desenvolveu seu modelo ao observar o relevo da África do Sul, Austrália e Brasil, associado aos ciclos de erosão exposto por Davis, com base nas superfícies de erosão. Modelo este implicitamente associado a uma longa peneplanação na América do Sul, originando uma extensa superfície chamada Sul Americana.

Os estudos de King apontavam que o processo de erosão ou denudação das vertentes originariam detritos (pedimentos) que evidenciariam o aplainamento da superfície oriunda do recuo das encostas, resultando nesses chamados pediplanos ou superfícies de erosão.

Logo seu modelo ideal de encosta seria constituído em sua síntese completa por um perfil convexo no topo, seguida de uma fase escarpada (erosiva), um declive de sedimentos com declividade suave na base seguindo até o pedimento plano (AB'SABER, 1969). O pesquisador buscou restabelecer o conceito de estabilidade tectônica que Davis considerava, porém declara a adequação por compensação isostática contempla o recuo paralelo das vertentes (*wearing-back*) como formato de evolução morfológica, segundo proposto por Penck (1924) (CASSETI, 2005).

Contudo os estudos de King tiveram de ser aprimorados, pois havia certa lacuna em não considerar as variações climáticas e nem os processos erosivos e/ou deposicionais pelas soleiras (ROSS, 2005). As teorias de modelos clássicos de evolução das vertentes deste e dos autores anteriores podem ser vistas na (Figura 4):

Figura 4- Modelos clássicos de evolução das vertentes. A) Ciclo erosivo de Davis; B) Interpretação do modelo de Penck por Davis; C) Modelo de Penck; D) Recuo paralelo desenvolvido por King:



Fonte: Adaptado de Summerfield (1991).

Ruhe et al., (1967) em suas pesquisas baseadas em descrições de campo e análises de quantificações laboratoriais de elementos do solo, instituíram um modelo de retrocesso das vertentes, com perdas de forma desigual de material nos diferentes segmentos dos declives onde a parte mais alta e recente perderia mais material do que a superfície que se encontra mais próxima ao canal de drenagem, diferente da forma paralela proposta por King e Penck.

3.4. Variabilidade espacial dos atributos do solo na paisagem

A variação espacial dos atributos do solo na paisagem é intimamente atrelada com as formas da paisagem, bem como o grau de dissecação do relevo (relação pedogênese e morfogênese). Uma vez que a geomorfologia influencia os tipos de minerais que serão formados, suas configurações e distribuição dos mesmos sobre a solo, tendo por base as leis que determinam a gênese e a evolução dessas formas.

Diversos autores têm relacionado a variabilidade espacial dos atributos do solo com as pequenas variações do relevo e modelos de paisagem (CUNHA et al., 2005; GHIDIN et al., 2006; SOUZA et al., 2006; CAMPOS et al., 2007; REATTO et al., 2008; CAMARGO et al., 2015). Camargo et al., (2008) denotaram a dependência espacial de diversos atributos mineralógicos do solo como a caulinita, gibbsita, hematita e goethita associada à breves variações no relevo.

Os solos das regiões tropicais revelam de modo geral que, dentre os minerais mais encontrados os principais compostos mineralógicos estão na fração argila, como: a caulinita, hematita, goethita, gibbsita. Uma vez que a natureza desses minerais e sua quantidade pode ser constituída de acordo com os diferentes materiais de origem que são originados, podendo ser classificadas em ígneas, sedimentares e metamórficas Grotzinger; Jordan., (2013).

Aqueles minerais residuais estão divididos em minerais primários (litogênicos): feldspato, quartzo, piroxênios, micas e outros. E os minerais secundários (pedogênicos): caulinita, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, gibbsita, carbonatos e entre outros.

As alterações sofridas pelos minerais frente ao intemperismo são inúmeras, por depender da natureza da rocha, integrantes que as compõe, pH, concentração de reagentes, além das condições os quais estão submetidos no sistema, como por exemplo: a lixiviação, temperatura, pressão que controlam o equilíbrio em que se encontram os diferentes minerais.

Têm-se frente a integração dessas condições a atuação de intemperismo químico, auxiliados por um intemperismo físico (desintegração das rochas e minerais para partículas menores) aumentando a superfície específica (SCHOROEDER, 2017). Onde a dissolução de um mineral se dá em sua superfície específica e sua velocidade de reação, formando um novo mineral resultado de interações de processos. Essa alteração química de acordo com Jackson e Sherman (1961), interfere na formação do mineral de acordo com a resistência do mesmo, sua estabilidade, assim formam-se minerais em estágios diferentes, como pode ser visto na (Tabela 1) abaixo:

Tabela 1- Estágios de alteração química segundo Jackson e Sherman.

Estágio Primário	
Estágio:	Mineral:
Salino;	Olivina-hornblenda (diopsídio, etc.);
Calcário;	Biotita (glauconita, clorita, etc.);
Feldspato e Minerais Ferromagnesianos;	Albita (anortita, microclínio, etc.);
Estágio Intermediário	
Quartzo;	Quartzo (cristobalita);
Mica-Ilita;	Ilita (muscovita, etc.);
Silicatos de camadas mistas 2:1 e vermiculita;	Micas, clorita, vermiculita, talco, etc.;
Montmorilonita;	Montmorilonita (bentonita) ou montmorilonitas cálcica e sódica;
Estágio Avançado	
Caulinita;	Caulinita (haloisita);
Gibbsita-alofano;	Gibbsita (bohemita);
Hematita-goethita;	Hematita (limonita);
Anatásio-Leucoxena;	Anatásio (rutilo, ilmenita);

Fonte: Jackson e Sherman, apud Macedo (1961).

Um exemplo da alteração química pode ser dado pela transformação de um mineral primário (feldspato microclínio), em mineral secundário (caulinita ou ilita entre outros). No caso da caulinita, ocorre a dissolução do feldspato devido ao excesso de prótons oriundos de ácidos orgânicos e entre outros em solução de solo (ácido). Porém em um ambiente onde a lixiviação fosse menos atuante possibilitaria a formação da ilita (KAMPF; CURI, 2012).

Assim essa decomposição e seu tipo são controlados pelo arranjo da solução do solo e sua relação com o ambiente pedológico (sistema aberto). Como os íons presentes, quando os mesmos estão presentes para a formação de um mineral secundário ou são introduzidos, removidos os excedentes do ambiente de alteração/reação.

Destacando que, essas reações do intemperismo químico são estritamente controladas pela ação da água, propiciando ácidos naturais, podendo ser como solvente, agente ou meio de transporte. Podendo ser muito bem observado nas áreas tropicais de solos intemperizados a ocorrência de processos pedogenéticos mais intensos, com mais ocorrências de reações químicas, do que em áreas sem água no estado líquido por exemplo, de regiões áridas e glaciais.

Dentre os processos mais atuantes de solução do solo em seu (estado líquido) no intemperismo químico, encontram-se a solução, hidratação, hidrólise, carbonatação, oxidação-redução e complexação. Ressaltando que a compreensão desses processos, permite nos obter um entendimento mais acurado do comportamento do ambiente pedológico, da modelagem do relevo, além da influência das práticas de manejo com o solo, como a drenagem, irrigação, adição de complementos orgânicos, eventual contaminação, e entre outros.

À proporção que os solos vão evoluindo, sua composição mineral passa a depender mais do ambiente de intemperização do que da composição do seu material de origem. Devido a esse fator os arranjos de argilominerais nos solos representam um indicativo do grau de desenvolvimento pedológico (KAMPF; CURI, 2012). Considerando que a estabilidade dos minerais além de depender também de suas características estruturais, dependerá do processo de intemperização dominante no ambiente que está situado.

3.5. Mineralogia da fração argila

A importância da mineralogia da fração argila se destaca por ter em sua natureza qualitativa ligação com os estudos de gênese, classificação e caracterização dos solos (IBGE, 2015). Os minerais nessas frações <0,002 mm são formados através da decomposição dos feldspatos pela água acidulada, em ambientes tropicais encontrados em grande quantidade caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), hematita (Fe_2O_3) e gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$) onde as proporções no solo dependerão da intensidade do

intemperismo, material de origem e drenagem (SCHAEFER et al., 2008; RESENDE et al., 2014).

Essa fração é a que propicia plasticidade e pegajosidade ao solo. Atribuindo esta característica à influência das cargas superficiais das partículas de argila e pela atração individual que exercem mutuamente umas sobre as outras. Também é considerada um fator característico e intrínseco ao solo, em que diversos autores apontam em seus estudos a influência dos minerais da fração argila em seus estudos sobre atributos físicos como CURI, 1983; RESENDE et al., 1988; KER, 1997; GHIDIN et al., 2006; SCHAEFER et al., 2008; MARCOLIN & CALEGARI, (2020).

De acordo com Lepsh (2002) e sua compreensão sobre as situações climáticas que os solos tropicais são condicionados, relata que os argilominerais estão propensos a se decompor e formar os hidróxidos de ferro e alumínio. Após essa modificação, o teor de óxido de ferro livre e suas associações alumino-ferruginosas mostrarão distintos graus de desidratação e endurecimento, bem como farão parte da constituição dos arranjos em sua matriz, diferindo-os dos demais solos de acordo com suas características geotécnicas, químicas e entre outras.

White (2005) relata as argilas como sendo minerais de filossilicatos. A mineralogia da fração argila dos solos intemperizados é formada principalmente pela disposição de camadas de tetraedros de sílica ligada a uma camada de hidróxido, onde o cátion (Al, Fe ou Mg) se mostrará na forma octaédrica; enquanto os hidróxidos puros também se apresentarão nessa configuração, como a gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$).

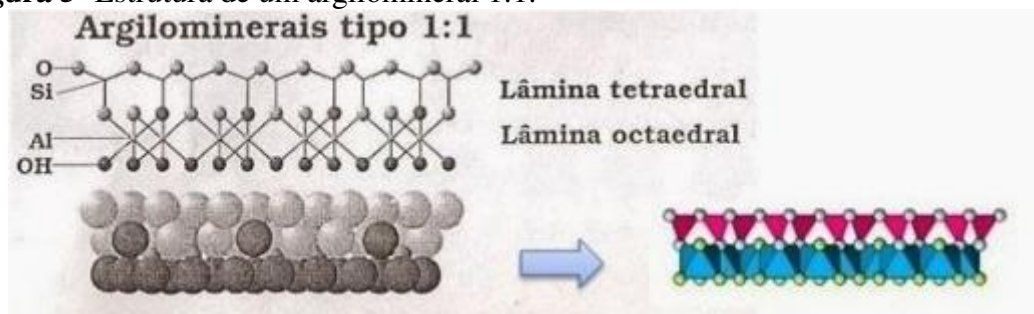
a) Grupo da Caulinita (Argilas 1:1)

O grupo dos argilominerais do tipo 1:1 são originados da alteração de diversos minerais primários, principalmente os feldspatos e micas ou da dissolução- reprecipitação e transformação de minerais secundários em distintas condições ambientais (SCHAEFER et al., 2008). A caulinita é o membro da família dos argilominerais menos ativo coloidalmente, e que, tem sua atividade reduzida quando se agrupa aos óxidos e hidróxidos de Fe ou de Al, pois eles envolvem a caulinita.

São argilominerais de configuração mais simples, representados por (uma camada de tetraedro de silício para uma camada de octaedro de alumínio) junto à hidróxidos de ferro e alumínio, como pode ser visto na (Figura 5). Em que suas folhas apesar de não serem vinculadas, são mantidas unidas devido a força de Van der Waals. Temos o

exemplo da caulinita sua fórmula $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ com estrutura similar à da gibbsita, com exceção das hidroxilas substituídas por oxigênios, bem como a serpentina também se assemelha em sua estrutura com a substituição de Mg por Al.

Figura 5- Estrutura de um argilomineral 1:1.

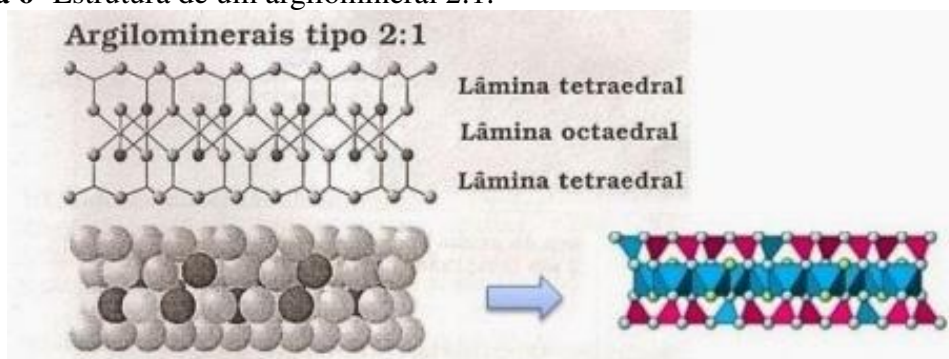


Fonte: Adaptado de (Schulze, 1989).

b) Grupo da esmectita (Argilas 2:1)

Quando se caracteriza estrutura de um mineral 2:1 significa dizer que, são argilominerais formados por (duas camadas de tetraedro de silício para uma camada de octaedro de alumínio), representado de acordo com a (Figura 6).

Figura 6- Estrutura de um argilomineral 2:1.



Fonte: Adaptado de (Schulze, 1989).

Os argilominerais 2:1 apresentam suas típicas características morfológicas, físicas, químicas no solo mesmo que em poucas proporções. Solos com predominância desses minerais expansíveis requerem principalmente para seu uso agrícola, práticas de manejo, controle de compactação do solo, preparo mecânico, tráfego de maquinário e animais, práticas adequadas e específicas para se evitar maiores danos ao manuseio do solo, podendo acarretar processos erosivos.

Estão presentes em maior quantidade principalmente nos Vertissolos situados especialmente em regiões áridas e semi-áridas, Gleissolos e Planossolos com algum impedimento a drenagem. Dentre ambientes costeiros marinho e áreas de depósitos sedimentares marinho ou fluvial como espaços de mangue, podendo ser regulamente esmectíticos (KAMPF; CURI, 2012).

Outra classe que também pode apresentar esses minerais em maior quantidade são os Neossolos Litólicos, principalmente quando são oriundos de rochas magmáticas básicas. Os minerais 2:1 também podem ser encontrados outras diversas classes de solo, como Latossolos gibbsíticos, Cambissolos, Nitossolos brasileiros, porém em menor quantidade.

Dentre essas pequenas quantidades dos minerais 2:1 na fração argila estão a vermiculita com Al-hidroxi entrecamadas (VHE), ilita, maghemita, rutilo e haloisita. Já na fração silte e areia desses solos tropicais predomina a presença do quartzo com resquícios de muscovita, bem como a magnetita e ilmenita especialmente quando há presença de rochas básicas.

3.5.1. Óxidos de ferro nas frações do solo

Os óxidos de Ferro, hidróxidos e óxi-hidróxidos de Fe são minerais que estão presentes comumente na maioria das classes de solos intemperizados, encontrados em abundância na natureza por serem considerados os óxidos metálicos no solo. Apresentam baixa concentração nos solos de regiões de clima temperado ou frio intenso, por seus lentos processos. São constituintes minerais predominantes nas regiões tropicais junto a caulinita. Se evidenciam presentes nas classes de Latossolos, Argissolos, Nitossolos e Plintossolos. Representado por solos altamente explorados pela agricultura brasileira ocupando 58% do território estão os Latossolos e Argissolos.

Dentre os óxi-hidróxidos de ferro e alumínio de acordo com Kulbicki; Millot, (1961) são produtos do intenso intemperismo, presentes até mesmo em rochas ricas em argilas. Os mesmos são classificados como minerais primários, como a magnetita (Fe_3O_4) e Ilmenita (FeTiO_4) encontrados com frequência nas frações silte e areia do solo ou também nos minerais secundários abundantes de Fe, resultantes de processos de intemperismo químico e biológico.

De acordo com a (Tabela 2) o produto final do Fe nos minerais primários irá formar óxidos de Fe, a princípio com baixo grau de cristalinidade, dependendo assim de

suas condições ambientais de formação como: temperatura, pH, solução do solo, umidade, matéria orgânica e dentre outros.

Tabela 2- Teor de Fe médio de alguns minerais primários encontrados nas rochas da crosta terrestre.

Mineral	Teor de Fe (g/kg)
Olivinas	100-300
Piroxênios	120
Anfibólios	150
Biotita	150
Magnetita	720
Ilmenita	370

Fonte: Kampf e Curi, 2009.

Logo os óxidos de Fe exibem significativa importância como instrumento na investigação da gênese e evolução dos solos, pois nele se reflete o ambiente químico de sua formação. Como quando por exemplo o grau de cristalinidade encontra-se baixo representa a agilidade de formação dos minerais, enquanto os filossilicatos apresentam variáveis números de cátions metálicos em sua estrutura cristalina, substituindo o Fe (KAMPF; CURI, 2012).

Após formados os óxidos de Fe se alteram de acordo com as modificações que o ambiente os proporciona, como um ambiente alagado redutor ou com matéria orgânica onde a estrutura do Fe^{3+} é reduzida para Fe^{2+} solúvel e que pode também ser removido do solo, resultando em solos de coloração clara, acinzentada livres do mineral. Logo o Fe tende na ausência de processos de oxidação e redução de Fe a se acumular em referência a outros minerais mais solúveis.

A Magnetita é um mineral primário e um óxido de Fe, presente nas rochas magmáticas (eruptivas básicas) e metamórficas. Em seu processo de formação do intemperismo, ela tende a se acumular nas frações mais grosseiras do solo (areia) ao contrário de outros óxidos de Fe a Magnetita possui em sua constituição Fe^{2+} e Fe^{3+} , forte atração magnética quando encostada a um ímã comum.

Enquanto a Maghemita, é similar a Magnetita porém reduzida a um mineral secundário na estrutura cristalina, polimorfo da hematita. Encontrada na fração argila dos solos é facilmente identificada também com um ímã, por ser um mineral ferrimagnético com altos teores de (Fe), oriundo de rochas vulcânicas básicas (ou ultramáficas) e máficas. Essa magnetização ocorre devido as propriedades de rotação dos elétrons não pareados e do impulso angular orbital, produzido no momento da cristalização do mineral. Sua gênese ocorre após a oxidação do Fe^{2+} da magnetita com a queima de materiais orgânicos na superfície do solo ou no decorrer do intemperismo.

A Ferrihidrita de acordo com as transformações do seu meio, pode formar diferentes óxidos de Fe, pois apresenta baixo grau de ordenamento estrutural. É habitualmente associada a outros óxidos de Fe como a hematita, goethita, lepidocrocita. Ela pode se converter rapidamente em outro tipo de mineral ao menos que seja estabilizada por algum composto orgânico ou adsorção de Si. Sua identificação diferente da maghemita e magnetita é mais minuciosa pois requer métodos diretos de análise como difração de raio-x (DRX) ou espectroscopia de Mössbauer, devido a sua baixa concentração, tamanho e baixa cristalinidade.

A goethita (Gt) é outro mineral mais comum dos óxidos de Fe por ocorrer em todos os ambientes pedogênicos. Possui coloração amarelada a marrom e sua distribuição espacial se dá de acordo com o ambiente formador solo. Geralmente em solos de climas regionais mais frios e úmidos oriundos de rochas com baixo teor de Fe em sua composição, ou em locais onde as posições do relevo dinamizam o acúmulo de água. De acordo com Curi & Franzmeier, (1984) a mesma é formada na primeira etapa do intemperismo dos minerais primários, se acumulando nos solos mais “jovens” ou nas camadas que estão situadas mais próximas as rochas.

Sobre o potencial de adsorção a goethita apresenta potencial mais elevado em relação a hematita por exemplo, devido a sua maior área de superfície específica. Juntamente com a hematita os principais óxidos de ferro que constituem os solos tropicais, possuem baixa magnetização são antiferromagnéticos. Outros grupos como o quartzo, caulinita são diamagnéticos exibindo suscetibilidade negativa por não ter ferro em sua estrutura.

A hematita (Hm) vem da palavra grega *Haimatites* de cor de sangue devido sua coloração intensa avermelhada. É considerado o segundo óxido de Fe mais encontrado na natureza após a goethita (Gt), comum nos solos e rochas sedimentares, metamórficas e magmáticas. Na região norte do Estado do Paraná por exemplo temos a formação da

hematita no basalto oriundo do resfriamento de rochas ígneas, bem como em Minas Gerais por metamorfismo (Itabirito) formações ferríferas.

É um mineral que apresenta grande e ampla distribuição geográfica principalmente na região tropical e intertropical quente e úmida, em solos com drenagem livre, sob relevos de superfícies mais estáveis (plano a suave ondulado) provenientes de diferentes materiais de origem.

Sua formação é procedida da ferridrita, (fase menos cristalina) a partir da agregação, desidratação e rearranjo estrutural, desde que as condições solo-ambiente sejam favoráveis, como por exemplo a baixa atividade de sílica em solução e pequenas quantidades de matéria orgânica, onde os resultados sejam a baixa complexação de Fe (Kampf e Curi, 2000; Schaefer, 2008). Condições bem características de sistemas de drenagem livre, de altas temperaturas e boa quantidade de água circunstando as elevadas taxas de alteração e lixiviação da sílica.

3.6.1 Solos tropicais

A superfície do território brasileiro apresenta a maior extensão em proporção de solos tropicais do planeta. Compreendem aqueles que segundo Camapum de Carvalho et al., (2012) se diferenciam de acordo com seus comportamentos e suas propriedades oriundos de funções dos processos geológicos e/ou pedológicos atuantes de forma mais acelerada.

Isto se dá, devido as regiões tropicais estarem associadas ao clima tropical úmido, caracterizado por temperaturas mais elevadas e intensa ação da água, por serem regiões com chuvas mais intensas e frequentes durante o ano. Por conta desse fator, as reações químicas originadas do intemperismo passam a ser mais intensas, como consequência nos minerais primários das rochas dessas regiões que resultam em uma maior proporção de minerais secundários no solo.

A importância da compreensão desses solos perpassa por uma união de saberes sobre a mineralogia, química e o aspecto estrutural que eles são formados, uma vez que são bases determinantes dos comportamentos mecânicos e hidráulicos de solos tropicais. Considerando que, sua formação está intimamente ligada à intensa ocorrência dos processos por haver grande variabilidade em função da ação da água e temperaturas elevadas, provocando alta porosidade nesses solos, intensa atividade dos argilominerais e hidrólise dos silicatos, desenvolvendo perfis mais profundos com mudanças voltadas a

neotransformação de minerais de argila (substanciados com base nos produtos iônicos e coloidais de intemperização, Silva et al., (2012).

Estes solos apresentam como característica de estrutura, certa bimodalidade de macroporos e microporos (parte interna dos agregados), com certa diferença em sua distribuição, procedentes da formação de agregados. Apresentam uma variação no índice de vazios conforme os processos intempéricos, seja qual for seu material de origem. E, também podem apresentar baixas resistências e altas compressibilidades conforme a estrutura e os processos pedogenéticos ocorrentes nesses solos.

Sob essas condições tropicais predominam solos cauliniticos, lateríticos, transportados e ricos em óxidos de ferro e alumínio, caracterizados por na maioria das vezes serem heterogêneos em relação à composição química, morfologia e propriedades físico-hídricas.

Dentre os minerais mais abundantes nestes solos estão os óxidos de ferro e alumínio, principalmente a caulinita, hematita (Hm) e goethita (Gt) (SCHWERTMANN; TAYLOR, 1989), além da presença de ilita e montmorilonita em alguns casos. Em sua estrutura cristalina esses óxidos produtos da dissolução de minerais primários e secundários possuem o ferro (Fe^{+2}) (CORNELL; SCHWERTMANN, 1996).

A evolução química dos solos tropicais tende a apresentar uma parcial ou completa remoção de Si e bases por serem mais móveis, e a tendência de acumular os elementos menos móveis como os materiais aluminoférricos (MUGGLER et al., 2007).

Essa característica pode ser observada comumente nas classes mais encontradas nos trópicos como os Latossolos, Cambissolos, Nitossolos e entre outros. Ressaltando que, as reservas nutricionais pedológicas estão relacionadas diretamente com os minerais constituintes, onde grande parte do processo de sorção e nutrição das plantas estão atreladas à matriz mineral, exibindo além da importância ambiental e no manejo dos solos a influência em sua taxonomia.

3.6.2. Solos do Estado do Paraná

O estado do Paraná está situado geologicamente no substrato rochoso constituído por diferentes materiais de origem, formando compartimentos distintos, desde formações mais antigas até sedimentos mais recentes. Dentre esses compartimentos temos na baixada litorânea Serra do Mar, o Primeiro Planalto com rochas magmáticas e metamórficas mais antigas, recobertas em partes por sedimentos atuais provindos do mar

e continental. O segundo Planalto abrangendo uma faixa de afloramento da idade paleozoica da Bacia do Paraná. Em sobreposição a estes sedimentos encontra-se as rochas vulcânicas com idade mesozoica constituindo o Terceiro Planalto, junto a sedimentos cretáceos no noroeste do Paraná. Os sedimentos de origem recente encontram-se presentes em todas as regiões do estado principalmente em vales de rios ou outros depósitos inconsolidados.

Segundo Bhering e Santos (2008) devido a variabilidade de materiais de origem, bem como processos de formação e superfície o Paraná apresenta grande variabilidade em classes de solos conforme (Tabela 3):

Tabela 3- Ocorrência de classes de solos no Estado do Paraná.

Ordem	Área (Km²)	Área Total (%)
Argissolos	3.013,71	15,53
Cambissolos	21.216,77	10,63
Chernossolos	90,47	0,05
Espodossolos	832,12	0,42
Gleissolos	2.331,23	1,17
Latossolos	61.406,59	30,76
Neossolos	44.365,96	22,22
Nitossolos	30.300,09	15,18
Organossolos	996,83	0,50
Afloramento de Rocha	1.649,48	0,83

Fonte: Adaptado de Bhering e Santos (2008).

3.6.3. Solos do norte do Estado do Paraná

A região norte do Estado do Paraná encontra-se geologicamente sob maior parte na unidade do Terceiro Planalto, formado por rochas basálticas de idade mesozoica. Ocupando dois terços do estado constituídos pelas rochas vulcânicas magmáticas oriundas de antigos derrames de lavas basálticas (vulcanismo da Bacia do Paraná). As rochas basálticas apresentam textura microcristalina, estrutura maciça e vesicular, bem como o forte fraturamento ocorrido nessas rochas (CELLIGOI, 1993).

Esses derrames podem ser definidos como corpos tabulares de grande continuidade lateral e espessuras que variam de metros a dezenas de metros. Apresentam

elevada resistência ao intemperismo, com rochas básicas, que se caracterizam por terem em sua característica macroscópica no campo similar umas das outras. Com cores que variam desde o cinza escuro, médio ao acastanhado.

Suas texturas são por vezes porfiríticas, predominando afíricas e subafíricas, com fenocristais e/ou micro fenocristais de augita e plagioclásio. Dentre minerais opacos (magnetita, maghemita, titanífera e ilmenita), mais dificilmente olivinas sempre bastante alteradas. Também há texturas comuns como a intergranular, intersertal, e hialofítica com matriz de mesmas faces cristalinas encontradas nos fenocristais, e os basaltos toleíticos, basaltos andesíticos, andesitos, latitos, com predomínio dos basaltos toleíticos (PICCIRILLO et al., 1989).

Dentre os solos que se desenvolvem sobre tal material de origem e se sobressaem no norte do Estado estão solos bem desenvolvidos, com profundidade, bem drenados, intemperizados. Com altos teores de argila aproximadamente acima de 350 g kg^{-1} , de coloração avermelhada proporcionada pela presença de altos valores dos óxidos e hidróxidos de Fe e alumínio. Tornando-os de modo geral bastante férteis e produtivos. Nas classes mais abrangentes nessa região estão os Latossolos e Nitossolos vermelhos sob relevos predominantemente ondulados a suave ondulados (BHERING; SANTOS, 2008).

Os solos de basalto apresentam prevalência da mineralogia na fração argila minerais 1:1 com predomínio característico por serem muito argilosos. Constituídos de caulinita, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, junto a limitada presença de minerais 2:1. Eles também podem apresentar além desses minerais, minerais ferrimagnéticos como dito anteriormente, a magnetita nas frações silte e argila, maghemita na fração areia (SOUZA JUNIOR et al., 2010). Diferente dos solos desenvolvidos de arenito, que exibem em sua composição menores quantidades desses minerais já que ocorre a presença de menores teores de argila. Acompanhado de uma predominância do mineral quartzo na fração areia.

3.7. Processos erosivos

Um dos fatores de desgaste e modificação do meio que mais têm favorecido para a degradação do solo é a erosão. Ela tem o seu significado proveniente do latim que significa *erodere*, corroer ou devorar. Sendo o processo de desprendimento e transporte de partes do solo e rocha, consistindo como a principal causa de dano ambiental nos solos

agrícolas. Se trata de um processo bastante complexo, envolvendo a ação direta e indireta de diferentes fatores, bem como características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, sob a influência de distintos tipos de vegetação, clima, relevo, além da ação antrópica modificante sob o meio.

Havendo dois tipos de erosão: a acelerada, que é a gerada pela destruição das áreas de cobertura vegetal pelo homem (ação antrópica), resultando num certo desequilíbrio das condições naturais da área. E a geológica (natural), na qual é a forma advinda da ação de diversos agentes responsáveis pela formação do solo, que agem de maneira lenta resultando na modelagem do relevo da crosta terrestre.

Dentre as causas da erosão estão a declividade, a quantidade e distribuição das chuvas, a cobertura vegetal, a ação antrópica, as propriedades físicas e químicas do solo e seus agentes modeladores relacionados à própria natureza (GUERRA & MENDONÇA, 2010).

Podendo a mesma ser classificada, de acordo com o agente que a proporciona, podendo ser eólica ou hídrica. Na classificação eólica o principal agente causador pelo desprendimento e transporte das partículas do solo é o vento, já no segundo tipo a água. A erosão hídrica transporta as partículas de solo em suspensão, que com o escoamento superficial carrega os nutrientes, matéria orgânica, sementes e agrotóxicos para leitos de rios, além de acarretar o empobrecimento gradativo dos solos agrícolas, gera também assoreamento e a poluição de mananciais.

No Brasil, a erosão hídrica é considerada a que se mais destaca por ser abundante e recorrente, causando diversos danos naturais no meio ambiente. Devido a abundância no regime do volume de chuvas o ano todo no país. Fator que acarreta o aumento nos custos de produção, uma vez que se necessita utilizar corretivos e fertilizantes para recuperação do solo, reduz-se a capacidade funcional dos maquinários agrícolas e a produtividade das terras (BERTONI LOMBARDI NETO, 2010).

Nestes casos Bertoni e Lombardi Neto (2010) explicam que os agentes erosivos podem remover rapidamente em poucas ou em uma única chuva, o que levou muitos anos dada quantidade de solo na natureza para se formar. Considerando que 1 centímetro de solo leva aproximadamente 400 anos para se formar, segundo a Embrapa, (2018), em condições de clima tropical como ocorre no Brasil. Lembrando que é um processo lento e que se intensifica de acordo com o clima, regime de chuvas e a intensidade do intemperismo atuante no local.

Mesmo no Brasil em áreas de diferentes regiões como no Nordeste e no Paraná, apresentam dinâmica hídrica totalmente diferente umas das outras, sendo o semi-árido brasileiro mais lento para formação de 1 cm de solo, com solos rasos, enquanto o Paraná já apresenta solos mais profundos e desenvolvidos com intenso regime de chuvas durante o ano, o que acarreta intensa ação do intemperismo.

Diretamente ligada à ação da chuva, a erosão hídrica tem seu estágio inicial com a ação do *splash*, também conhecido por erosão por salpicamento. Em que as partículas dos solos são quebradas em tamanhos menores e são transportadas por meio do escoamento superficial que as carrega para as partes mais baixas. E os agregados, a medida e que aumenta a água da chuva preenchem os poros da crosta superficial do solo desprovido de vegetação, resultando no fator selagem que diminui a porosidade e aumenta o escoamento das águas, que varia, sobretudo conforme a resistência do solo e o impacto da gota da chuva, chamado de energia cinética (GUERRA E GUERRA, 1997), conforme pode ser visto na (Tabela 4):

Tabela 4- Efeito da erosividade da água da chuva no solo.

Efeito da intensidade da chuva na erosão do solo			
Duração da chuva (min)	Intensidade da chuva (mm/h)	Perdas de solo t/há	Perdas de água (% da chuva)
30	60	6,0	54
15	120	15,3	64

Fonte: Adaptado de Bertoni & Lombardi Neto (2010).

O que determina a erosividade do solo é a energia cinética, pois é a capacidade da chuva de causar erosão. Essa determinação do potencial erosivo depende de diversos fatores, como as características das gotas da chuva, que têm variações de acordo com o tempo e o espaço, dos parâmetros de erosividade e de ventos violentos.

Sendo assim, há vários tipos de parâmetros que podem medir a erosão da chuva, como a intensidade da chuva, a precipitação e a energia cinética (K_e). Sendo a maior dificuldade eleger o mais adequado para se analisar, pois cada ambiente é único, assim como a tempestade em uma escala temporal e espacial (Stocking, 1997). Cada um dos parâmetros tem suas vantagens e desvantagens segundo a maioria dos autores, porém o mais utilizado tem sido a energia cinética, por concluírem ser o melhor parâmetro para medir a perda de solo.

Considerando que, quanto maior a energia cinética de uma chuva maior será a chance de quebra das partículas da superfície do solo, levando em consideração a

quantidade de matéria orgânica que há no local, pois a medida que há a presença de superfície orgânica a formação de crostas diminui, como aponta Salomão (2009).

Uma vez que a precipitação avança com a infiltração da água no solo, se inicia a formação de poças e posteriormente a geração de *runoff*. No momento em que o solo é saturado, começa a infiltração pois a água preenche os caminhos mais irregulares do solo e se liga uns aos outros resultando no escoamento superficial, que se inicia no difuso, podendo avançar um pouco mais e chegar ao concentrado na medida em que a precipitação acelera dependendo da forma da superfície.

Lembrando que os fatores condicionantes são de extrema importância e devem ser levados em consideração bem como ressaltados, como a natureza do solo, suas classes, o clima, a cobertura vegetal e a topografia do terreno. O clima apresenta relação direta com as características da cobertura vegetal que irá se desenvolver na superfície da área, servindo como proteção natural que consiste na redução do escoamento superficial. Vilar e Prandi (1993) descrevem a ação da vegetação e o papel das raízes na absorção e retenção da água da chuva, conseqüentemente a redução da velocidade e o aumento de resistência sob o escoamento superficial. O húmus formado no solo também afeta a estabilidade e o teor dos agregados do solo.

O tipo de solo é um dos principais fatores também por ser um elemento determinante nos processos erosivos. Sua suscetibilidade a erosão está ligada a suas características intrínsecas como: textura, porosidade, estrutura, mineralogia, composição, e entre outras. De acordo com Sibcs, (2018) e Bertoni e Lombardi Neto (2010) as propriedades físicas e químicas atribuem ao solo maior ou menor resistência à água.

Pode-se observar a importância da textura na infiltração do solo nas diferenças de um solo arenoso e argiloso, em que o arenoso apresenta grandes espaços porosos com alto índice de infiltração e escoamento da água dependendo da quantidade de cobertura vegetal que a cobertura pedológica oferece. Já um solo mais argiloso tende a ter maior resistência a erosão por absorver mais e por possuir forte coesão entre as suas partículas, restando a umidade e outros líquidos como por exemplo fertilizantes ou contaminantes.

Isso se deve também a grande capacidade das argilas no solo, por estar diretamente atrelada a disponibilidade de água, CTC do solo e adsorção de nutrientes. Bertoni e Lombardi Neto (2010) explicam o comportamento dos tipos de argila: a) Argila montmorilonítica- apresentam agregados de solo pouco estáveis em água; b) Ilita- são medianos na estabilidade; c) Argila caulínica- apresentam agregados mais estáveis.

Já a estrutura dos agregados é obtida através da aproximação e arranjo das partículas minerais de argila no solo ocorrendo inicialmente e por fim a estabilização delas. Por isso a ruptura dos agregados pode ser considerada um dos primeiros fatores responsáveis pelo processo de erosão dos solos, após o desencadeamento de rupturas e outros processos na superfície. Sendo de suma importância sua avaliação e conhecimento para saber qual manejo mais adequado e ideal utilizar para cada classe, buscando sempre explorar o melhor potencial produtivo de cada um, adotando as práticas conservacionistas mais apropriadas, respeitando seus limites para que não facilite o transporte das partículas de solo em suspensão.

Enquanto a topografia do terreno leva em consideração todos esses atributos do solo mais suas peculiaridades como a relação das áreas dos relevos planos com o fluxo subsuperficial, (maiores taxas de infiltração hídrica) em decorrência do escoamento superficial, que são os principais agentes responsáveis pela intensificação da atuação dos processos geoquímicos oriundos do intemperismo químico conforme Souza Junior e Demattê (2008) e Queiroz Neto (2011).

3.8. Espectroscopia de infravermelho próximo

A espectroscopia pode ser definida em uma simples acepção como sendo o estudo da interação entre matéria e energia de radiação, onde há a interação dessa energia em função do comprimento de onda ou frequência. Em que cada comprimento de onda apresenta uma quantidade de energia específica de interação e a luz interage de diferentes formas com seus elementos e moléculas dependendo de seu grau de energia.

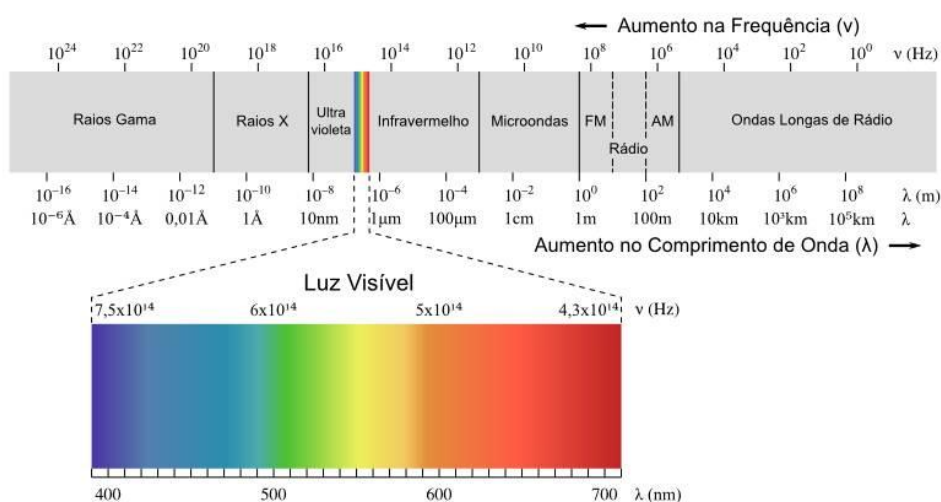
A história da espectroscopia começa em meados dos anos de 1643-1727 com o estudioso Isaac Newton em estudos sobre a luz. Tornando-se a primeira pessoa a desenvolver diversos experimentos e regras matemáticas a respeito da luz. Descobrimos que um feixe de luz branca ao incidir em um prisma, se dividia em um feixe colorido, resultando em um arco-íris.

Outro pesquisador já em 1800 chamado Fredrick William Herschel, em estudos sobre o prisma, demonstrou pela primeira vez a espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR) por meio da projeção da luz branca, medindo o efeito do aquecimento em suas diferentes partes, descobriu que a parte mais quente era o fim do espectro. Após este experimento começou a se desenvolver mais estudos sobre a espectroscopia de infravermelho (DAVIES, 1998). Suas pesquisas sobre tal temática junto ao conhecimento

em matemática e ótica permitiram o aprimoramento dos estudos de Isaac Newton logo mais.

A radiação incidente de espectroscopia vibracional aborda sobre a região posterior a do visível, empregando energia na faixa de $2,65 \times 10^{-19}$ a $7,96 \times 10^{-20}$ equivalente à (780- 2.500 nm) (PASQUINI, 2003). Sendo o espectro eletromagnético corresponde a distribuição da intensidade de radiação eletromagnética relacionado com o seu comprimento de onda ou de frequência, como pode ser visto e compreendido na (Figura 7):

Figura 7- Comprimento de onda do Espectro eletromagnético.



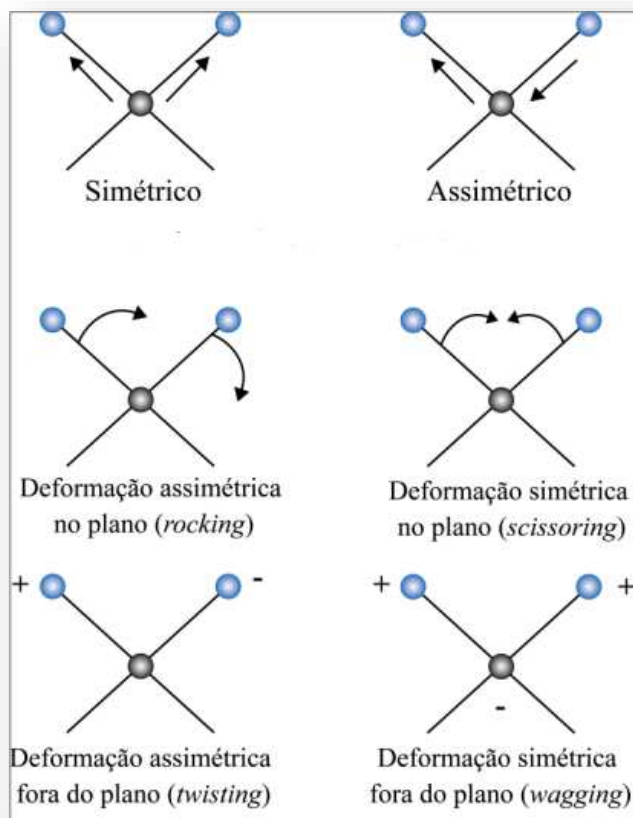
Fonte: Adaptado de Truche, (2011).

O espectro eletromagnético, que equivale ao infravermelho, é composto e dividido em três partes: a do infravermelho (NIR) que abrange a região de 700 nm a 2500 nm, médio (MIR) entre 2500 nm a 25000 nm e o infravermelho distante (FIR) 5000 a 100000 nm. É definido como sendo uma técnica vibracional onde a radiação de energia eletromagnética interage com a amostra por meio do processo de absorção molecular (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009).

Diferente da radiação de um espectrômetro no infravermelho que não realiza transições eletrônicas por pouca energia, a absorção da radiação na região do visível e ultravioleta tem energia para realização dessas transições eletrônicas. Apenas algumas moléculas são capazes de absorver a energia no infravermelho, pois é necessário que haja a alteração dipolo dos movimentos de vibração ou rotação. Esses diferentes movimentos das moléculas originam espectros na região do infravermelho de número de onda de

$12.800 - 10 \text{ cm}^{-1}$. Os movimentos executados pelas moléculas podem ser visualizados na (Figura 8).

Figura 8- Modos vibracionais moleculares. A) Vibrações de estiramento B) Vibrações de deformação angular.



Fonte: Adaptado de Holler; Skoog; Crouch (2009).

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 ligações C-H, O-H, N-H e S-H, sem nenhum pré-tratamento da amostra (PASQUINI, 2003). Empregando energia no comprimento de onda de 700 nm a 2500 nm, faixa a qual são absorvidas propriedades principalmente de materiais orgânicos e inorgânicos nessa região. É uma faixa do espectro eletromagnético em que os átomos das moléculas são excitados de forma em que haja menores estados vibracionais, sem a agitação dos elétrons (MADEIRA NETTO; BAPTISTA, 2000).

O uso da Espectroscopia NIR tem auxiliado variados estudos em diversas áreas e ramos da ciência como na identificação de cédulas falsas (IMPERIO et al., 2015), na indústria de alimentos (RÍOS-REINA et al., 2018), no controle de qualidade na indústria farmacêutica (DA SILVA; DA SILVA PEREIRA, 2017), em diversos ramos da agricultura, na ciência do solo (MOHAMED et al., 2018), na identificação de resíduos biológicos como sangue (PEREIRA et al., 2017), em aplicações forenses como quantificação de cocaína (CORREIA et al., 2018), petroquímica, ambiental, biomédica, na qualidade química dos combustíveis, entre outras.

A espectroscopia no infravermelho próximo pode ser utilizada em amostras sólidas ou líquidas. E dependendo do material sólido que venha a ser trabalhado, deve haver um preparo bem realizado inicialmente para cada amostra como (moagem, peneiramento), pois os espaços vazios entre as partículas podem afetar a leitura do espectro devido a radiação de luz que passará entre eles, influenciando diretamente no resultado da leitura espectral. Podendo também ocasionar uma sobreposição de picos de absorção, dificultando a observação dos comprimentos de onda de interesse.

O uso da ferramenta oferece diversas vantagens por ser uma técnica rápida, não destrutiva, conservando a amostra e não gerando resíduo poluente ao meio ambiente, ao contrário de outras técnicas convencionais de análises em laboratório que utilizam reagentes químicos. Proporcionando dentre outras inúmeras vantagens, bem como na economia financeira e de mão de obra por não utilizar reagente e não necessitar de um alto número de pessoas trabalhando na leitura respectivamente (BROWN et al., 2006; VISCARRA ROSSEL et al., 2006).

Nos últimos anos as técnicas de sensoriamento espectral aliado as geotecnologias e a espacialização de informações têm auxiliado diversos estudos do ramo da ciência do solo, e têm apresentado destaque em estudos de diversas pesquisas como (MENDES et al., 2019; RAMIREZ et al., 2019) grande parte com o uso da região do infravermelho próximo (400-2500 nm) tem sido aplicado na avaliação do solo (BEN- DOR, 2011; VISCARRA ROSSEL et al., 2015).

3.9.1. Espectroscopia aplicada a Ciência do Solo

O uso da espectroscopia de reflectância Vis-NIR está sendo cada dia mais aplicado 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 o potencial desta técnica para estimar características físicas do solo como teores de areia, argila (STENBERG; NORDKVIST; SALOMONSSON, 1995; COZZOLINO; MORÓN, 2003; SORENSEN; DALSGAARD, 2003). Dentre conteúdos de macro e micronutrientes também (DUNN et al., 2002). Na microbiologia na avaliação de biomassa, nitrogênio e outros elementos.

Segundo Farmer & Palmieri (1975), a espectroscopia no infravermelho está entre uma das poucas técnicas capazes 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.

A determinação dos óxidos de Fe por metodologias convencionais de análise de rotina, impossibilita e inviabiliza a estimativa mineralógica em áreas maiores por exemplo, em razão da escassez de mão de obra e necessidade de grande número de amostras, tornando a pesquisa mais onerosa e prolongada no processamento das análises (BAHIA et al., 2015).

Também é visto o uso da ferramenta na avaliação de solos ao longo de topossequência Demattê et al., (2015), na caracterização e classificação pedológica (BELLINASSO et al., 2010). Outras pesquisas também vêm sendo realizadas com o Vis-NIR para a investigação de solos na exploração da técnica na caracterização do solo em diferentes usos (AGUIAR et al., 2021).

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.

É observado além da dificuldade de leituras devido as interefencias nas análises espectroscópicas, a falta de bibliotecas espectrais adequadas, falta de profissionais qualificados em quimiometria, falta de padrões e protocolos do uso da tecnologia em rotina de laboratórios tradicionais, capacidade em métodos espectrais e outros Poppiet et al. (2002). Em relação às variações nos espectros, autores como Romero et al. (2018)

observaram pequenas diferenças entre as medições dos sensores causadas principalmente pela variação da geometria e do equipamento.

De acordo com a Rede Global de Laboratórios de Solos GLOSOLAN (FAO, 2021) e Poppiel et al. (2022), destacaram que essas restrições dificultam a implementação da espectroscopia como técnica de rotina de análise de solos, pois não há atualmente procedimentos operacionais padrão globais para este uso dos espectros.

Para as atuais caracterizações das classes de solos, vemos a carência de profissionais qualificados para a caracterização, delimitação de unidades de solos em topossequências e mapeamentos pedológicos, principalmente em maior detalhamento de escala. A metodologia de comportamento espectral de solos utilizando o Vis-NIR, vem tentando auxiliar de forma mais ágil atividades de levantamento pedológico aliado ao Mapeamento Digital de Solos (MDS) bem como no trabalho de Rizzo et al., (2015).

Nos estudos de caracterização pedológica por meio da espectroscopia no Brasil, 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).

Em 2014 foi lançado o projeto “Biblioteca Espectral de Solos do Brasil”¹ (BESB) por pesquisadores brasileiros, que esteve em crescimento através de parcerias, a fim 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 desenvolvimento na comunidade científica nacional e criar um grupo de pesquisa em espectroscopia a nível nacional.

Sendo assim, as bibliotecas espectrais de solos de cada país podem compor bancos globais como a biblioteca espectral global de solos mundial de Viscarra Rossel, et al., (2016), atualmente o maior e mais diversificado banco de dados desse tipo. Com informações importantes codificadas nos espectros por descrever sua composição estando associada à cobertura do solo sua distribuição geográfica global, que atua como um substituto para a variabilidade climática global. Também exibe-se a utilidade dos espectros globais para prever os atributos mencionados anteriormente como carbono orgânico, atributos físicos (areia, silte e argila), conteúdo de ferro, etc, pH e entre outros.

Posteriormente foi criado o Programa Brasileiro de Análise de Solo via Espectroscopia (ProBASE), um programa de cursos que tem o objetivo oferecer subsídios dos fundamentos dos sensores na análise de solo e planta. Abordando a análise de solos em laboratório, até mesmo o uso de sensores em campo, drone e satélite, trabalhando com temas de manejo e aplicações nas áreas agrícolas e ambientais.

Este artigo mostra a importância de encontrar nas informações locais dos dados espectrais, relações para produzir previsões mais precisas das propriedades do solo, que possam alimentar modelos espectroscópicos robustos derivados de um conjunto de dados de atributos do solo, que pode servir para facilitar a pesquisa em futuras escalas regionais e globais.

4. ARTIGO I

POTENCIAL QUALITATIVO DE ASSINATURAS ESPECTRAIS (VIS-NIR) NA CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS MUITO ARGILOSOS NO NORTE DO PARANÁ

QUALITATIVE POTENTIAL OF SPECTRAL SIGNATURES (VIS-NIR) IN THE CHARACTERIZATION OF VERY CLAY SOILS IN NORTHERN PARANÁ

Resumo: Trabalhos de identificação e classificação dos solos são cada vez mais importantes em estudos de dinâmica da paisagem e também para a aplicação de usos adequados. A configuração do relevo altera a intensidade de intemperismo do solo e o transporte de sedimentos erodindo a superfície, acelerado por seu manejo inadequado e falta de práticas conservacionistas. O objetivo do presente estudo foi avaliar o potencial da análise qualitativa da espectroscopia Vis-NIR na identificação de solos oriundos de basalto as variações de seus atributos e sua relação com a paisagem. Foram verificados nas áreas de estudo os atributos químicos, físicos, mineralógicos e como os mesmos influenciam a avaliação qualitativa das assinaturas espectrais. As trincheiras e perfis foram descritos e classificados de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 2018, com banco amostral avaliando três diferentes áreas de basalto do Grupo Serra Geral com (n=92) amostras. Todas as amostras foram coletadas das camadas 60-80 cm em áreas sob usos atuais de agricultura e pastagem. Foi identificado na área 01 no município de Bela Vista do Paraíso- Paraná, sob relevo plano a suave ondulado, em um banco de amostras (n=58), Nitossolos Vermelho eutroféricos (Nvef) com maiores teores de SiO₂ do que a área 02 com menores valores. Caracterizada no município de Londrina- Paraná, também sob relevo plano a suave ondulado, em um banco amostral de (n=23), com Latossolos Vermelho eutroféricos (Lvef) classe mais intemperizada. Enquanto a área 03, foi caracterizada em relevo plano a ondulado com Latossolos Vermelho distroférico típico (LVdf), Nitossolos Vermelhos eutroféricos típicos (Nvef), Nitossolos Vermelhos distroféricos latossólicos (NVdf), Nitossolos Vermelhos eutroféricos latossólicos (Nvef) e Cambissolo Háplico Tb eutroférico (CXbef). Com banco amostral de (n=11) de amostras e teores de SiO₂^{as} mais elevadas que as outras áreas. Os resultados permitiram inferir que as assinaturas espectrais das três áreas foram comparadas e apresentaram picos em 1400, 1900, 2100, 2200 e próximos a 2400 nm, coerentes com solos de basalto intemperizados da região norte do Paraná. As assinaturas espectrais no Vis-NIR revelaram que a posição na paisagem foi mais expressiva em separar as assinaturas do que a classificação dos solos no potencial qualitativo quando avaliado as áreas individualmente. Quando comparadas as propriedades entre si, a área 03 apresentou certo distanciamento das outras áreas, podendo estar relacionado à presença de classes menos intemperizadas na vertente como os Cambissolos. Estes comportamentos podem estar atrelados ao grau de intemperismo dos solos.

Palavras-Chave: Caracterização de solos; assinaturas espectrais; Vis-NIR.

Abstract: Soil identification and classification work is increasingly important in studies of landscape dynamics and also for the application of appropriate uses. The relief configuration alters the intensity of soil weathering and the transport of sediments eroding the surface, accelerated by inadequate management and lack of conservation practices. The objective of the present study was to evaluate the potential of qualitative analysis of Vis-NIR spectroscopy in identifying basalt soils, variations in their attributes and their relationship with the landscape. Chemical, physical and mineralogical attributes were verified in the study areas and how they influence the qualitative assessment of spectral signatures. The trenches and profiles were described and classified according to the criteria of the Brazilian Soil Classification System, 2018, with a sample bank evaluating three different basalt areas of the Serra Geral Group with (n=92) samples. All samples were collected from the 60-80 cm layers in areas under current agricultural and pasture uses. It was identified in area 01 in the municipality of Bela Vista do Paraíso- Paraná, under flat to gently wavy relief, in a sample bank (n=58), eutrophic Red Nitisols (Nvef) with higher SiO₂ contents than area 02 with lower values. Characterized in the municipality of Londrina- Paraná, also under flat to gently wavy relief, in a sample bank of (n=23), with eutrophic Red Oxisols (Lvef) more weathered class. While area 03 was characterized in flat to wavy relief with typical dystroferic Red Nitisols (LVdf), typical eutropherric Red Nitisols (NVef), latosolic dystroferic Red Nitisols (NVdf), latosolic eutropherric Red Nitisols (NVef) and eutropherric Tb Haplic Cambisol (CXbef). With a sample bank of (n=11) samples and SiO₂ levels higher than other areas. The results allowed us to infer that the spectral signatures of the three areas were compared and presented peaks at 1400, 1900, 2100, 2200 and close to 2400 nm, consistent with weathered basalt soils in the northern region of Paraná. The spectral signatures in Vis-NIR revealed that the position in the landscape was more significant in separating the signatures than the classification of the soils in qualitative potential when evaluating the areas individually. When comparing the properties to each other, area 03 showed a certain distance from the other areas, which may be related to the presence of less weathered classes on the slope, such as Cambisols. These behaviors may be linked to the degree of soil weathering.

Keywords: Soil characterization; spectral signatures; Vis-NIR.

5.1. 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 (CASSETI, 1999) ademais, os solos desempenham papel fundamental para a conservação da água e do meio ambiente (LEPSH., 2002).

Uma forma de se conhecer mais a fundo os solos, é através de sua classificação. No entanto, há a necessidade de profissionais qualificados para descrever, mapear com

maior detalhe e acurácia para se obter interpretações aprofundadas sobre as características de formação e relação solo- paisagem.

Em busca de inovação, técnicas mais rápidas de análises de solo e informações mais precisas e eficientes estão sendo geradas nas últimas décadas. Os métodos convencionais de análises de solo, muitas vezes são nocivos ao meio ambiente e onerosos para se obter informações em grandes quantidades de pontos de uma área, além da necessidade de densa mão de obra (BAHIA et al., 2015; SILVA et al., 2020a).

Para o mapeamento de solo, monitoramento e modelagem, a quantidade de amostras necessárias é elevada, logo, para uma melhor precisão dos mapas pedológicos. O uso da reflectância espectral como técnica para ter acesso aos atributos do solo exhibe relevância em sua agilidade e facilidade na obtenção dessas informações (VISCARRA ROSSEL et al., 2009). Além da conservação da amostra, o não uso de reagentes químicos constitui um método não destrutivo (BROWN et al., 2006; VISCARRA ROSSEL et al., 2006).

Na ciência do solo, a espectroscopia Vis-NIR tem o potencial de auxiliar na caracterização e descrição do solo qualitativa e quantitativamente, com eficácia. Alguns trabalhos já foram desenvolvidos na faixa do visível para caracterização física Franceschini et al., (2013), química (OLIVEIRA et al., 2013; FELIX et al., 2016; ULUSOY et al., 2016; DOTTO et al., 2017; DEMATTÊ et al., 2019; DE MASTRO et al., 2020), mineralógica (VENDRAME et al., 2012; RAMAROSON et al., 2018).

Bem como, em alguns trabalhos em biologia do solo (TERHOEVEN-URSELMANS et al., 2008; BARTHÈS et al., 2006) na predição de carbono orgânico Dotto et al., (2018), na estimativa de matéria orgânica Hong et al., (2019) e óxidos de Ferro (Ramos et al., 2020), na avaliação de solos ao longo de topossequência, Demattê et al., (2015), no auxílio da caracterização e classificação pedológica (BELLINASO et al., 2010; BEN-DOR, E. 2011; AGUIAR et al., 2021).

Os solos desenvolvidos nas regiões tropicais, de intensa intemperização química, tendem a apresentar alta concentração de óxidos de Fe e Al e atributos associados à perda de sílica Kleber et al., (2007). De acordo com o SiBCS (2018) a classe de solo que melhor representa essas características é a dos Latossolos ou Oxisols SoilSurvey Staff, (1999). Os solos desenvolvidos de basalto, apresentam elevados teores de minerais na fração argila que exercem influências significativas no comportamento físico-químico do solo. Assim o conhecimento minucioso do comportamento dos atributos desses solos,

possibilitam a divisão de áreas homogêneas na paisagem devido suas dependências espaciais do relevo.

Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o potencial da análise qualitativa da espectroscopia Vis-NIR na identificação de classes oriundas de basalto e as variações de seus atributos e sua relação com a paisagem. Ainda, verificar nas três áreas de estudo situadas em Bela Vista do Paraíso e Londrina no estado do Paraná, os atributos químicos, físicos, mineralógicos, como os mesmos influenciam a avaliação qualitativa das assinaturas espectrais e suas relações.

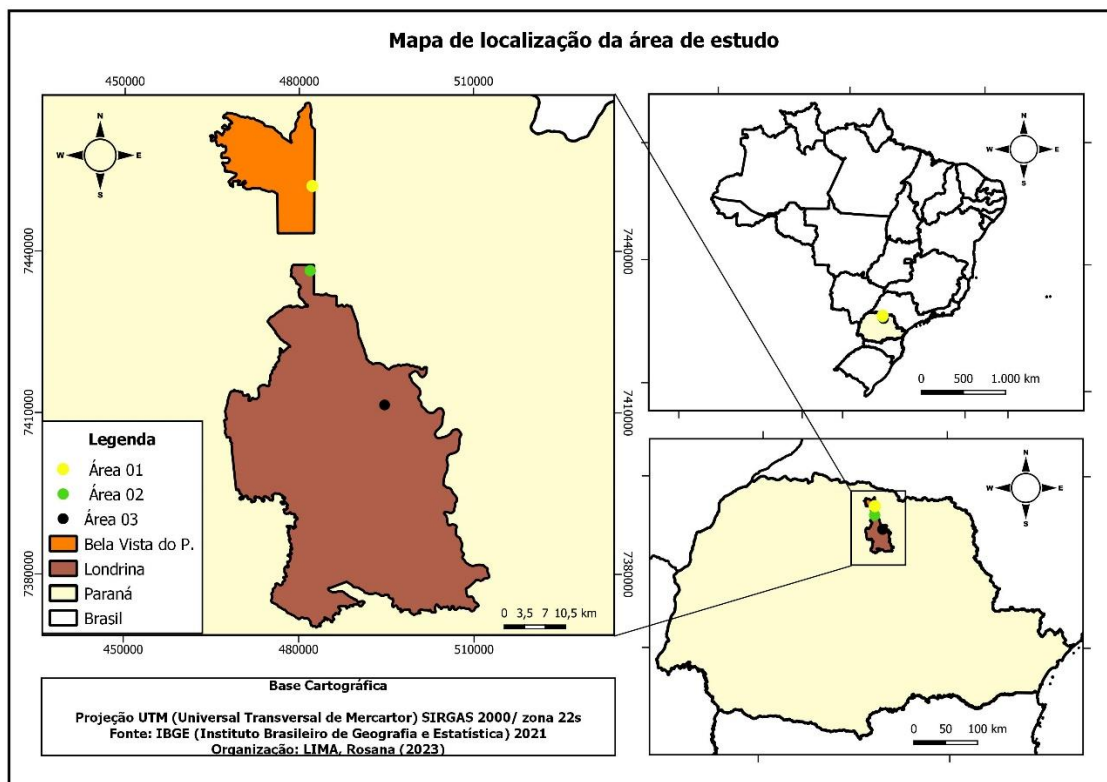
6.2. MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1. Descrição da área de estudo

As áreas de estudo se localizam no norte do Estado do Paraná, em geologia predominantemente de basalto do Grupo Serra Geral. A área 01 está localizada no Município de Bela Vista do Paraíso, Paraná, entre as coordenadas 23°03'55" de latitude sul e 51°13'25" de longitude oeste. A área 02 está localizada em Londrina, Paraná em 23°18'37" de latitude sul e 51°09'46" de longitude oeste, como pode ser verificado na (Figura 9). A área 03, denominada Fazenda Carranca, também está situada em Londrina, Paraná em 23°24'59,36" de latitude sul e 51°02'22,22" de longitude oeste.

Na área 01 predominaram Nitossolos Vermelhos eutroféricos (Nvef) utilizados predominantemente para o cultivo de soja no verão e milho e trigo no inverno, sob relevo plano a suave ondulado. Na área 02 predominam os Nitossolos Vermelhos eutroféricos (Nvef) os os Latossolos Vermelhos eutroféricos (Lvef). Na área 03 também situada em Londrina, há a ocorrência de Latossolos Vermelhos distroféricos típicos (LVdf), Nitossolos Vermelhos eutroféricos típicos (NVef), Nitossolos Vermelhos distroféricos latossólicos (NVdf), Nitossolos Vermelhos eutroféricos latossólicos (NVef) e Cambissolo Háplico Tb eutroférico (CXbef).

Figura 9- Localização das áreas de estudo nos municípios de Bela Vista do Paraíso e Londrina, Estado do Paraná.



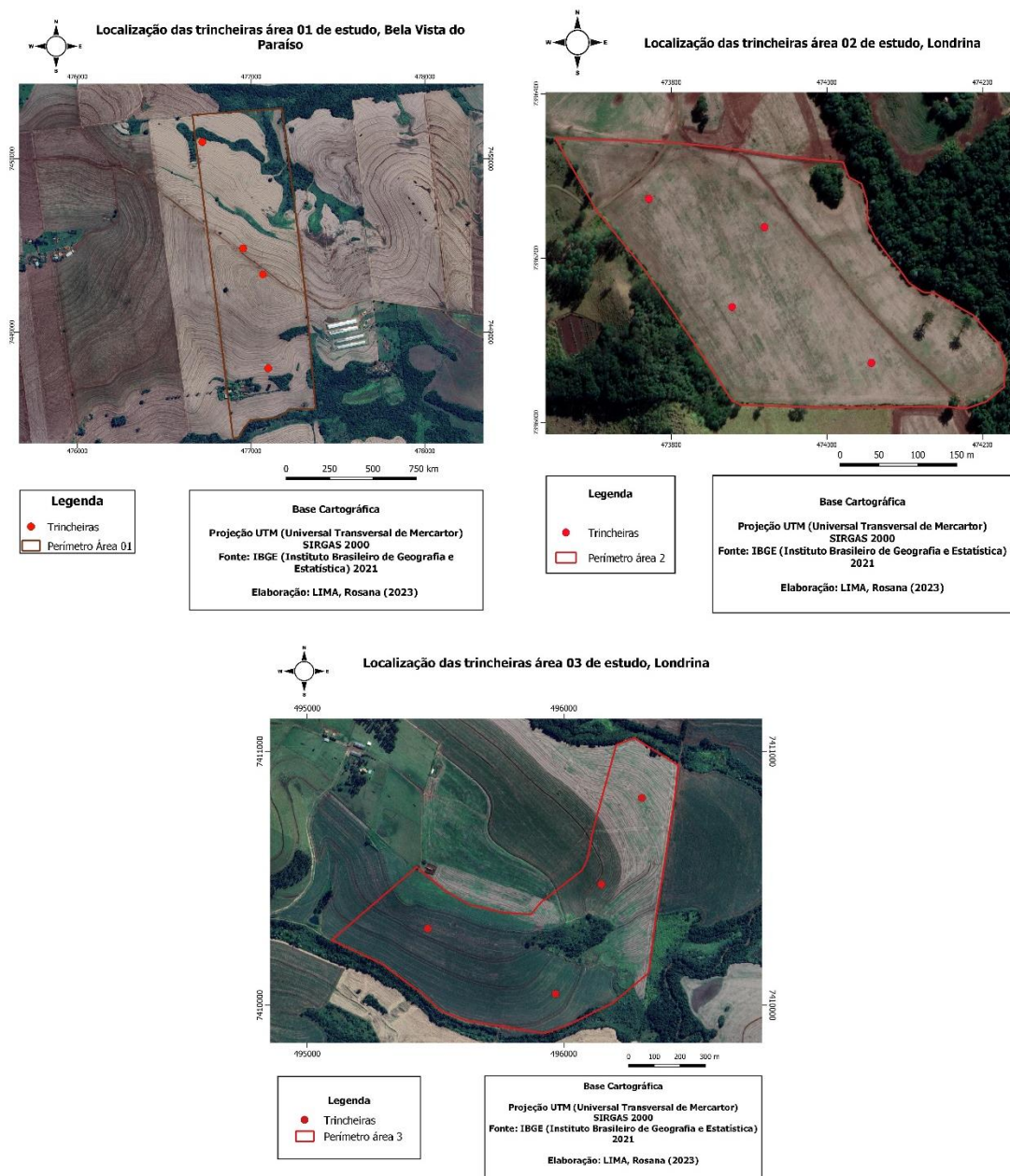
Fonte: os autores, (2023).

Nas três propriedades de estudo foram realizadas trincheiras para identificação das classes de solo das áreas 01, 02 e 03 conforme pode ser visto na (Figura 10) e suas localizações nas respectivas paisagens de estudo.

Os municípios de estudo encontram-se situados geomorfologicamente, de acordo com Santos et al., (2006), entre o Planalto de Londrina e o Planalto de Maringá, ambos no Terceiro Planalto Paranaense, correspondente a um derrame no mesozoico de rochas eruptivas básicas associado a rochas areníticas do Grupo Caiuá.

Os municípios de estudo encontram-se situados geomorfologicamente, de acordo com Santos et al., (2006), entre o Planalto de Londrina e o Planalto de Maringá, ambos no Terceiro Planalto Paranaense, correspondente a um derrame no mesozoico de rochas eruptivas básicas associado a rochas areníticas do Grupo Caiuá.

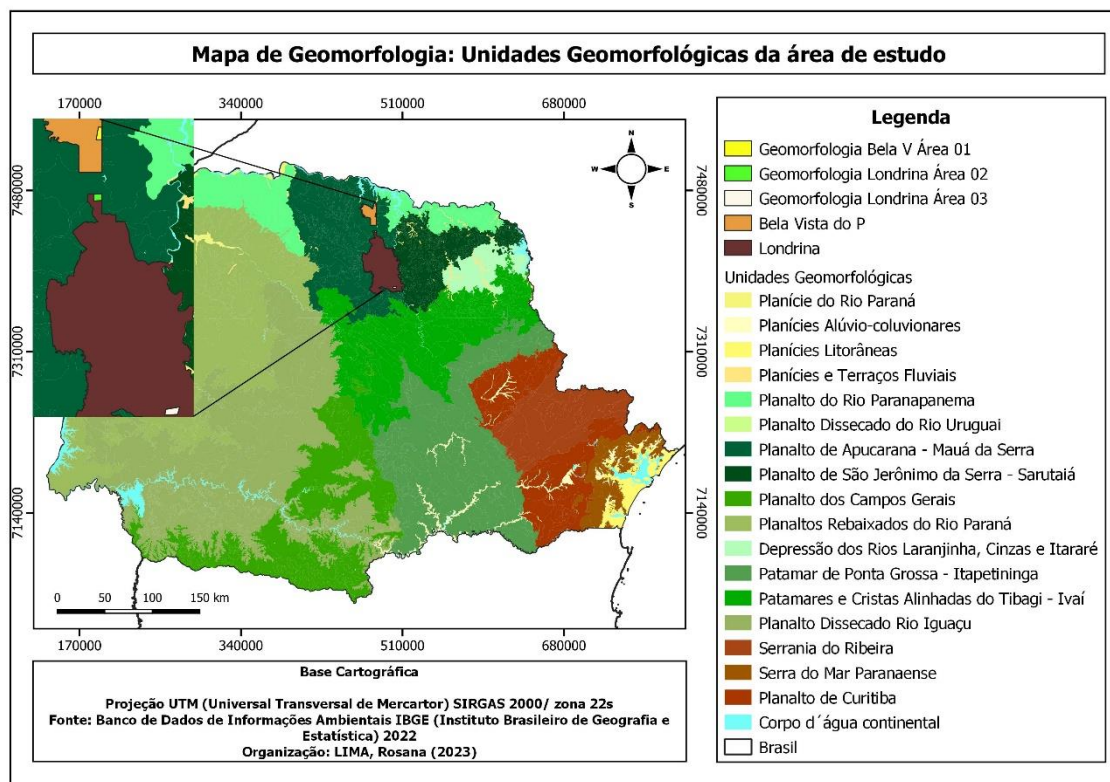
Figura 10- Localização das Trincheiras nas áreas 01, 02 e 03 de estudo.



Fonte: os autores, (2023).

A geomorfologia do município de Bela Vista do Paraíso e de Londrina nas áreas de estudo se enquadram no Planalto de Apucarana, sem muita variação nas formas do relevo, apresentando bastante homogeneidade. O Planalto de Apucarana apresenta dissecação alta, com altitudes variando de 300 m e 920 m, predominando formas de topos alongados, vertentes convexas e vales em “V”, concordando com as planícies e terraços fluviais que, no Paraná, ocorrem em praticamente todas as unidades morfoesculturais do Cinturão Orogênico do Atlântico e da Bacia Sedimentar do Paraná, conforme (Figura 11):

Figura 11- Mapa Geomorfológico das áreas de estudo, no Estado do Paraná.



Fonte: os autores, (2023).

Os municípios estão assentados sobre manto geológico de rochas magmáticas extrusivas resultante em basaltos maciços, amiglóide e afaníticos, do Grupo Serra Geral.

De acordo com Maack (1947) o Terceiro Planalto Paranaense ou Planalto de Guarapuava apresenta basaltos constituintes de menor resistência ao intemperismo físico e químico, que fomentam processos morfoesculturantes na região.

6.2.2. Coleta das amostras e análise químicas e mineralógicas

Foram coletadas um total de 89 amostras simples de solo de forma aleatória, na camada 60 - 80 cm devido a ser a camada que diagnostifica as classes pedológicas, com auxílio de um trado holandês (material inoxidável), sendo 57 da área 01, 21 da área 02 e 11 da área 03.

Após a coleta, as amostras foram secas (TFSA) e peneiradas em peneiras de malha 2,0 mm, para realização das análises granulométricas (Figura-12), de acordo com Claessen (1997). Foram utilizadas garrafas de plástico contendo 20 g de solo e 100 mL de NaOH 1 mol L⁻¹, estas foram agitadas por 16 horas a 300 rpm. O conteúdo da garrafa

foi transferido para uma proveta de 1 L. A concentração na suspensão das frações de argila e silte foram determinadas por decantação, após o tempo de sedimentação calculado pela Lei de Stokes.

Figura 12- Análise granulométrica:



Fonte: os autores, (2023).

Foram analisados o carbono orgânico Walkley & Black (CO), fósforo disponível (P), potássio (K^+) extraído com Mehlich-1, cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alumínio (Al^{3+}) trocáveis, por meio do extrator KCl, pH em $CaCl_2$ e acidez potencial, descritos em Teixeira et al., (2017). Após as determinações foram estimadas a capacidade de troca de cátions (CTC pH 7,0), saturação por bases (V%) e soma de bases (SB) (Pavan, 1992).

Todos os cálculos foram realizados de acordo com o descrito em Reatto et al. (2008).

A determinação dos teores de $Fe_2O_3^{as}$, $Al_2O_3^{as}$, SiO_2^{as} foram realizadas através do ataque sulfúrico (TEIXEIRA; CAMPOS; FONTANA, 2017). A partir dos resultados adquiridos por esse método, foram calculados os teores de caulinita (Ct^{as}) e gibbsita (Gb^{as}). Seguidas das razões $RKGb^{as}$, e as relações moleculares K_i e K_r ($k_i = 1,7 \times SiO_2/Al_2O_3$; $k_r = 1,7 \times SiO_2 / [Al_2O_3 + (0,64 \times Fe_2O_3)]$).

6.2.3. Coleta dos Espectros Vis-NIR

As amostras de TFSA destorroadas e tamisadas em peneira a 2,0 mm foram colocadas em estufa a 40°C por um período de 12 horas para se obter certa homogeneidade de umidade na leitura dos espectros (Figura 13).

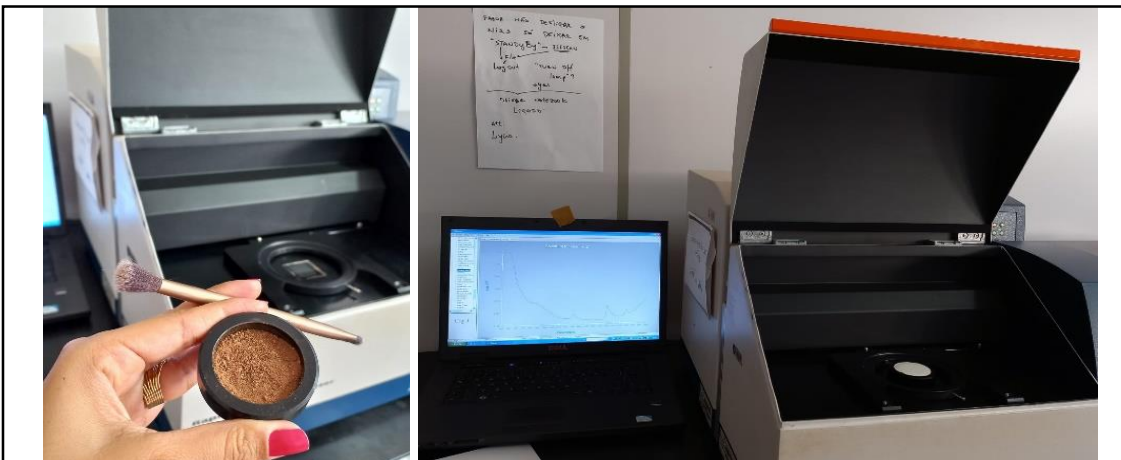
Figura 13- Preparo inicial da amostra:



Fonte: os autores, (2023).

Posteriormente transferiu-se aproximadamente 5,0 g de TFSA para cubetas com lentes de quartzo de 5 cm de diâmetro, onde acoplou-as ao espectrômetro para leitura, (Figura 14).

Figura 14- Coleta dos espectros realizada no espectrômetro modelo FOSS NIR SYSTEM XDS (Foss NIRSystems, Silver Spring, MD, USA) com banda de reflectância 400 à 2500nm, localizado no Laboratório de Apoio à Pesquisa Agropecuária (LAPA) da UEL.



Fonte: os autores, (2023).

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. As leituras foram realizadas com intervalos a cada 2 nm. Para melhor representar as correlações com os componentes do solo, os dados espectrais obtidos no modo de reflectância difusa foram convertidos para absorvância como logaritmo do inverso da reflectância [$\log (1/R)$].

Os espectros foram extraídos no software WinISI II v1.50 e analisados no software Unscrambler X versão 10.2 (CAMO Software international). Por conseguinte, construiu-se gráficos com a leitura das assinaturas espectrais de cada perfil e comparou-as entre ambas. Onde realizou uma avaliação descritiva das curvas espectrais avaliando as feições de absorção e intensidade de reflectância.

6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1. Granulometria e atributos químicos dos solos

Os resultados de granulometria e os dados químicos de referência das amostras estão apresentados na Tabela 1. A amostragem foi realizada apenas nas camadas 60-80 cm de profundidade, com o intuito de avaliar, principalmente, a influência das variações de textura e mineralogia, na formação dos espectros.

Os teores médios de argila da área 01 variaram de 315 a 855 g kg⁻¹ caracterizando solos de textura média a muito argilosa, condizentes com solos de basalto, e próximos aos valores encontrados por Gonçalves et al., (2013) em solos de basalto de Bela Vista do Paraíso, Paraná. Embora os resultados tenham apresentado grande amplitude de variação, não foi observado nenhuma tendência de aumento ou diminuição de argila ao longo da pedossequência.

Na área 02 os teores de argila variaram de 445 a 805 g kg⁻¹ conferindo solos de textura argilosa a muito argilosa. Já, na área 03, os teores de argila variaram entre 470 e 835 g kg⁻¹, havendo um aumento de argila do topo para o sopé, como pode ser verificado em Lima et al. (2019).

Os teores de matéria orgânica encontrados na área 01 também apresentaram grande amplitude de variação, entre 1,56 e 12,47g kg⁻¹. Na área 02 a amplitude de variação ficou entre 5,45 e 15,58g kg⁻¹, enquanto na área 03 os valores verificados ficaram entre 1,56 e 7,79 g kg⁻¹. Os baixos valores de matéria orgânica já eram esperados, pois é conhecido que os maiores valores deste componente são encontrados na superfície dos solos. A matéria orgânica influencia diversos atributos essenciais como aeração, agregação das partículas, estruturação, infiltração e absorção de água, proporcionando maior resistência ao solo (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Na área 01, a variação de valores de V% ficou entre 33,64 e 73,58% e os teores de Fe₂O₃ entre 228,53 e 446,58g kg⁻¹ como pode ser observado na tabela 5. A maior parte

dos solos (n=47) foi caracterizados como eutroféricos, enquanto 11 amostras exibiram valores de V% abaixo de 50% e então distroféricos. Para ser considerados eutroféricos os solos devem exibir V% acima de 50% e Fe_2O_3 entre 180 a $< 360 \text{ g kg}^{-1}$ (SIBCS, 2018).

Para a área 02 obteve-se variação de valores de V% de 22,99 a 74,39 e Fe_2O_3 entre 201,71 a $280,51 \text{ g kg}^{-1}$ (tabela 6). Para a área 03, os valores de V% foram de 38 a 59 e Fe_2O_3 entre 206 a 274 g kg^{-1} , sendo a maioria (95%) também eutroféricos.

As médias de Fe_2O_3 foram de 266 g kg^{-1} , 238 g kg^{-1} e 250 g kg^{-1} , para as áreas 01, 02 e 03, respectivamente, estando congruentes com as classes de solo encontradas.

Tabela 5- Granulometria e atributos químicos dos solos (60-80 cm) da área 01.

Amostra	Argila	Silte	Areia	H+Al	MO	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	SB	CTC	V
	-----g kg ⁻¹ -----			g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		-----cmolc kg ⁻¹ -----					%
1	565	340	95	4,28	5,37	0,06	0,01	7,69	1,14	0,03	8,83	13,11	67,36
2	765	150	85	3,42	10,75	0,83	0,01	8,15	0,92	0,01	9,08	12,50	72,64
3	855	60	85	4,96	2,69	1,38	0,09	4,42	1,73	0,00	6,24	11,20	55,72
4	805	150	45	5,76	9,40	5,03	0,14	5,04	1,73	0,04	6,91	12,67	54,53
5	775	150	75	4,28	6,72	1,27	0,04	7,60	1,38	0,00	9,02	13,30	67,82
6	810	80	110	3,68	12,09	0,99	0,18	5,88	1,64	0,00	7,70	11,38	67,67
7	765	130	105	3,18	13,43	2,04	0,42	7,12	1,31	0,01	8,86	12,04	73,58
8	740	135	125	4,28	20,15	4,86	0,17	7,97	1,47	0,00	9,61	13,89	69,19
9	750	65	185	4,96	21,49	3,65	0,14	7,52	1,42	0,00	9,09	14,05	64,70
10	695	235	70	4,28	18,81	6,19	0,36	8,61	1,45	0,00	10,42	14,70	70,88
11	610	270	120	5,35	12,09	1,82	0,04	7,56	0,87	0,04	8,47	13,82	61,28
12	725	185	90	3,97	9,40	0,22	0,03	5,67	0,72	0,06	6,42	10,39	61,78
13	690	230	80	4,28	4,03	1,22	0,08	6,80	1,36	0,01	8,24	12,52	65,83
14	705	215	80	4,28	18,81	7,73	0,36	8,34	1,77	0,01	10,47	14,75	70,99
15	815	115	70	5,35	8,06	0,55	0,03	6,57	1,41	0,08	8,02	13,37	59,98
16	705	190	105	4,61	12,09	0,72	0,12	8,99	1,34	0,01	10,45	15,06	69,39
17	730	130	140	3,68	16,12	1,16	0,42	5,93	1,15	0,01	7,50	11,18	67,08
18	740	160	100	3,97	13,43	2,93	0,19	5,35	1,16	0,03	6,70	10,67	62,80
19	655	230	115	3,97	12,09	0,06	0,08	6,43	0,91	0,02	7,42	11,39	65,14
20	745	250	5	3,97	10,75	0,66	0,02	6,00	0,78	0,00	6,80	10,77	63,14
21	795	115	90	5,35	10,75	0,66	0,01	4,13	0,94	0,05	5,08	10,43	48,72
22	800	135	65	3,68	9,40	39,12	0,01	5,45	0,80	0,00	6,26	9,94	62,96
23	755	140	105	2,74	10,75	1,22	0,02	4,16	0,59	0,02	4,77	7,51	63,53
24	775	125	100	5,35	12,09	0,44	0,01	4,76	0,83	0,02	5,61	10,96	51,17

25	750	150	100	4,96	10,75	3,43	0,28	5,47	1,19	0,00	6,94	11,90	58,31
26	745	80	175	3,18	20,15	2,04	0,21	6,04	1,38	0,03	7,62	10,80	70,56
27	705	95	200	4,28	10,75	1,27	0,11	5,05	0,89	0,03	6,05	10,33	58,56
28	680	140	180	4,61	10,75	2,62	0,11	5,17	1,01	0,01	6,30	10,91	57,75
29	725	160	115	4,61	10,75	3,02	0,06	5,95	0,62	0,03	6,63	11,24	59,00
30	840	100	60	5,35	9,40	2,62	0,13	5,13	1,23	0,02	6,49	11,84	54,80
31	760	100	140	3,97	10,75	2,01	0,06	6,38	1,03	0,01	7,47	11,44	65,29
32	750	55	195	4,28	5,37	1,07	0,09	7,52	1,41	0,03	9,02	13,30	67,83
33	705	150	145	3,97	6,72	2,08	0,09	6,82	1,50	0,02	8,41	12,38	67,93
34	765	95	140	3,97	5,37	0,94	0,08	7,87	1,59	0,01	9,53	13,50	70,59
35	700	145	155	4,96	9,40	2,82	0,14	7,44	1,35	0,02	8,93	13,89	64,28
36	780	80	140	4,28	10,75	0,94	0,01	7,18	1,22	0,02	8,41	12,69	66,27
37	790	55	155	4,28	5,37	1,21	0,04	5,93	1,03	0,04	7,00	11,28	62,07
38	830	80	90	4,96	5,37	1,41	0,03	5,20	1,18	0,01	6,40	11,36	56,33
39	715	115	170	3,68	9,40	1,88	0,11	4,15	0,84	0,01	5,10	8,78	58,10
40	760	60	180	4,96	4,03	0,67	0,03	2,86	0,88	0,07	3,77	8,73	43,19
41	725	105	170	5,35	5,37	0,67	0,01	2,09	0,70	0,06	2,80	8,15	34,35
42	745	80	175	4,96	8,06	1,74	0,03	1,92	0,57	0,08	2,51	7,47	33,64
43	745	55	200	3,68	8,06	1,48	0,01	3,36	0,74	0,01	4,11	7,79	52,77
44	705	105	190	4,28	12,09	2,95	0,03	3,23	0,76	0,06	4,02	8,30	48,40
45	775	80	145	4,61	6,72	2,15	0,03	2,84	0,89	0,05	3,76	8,37	44,95
46	750	85	165	4,61	9,40	1,61	0,01	1,87	0,64	0,05	2,52	7,13	35,34
47	700	155	145	3,68	8,06	2,21	0,03	2,86	0,57	0,01	3,45	7,13	48,40
48	705	140	155	4,28	8,06	1,01	0,03	2,65	0,95	0,01	3,62	7,90	45,83
49	755	55	190	4,61	17,46	1,54	0,03	3,67	0,57	0,03	4,27	8,88	48,06
50	740	115	145	4,96	10,75	1,81	0,03	2,58	0,67	0,03	3,28	8,24	39,83
51	705	130	165	3,68	9,40	1,21	0,04	5,72	0,57	0,00	6,33	10,01	63,22
52	735	140	125	3,68	8,06	1,81	0,05	5,58	0,35	0,02	5,98	9,66	61,89
53	730	125	145	3,97	13,43	2,15	0,05	5,38	0,48	0,07	5,91	9,88	59,81
54	315	515	170	3,42	13,43	3,02	0,41	5,81	0,71	0,04	6,92	10,34	66,93

55	725	100	175	4,61	16,12	3,56	0,09	6,35	0,73	0,02	7,16	11,77	60,83
56	700	120	180	5,76	10,75	2,21	0,05	4,31	0,49	0,24	4,84	10,60	45,68
57	715	175	110	4,28	13,43	3,36	0,04	6,57	0,40	0,07	7,01	11,29	62,08
58	730	120	150	4,28	6,72	2,55	0,04	5,89	0,49	0,08	6,42	10,70	59,99
média	732	138	129	4,36	10,54	2,62	0,10	5,57	1,01	0,03	6,67	11,03	59,15
mínimo	315	55	5	2,74	2,69	0,06	0,01	1,87	0,35	0	2,51	7,13	33,64
máximo	855	515	200	5,76	21,49	39,12	0,42	8,99	1,77	0,24	10,4	15,06	73,58

Fonte: os autores, (2023).

Tabela 6- Granulometria e atributos químicos dos solos (60-80 cm) da área 02.

Amostra	Argila	Silte	Areia	H+Al	MO	P	K	Ca	Mg	Al	SB	CTC	V
	g kg ⁻¹			cmolc kg ⁻¹				cmolc kg ⁻¹					%
1	650	25	325	4,95	9,40	2,45	0,09	2,13	0,35	0,06	2,57	7,52	34,15
2	805	55	140	4,96	12,09	2,13	0,40	3,05	0,41	0,02	3,86	8,82	43,75
3	575	145	280	4,96	13,43	2,19	0,41	2,85	0,31	0,07	3,58	8,54	41,90
4	620	105	275	4,96	18,81	3,03	0,24	4,31	0,45	0,23	5,01	9,97	50,25
5	715	175	110	4,96	24,18	1,87	2,95	6,08	0,58	0,06	9,61	14,57	65,96
6	760	145	95	4,96	18,81	2,84	0,76	4,51	0,40	0,02	5,66	10,62	53,32
7	445	130	425	4,96	21,49	2,77	0,59	4,15	0,34	0,03	5,08	10,04	50,58
8	565	105	330	6,69	17,46	2,97	0,22	2,75	0,34	0,17	3,31	10,00	33,08
9	735	220	45	5,76	14,78	5,61	0,61	4,81	0,57	0,07	5,99	11,75	50,98
10	620	160	220	5,35	18,81	0,52	0,43	3,75	0,61	0,09	4,78	10,13	47,20
11	705	245	50	6,21	13,43	1,10	0,39	4,07	0,45	0,07	4,91	11,12	44,13
12	725	160	115	5,76	16,12	0,90	0,14	1,34	0,24	0,10	1,72	7,48	22,99
13	710	185	105	6,21	24,18	0,13	0,37	4,83	1,50	0,09	6,70	12,91	51,91
14	790	165	45	4,96	14,78	1,48	0,10	4,72	1,22	0,06	6,04	11,00	54,90

15	660	220	120	4,96	17,46	0,97	0,43	9,35	2,08	0,09	11,86	16,82	70,50
16	595	175	230	4,61	14,78	1,10	0,31	11,11	1,98	0,04	13,39	18,00	74,39
17	665	185	150	5,35	10,75	0,32	0,14	8,41	4,36	0,06	12,90	18,25	70,68
18	530	275	195	5,76	26,87	0,52	0,47	8,11	3,87	0,04	12,44	18,20	68,36
19	795	110	95	6,21	12,09	0,97	0,24	6,00	1,90	0,12	8,14	14,35	56,74
20	725	165	110	4,96	17,46	0,52	0,51	6,45	1,59	0,07	8,54	13,50	63,26
21	710	115	175	5,35	13,43	0,97	0,60	12,37	1,90	0,04	14,88	20,23	73,55
22	715	135	150	4,96	13,43	2,45	0,57	7,29	1,48	0,04	9,34	14,30	65,31
23	673	154	172	5,36	16,55	1,72	0,50	5,57	1,22	0,07	7,29	12,64	53,99
média	661	89	248	5,15	12,97	2,08	0,29	3,85	0,78	0,06	4,93	10,08	44,07
mínimo	445	25	45	4,61	9,4	0,13	0,09	1,34	0,24	0,02	1,72	7,48	22,99
máximo	805	275	425	6,69	26,87	5,61	2,95	12,3	4,36	0,23	14,8	20,23	74,39

Fonte: os autores, (2023).

Tabela 7- Granulometria, atributos químicos e mineralógicos dos solos da área 03.

Amostra	Atributos do solo													
	Argila	Silte	Areia	pH		M.O.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC	V	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
	-----g kg ⁻¹ -----			CaCl ₂	H ⁺ +Al ³⁺	gkg ⁻¹		-----cmol _c kg ⁻¹ -----				%		gkg ⁻¹
1	515	215	270	6,0	6,6	5,45	2,23	1,55	0,39	4,16	10,84	38	244	256
2	560	195	245	5,6	4,2	6,23	2,78	1,42	0,31	4,52	8,80	51	245	256
3	550	195	255	5,5	4,6	6,23	3,99	1,57	0,29	5,85	10,46	55	214	274
4	470	240	290	5,7	4,2	7,79	3,00	1,30	0,17	4,47	8,75	51	250	245
5	600	145	255	5,0	5,3	1,56	2,92	2,21	0,02	5,14	10,49	49	258	225
6	605	150	245	5,6	4,2	7,01	4,23	1,50	0,55	6,28	10,56	59	301	224
7	745	155	100	5,6	4,2	6,23	3,43	1,50	0,02	4,94	9,22	53	300	229
8	835	100	65	5,5	3,9	4,68	3,59	1,49	0,00	5,08	9,05	56	262	207
9	770	125	105	5,3	4,6	6,23	3,57	1,53	0,00	5,10	9,71	52	328	206
10	765	225	10	5,5	4,6	3,12	3,67	2,25	0,00	5,93	10,54	56	309	221
11	730	135	135	5,0	5,3	3,12	2,91	2,73	0,04	5,67	11,02	51	280	244

média	650	171	180	5,5	4,7	5,24	3,30	1,73	0,16	5,19	9,95	52	272	235	243
mínimo	470	100	10	5	3,9	1,56	2,23	1,3	0	4,16	8,75	38	214	206	214
máximo	835	240	290	6	6,6	7,79	4,23	2,73	0,55	6,28	11,02	59	328	274	270

Fonte: os autores, (2023)

6.3.2. Mineralogia dos solos

Os resultados das análises mineralógicas, feitas nas 78 amostras das áreas, estão apresentados nas (Tabelas 7, 8 e 9). Os teores de SiO_2 , Fe_2O_3 e Al_2O_3 observados na área 01 apresentaram médias de 235, g kg^{-1} , 266 g kg^{-1} e 274 g kg^{-1} respectivamente. Enquanto, para a área 02, foram obtidos 233 g kg^{-1} , 238 g kg^{-1} e 246 g kg^{-1} para os mesmos elementos, valores menores, porém aproximados, possivelmente devido ao processo de latolização nas áreas. Estando as características obtidas, de acordo com o material de origem desenvolvido do basalto, rico em minerais ferromagnesianos originando solos ricos em óxidos (KÄMPF et al., 2009). Para a área 03 as médias foram de 272 g kg^{-1} , 243 g kg^{-1} e 235 g kg^{-1} , com destaque para os valores mais elevados de SiO_2 em relação às demais áreas de estudo.

Os solos da área 03 foram os que apresentaram maiores teores de SiO_2 , que refletiu também nos índices de Ki e Kr ($k_i = 1,7 \times \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$; $k_r = 1,7 \times \text{SiO}_2 / [\text{Al}_2\text{O}_3 + (0,64 \times \text{Fe}_2\text{O}_3)]$). Enquanto os menores teores de SiO_2 estiveram na área 02 e bem aproximado da área 01, revelando maior nível de intemperismo quando comparado a área 03.

Sendo este grau de intemperismo devido a remoção de minerais mais móveis do solo, por meio do processo de dessilificação e ferralitização, conforme relatado por Kämpf e Curi (2000). Ressaltando que a área 01 é composta por Nitossolos Vermelho eutroféricos (Nvef), enquanto a 02 e 03, além da presença dessas mesmas classes, há a ocorrência dos Latossolos Vermelho eutroféricos (Lvef), e a área 03 mais a presença de Cambissolos Háplicos. Porém apesar da diferença das classes pedológicas, os valores da mineralogia estiveram muito próximos.

Segundo o SIBCS., (2018) os solos com relação moleculares de $K_r > 0,75$ e $K_i > 0,75$ são cauliníticos. Os cauliníticos oxídicos possuem relação $K_r < 0,75$ e $K_i > 0,75$. Portanto, na área 01, há predominância de solos cauliníticos com algumas amostras cauliníticos oxídicos. Na área 02 foram verificados apenas solos cauliníticos coerentes aos Latossolos. Para a área 03 todas as amostras foram classificadas como caulinícos-oxídicos, e também foram os que apresentaram maiores K_i e K_r , indicando, possivelmente, maiores proporções de caulinita em relação à gibbsita, estando de acordo com o esperado. Uma vez que, o ambiente apresenta elevado grau de intemperismo e os teores de gibbsita são considerados baixos, preponderando a caulinita. (KÄMPF; MARQUES, CURI, 2012).

Tabela 8- Análises mineralógicas de horizontes diagnósticos de solos desenvolvidos de basalto da área 01 do Estado do Paraná.

Amostra	SiO ₂ ^{as}	Al ₂ O ₃ ^{as}	Fe ₂ O ₃ ^{as}	Ki ^{as}	Kr ^{as}
-----g.kg ⁻¹ -----					
1	197,65	264,74	249,67	1,27	0,79
2	179,64	294,32	253,78	1,04	0,67
3	208,05	288,23	242,59	1,23	0,80
4	201,15	258,86	235,87	1,32	0,84
5	180,45	236,89	263,59	1,29	0,76
6	251,64	270,61	242,06	1,58	1,01
7	255,48	243,31	215,39	1,79	1,14
8	240,50	287,35	246,15	1,42	0,92
9	263,57	270,72	239,98	1,66	1,06
10	252,64	244,56	210,53	1,76	1,13
11	257,84	267,27	233,79	1,64	1,05
12	230,91	246,24	220,45	1,59	1,01
13	237,68	248,75	229,94	1,62	1,02
14	272,96	273,35	223,73	1,70	1,12
15	249,19	213,57	255,79	1,98	1,12
16	241,14	226,13	228,65	1,81	1,10
17	236,73	191,09	217,33	2,11	1,22
18	186,98	163,79	280,51	1,94	0,93
19	268,10	234,51	201,71	1,94	1,26
20	258,84	238,71	243,68	1,84	1,12
21	223,66	242,51	254,06	1,57	0,94
22	231,93	216,93	248,82	1,82	1,05
média	233,03	246,47	238,09	1,63	1,00
mínimo	179,64	163,79	201,71	1,04	0,67
máximo	272,96	294,32	280,51	2,11	1,26

Fonte: os autores, (2023).

Tabela 9- Análises mineralógicas de solos desenvolvidos de basalto (60-80 cm) da área 03 do Estado do Paraná.

Amostra	SiO ₂ ^{as}	Al ₂ O ₃ ^{as}	Fe ₂ O ₃ ^{as}	Ki ^{as}	Kr ^{as}
-----g.kg ⁻¹ -----					
1	244	256	232	0,95	0,50
2	245	256	228	0,95	0,50
3	214	274	214	0,78	0,43
4	250	245	264	1,02	0,49
5	258	225	240	1,14	0,55
6	301	224	270	1,34	0,60
7	300	229	251	1,31	0,62
8	262	207	235	1,26	0,59

9	328	206	257	1,59	0,70
10	309	221	255	1,39	0,64
11	280	244	225	1,14	0,59
média	272	235	243	1,96	1,84
mínimo	214	206	214	0,78	0,43
máximo	328	274	270	1,59	0,70

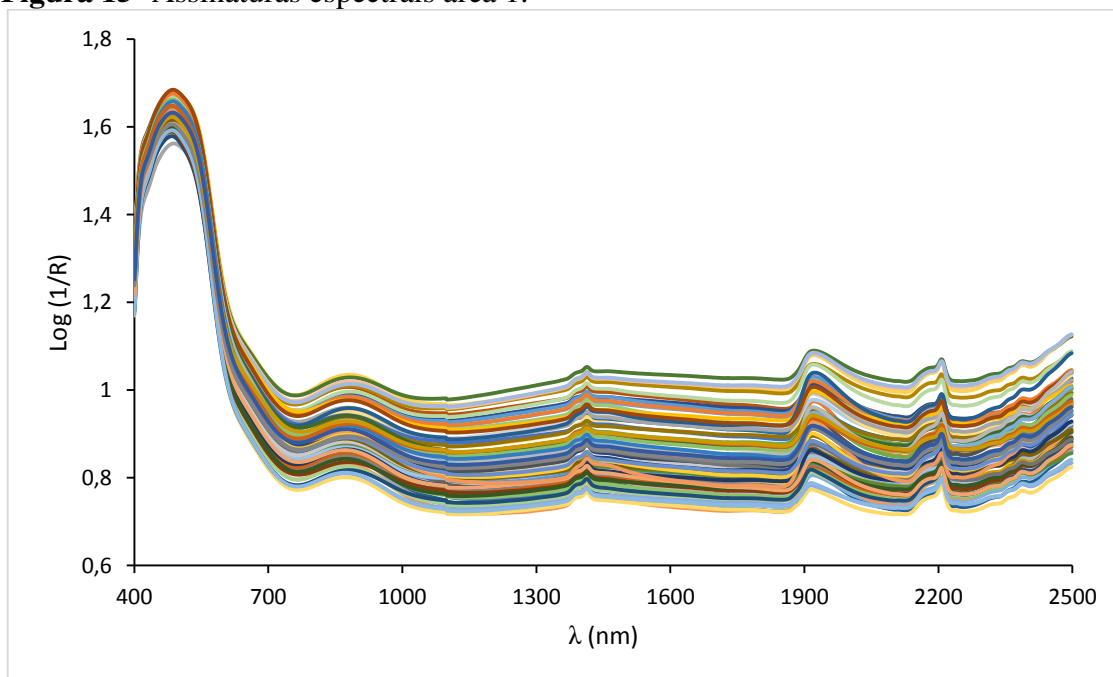
Fonte: os autores, (2023).

6.3.3. Relação da absorbância com a identificação e atributos do solo

Os espectros na faixa do Vis-NIR indicaram seis principais faixas de absorção: 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 observadas por outros autores (BELLINASSO et al., 2010; DEMATTÊ et al., 2015; FERRUCIO, 2016) e estão associadas as características dos óxidos de ferro como hematita e goethita, mais aparentes em solos de basalto, onde seus pronunciamentos vão diminuindo conforme a profundidade do perfil. São descritas como as mais importantes para o estudo do solo, pois representam os seus constituintes primários como matéria orgânica, mineralogia e textura.

Para a comparação dos espectros das áreas 01 de Bela Vista do Paraíso, 02 e 03 de Londrina, inicialmente observou-se as relações espectrais individualmente de cada uma. Como pode ser verificado na área 1 (Figura 15) há um maior (n) de amostras com 65 assinaturas espectrais. A interpretação desse conjunto espectral é dificultada pelos solos de basalto terem suas características semelhantes umas amostras das outras, ainda que cada amostra apresente suas peculiaridades.

Figura 15- Assinaturas espectrais área 1.

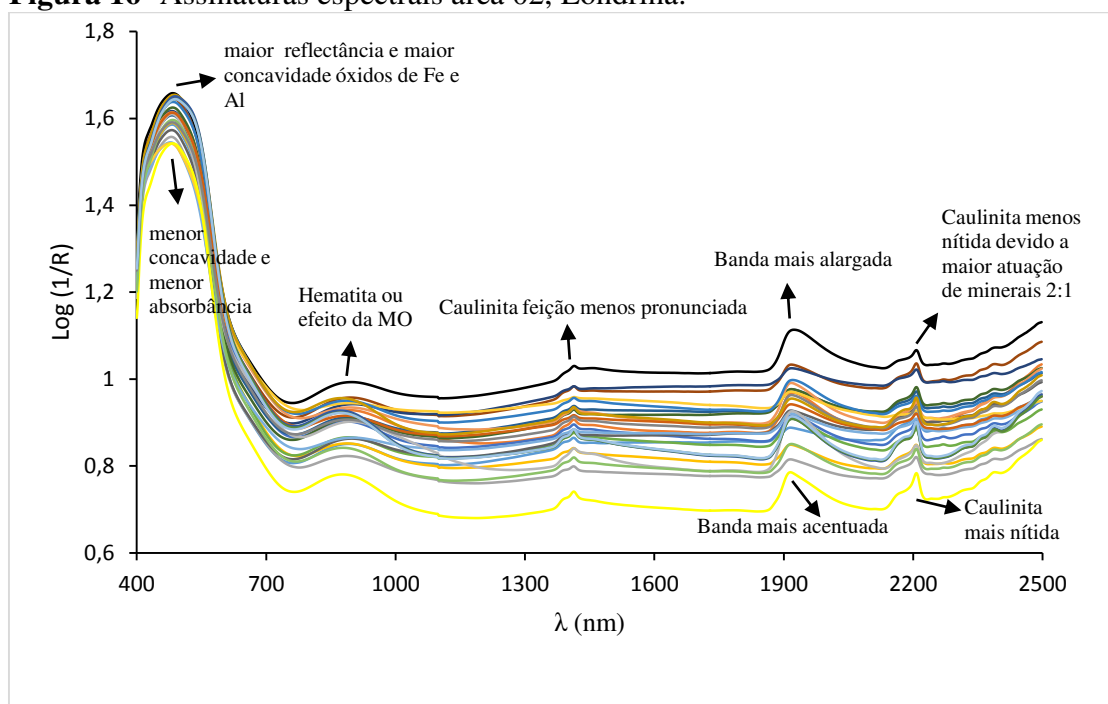


Fonte: os autores, (2023).

Os espectros de Bela Vista do Paraíso se caracterizam por terem assinaturas espectrais bem próximas e similares, apesar de intensidades diferentes, por apresentarem um elevado número de amostras (65) e um comportamento espectral similar. Porém sem algum tipo de discrepância entre as assinaturas, tendência bastante observada em solos de basalto. Demattê et al., (2015) também observaram essas peculiaridades em solos oriundos de basalto.

A área 2 em Londrina (Figura 16) com 25 amostras no total, apresentou maiores variações na intensidade de absorção. Onde é possível visualizar as principais faixas de absorção: 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.

Figura 16- Assinaturas espectrais área 02, Londrina.



Fonte: os autores, (2023).

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 SiO_2) mais intenso. Como pode ser nitidamente observado diferenças entre essas classes no espectro da amostra 10 na cor preta da 17 em amarelo, respectivamente. Com intensidades diferentes de absorbância ao longo das assinaturas espectrais.

As regiões nos comprimentos de onda próximos à 1400, 1900, 2100, 2200 e próximos a 2400 nm, onde foram notadas diferenças nos espectros, os mesmos são mais susceptíveis e influem mais na umidade e a mineralogia como também pôde ser constatado por Felix et al., (2016) em solos de basalto.

A região entre 1350 nm – 1450 nm pode indicar as diferenças presentes nos teores de caulinita das amostras, observando que a 10 apresenta pequeno pico e maior absorbância que a 17 com pico mais bem definido. Bem como em 2200 nm pode estar representado pela caulinita pela amostra 17, podendo conferir pico mais definido se comparado à amostra 10 com pico menos acentuado. Relacionado a maior atuação de minerais 2:1 conforme autores (Madeira Netto & Baptista, 2000) ou ainda absorções entre 2100 e 2200 nm estarem ligadas as combinações de estiramentos de ligações de O-H do C orgânico.

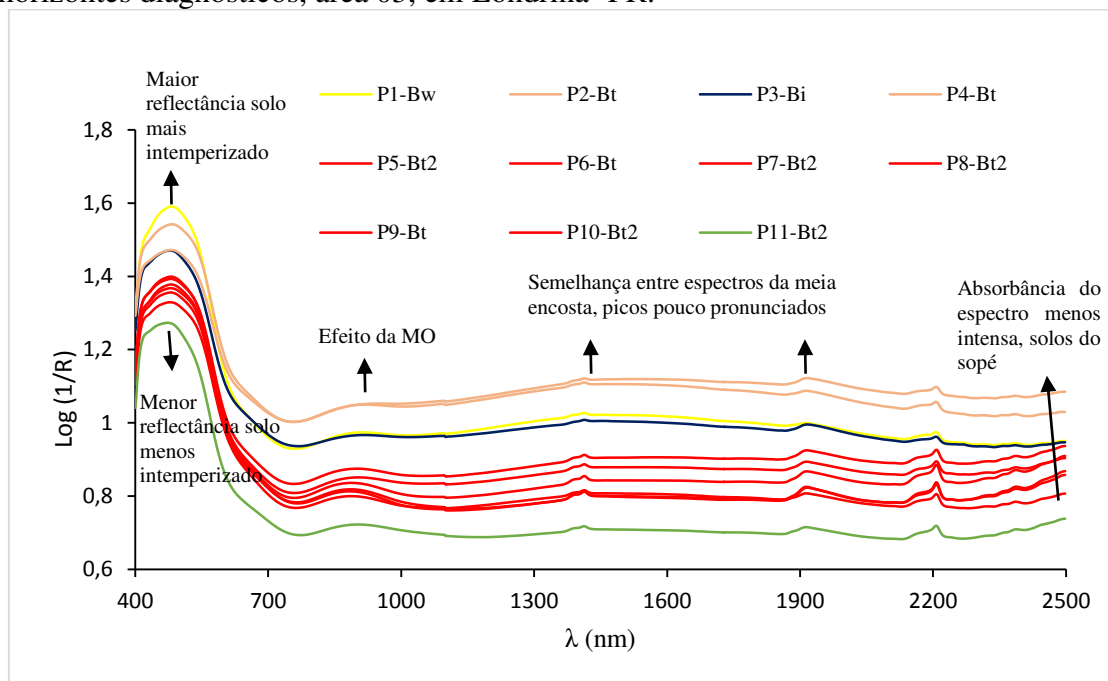
A amplitude dos resultados pode ser atribuída aos diferentes graus de intemperismo desses solos. Uma vez que sua mineralogia é considerada simples com o predomínio de caulinita, gibbsita, óxidos e hidróxidos de Fe e Al (GHIDIN et al., 2006; SOUZA JUNIOR et al., 2010). A variação entre esses minerais pode apresentar grande diferença ao longo de uma mesma pedossequência, conforme verificado por Lima et al., (2019).

Nos espectros de reflectância alguns padrões de curvas espectrais se relacionam mais diretamente com os componentes intrínsecos ao solo como os minerais, a matéria orgânica, que controlam o comportamento dessas curvas do que as próprias classes de solo (BAPTISTA MADEIRA NETTO E SOUZA, 2019), além das posições na paisagem. Como pode ser observado nos solos de uma pedossequência da área 03 (Figura 17).

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 também com intensidades diferentes.

Na faixa de absorção de 400 a 600 nm sobressairam-se sobre os perfis situados 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, equivalente aos óxidos de ferro e alumínio, de acordo com Demattê et al., (2017). 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 Ki e Kr da Pedossequência, considerado solos menos intemperizados entre os avaliados, conforme Lima et al., (2019).

Figura 17- Espectros de absorbância na faixa do vis-NIRS (400 nm a 2.500 nm) dos horizontes diagnósticos, área 03, em Londrina- PR.

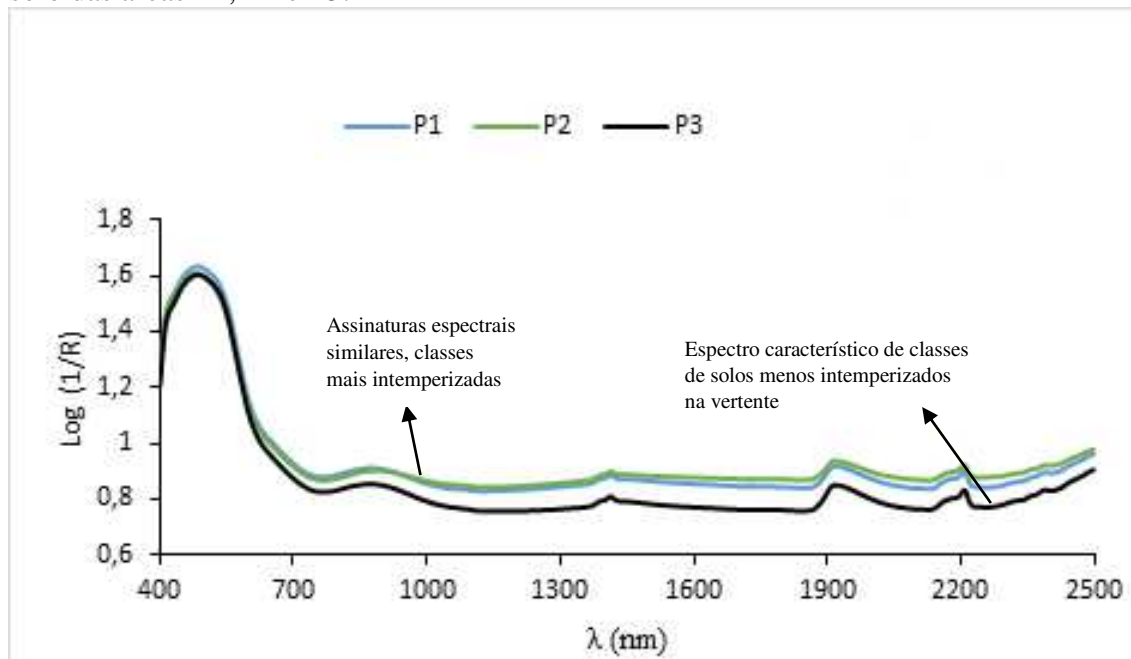


Fonte: adaptado de LIMA et al., (2019).

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

A quantidade de carbono reflete de forma negativa na intensidade e feição da absorção das curvas, posto que ele esteja presente em todo espectro mascarando o efeito dos minerais. Devido a isso, as camadas em 60- 80 cm, apresentam melhor os efeitos dos minerais no espectro, devido à redução de interferência da matéria orgânica (MELO et al., 2009). Como pode ser observado na (Figura 18) nas assinaturas espectrais médias dos horizontes diagnósticos das amostras da área 01 (P1) de solos (NVef) de Bela Vista do Paraíso, da área 02 (Lvef) e (Nvef) (P2) e da área (P3) além das mesmas classes a presença de (CXbef).

Figura 18- Assinaturas espectrais médias dos horizontes diagnósticos das amostras de solo das áreas P1, P2 e P3.



Fonte: os autores (2023).

Os espectros das áreas 01 e 02 se caracterizaram por terem assinaturas espectrais bem próximas e similares, porém com intensidades diferentes. De 400 a 778 nm os espectros apresentam uma ascendência e descendência formando uma curva espectral que termina em 778 nm. Seguindo posteriormente um comportamento de linearidade no espectro até aproximadamente 2400 nm com a presença de alguns picos característicos. Já o espectro da área 03 se distancia um pouco mais das outras, podendo estar relacionado à presença de classes menos intemperizadas na vertente como os Cambissolos, conforme Lima et al., (2019).

A região de 400 e 778 nm é equivalente aos óxidos de ferro e alumínio. Um intervalo de grande importância por diferir os solos de coloração mais clara influenciado pela goetita, dos mais escuros, influenciado pela hematita. Isso devido à capacidade de absorver e refletir mais radiação neste comprimento de onda (VIS). Neste caso, as áreas 01 e 02 apresentaram valores médios de hematita de 109,08 g kg⁻¹ e 111,54 g kg⁻¹ e goetita 4,68 g kg⁻¹ e 4,63 g kg⁻¹ respectivamente, valores bem próximos, porém não condizentes com as assinaturas espectrais, já a área 03 não foi calculada.

A goethita na formação do espectro, segundo Demattê et al., (2017), influencia os comprimentos de onda dos espectros em 425 nm, 480 nm 600 nm, a hematita influencia em 750 nm e 1050 nm. Também de acordo com os mesmos autores as feições de absorção

em 1400 nm, 1900 nm e 2100 nm estão relacionadas a grupos de OH⁻ e vibrações de moléculas de água. A região entre 1350 nm – 1450 nm pode indicar a diferenças presentes nos teores de caulinita que o banco de dados das áreas representa. Sendo assim, as áreas 01 e 02 apresentaram médias de 505,57 g kg⁻¹ e 500,54 g kg⁻¹ respectivamente, teores bem próximos.

O pico em 2200 nm é característico de minerais de argila como a caulinita (Al₂Si₂O₅(OH₄)) por apresentar um degrau na sua banda e uma feição acentuada. A maior ocorrência desse mineral se deve a facilidade de sua formação a partir dos minerais primários após a remoção parcial de cátions e Si (KAMPF et al., 2012). E para Gb 2.265 nm, podendo ser observado na (Figura 18) uma absorbância maior do (P2) sobre (P1). Os valores médios encontrados para gibbsita foram de 114,89 g kg⁻¹ na área 01 e 75,28 g kg⁻¹ para 02, onde pode-se observar maior espaçamento entre as assinaturas espectrais.

É observado na região de 990 nm uma sobreposição do espectro da área 02 sobre a área 01, seguindo esta justaposição até 2500 nm, podendo esta estar relacionada com a matéria orgânica. De acordo com Madeira Neto & Baptista (2000) as absorções entre 2100 e 2200 nm estão ligadas as combinações de estiramentos de ligações de O-H do C orgânico, ou pode estar ligado à presença da caulinita ou gibbsita na amostra. No caso da caulinita seu pico está conexo à camada octaédrica de Al que há na estrutura do mineral.

Por conta da alta semelhança entre as estruturas desses minerais, não é possível distingui-los na banda de absorção. Uma vez que, a desorganização no arranjo dos minerais primários, resulta em um aumento da área específica e zonas reticulares anisotrópicas, aumentando a chance de luz sendo absorvida em poros micro agregados internos.

A região de 2400 nm está relacionada à presença de ligações C-O (Madeira Netto & Baptista, 2000). O que corrobora com os resultados obtidos de MO, onde a área 2 possui média de 16,55 g kg⁻¹ exibindo maior intensidade de absorção sob a área 1 com média 10,54 g kg⁻¹ e a área 3 com média 5,24 g kg⁻¹ com menor intensidade. As diferenças nos comprimentos de onda referentes ao teor de MO podem estar relacionadas à diferentes classes de solos (WANG et al., 2016), que pode ser o principal fator de influência no espectro total, e menor intensidade do espectro da área 3 sobre as outras áreas. A região de 2400 nm também há ligações C-H, N-H e R-OH (XIAOBO et al., 2010), porém pouco pronunciada nos solos da pesquisa.

Já outros trabalhos assim como Rasooli et al. (2023), avaliaram e notaram a espectroscopia Vis-NIR como método eficiente de monitoramento em uma área de Bacia,

com diferentes variações pedológicas, oriundas dos diferentes processos pedogenéticos ocorrentes in situ, com diferentes geomorfologias e geologias em um mesmo local.

6.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os solos da área 01 foram os que apresentaram teores de SiO_2^{as} semelhantes aos da área 02. Sendo a área 02 de acordo suas relações encontradas de Ki e Kr mais intemperizada que a 01. Que apresenta menores teores de SiO_2^{as} , $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{as}}$ e $\text{Al}_2\text{O}_3^{\text{as}}$, considerada mais intemperizada devido a transformação dos minerais do solo, por meio do processo de dessilicação. A área 01 composta por Nitossolos Vermelho eutroféricos (Nvef), a 02 além da presença dessas mesmas classes apresentam os Latossolos Vermelho eutroféricos (Lvef) classe mais intemperizada, e a área 03 além dessas classes apresentam presença de Cambissolos, com maiores teores de SiO_2^{as} exibindo menor nível de intemperismo, coerente com as classes de solos encontradas.

As assinaturas espectrais das três áreas foram comparadas e apresentaram picos em 1400, 1900, 2100, 2200 e próximos a 2400 nm, coerentes com os solos de basalto bastante intemperizados da região norte do Paraná. Os espectros da área 03 apresentaram certo distanciamento das outras áreas, podendo estar relacionado à presença de classes menos intemperizadas na vertente como os Cambissolos, bem como a menor influência da matéria orgânica.

As assinaturas espectrais da espectroscopia Vis-NIR revelaram que a posição na paisagem foi mais expressiva em separar as assinaturas do que a classificação dos solos no potencial qualitativo, embora tenha apresentado discreta diferença também. Solos da área 03 localizados em áreas menos acentuadas nos segmentos topo e meia encosta (P1 a P4) apresentaram maiores absorbâncias. Enquanto os solos localizados nos segmentos meia encosta, encosta e sopé (P5 a P11) apresentaram menores absorbâncias e nas mesmas faixas. Podendo estes comportamentos estar atrelados ao grau de intemperismo dos solos.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, M. I. et al. Caracterização de solos por espectroscopia no infravermelho próximo e análise de componentes principais. **Revista Ciência Agronômica [online]**. 2021, v. 52, n. 1 [Acesso 26 Mai. 2022], e20196825. Disponível em: <<https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210004>>.
- BAHIA, A. S. R. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D. S. Procedures using diffuse reflectance spectroscopy for estimating hematite and goethite in Oxisols of São Paulo, Brazil. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v.5, p.150–156, 2015.
- BARTHÈS, B.G. et al. 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.
- 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.
- BEN-DOR, E. Characterization of soil properties using reflectance spectroscopy. In: THENKABAIL, P. S.; LYON, J. G.; HUETE, A. (Ed.) **Hyperspectral remote sensing of vegetation**. Boca Raton: CRC Press, 2011. p. 513-557. [Acesso 26 Mai. 2022]. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=B0LNBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR2&dq=Hyperspectral+remote+sensing+of+vegetation.+Boca+Raton:+CRC+Press&ots=95xnsb_TdK&sig=qKDsfr7HgK37KBhTiVV2doeaS7Y#v=onepage&q=Hyperspectral%20remote%20sensing%20of%20vegetation.%20Boca%20Raton%3A%20CRC%20Press&f=false>.
- BROWN, D.J. et al. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, n. 132, p. 273-290, 2006.
- BAPTISTA, G. M. de M.; MADEIRA NETTO, J. da S.; SOUZA, D. T. M. de. Reflectância dos solos. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; BAPTISTA, G. M. M. (orgs.) **Reflectância dos materiais terrestres – análise e interpretação**. Cap. 5. Oficina de textos, Ed. 1, 2019. 336p.
- CASSETI, V. Ambiente e apropriação do relevo. **Revista Geonordeste**, n.1, p. 147, 1999.
- 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.
- 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.
- DEMATTÊ, J. A. M. et al. Espectroscopia VIS-NIR-SWIR na avaliação de solos ao longo de uma topossequência em Piracicaba (SP). **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 4, p. 679-688, 2015.

DE MASTRO, F. et al. Chemical and Spectroscopic Investigation of Different Soil Fractions as Affected by Soil Management. **Applied Sciences**, v. 10, n. 7, p. 2571, 2020.

DEMATTÊ, 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. et al. Espectroscopia VIS-NIR-SWIR na avaliação de solos ao longo de uma topossequência em Piracicaba (SP). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 4, p. 679-688, 2015.

DEMATTÊ, J. A. M. et al. The Brazilian Soil Spectral Library (BSSL): a general view, application and challenges. **Geoderma**, Amsterdam, v. 354, [art.] 113793, 2019.

DOTTO, A. C. et al. A systematic study on the application of scatter-corrective and spectral-derivative preprocessing for multivariate prediction of soil organic carbon by Vis-NIR spectra. **Geoderma**, v. 314, p. 262-274, 2018.

DOTTO, A. C. et al. Two preprocessing techniques to reduce model covariables in soil property predictions by Vis-NIR spectroscopy. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 172, p. 59–68, 2017.

FELIX, J. C. et al. 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.

FRANCESCHINI, M. H. D. et al. Abordagens semiquantitativa e quantitativa na avaliação da textura do solo por espectroscopia de reflectância bidirecional no VIS-NIR-SWIR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 12, p. 1569-1582, 2013.

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

GHIDIN, A. A. et al. 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.

GMUR, S. et al. Hyperspectral Analysis of Soil Nitrogen, Carbon, Carbonate, and Organic Matter Using Regression Trees. **Sensors** **12**, 10639-10658, 2012.

GONÇALVES, M. A. et al. Topossequências de solos desenvolvidos sobre rochas basálticas: atributos físico-químicos. **Revista de Ciências Agrárias- Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 4, p. 359-370, 2013.

HONG, Y. S. et al. Application of fractional-order derivative in the quantitative estimation of soil organic matter content through visible and near-infrared spectroscopy. **Geoderma**, v. 337, p. 758-769, 2019.

KÄMPF, N.; CURI, N. Conceito de solo e sua evolução histórica. In: KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa, MG: SBCS, 2012. p.1-20.

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. p.611-695.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J.C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: fundamentos**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa-MG, 2012, p.207-302.

KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: NOVAIS, R. F. ÁLVAREZ, V. H. ; SCHAEFER, C.E.G.R. **Tópicos especiais em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 107-138.

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.

KLEBER, M.; SOLLINS, P. & SUTTON, R. A conceptual model of organo-mineral interaction in soils: Self-assembly of organic molecular fragments into zonal structures on mineral surfaces. **Biogeochemistry**, v. 85, p. 9-24, 2007.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e Evolução do solo (edogênese). In: **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.178p.

LIMA, R. K. **Caracterização de uma pedossequência representativa dos solos do norte do Paraná e identificação de suas assinaturas espectrais**. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina.

MAACK, R. Breves notícias sobre a Geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**. Curitiba, vol. II, p. 66-154. 1947.

MADEIRA NETTO, J. S.; BAPTISTA, G. M. M. **Reflectância espectral de solos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2000. 55p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 25).

MADEIRA NETTO, J. S. Spectral reflectance properties of soils. **Photo Interpretation**, Paris, v.34, n.2, p.59-70, 1996.

MELO V. F., CASTILHOS R. M. V., PINTO L. F. S. 2009. Reserva mineral do solo. In: Melo V.F. & Alleoni L.R.F. (eds.) **Química e mineralogia do solo - Parte 1**. SBCS, Viçosa, p.:251-332.

OLIVEIRA, J. F. et al. Soil discrimination using diffuse reflectance Vis-NIR spectroscopy in a local toposequence. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 345, p. 446-453, 2013.

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).

PETER COPELAND AND WILLIAM DUPRÉ. Chapter 16. **Landscape Evolution Classroom presentations to accompany Understanding Earth**, 3rd edition.

RAMAROSON, V. H. et al. Mineralogical analysis of ferralitic soils in Madagascar using NIR spectroscopy, **Catena**, v.168, 2018.

RAMOS, P. V. et al. Color in subtropical Brazilian soils as determined with a Munsell chart and by diffuse reflectance spectroscopy. **Catena**, Cremlingen, v.193, [art.] 104609, 2020.

RASOOLI SHARABIANI, Vali et al. Prediction of winter wheat leaf chlorophyll content based on VIS/NIR spectroscopy using ANN and PLSR. **Food Science & Nutrition**, v. 11, n. 5, p. 2166-2175, 2023.

REATTO, A. et al. Variation of the kaolinite and gibbsite content at regional and local scale in Latosols of the Brazilian Central Plateau. **Comptes Rendus Geoscience**, Paris, v. 340, p. 741-748, 2008.

SANTOS, L. J. C. et al. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, 2006.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J.B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. 353p.

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. S. et al. Spatial variability of iron oxides in soils from Brazilian sandstone and basalt. **Catena**, Cremlingen, v.185, p.104-258, 2020a.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil taxonomy**. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys 2nd ed. USDA Natural Resources Conservation Service Agricultural Handbook vol. 436, US Gov. Printing Office, Washington, DC. 1999.

SOUZA JUNIOR, I. G. et al. Mineralogia e susceptibilidade magnética dos óxidos de ferro do horizonte B de solos do Estado do Paraná. **Ciência Rural**, v. 40, p. 513-519, 2010.

TEIXEIRA, P. C.; CAMPOS, D. V. B.; FONTANA, A. Ataque Sulfúrico. *In*: Teixeira, P.C.; Donagemma, G.K.; Fontana, A.; Teixeira, W.G. **Manual de análise de solo**. 3.ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. p.255-257.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de análise de solo**. 3.ed. rev. e ampl. –Brasília, DF: Embrapa, p.255-257, 2017.

TERHOEVEN-URSELMANS, T. et al. Usefulness of near-infrared spectroscopy to determine biological and chemical soil properties: importance of sample pre-treatment. **Soil Biology and Biochemistry**, v.40, p.1178-1188, 2008.

ULUSOY, Y. et al. Yahya Ulusoy, Yücel Tekin, Zeynal Tümsavaş, Abdul M. Mouazen, Prediction of soil cation exchange capacity using visible and near infrared spectroscopy. **Biosystems Engineering**, v. 152, p. 79-93, 2016.

VENDRAME, P. R. S. et al. The potential of NIR spectroscopy to predict soil texture and mineralogy in Cerrado Latosols. **European Journal of Soil Science**, v.63, p.743-753, 2012.

VISCARRA ROSSEL, R. A. et al. In situ measurements of soil colour, mialal composition and clay content by vis-NIR spectroscopy. **Geoderma**, v.150, p.253-266, 2009.

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

XIAOBO, Z. et al. Variables selection methods in near-infrared spectroscopy. **Analytica chimica acta**, v.667(1-2), p.14-32, 2010.

WANG, P. et al. Spectral exploration of calcium accumulation in organic matter in gray desert soil from northwest China. **Plos One**, San Francisco, v.11, n.1, [art.] e0145054, 2016.

7. ARTIGO II

PEDOGEOMORFOLOGIA E ASSINATURAS ESPECTRAIS DE CLASSES DE SOLOS DE BASALTO LOCALIZADOS NA BACIA NO RIBEIRÃO BONITO, PRIMEIRO DE MAIO, PARANÁ.

PEDOGEOMORPHOLOGY AND SPECTRAL SIGNATURES OF BASALT SOIL CLASSES LOCATED IN THE BASIN IN RIBEIRÃO BONITO, PRIMEIRO DE MAIO, PARANÁ.

Resumo: A importância do estudo, descrição e análise dos sistemas pedológicos, bem como do relevo, está diretamente atrelada com a identificação de possíveis fragilidades e potencialidades ambientais das áreas. A determinação de seus atributos físicos, químicos e mineralógicos são realizadas muitas vezes com o intuito de obter o conhecimento das classes de solos e sua relação com a paisagem de determinado local e saber sua aplicabilidade no planejamento de diversas atividades, além de apurar as áreas menos ou mais susceptíveis a erosão no âmbito conservacionista. O objetivo desse trabalho foi descrever pedogeomorfologicamente a área de estudo, as assinaturas espectrais, classificar e mapear as classes de solos de basalto da propriedade Bonitão, situada no Ribeirão Bonito, na microrregião do baixo Paranapanema, Primeiro de Maio- Paraná. Com o intuito de compreender a relação pedogênese aliada a morfogênese na área de estudo, bem como identificar suas assinaturas espectrais. E por fim, trazer alternativas e sugestões de práticas adequadas para a propriedade, com vistas a conservação da água e do solo, contemplando e integrando os recursos naturais e aspectos socioeconômicos, indicando melhorias de acordo com a análise da paisagem. Os resultados indicaram um detalhamento de classes mais fidedigno à realidade, do que o mapeamento de solos da área de estudo do Paraná já existente. Identificando Cambissolo Flúvico Tb Eutrófico gleissólico, Gleissolo Háptico Tb Eutrófico, duas trincheiras de Nitossolo Vermelho Eutroférico típico e uma de Cambissolo Háptico Tb eutrófico típico. Além das assinaturas espectrais, da área de estudo das camadas 60-80 cm, que poderão compor algum futuro banco de dados espectrais pedológicos da região, descrevendo as diferentes classes de solo e sua relação com a paisagem local. Os mapas se mostraram fundamentais para compreensão da relação solo paisagem, podendo ser utilizados no delineamento de uso e readaptações do manejo na área de estudo. Foi possível trazer alternativas de práticas mais adequadas, baseado nos resultados de mapeamento e análise pedogeomorfológica, com sugestões de ajuste do uso e manejo da propriedade.

Palavras-Chave: Descrição pedogeomorfológica; Assinaturas espectrais; Conservação; Solos.

Abstract: The importance of studying, describing and analyzing pedological systems, as well as relief, is directly linked to the identification of possible weaknesses and environmental potential of the areas. The determination of their physical, chemical and mineralogical attributes is often carried out with the aim of obtaining knowledge of soil classes and their relationship with the landscape of a given location and knowing their

applicability in the planning of various activities, in addition to determining the least or more susceptible to erosion in the conservationist context. The objective of this work was to pedogeomorphologically describe the study area, the spectral signatures, classify and map the basalt soil classes of the Bonitão property, located in Ribeirão Bonito, in the lower Paranapanema microregion, Primeiro de Maio- Paraná. With the aim of understanding the relationship between pedogenesis and morphogenesis in the study area, as well as identifying their spectral signatures. And finally, bring alternatives and suggestions for appropriate practices for the property, with a view to conserving water and soil, contemplating and integrating natural resources and socioeconomic aspects, indicating improvements according to landscape analysis. The results indicated a detailing of classes that was more reliable to reality than the existing soil mapping of the study area of Paraná. Identifying gleissolic Tb Eutrophic Fluvisol Cambisol, Eutrophic Tb Haplic Gleisol, two trenches of typical Eutrophic Red Nitisol and one of typical eutrophic Tb Haplic Cambisol. In addition to the spectral signatures, the study area covers the 60-80 cm layers, which could form part of a future pedological spectral database for the region, describing the different soil classes and their relationship with the local landscape. The maps proved to be fundamental for understanding the soil-landscape relationship and can be used to delineate use and readjust management in the study area. It was possible to bring more appropriate practice alternatives, based on the results of mapping and pedogeomorphological analysis, with suggestions for adjusting the use and management of the property.

Keywords: Pedogeomorphological description; Spectral signatures; Conservation; Soils.

7.1. INTRODUÇÃO

A representação das formas do relevo é uma prática para representar a superfície terrestre que apresenta diversos desafios na pesquisa, por conta dos inúmeros conjuntos de dados morfológicos condicionados pelos elementos pedológicos, geomorfológicos, geológicos, climáticos e dentre outros que se encontram em constante mudança. Essa representação pode ser observada em diferentes ramos na ciência como em perfis topográficos, curvas de nível, relevo sombreado, reproduzidos em técnicas da cartografia em SIGs.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foi a entidade responsável por realizar o mapeamento das bases de cobertura pedológica do Projeto Radam Brasil. Esforço pioneiro do governo brasileiro na década de 1970, que reuniu pesquisadores do Ministério de Minas e Energia através do Departamento Nacional da Produção Mineral-DNPM para o mapeamento integrado dos recursos naturais brasileiros, logo o mapa de solos em escala de 1:1000.000 (CPRM, 2022).

A importância do conhecimento das classes de solos em determinada região tem sua aplicabilidade no planejamento de diversas atividades. Ao começar pela triagem para

escolha de áreas mais adequadas à dado uso do solo na agricultura e apurar as áreas menos ou mais susceptíveis a erosão. Uma vez que o valor empregado do solo varia conforme sua função e capacidade de utilização (TEIXEIRA et al., 2009).

Por meio de uma revisão conceitual na relação Pedologia e Geomorfologia Queiroz Neto (2011) em sua relação solo vertente, mostra a importância da interdisciplinaridade dessas ciências em trabalhos científicos como de Jenny (1941), Tricart (1968) e Boulet (1982a; 1982b). Segundo Tricart (1977), a pedogênese sofre a interferência interna sob a ação da água que ocasiona o transporte e a migração de partículas no solo, já a morfogênese sofre uma ação externa sob ação direta da (erosão). Instituinto que a dinâmica da vertente se mostra como instrumento adequado no entendimento da gênese dos solos.

Sendo assim, os estudos recentes sobre os Sistemas Pedológicos surgem como instrumento para identificação de possíveis fragilidades e potencialidades ambientais de infindas áreas de estudo, se apresentando como suma importância dentro de um universo que exibe certa carência de estudos mais holísticos e interdisciplinares. Uma vez que há certa carência em estudos representando a interdependência entre morfogênese e pedogênese, que apresentam como sendo ótimo instrumento no entendimento da gênese dos solos como relatado por Rubira et al., (2017).

É possível sanar essa carência, através de estudos detalhados que tenham como intuito proporcionar a compreensão das relações entre material de origem, gênese dos solos e a geomorfologia do relevo. O objetivo desse trabalho foi descrever pedogeomorfologicamente a área de estudo, identificar as assinaturas espectrais, classificar e mapear as classes de solos de basalto da propriedade Bonitão situada no Ribeirão Bonito, na microrregião do baixo Paranapanema, Primeiro de Maio- Paraná. E por fim, trazer alternativas de práticas adequadas para a propriedade de estudo, como sugestões de adequação do uso e manejo da área, contemplando e integrando os recursos naturais e aspectos socioeconômicos, indicando melhorias à propriedade.

7.2. MATERIAL E MÉTODOS

7.2.1. Caracterização do meio físico da área de estudo

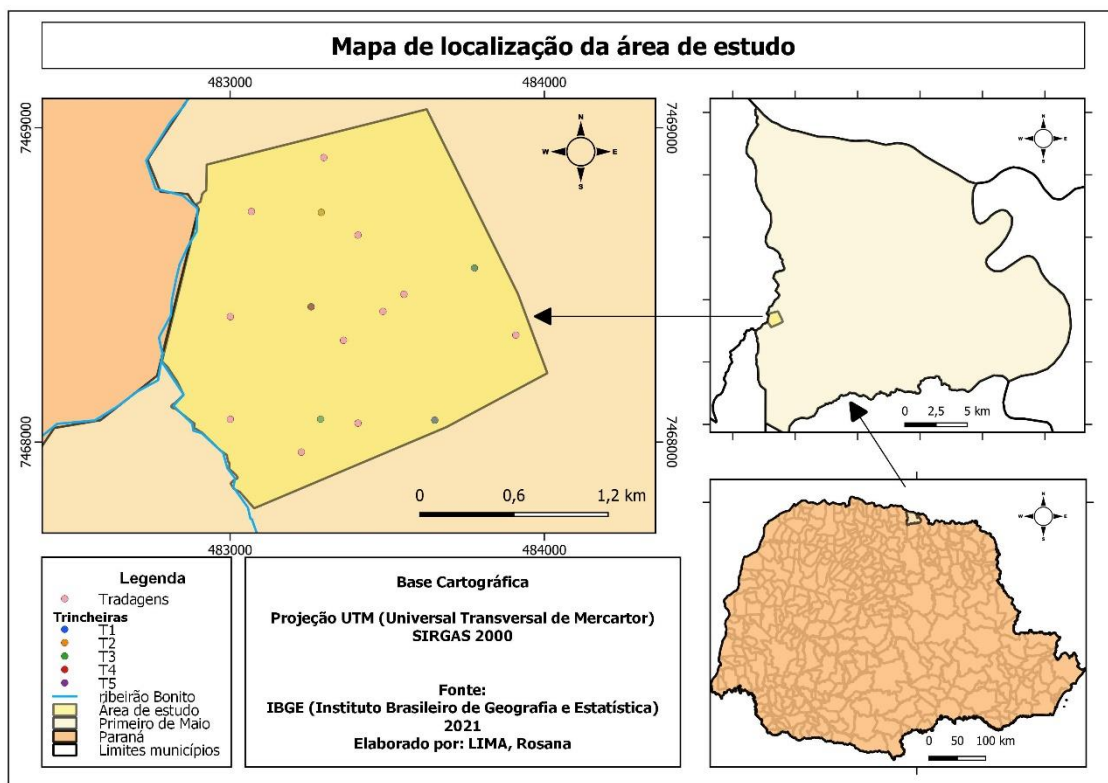
O Município de Primeiro de Maio está situado no Estado do Paraná, a 330 metros de altitude, a 22° 51' 02" de latitude sul, 51° 01' 42" de longitude oeste, sua extensão

territorial é de 416,779 km² (IPARDES, 2019). É um município que pertence a região Metropolitana de Londrina, na Mesorregião Norte Central Paranaense, com população de aproximadamente 11.138 habitantes segundo Censo de 2021 estimativa do IBGE, (2022). Também é rodeado pelas águas da represa da Usina Hidrelétrica de Capivara em meio ao rio Paranapanema.

Na aquicultura apresenta a produção de diversas espécies de peixes com destaque para tilápia. Já na agricultura predominam cerca de 23.282 ha de área de estabelecimentos agropecuários, dentre 390 propriedades voltadas para lavouras temporárias (soja, milho, feijão), 33 para lavouras permanentes (café, frutas) e cerca de 52 pastagens dentre 32 plantadas em boas condições e 20 em más condições, dados do Censo Agropecuário de 2017 do IBGE, (2022).

A área de estudo está localizada no Município de Primeiro de Maio, Paraná (Figura 19), nas coordenadas 7468000 e 483000, sob variação de altitude de 363 a 447 metros, na unidade hidrográfica Pirapó / microrregião do baixo Paranapanema, segundo IAT (2023). A propriedade, denominada Fazenda Bonitão está situada limítrofe com os municípios de Alvorada do Sul e Bela Vista do Paraíso à esquerda e às margens do ribeirão Bonito afluente do rio Paranapanema com área total de 101,52 ha.

Figura 19- Localização da propriedade Fazenda Bonitão- Primeiro de Maio, Paraná.



Fonte: LIMA, 2023.

A região de Primeiro de Maio apresenta temperatura média anual entre 22,1 °C a 23 °C, e precipitação média anual de 1.200 mm a 1.400 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, 2019).

Sobre os dados geológicos, de acordo com Licht, (2018) no município predomina o Grupo Serra Geral, constituída por extensos derrames de rochas ígneas, predominando basaltos, de idade mesozóica. Somam-se às características geológicas do baixo Paranapanema os sedimentos inconsolidados, constituindo depósitos quaternários nas áreas aluviais. (LICHT, 2018).

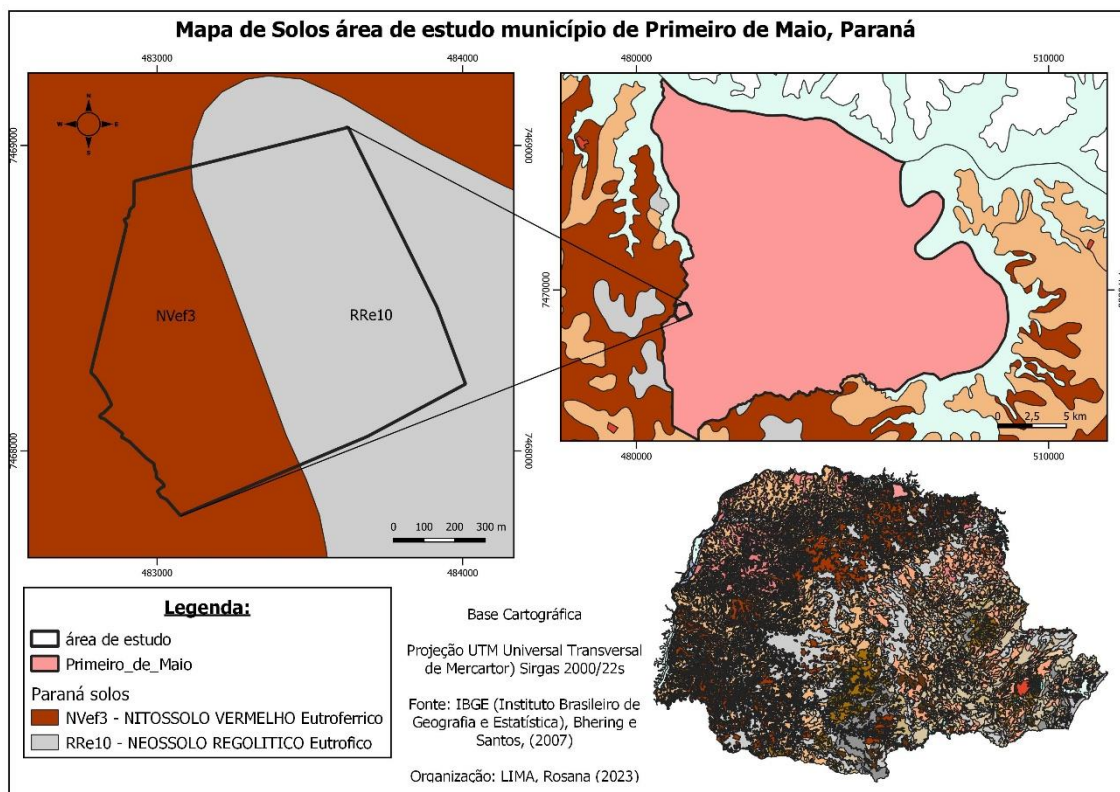
Na geomorfologia, a região está situada na unidade morfoescultural do Terceiro Planalto Paranaense. Sobre a Folha 2.4.7 de Presidente Prudente nas latitudes 26° 00' e 27° 00'. A maior parte se enquadra na subunidade morfoescultural do Planalto de Londrina, apresentando relevo com dissecação média, vertentes e vales em “V”, topos alongados.

Poucas áreas na porção sudoeste 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 noroeste, próximo ao rio Paranapanema, há extensões inseridas na subunidade chamada morfoestrutural do Planalto do Médio Paranapanema, com relevo de dissecação baixa, com formas predominantemente de topos aplainados, vertentes convexas e vales em “V” (IAT, 2023).

Segundo levantamento pedológico realizado por Bhering e Santos (2008) no estado do Paraná, em uma escala de 1:250.000 são identificadas duas classes de solos abrangendo a área de estudo: Neossolos Regolíticos eutróficos e Nitossolos Vermelhos eutroféricos (Nvef) sob relevo suave ondulado a ondulado, conforme (Figura 20).

No levantamento realizado no presente estudo obteve-se classificação em maior escala de detalhe, de acordo com as tradagens e análises realizadas até 4º nível categórico, conforme o perfil.

Figura 20- Mapa pedológico da propriedade Bonitão, no município de Primeiro de Maio, Paraná de acordo com Bhering e Santos (2008) no estado do Paraná, em uma escala de 1:250.000.



Fonte: LIMA, 2023.

7.2.2. Coleta de solos

Foram realizadas 11 sondagens desde o topo até a base da vertente (sopé) e a abertura de 5 trincheiras. As amostras coletadas foram analisadas e descritas no compartimento da paisagem ao longo da pedossequência. A descrição dos perfis seguiu a metodologia de Lemos e Santos et al., (1996) e os solos foram classificados até o quarto nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS, 2018). As cores seca e úmida dos pontos foram determinadas com o auxílio da Carta Munsell.

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.

As tradagens foram realizadas no sentido NO-SE, totalizando aproximadamente 1000 metros de extensão. As unidades de vertente foram classificadas de acordo com o modelo de Dalrymple et al. (1968). Para a descrição e a caracterização das sondagens, demarcou-se um transecto e coletou-se as amostras com o auxílio de trado. Em cada ponto as amostragens chegaram até aproximadamente 1,00 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, feitas através de variações de cor, textura, consistência, cerosidade e presença de calhaus ou cascalho. O primeiro ponto de coleta foi localizado no topo da vertente em direção ao último até o sopé. Para a execução do transecto, considerou-se as informações de hipsometria do relevo.

As trincheiras foram realizadas posteriormente as tradagens, de acordo com a verificação das diferenças pedológicas e de variação do relevo e paisagem em campo, para realização do mapa pedológico da área.

7.2.3. Confeção dos Mapas

Para a análise pedomorfológica da área de estudo, foram elaborados mapas geomorfológico, planialtimétrico e de solos.

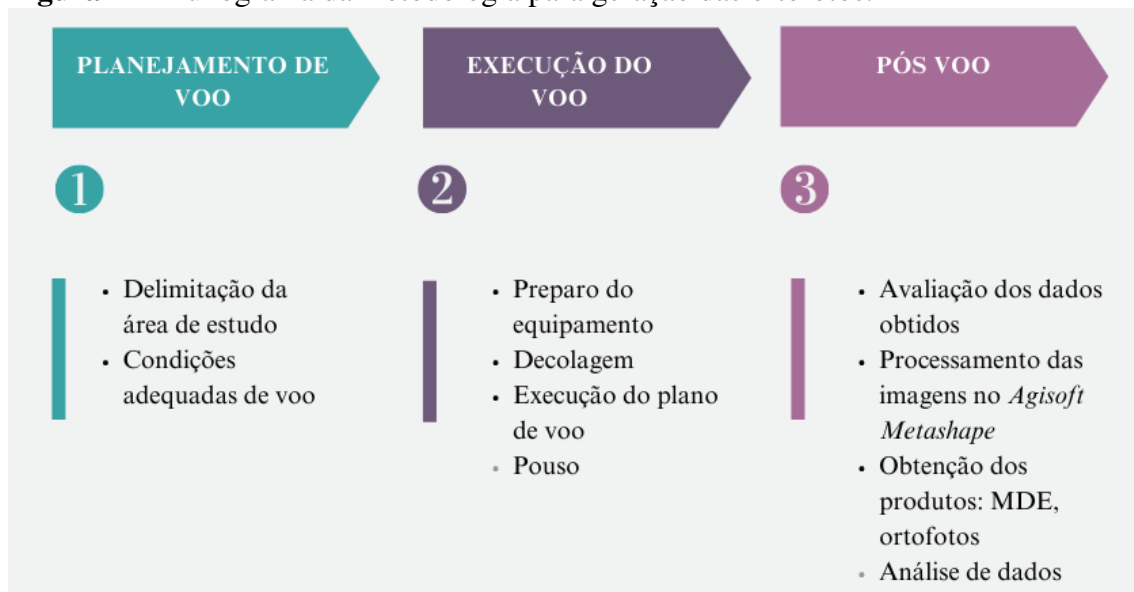
Quanto a avaliação e mapeamento dos atributos geomorfológicos, a investigação teve como premissa o acesso dos dados disponibilizados no site do IBGE, (2002), no Banco de Dados de Informações Ambientais em escala 1:250.000.

A avaliação e o mapeamento seguiram a categorização do relevo em: Unidades Geomorfológicas do Paraná, com foco na área de estudo compostas por: Planalto de Apucarana- Mauá da Serra, Planalto do rio Paranapanema e Planícies e Terraços Fluviais (ROSS, 1994). Na sequência, partiu-se para o refinamento cartográfico a partir das informações morfométricas disponibilizadas pelo MDE de 30 m.

Já para a geração da planialtimetria área de estudo, foi realizada a geração de ortofotos a partir de imagens obtidas com RPA (aeronave do tipo multirrotor), de modelo RPA Mavic 2S, de acordo com as seguintes etapas (Figura 21):

Para a obtenção das imagens foi utilizada aeronave do tipo RPA Mavic 2S, com sensor Hasselbad 20 mp para captura das imagens, formado por um circuito integrado contendo uma matriz de capacitores acoplados. Foi utilizado o sistema cartesiano de coordenadas projeção UTM e processado os dados em SIRGAS 2000.

Figura 21- Fluxograma da metodologia para geração das ortofotos:



Fonte: Adaptado de Junior e Gomes (2022).

O processamento da aerofotogrametria foi realizado no *software Agisoft Metashape*. Para criar malhas tridimensionais a partir das imagens obtidas de ortofotos e MDE. Posteriormente o carregamento das fotografias coletadas com o RPA, foi feito o alinhamento das imagens para melhoria da qualidade da ortofoto, para construção do modelo de poligonal do terreno, por meio da construção da malha mapeada tridimensionalmente.

Para construção do mapa de solos em escala 1:10.000 foram utilizadas tecnologias de geoinformação, como imagem *Shuttle Topography Mission- SRTM*, imagens obtidas das ortofotos e MDE, para otimizar o levantamento em campo e melhorar a qualidade do produto final cartográfico/pedológico, seguidos de trabalhos de campo e observações *in loco*. As informações sobre a geologia, geomorfologia, vegetação, hidrografia, clima, pedologia, relevo e suas unidades da vertente, abrangendo o comportamento do pedoambiente também foram consideradas na realização do trabalho. E, por fim, análises laboratoriais das amostras de tradagens e trincheiras coletadas em campo, para classificação até 4º nível categórico das classes de solo.

Para a construção dos mapas de investigação da distribuição espacial de elementos como Ferro, Alumínio e Sílica no solo é fundamental compreender os processos geoquímicos e suas implicações na classificação pedológica, especialmente aplicado em horizontes diagnósticos de solos de origem basáltica. O uso de geotecnologias aliado a

métodos geoestatísticos, proporciona uma abordagem mais robusta para a construção de mapas precisos e representativos dessas concentrações.

Dessa forma, a Krigagem Ordinária foi escolhida como método geoestatístico para espacialização dos valores de concentração para esses elementos. Esse método utiliza uma abordagem de interpolação ponderada, levando em consideração a estrutura de correlação espacial entre as amostras para estimar os valores em locais não amostrados, ou seja pode ser entendido como uma predição linear ou uma forma da Inferência bayesiana. Parte do princípio de que pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais parecidos do que pontos mais afastados. A técnica de Krigagem assume que os dados recolhidos de uma determinada população se encontram correlacionados no espaço.

Os resultados interpolados permitem a construção de mapas de distribuição espacial, representado visualmente por isolinhas de concentrações dos elementos no solo. Para assegurar a precisão do modelo, é realizada validação cruzada, avaliando a concordância entre os valores estimados e os valores reais medidos nas amostras.

Essa metodologia integrada as geotecnologias proporcionam uma abordagem completa e confiável para a análise espacial de elementos no solo, contribuindo significativamente para o entendimento da dinâmica geoquímica e pedológica na área de estudo.

7.2.4. Análise Granulométrica

Após identificadas e descritas, as amostras foram secas (TFSA) para em seguida serem tamisadas em peneira de malha 2,0 mm e encaminhadas para a realização da análise granulométrica, utilizando o método da pipeta com agitação lenta (CLAESSEN, 1997). Alocando 20g de solo em 100 ml de NaOH 1 mol L⁻¹, agitando-se por período de 16 horas a 300 rpm, após a agitação o conteúdo foi transferido para uma proveta de 1L. As concentrações suspensas de argila e silte foram determinadas por gravimetria seguindo o tempo de sedimentação da Lei de Stokes e a areia por diferença.

A análise foi realizada em temperatura controlada no Laboratório de Solos da Universidade Estadual de Londrina, da Universidade Estadual de Londrina. Todas as amostragens além das trincheiras, foram utilizadas para a confecção do mapeamento de solos na escala de 1:10.000.

7.2.5. Análises Químicas

As análises químicas seguiram o padrão descrito no manual de análises químicas proposto por Pavan et al., (1992). Onde 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 e das trincheiras de solo até o 4º nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, Embrapa, (2018).

Determinaram-se ainda 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.

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 se calculou a matéria orgânica baseado na quantidade de Cr_2O_7 reduzido.

7.2.6. Análises mineralógicas

A determinação dos teores totais de Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 nos horizontes diagnósticos e nos horizontes das tradagens foi estimada em amostras de solo moídas a 0,149 mm. O equipamento utilizado foi espectrofotômetro de fluorescência de raio-X EDX 720 da marca Ray ny por dispersão de comprimento de onda do Laboratório de

Análises por Técnicas de Raios X- LARX da Universidade Estadual de Londrina (UEL) (Figura 22).

Figura 22- Espectrofotômetro de fluorescência de raio-X EDX 720 do Laboratório de Análises por Técnicas de Raios X- LARX da UEL.



Fonte: os autores, (2023).

A radiação emitida do Raio-X, provoca excitação dos átomos do elemento a ser analisado.

7.2.7. Análise das assinaturas espectrais

Para a análise das assinaturas espectrais das amostras, coletaram-se 95 espectros, 75 oriundas das tradagens e 20 das trincheiras, todas peneiradas em malha de 0,2 mm. Para a coleta dos espectros, as amostras foram previamente secas em estufa a 40°C por 12 horas, para uniformização dos valores de umidade. Passado a homogeneização da umidade, cerca de 5,0 g de terra foram postas em cubetas de 0,5 cm de diâmetro e lentes de quartzo, a cada 2 nm, na região de 400 a 2500 nm. Cada espectro foi composto por média de 32 leituras. Onde as leituras foram obtidas no equipamento espectrômetro Vis-NIR, modelo FOSSNIR System XDS (Foss NIR Systems, Silver Spring, MD, USA) do Laboratório de Apoio à Pesquisa Agropecuária (LAPA) da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Os dados de absorbância foram expressos pelo logaritmo (log) do inverso da reflectância [$\log (1/R)$] e analisados nos programas WinISI IV v.4.2 (Foss NIR Systems/Tecator Infrasoftware International, LC, Silver Spring, MD, USA) e Unscrambler X, v.10.2 (Camo Software AS). Para caracterizar a variabilidade dos atributos do solo, foi utilizada uma análise estatística descritiva. Posteriormente a verificação dos espectros sem nenhum tipo de pré-processamento foi possível identificar as principais bandas espectrais de absorção.

7.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.3.1. Descrição Geral da Área de estudo

A área de estudo de acordo com as observações e análises da pedogeomorfologia local juntamente a configuração da paisagem, permitiram inferir as seguintes classes de solo junto as dadas posições na paisagem com a utilização dos conceitos de Dalrymple de unidades hipotéticas de vertente. Foram identificados e mapeados quatro segmentos de vertente em uma topossequência representativa da região, conforme pode ser observado no perfil topográfico da área de estudo Bonitão, no município de Primeiro de Maio, Paraná (Figura 23).

Em uma distância de aproximadamente 1km, as classes situadas no perfil topográfico respectivamente do topo ao sopé foram as seguintes: Cambissolo Háplico (CX), Nitossolo Vermelho (NV), Cambissolo Flúvico (CY) e Gleissolo Háplico (GX). O topo corresponde as cotas entre 439 e 420m, apresentando maior estabilidade no comportamento dos atributos. Enquanto o segundo segmento mais predominante de encosta, vai de 427 a 386m com a presença de solos mais rasos como os Cambissolos Háplicos, Afloramentos Rochosos e seguido dos Nitossolos Vermelhos. A meia encosta predominaram os Cambissolos Flúvicos em 385 a 368m, de configuração suavemente inclinada em direção ao corpo hídrico e ao sopé de deposição. A área do sopé apresentou menores altitudes 367m, com um pedoambiente mais estável e de deposição de transporte.

Figura 23- Perfil topográfico da área de estudo Bonitão, Primeiro de Maio, PR.



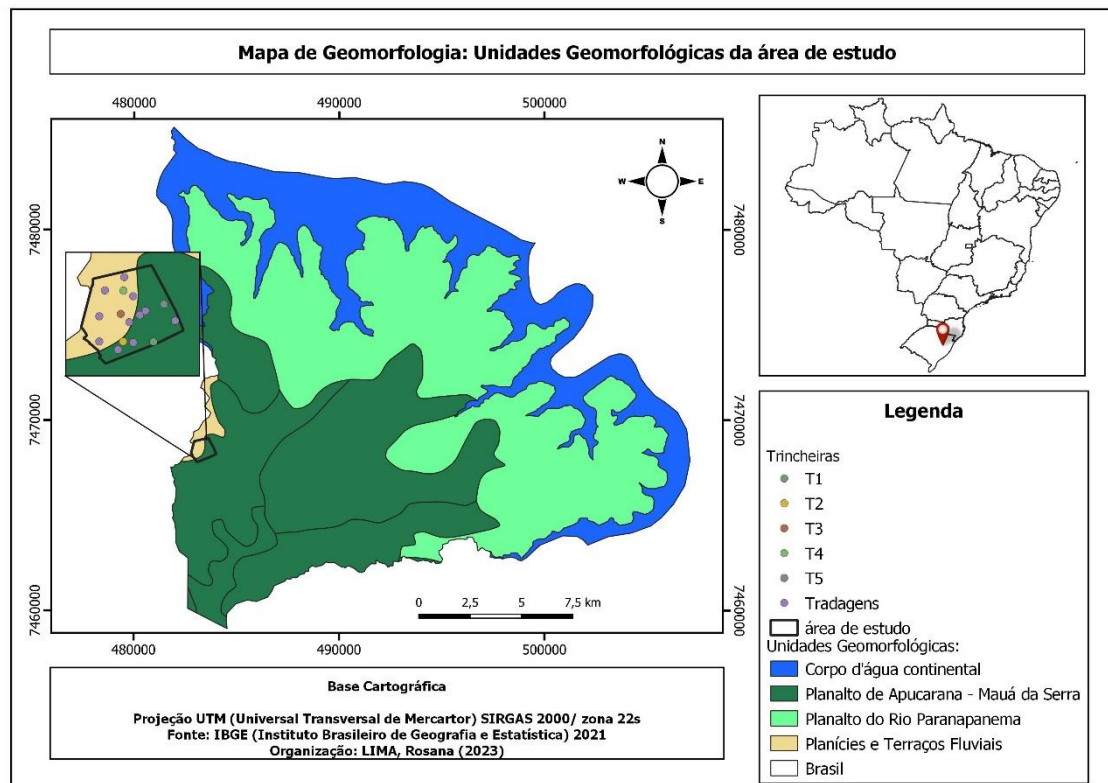
Fonte: google Earth Pro.

A Geomorfologia do município de Primeiro de Maio é subdividida em 3 classes: o Planalto de Apucarana- Mauá da Serra, Planalto do rio Paranapanema e Planícies e Terraços Fluviais. Dentre as Unidades Geomorfológicas da área de estudo o mapeamento permitiu constatar a variável de relevo na área entre o Planalto de Apucarana e as Planícies e Terraços Fluviais, conforme (Figura 24).

O Planalto de Apucarana representa dissecação alta, com altitudes variando de 300 m e 920 m. Predominando formas de topos alongados, vertentes convexas e vales em “V”. Indo de encontro com as planícies e terraços fluviais, que no Paraná ocorrem em praticamente todas as unidades morfoesculturais do Cinturão Orogênico do Atlântico e da Bacia Sedimentar do Paraná.

Já as unidades de Planícies e Terraços Fluviais estão situadas em áreas restritas, associadas aos depósitos a montante de níveis de base locais e regionais de acordo com IAT., (2023). Representam as áreas planas, originalmente geradas por deposição fluvial, os quais predominam processos agradacionais. Favorecendo assim depósitos até mesmo de aditivos, fertilizantes, insumos agrícolas que agregarão na morfologia do solo, alterando sua fertilidade e alterando seus nutrientes.

Figura 24- Mapa Geomorfológico da área de estudo:



Fonte: LIMA, 2023.

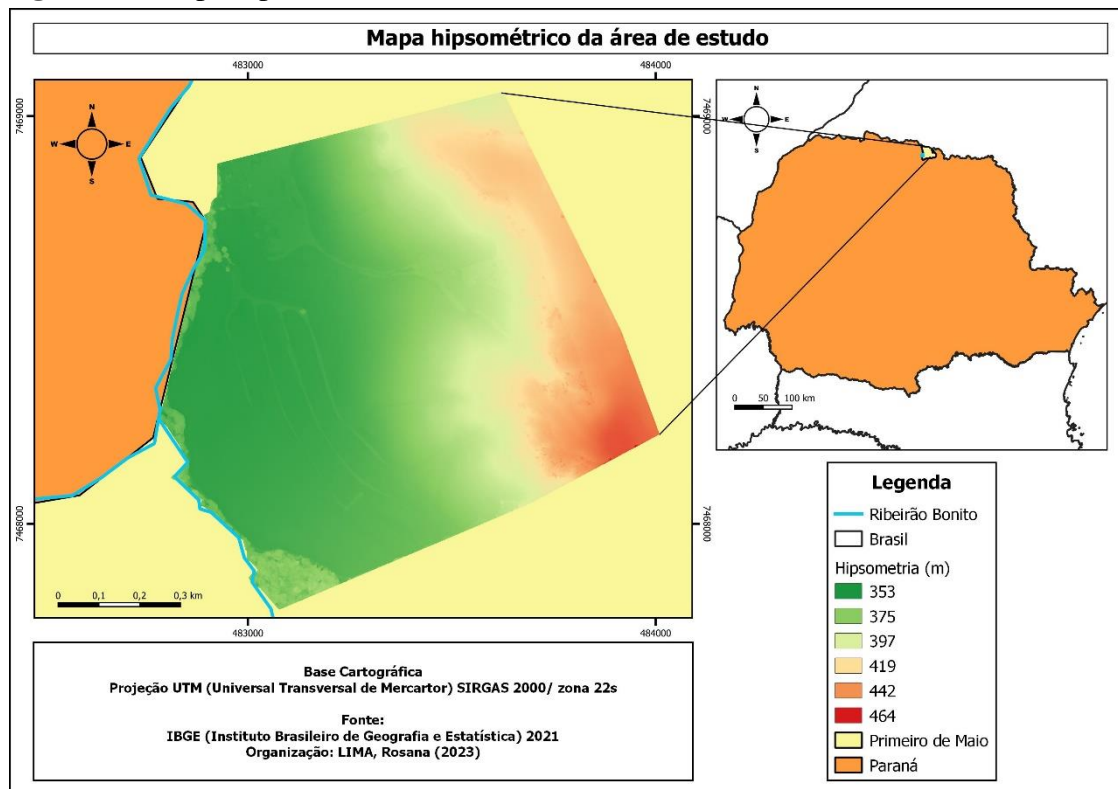
Além de atingir um ambiente de fragilidade onde a saturação do solo é evidenciada pela presença dos solos hidromórficos favorecido pela topografia, bem como Siefert & Santos, (2015) que também identificaram áreas hidrológicamente sensíveis em ambientes hidromórficos no estado do Paraná.

Para a obtenção do MDE, a partir dos pontos marcados do transecto e das amostras coletadas com GPS na área de estudo em sentido geográfico N – NE, apresentaram abrangência de aproximadamente 1000 m. Com base nas altitudes do terreno, entre as cotas 353 m à 464 m de alta variabilidade, conforme pode ser observado na (Figura 25).

As classes altimétricas na propriedade Bonitão indicaram altitudes que em média apresentam diminuição em seu índice de leste à oeste da área, em razão de sua localidade situada em vertente de relevo côncavo, indo ao encontro da planície e terraço fluvial.

Sendo assim, verifica-se que nas áreas situadas acima de 419 metros, em 442 m, 464 m, a partir da interpretação do sombreado do relevo parte da relação da hipsometria com o Planalto de Apucarana, onde atuam processos agradacionais do topo até o sopé da vertente ao longo do tempo. Também junto a interpretação visual do relevo sombreado, podem-se identificar as diferentes unidades da vertente: topo, meia encosta, encosta e sopé.

Figura 25- Mapa hipsométrico da área de estudo.

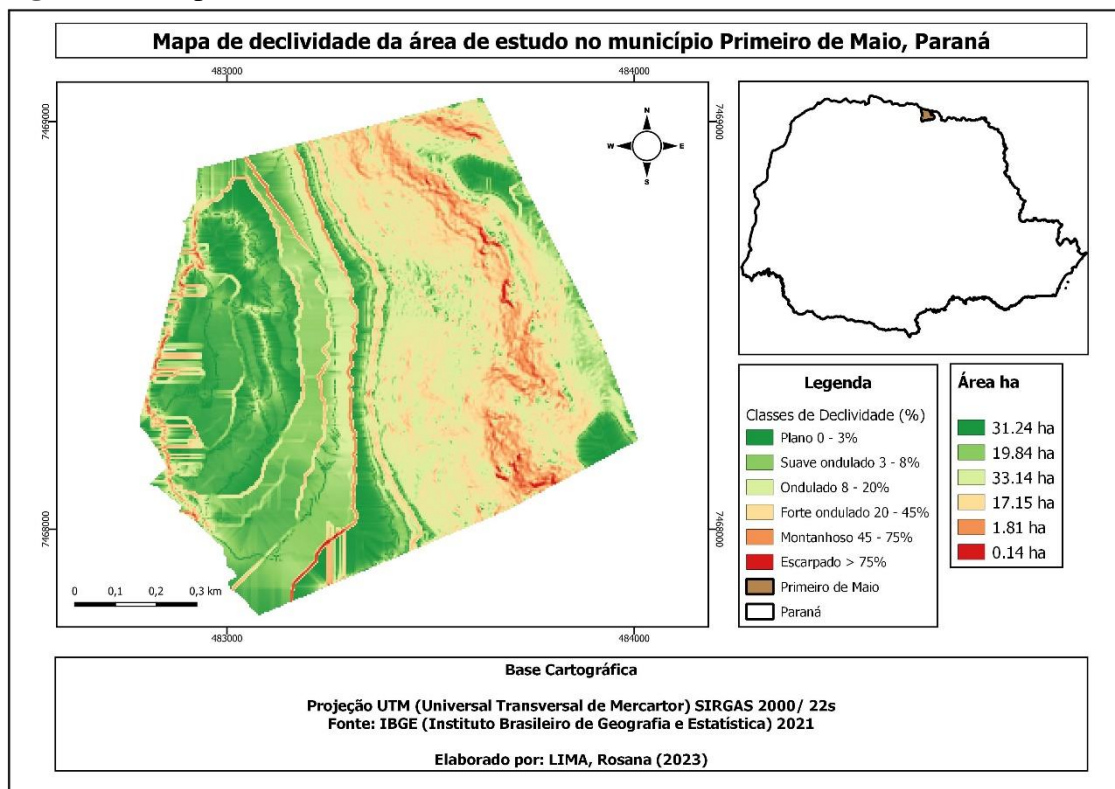


Fonte: LIMA, 2023.

Assim como, a área com menor cota altimétrica de 353 m está distribuída na parte em maior área da propriedade, de planícies e terraços fluviais, face aos solos hidromórficos que sofrem com o acúmulo de água, semelhantes às áreas de inundações periódicas conforme Coringa, (2012) em estudos de Gleissolos e Cambissolos Flúvicos em áreas pantaneiras.

Sabendo que a declividade exerce papel fundamental na gênese das classes de solos bem como o uso da terra e nos processos erosivos. A partir do MDE adquirido em campo, foi realizado o mapa de declividade da propriedade Bonitão, de acordo com a classificação da Embrapa (2006), com o intuito de fornecer bases de orientação de declive do terreno da propriedade, caracterizando a área com um relevo plano a levemente escarpado, de acordo com a (Figura 26):

Figura 26- Mapa de declividade da área de estudo.



Fonte: LIMA, 2023.

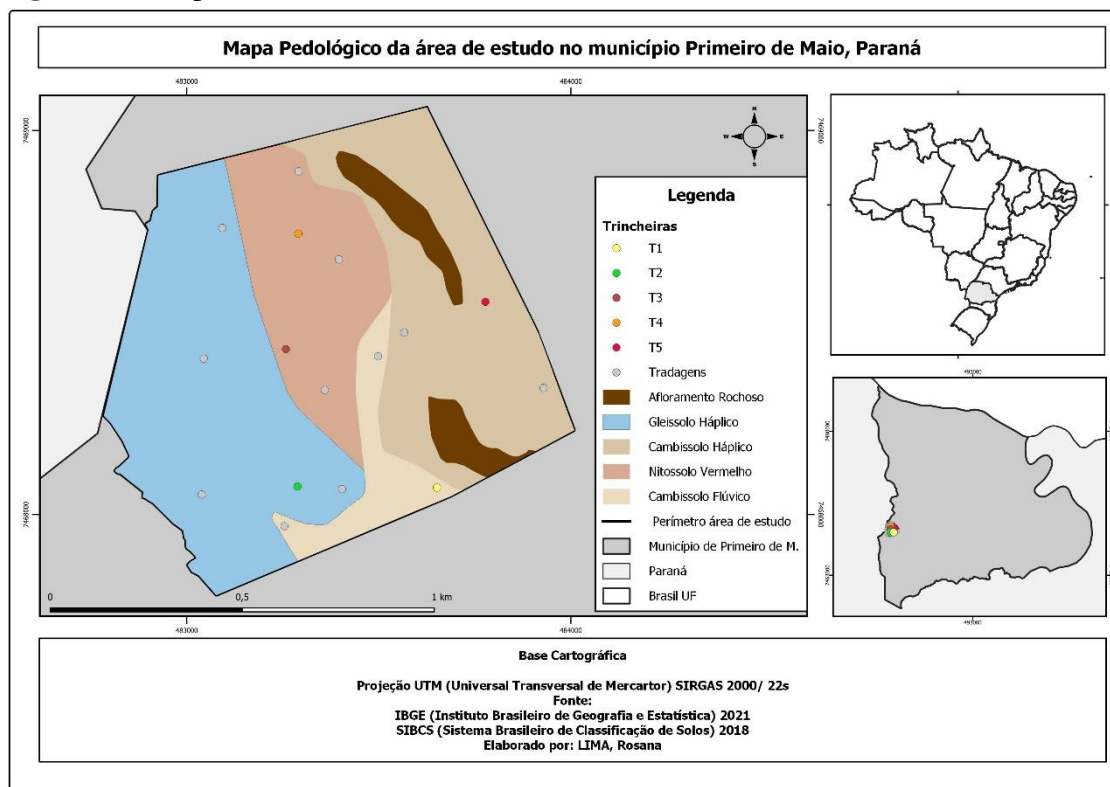
As classes de declividade ondulada (8-20%), compreendem a maior parte da área total, com 33,14 ha. Nessas faixas de declividades comumente são encontrados os Nitossolos, como constatado por Silva (2011) e Felix (2019), classe de solo com alta suscetibilidade aos processos erosivos, principalmente se não adotadas práticas conservacionistas.

A parte oeste do polígono de planície e terraço fluvial foi identificada em relevo plano 0-3% a suave ondulado 3-8% representando maior abrangência de 51,08% ha, associada as áreas de inundação. Alguns sinais das classes montanhosa 45-75% de declive e escarpado >75% respectivamente exibidos na parte as margens do córrego, estão relacionados a influência das copas das árvores da área de APP, no traçado e na cota altimétrica da curva de nível. Mesmo com a classificação minuciosa e a suavização no processamento em uma das etapas do ortomosaico, as mesmas interferiram na imagem de voo. Considerando apenas as do lado leste da imagem, onde encontram-se os afloramentos rochosos e Cambissolos classes rasas situadas em declives acentuados.

O mapa pedológico da propriedade Bonitão em escala 1: 10.000, apresentou maior variabilidade pedológica com maior quantidade de classes, quando comparada à classificação de solos do Paraná em escala 1:250.00 realizada por Bhering e Santos

(2008), apenas com duas classes, devido a análise em melhor detalhamento, podendo ser observado na (Figura 27):

Figura 27- Mapa das Classes de Solos da área de estudo.



Fonte: LIMA, 2023.

As classes pedológicas identificadas como Gleissolo Háptico e Cambissolo Flúvico representam cerca de 50% da área total, são classes que apresentam fragilidade ambiental muito forte com valor 5 na escala de Ross (1994). Quando somados aos fatores declividade e uso e ocupação do solo, revelam a fragilidade da área de estudo. Neste caso, a propriedade apresentou no Gleissolo Háptico e Cambissolo Flúvico relevo com declividade plana 0-3% a suave ondulada 3-8%, o que no fator de declive representou nível 2, como sendo de fraca fragilidade. No uso e ocupação do solo e seus graus de proteção por tipo de cobertura vegetal, com a agricultura anual de soja e milho, todas as classes de solo tiveram o grau de proteção 3 classificada como média na escala de Ross (1994).

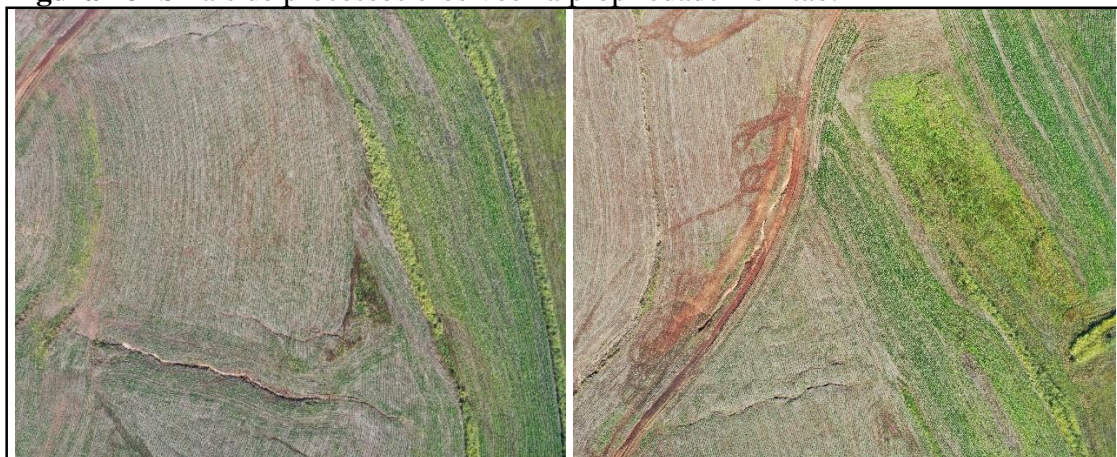
A delimitação do Cambissolo Háptico, solos rasos, abrange cerca de 26% da área, em declividades entre 8 e 20% relevo ondulado, forte ondulado 20-45% e montanhoso 45-75%, no grau de fragilidade da classe indo de média valor 3 a muito forte valor 5. Vashchenko et al., (2007) também classificaram a suscetibilidade à erosão de um

Cambisoló Háplico e afloramentos de rocha na região de Campina Grande do Sul, no Paraná, como muito alta. Sendo além disso, influenciado pela forma de declive, pois as maiores perdas estão nos declives convexos, médios a menores nos concavos. Os Afloramentos de Rocha tiveram abrangência aproximadamente de 4% da área, onde encontram-se isoladas, sem uso na agricultura.

A classe identificada como Nitossolo Vermelho, apresentou ocupação de 20% e uma fragilidade média de valor 3. A declividade vai de suave ondulado 3-8% a ondulado 8-20%. Os mesmos se desenvolvem sob relevos mais acidentados e apresentam maior suscetibilidade aos processos erosivos se não houver práticas conservacionistas, comparado aos Latossolos, por exemplo. Oliveira, (2023) em estudo na Bacia Hidrográfica Ribeirão Vermelho afluente ao Paranapanema próxima ao Ribeirão Bonito, classificou em mapeamento cerca de 60,3% de Nitossolos na bacia, além de Gleissolos também.

Referente à propriedade de estudo Bonitão, de acordo com o levantamento da Agência Nacional das Águas- UGRH Paranapanema diagnóstico- ANA, (2014), sobre as Unidades Morfoesculturais identificadas na área, o Planalto de Apucarana e de Londrina apresentam baixa fragilidade face aos processos erosivos. Embora tenha sido localizado na área alguns sinais de sulcos aparentes vertentes ao Ribeirão Bonito, como pode ser visto na (Figura 28).

Figura 28- Sinais de processos erosivos na propriedade Bonitão.



Fonte: os autores (2023).

7.3.2. Macromorfologia e Classificação dos Solos

Neste tópico será apresentada a descrição da macromorfologia (Tabela 10), classificação e discussão das sondagens, suas relações e comportamentos na vertente.

Tabela 10- Descrição macromorfológica de perfis de solos desenvolvidos de basalto, Londrina, Paraná.

Atributos do solo						
Horizonte	Prof.	Cor	Consistência (1)		Cerosidade (2)	
	(cm)	úmida	Seca/úmida	Plast	Pegaj	
Sondagem-1						
P1 A	0-20	5YR 3/3	fr/d.	np.	lpg.	-
P1 Bi	20-40	5YR 3/3	mfr/md.	np.	npg.	-
P1C	40-60	5YR 4/4	fr/d.	p.	npg.	-
Perfil-2						
P2 A	0-20	5YR 3/3	ma/ma.	lp.	lpg.	-
P2 Bt	20-40	5YR 4/4	md/fr.	lp.	npg.	-
Perfil-3						
P3 A	0-20	5YR 3/3	m/m.	p.	npg.	-
P3 Bi	20-30	5YR 3/3	md/fr.	p.	npg.	-
Perfil-4						
P4 A	0-20	7,5YR3/4	d/fr.	p.	npg.	-
P4 Bt	20-30	7,5YR3/4	md/f.	p.	npg.	-
Perfil-5						
P5 A	0-20	7,5YR 3/4	d/f.	p.	lpg.	-
P5 Bt1	20-40	7,5YR 3/4	md/f.	p.	npg.	-
P5 Bt2	40-60	7,5YR 3/4	md/f.	lp.	npg.	-
P5 Bw	60-80	10YR 3/4	s/fr.	lp.	npg.	-
Perfil-6						
P6 A	0-20	7,5YR 3/4	ld/fr.	p.	lpg.	-
P6 Bt	20-40	7,5YR 3/4	md/f.	p.	npg.	-
P6 Bw	40-60	7,5YR 3/4	ld/fr.	p.	npg.	-
Perfil-7						
P7 A	0-20	10YR 3/3	ld/fr.	p.	lpg.	-
P7 Bt1	20-40	10YR 2/2	md/f.	mp.	npg.	-
P7 Bt2	40-60	10YR 2/2	md/f.	mp.	npg.	-
Perfil-8						
P8 A	0-20	5YR 3/4	ld/f.	mp.	lpg.	-

P8 Bt1	20-40	5YR 3/4	md/f.	p.	lpg.	-
P8 Bt2	40-60	5YR 3/4	md/f.	p.	np.	-
P8 Bt3	60-80	5YR 4/6	md/fr.	lp.	np.	-
P8 Bw	80-100	5YR 3/4	md/fr.	p.	np.	-
<i>Perfil-9</i>						
P9 A	0-20	5YR 3/3	d/fr.	mp.	pg.	-
P9 Bt1	20-40	5YR 3/3	md/mf.	mp.	pg.	-
P9 Bt2	40-60	5YR 3/1	m/fr.	mp.	pg.	-
P9 Bt3	60-80	5YR 4/2	m/fr.	mp.	mpg.	-
P9 Bt4	80-100	5YR 4/2	m/fr.	mp.	mpg.	-
<i>Perfil-10</i>						
P10 A	0-20	2,5YR 2,5/0	ld/fr.	mp.	lpg.	-
P10 Bt1	20-40	2,5YR 2,5/2	md/f.	mp.	pg.	pr.
P10 Bt2	40-60	2,5YR 3/0	md/f.	mp.	mpg.	-
<i>Perfil-11</i>						
P11 A	0-20	2,5YR 2,5/2	md/fr.	mp.	lpg.	-
P11 Bt1	20-40	2,5YR 3/0	md/fr.	mp.	mpg.	pr.

*Mosq: Mosqueado; po: pouco; co: comum; di: distinto. ⁽¹⁾ 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; ⁽²⁾ pr: presente.

Ao se analisar a cor úmida dos perfis por meio da carta de Munsell, pode-se observar certa heterogeneidade de cores ao longo do transecto. Observando o Matiz passando entre as páginas, 10YR, 5YR, 2,5YR, 7,5YR, conforme observado na (Tabela 10). Segundo Resende (1976) e Schwertmann (1993) a cor do solo é um indicador seguro sobre a presença dos óxidos de Fe e outras propriedades de suma importância relacionadas aos mesmos. Sendo a oxidação em solos nas regiões tropicais e subtropicais, acarretada pelo forte processo de lixiviação, e desta maneira resultando na ferratização dos perfis (FERREIRA et al., 2003).

Dentre os principais minerais secundários presentes nos solos tropicais estão os óxidos e hidróxidos de ferro, hematita que atribui a cor avermelhada ao solo e a goethita (óxidos de Fe hidratados) que concede a cor amarelada (Benedetti et al., 2011).

As cores 10YR e 2,5YR (Avermelhado) com valores e cromas “mais altos” foram as cores encontradas com menos frequência nos perfis, devido à predominância de perfis de solos mais rasos e menos desenvolvidos e intemperizados. Como é o caso dos perfis 1, 2, 3, 8 e 9 que mantiveram o mesmo padrão de cores, no matiz 5YR, sendo o P1, P2 e

P3 variando valores e cromas 3/3 e 4/3. Mudança abrupta de cor foi verificada no horizonte C, com presença de mosqueados com aspecto de material rochoso, (Figura 29):

Figura 29- Mudança abrupta de cor no horizonte C, perfil 3.



Fonte: os autores, (2023).

Já no P4, P5, P6 a declividade foi de 15% sob relevo ondulado (EMBRAPA, 2018). As cores observadas desses horizontes foram matiz 7,5YR (Amarelado) com valores e cromas 3/4. Sendo classificados como a classe de Cambissolo Háplico (raso). O perfil 5 já mais profundo com 80 cm de profundidade, enquanto o P6 com 60 cm, tendendo a ficar mais claro conforme a profundidade. O P7 apresentou cores variando de 10YR 3/3 mais escura na camada superficial devido a matéria orgânica e valor e croma de 2/2 com aspecto de material rochoso no horizonte C.

Enquanto, o P8 e P9 perfis das classes de solo Cambissolo Háplico e Cambissolo Flúvico respectivamente, com profundidades maiores que os perfis anteriores, também no mesmo matiz, tiveram variação de valores e cromas diferentes abarcando as profundidades de 60-100 cm. Sendo o P9 na camada 80- 100 cm indicador de um início de hidromorfismo pelo aspecto redutor, com coloração mais “acinzentada” representada pelo 5YR 3/1.

Logo o P10 e P11 classes de Gleissolos Háplicos, apresentaram 5YR (Cinzento-escuro) a 7,5YR (Bruno-escuro) indo até 60 cm e 40 cm respectivamente, justificado pelo maior umedecimento e limite com o lençol freático, (Figura 30). Na Carta de Munsell

esse caráter flúvico pode ser caracterizado pela dissolução dos óxidos de ferro presumivelmente hematita e goethita (CUNHA; FONTES; LANI, 2019).

Figura 30- Perfis P10 e P11 de Gleissolos Háplicos.



Fonte: os autores, (2023).

Essa ocorrência em campo, proporcionou a observação que as cores nos perfis mais inferiores da vertente situados no sopé, são áreas que possuem maior probabilidade de atingirem o estado de saturação do solo e indicarem ambiente redutor dando origem a solos hidromórficos, devido à presença sazonal de água em dados períodos de tempo encharcando o solo com água livre em profundidade, revalidado pela literatura (OLIVEIRA et al., 1992; CORINGA et al., 2012; SIEFERT & SANTOS, 2015; EMBRAPA, 2018).

De acordo com Siefert & Santos (2015) em um estudo sobre a identificação de áreas hidrológicamente sensíveis, ressaltam a importância da delimitação e fragmentação dessas unidades da paisagem devido ao seu comportamento hidrológico e distintos condicionantes naturais, que podem identificar fragilidades e potencialidades atreladas, estabelecendo áreas prioritárias de conservação e preservação. Além de serem extremamente dinâmicas e mais sensíveis às condições climáticas.

7.3.3. Granulometria e atributos químicos dos perfis de solo

Os resultados da granulometria e dos atributos químicos dos perfis de solos podem ser verificados na Tabela 11. A amostragem avaliada ao longo da pedossequência, foi até na profundidade atingível de cada perfil, com intuito de avaliar as variações de textura, mineralogia e MO.

Tabela 11- Granulometria e atributos químicos dos solos dos perfis da propriedade Bonitão, Primeiro de Maio, Paraná.

Horizonte	Prof.	Atributos do solo												V
		Argila	Silte	Areia	pH		M.O.	C	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC	
		-----g kg ⁻¹ -----			CaCl ₂	H ⁺ +Al ³⁺	g.kg ⁻¹				-----cmol _c kg ⁻¹ -----			%
P1 A	0-20	265	235	500	5,5	2,9	25,52	14,4	12,1	6,56	1,48	7,8	10,7	72
P1 Bi	20-40	330	270	400	5,9	2,1	25,52	14,4	16,7	5,21	0,61	3,96	6,06	65
P1 C	40-60	230	250	520	6,0	3,4	7,65	4,4	16,7	5,21	0,36	2,94	6,34	46
P2 A	0-20	320	250	430	4,9	3,4	44,66	25,9	17,2	6,45	0,79	4,64	8,04	57
P2 Bt	20-40	165	180	655	5,3	2,5	19,14	11,1	19,7	8,91	0,17	11,31	13,8	81
P3 A	0-20	235	305	460	5,5	2,5	38,28	22,2	20,8	9,86	0,94	7,97	10,4	76
P3 Bi	20-30	310	225	465	5,7	2,5	25,52	14,8	21,8	10,61	0,89	8,55	11,0	77
P4 A	0-20	255	180	565	5,5	2,5	12,76	7,4	19,4	7,81	0,25	6,4	10,2	71
P4 Bt	20-30	210	255	535	5,5	2,5	14,03	8,1	22,6	9,11	0,22	5,92	8,09	70
P5 A	0-20	240	320	440	5,2	3,4	26,79	15,5	17,8	6,76	1,13	6,71	8,42	66
P5 Bt1	20-40	225	220	555	5,5	2,5	16,59	9,6	17,8	6,27	0,44	7,24	10,1	74
P5 Bt2	40-60	135	235	630	5,9	2,1	12,76	7,4	21,5	6,58	0,26	5,81	9,74	73
P5 Bt3	60-80	125	210	665	6,0	1,8	6,38	3,7	22,1	6,16	0,1	6,17	7,91	77
P6 A	0-20	205	320	475	5,1	3,4	25,52	14,8	22,1	9,64	0,9	6,6	10,0	66
P6 Bt1	20-40	235	300	465	5,1	3,4	25,52	14,8	19,7	9,59	0,81	6,84	10,2	66
P6 Bt2	40-60	220	300	480	5,9	2,3	12,76	7,4	21,0	9,07	0,21	8	10,3	77
P7 A	0-20	125	260	615	5,5	2,5	12,76	7,4	28,1	13,22	0,2	11,67	14,1	82
P7 Bt1	20-40	135	155	710	5,9	2,0	11,48	6,6	32,5	14,07	0,08	11,53	13,5	85

P7 Bt2	40-60	140	170	690	5,9	1,8	6,38	3,7	30,2	11,12	0,05	13,39	15,1	88
P8 A	0-20	295	255	450	5,3	3,4	16,59	9,6	23,5	11,67	0,52	11,95	15,3	77
P8 Bt1	20-40	210	280	510	5,5	2,5	14,03	8,1	23,3	13,49	0,35	8,07	10,5	76
P8 Bt2	40-60	155	190	655	6,0	2,0	6,38	3,7	26,2	13,23	0,11	8,54	10,5	81
P8 Bt3	60-80	75	165	760	6,3	1,7	6,38	3,7	24,8	11,91	0,01	9,29	10,9	84
P8 Bt4	80-100	65	205	730	6,4	1,7	2,55	1,3	23,0	16,41	0,009	12,92	14,6	88
P9 A	0-20	285	280	435	5,2	3,4	17,86	10,3	18,0	Alt	0,28	4,24	7,64	55
P9 Bt1	20-40	280	225	495	6,0	2,1	8,93	5,18	21,0	Alt	0,11	10	12,1	82
P9 Bt2	40-60	430	220	350	6,1	2,0	11,48	6,6	24,0	16,58	0,05	8,52	10,5	80
P9 Bt3	60-80	605	145	250	6,3	1,8	7,65	4,4	26,0	Alt	0,05	10,23	12,0	85
P9 Bw	80-100	655	100	245	6,5	1,8	7,65	4,4	24,8	Alt	0,05	19,85	21,6	91
P10 A	0-20	545	220	235	5,9	2,5	28,37	16,4	26,9	Alt	0,08	15,11	17,6	85
P10 Bt1	20-40	625	155	220	5,5	3,4	19,14	11,1	26,4	14,59	0,1	16,6	20,0	83
P10 Bt2	40-60	615	215	170	5,0	3,6	12,76	7,4	26,9	16,94	0,07	19,01	22,6	84
P11 A	0-20	605	150	245	5,4	3,4	19,14	11,1	28,9	6,20	0,14	10,19	13,5	74
P11 Bt1	20-40	630	155	215	5,7	2,9	22,97	13,3	26,1	11,59	0,16	15,23	18,1	84

*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; Alt= valores de leitura que estouraram.

Fonte: LIMA, 2023.

Em relação aos teores de argila, os perfis 09 a 11 obtiveram, ao longo das amostras certo aumento de argila variando de 425 a 595 kg⁻¹ caracterizando solos de textura média a muito argilosa, expressivos, em relação aos perfis 01 ao 08, que apresentaram variação de areia de 400 a 760 g kg⁻¹. O que resulta em certa diferenciação destes perfis em relação a textura e em classes de solo também. Em que, os perfis de 01 a 08 foram classificados em classes pedológicas mais rasas e menos desenvolvidas, em contato próximo ao regolito.

Enquanto os perfis de 09 a 11 foram identificados em campo como sendo classes mais profundas e mais argilosas, fator determinante na diferenciação da forma de planejamento do uso do solo da propriedade, uma vez que, em se apresentando com sinais de processos erosivos é necessárias maiores cautelas na forma de uso e ocupação desse solo.

Os teores de matéria orgânica encontrados apresentaram amplitude de variação de 2,55 a 44,66g kg⁻¹. Sem apresentar uma tendência sequente entre os perfis, apenas em profundidade entre as camadas de cada perfil, que obtiveram altos teores em superfície e baixos nas partes mais profundas.

Os valores de pH_{CaCl₂} indicaram baixa acidez, com valores acima de 5,0 em quase todas as amostras com exceção do horizonte A do perfil 2, considerado pH médio a adequado. Com exceção do perfil 10, todos os outros aumentaram em profundidade, corroborando com resultados de Rodrigues e Klamt (1978), com o aumento em profundidade.

Os valores de V% apresentaram (V>50%) considerados eutróficos com exceção da camada C do perfil 1, (V<50%) conforme (Tabela 2), podendo estar atrelado ao material rochoso presente na amostra. As quantidades de Fe₂O₃ estiveram abaixo de 180g kg⁻¹, classificando-os como eutróficos.

Os solos identificados são solos com pouca evolução genética no geral. Todos os perfis apresentaram elevados teores de cálcio e magnésio, com altas médias de 22,3 kg⁻¹, e 10,38 kg⁻¹ respectivamente. Já os perfis entre 07 a 11 obtiveram valores extremos com médias de 25,2 kg⁻¹ e 13,40 kg⁻¹ que ainda não foram intemperizados, aumentando em profundidade não tendo relação com aplicação de corretivos ou fertilizantes agrícolas, podendo estar atrelado este ao material de origem.

Consequentemente, apresentaram altos valores de soma de bases (SB) e CTC, podendo estar atrelada a presença dos minerais 2:1 e a influencia do material de origem, podendo ser identificada pela Difractometria de Raio-X e pelos dados de Ki, conforme resultados de Coringa et al., (2012) em estudos de solos hidromórficos.

Já a acidez potencial (H⁺+Al³⁺) na maioria dos perfis 1 e 10, diminuíram em profundidade, aparentemente não havendo relação direta com suas posições na topossequência.

De maneira geral, os atributos químicos permitem inferir que as condições atuais dos solos são valores que saem do padrão dos valores da química convencional de solos adequados para uso de plantio, devido a seus resultados atípicos.

7.3.4. Análises Mineralógicas:

Na tabela 3 estão apresentados os teores de elementos totais dos horizontes diagnósticos das 11 sondagens 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 $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{FeO}_3)$ conforme (Tabela 12).

Tabela 12- Elementos totais dos horizontes diagnósticos.

Elementos totais dos H-diagnósticos									
Perfis das Sondagens	X	Y	Horizonte	Profundidade	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Ki	Kr
				-----cm-----	-----g kg ⁻¹ -----				
1- CXbef ¹	483928,75	7468329	Bi	40-60	518,8	127,3	175,6	5,02	2,72
2- CXbef ²	483565,81	7468474	Bi	20-40	357,0	167,9	164,2	3,70	1,73
3- CXbef ³	483497,84	7468411	Bi	20-30	405,9	157,1	167,8	4,11	2,00
4- CXbef ⁴	483358,95	7468323	Bi	20-30	373,9	184,0	200,7	3,17	1,56
5- CXbef ⁵	483370,99	7468650	Bt2	60-80	400,7	134,2	181,4	3,75	2,01
6- CXbef ⁶	483404,38	7468065	Bt2	40-60	415,2	156,6	171,2	4,12	2,03
7- CXbef ⁷	483254,05	7467969	Bt2	40-60	392,3	159,3	175,8	3,79	1,87
8- CX ⁸	483038,6	7468051	Bt3	60-80	401,1	166,6	199,7	3,42	1,75
9- CY ⁹	483044,26	7468406	Bt3	60-100	434,1	171,3	131,0	5,63	2,33
10- GX ¹⁰	483092,51	7468746	Bt2	20-40	468,9	155,4	142,0	5,61	2,54
11- GX ¹¹	483290,95	7468893	Bt1	20-38	459,2	164,0	138,7	5,63	2,46

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 Cambissolo háplico ² Cambissolo háplico ³ Cambissolo háplico ⁴ Cambissolo háplico ⁵ Cambissolo háplico ⁶ Cambissolo háplico ⁷ Cambissolo háplico ⁸ Cambissolo Háplico ⁹ Cambissolo Flúvico ¹⁰ Gleissolo Háplico ¹¹ Gleissolo Háplico.

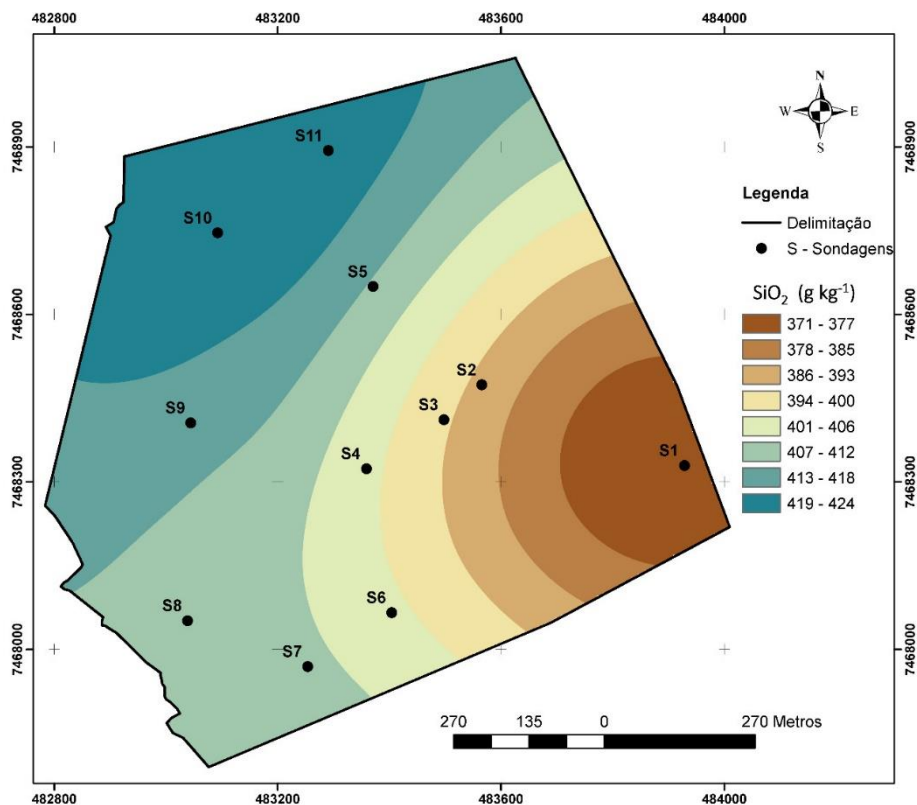
Verificou-se predomínio do SiO₂ sob Fe₂O₃ e Al₂O₃ nos horizontes diagnósticos de todos os perfis, caracterizando-os como menos intemperizados e menos evoluídos no caráter mineralógico.

Esses resultados são condizentes com as observações realizadas em campo, que revelou diversos horizontes rasos com a presença de minerais primários em praticamente todos os perfis, desde os perfis de relevos mais acentuados entre a encosta e o sopé até mesmo os do topo, sendo solos mais rasos.

A maior parte dos 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, conforme (Figura 31). Essa tendência pode ser explanada 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.

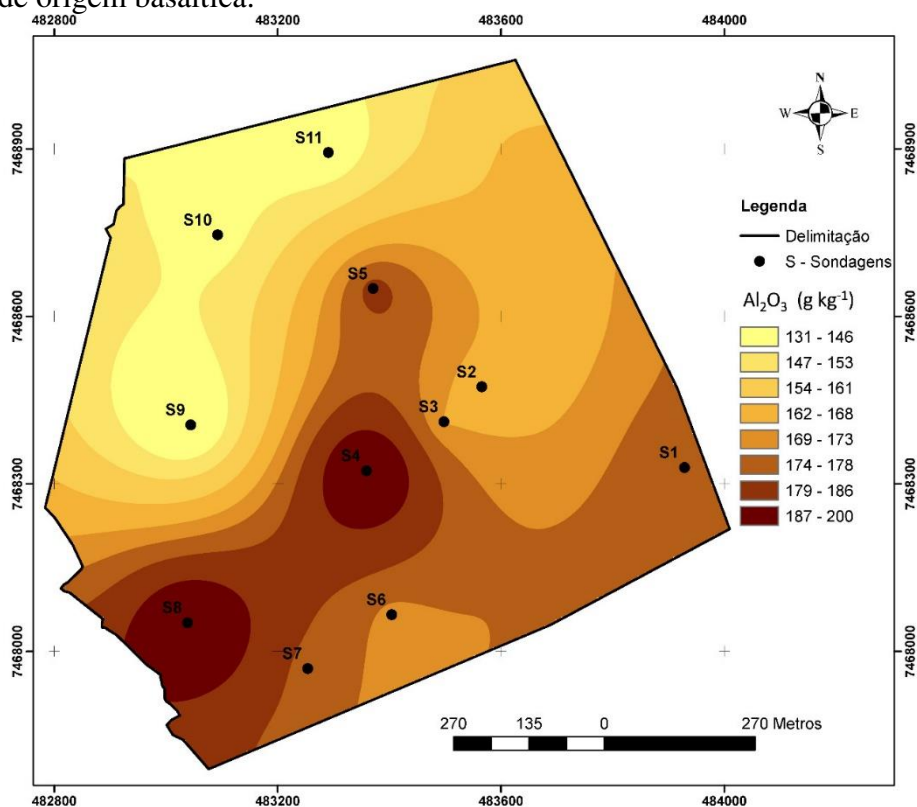
Figura 31- Distribuição espacial das concentrações de SiO_2 em horizontes diagnósticos de solos de origem basáltica.



Fonte: os autores, (2023).

A distribuição espacial dos teores de Al_2O_3 na área de estudo estiveram concentradas em pontos de sondagens condizentes com as análises realizadas, sem alguma tendência com diferentes as posições na paisagem, como pode ser visto na (Figura 32). Diferente da área Bonitão, Dias (2020) tiveram altos valores de Al_2O_3 concentrados no topo dos perfis em solos do Morro do Engenho em Goiás.

Figura 32- Distribuição espacial das concentrações de Al_2O_3 em horizontes diagnósticos de solos de origem basáltica.

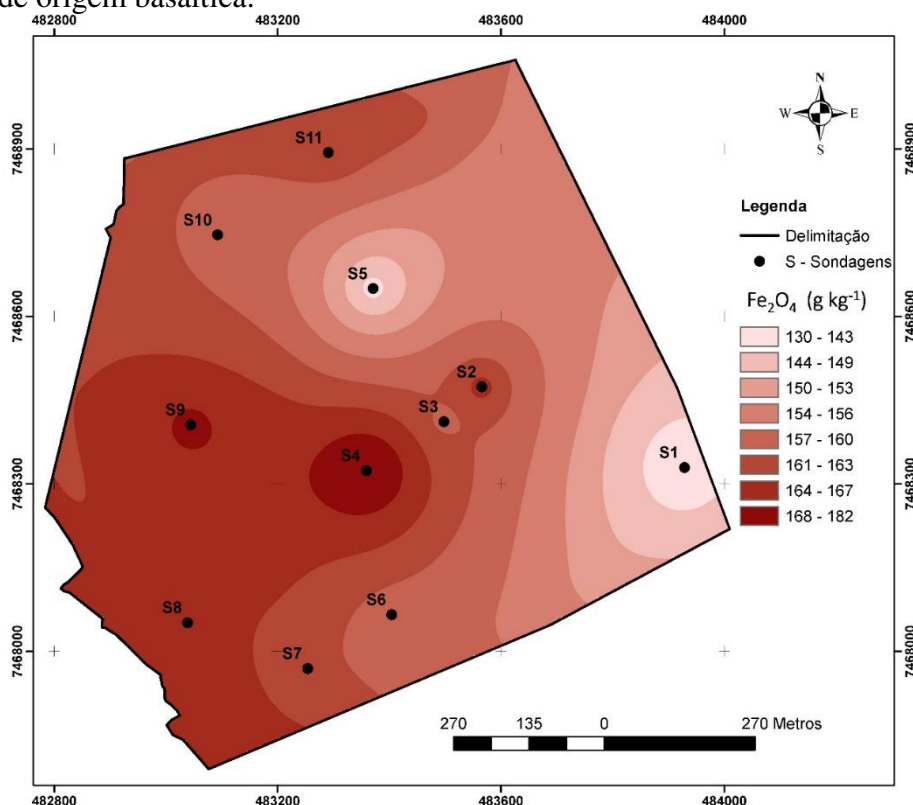


Fonte: os autores, (2023).

Enquanto os teores de Fe_2O_3 , em quase todos os horizontes diagnósticos foram menores que 180 g kg^{-1} classificados como mesoférricos, com exceção do P4 caracterizado como férrico, como pode ser observado na distribuição espacial (Figura 33) da propriedade.

Nos perfis avaliados, também não foram encontrados certa tendência de concentração de Fe_2O_3 relacionado a SiO_2 ou ao Al_2O_3 e a vertente, que possa estar ligado a maior aeração dos solos e então processos de oxidação mais acentuados conforme Pereira et al., (2010).

Figura 33- Distribuição espacial das concentrações de Fe_2O_3 em horizontes diagnósticos de solos de origem basáltica.



Fonte: os autores, (2023).

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

Os maiores valores de K_i foram verificados nos perfis 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 k_i na pedossequência, o que indicou maior nível de intemperismo nessa relação.

7.3.5. Análise das trincheiras:

Primeiramente, são demonstrados os resultados das coletas realizadas nas trincheiras selecionadas na propriedade Bonitão, no município Primeiro de Maio, PR.

Na (Tabela 13), apresentam-se os dados morfológicos dos solos coletados que, são representados pelos pontos (amostras) PC.

Tabela 13- Descrição macromorfológica das trincheiras de solos desenvolvidos de basalto, Londrina, Paraná.

Atributos do solo- Trincheiras								
Amostra	Horizonte	Prof. (cm)	Cor		Consistência (1)			Cerosidade (2)
			Úmida	Seca	Seca/úmida	Plast	Pegaj	
Trincheira-1								
PC1	A	0-12	7.5YR 2/0	7.5YR 3/0	md/f.	p.	mpg.	-
PC1	C1	13-41	7.5YR 3/0	7.5YR 2/0	md/d.	p.	mpg.	-
PC1	C2	41-65	7.5 YR 4/0	7.5 YR 4/0	md/d.	p.	mpg.	-
PC1	C3	65-90	7.5YR 4/0	7.5 YR 4/0	md/d.	p.	mpg.	-
PC1	R	90-	7.5YR 3/0	7.5YR 3/2*	md/md	-	-	-
Trincheira-2								
PC2	AP	0-10	7.5YR 3/0	7.5YR 2/0	d/d	p.	lpg.	-
PC2	C1	10-30	7.5YR 4/2	7.5YR 4/0	exd/exd.	mp.	mpg.	-
PC2	C2	30-60	7.5YR 4/0	7.5YR 4/0	md/md.	mp.	mpg.	-
PC2	C3	60-70	7.5YR 4/4	7.5YR 4/6	md/d.	mp.	mpg.	-
PC2	C4	70-110	7.5YR 4/4	7.5YR 4/6	md/d.	mp.	mpg.	-
Trincheira-3								
PC3	AP	0-3	10R 3/1	10R 3/1	md/d.	lp.	lpg.	-
PC3	B1	3-60	10R 3/2	10R 3/1	exd/exd.	lp.	mpg.	-
PC3	B2	60-100	10R 2/5	10R 3/2	d/d.	lp.	mpg.	-
PC3	C	100-130	5YR 4/3	5YR 4/4*	d/ld.	-	npg.	-
Trincheira-4								
PC4	AP	0-20	10R 3/3	10R 3/4	d/ld.	p.	lpg.	-
PC4	BA	20-40	10R 3/3	10R 3/4	d/ld.	p.	mpg.	-
PC4	BN	40-60	10R 3/3	10R 3/6	d/ld.	p.	mpg.	-
PC4	BC	60-85	2.5YR 2.5/2	2.5YR 2.5/4*	d/ld.	-	npg.	-
Trincheira-5								
PC5	AP	0-20	10R 3/2	10R 2.5/2	d/ld	p.	mpg.	-
PC5	C1	20-40	2.5YR 3/6	2.5YR 3/4*	d/ld.	-	lpg.	-

* Mosq: Mosqueado; po: pouco; co: comum; di: distinto. *2.5YR 2.5/4; co. e di. *2.5YR 3/4; co. e di. *5YR 4/4; co. e di; *7.5YR 3/2 co. e di. ⁽²⁾ fr: friável; s: solta; m: macia; f: firme; d: dura; ld: ligeiramente dura; md: muito dura; exd: extremamente dura; plast: plasticidade; mp: muito plástica; np: não plástica; lp: ligeiramente plástica; p: plástica; pegaj: pegajosidade; pg: ligeiramente pegajosa; pg: pegajosa; ⁽³⁾ pr: presente.

7.3.5.1. Trincheira 1- CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Eutrófico gleissólico

A trincheira 1 pode ser classificada como um CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Eutrófico gleissólico, sendo caracterizado pela EMBRAPA (2018) como solos

constituídos por horizonte glei em posição não diagnóstica para Gleissolos dentro de 150 cm a partir da sua superfície.

Os horizontes da trincheira 1 se dividiram em: Ap (0-12 cm), C1 (12-41 cm), C2 (41-65 cm), R (65-90 cm), conforme (Figura 34):

Figura 34- Trincheira 1.



Fonte: LIMA, 2022.

Estando a trincheira 1 situada nas coordenadas: 22k 04838116 E, 7467935 S no sopé da propriedade, as margens do ribeirão Bonito. As amostras apresentaram cores homogêneas escuras brunadas na avaliação seca para as três primeiras camadas, com matiz 7.5YR, valor e croma 3/0, 2/0 e 4/0, variando na cor úmida na profundidade até 41 cm (Tabela 13).

A consistência seca dos horizontes foi de dura a muito dura, enquanto na consistência úmida variou de firme, extremamente firme e dura. Quanto a plasticidade e a pegajosidade, as camadas se apresentaram como muito pegajosas e com plasticidade, exceto a última camada que configurou-se como tendo ausência de pegajosidade e plasticidade devido à alta quantidade de material rochoso, oriundo do material de origem.

Os valores de argila encontrados na trincheira 1 variaram de 275 a 610 g kg⁻¹ (Tabela 14), estando as menores concentrações na camada superficial e na de maior profundidade próxima ao material de origem. Apesar dessa menor concentração no

horizonte Ap classificada como arenosa, todos horizontes apresentaram conteúdos de argila acima de 350 g kg^{-1} , classificando-os como argilosos e muito argilosos. Podendo ser este menor conteúdo de argila na camada superior devido ao transporte das partículas de areia das partes mais altas da vertente.

Enquanto os maiores valores de argila estão nos horizontes C1 e C2 com 610 e 560 g kg^{-1} (Tabela 14), respectivamente, classificados como muito argilosos e argilosos. Ghidin et al., (2006) em uma topossequência de solos oriundos de rochas basálticas também no Estado do Paraná, obtiveram valores elevados entre 680 a 780 g kg^{-1} .

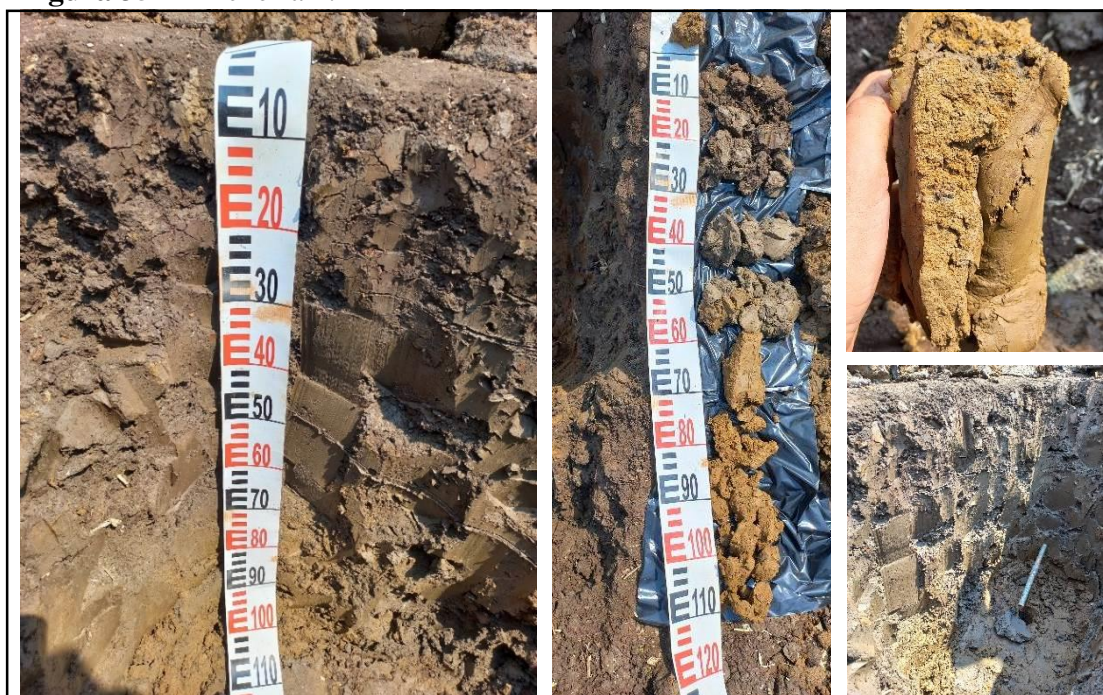
Já os valores de silte mantiveram se baixos com variação entre 15 e 36 g kg^{-1} .

7.3.5.2. Trincheira 2- GLEISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico

Os Gleissolos constituem solos minerais caracterizados por hidromorfismo, com horizonte glei iniciando dentro de 50 cm a partir da superfície (Santos et al., 2018).

Os horizontes da trincheira 2 dividiram-se em: Ap (0-10 cm), C1 (10-30 cm), C2 (30-60 cm), C3 (60-70 cm) e C4 (70-110 cm), de acordo com a (Figura 35). As amostras apresentaram cores brunadas e acinzentadas nos matizes 4,5 YR e 7,5 YR, valor e croma de 2/0, 4/0, 4/2 e 4/6, variando a cor conforme a profundidade também (Tabela 13), tendo pouca oscilação no valor e croma para as amostras úmidas.

Figura 35- Trincheira 2.



Fonte: LIMA, 2022.

A consistência seca dos horizontes variou de dura a extremamente dura, e na consistência seca também. Os horizontes apresentaram ligeira pegajosidade e plasticidade na camada superficial possivelmente devido quantidade de matéria orgânica, e muita pegajosidade e plasticidade no restante das camadas.

A trincheira 2 situada nas coordenadas: 22K 0483211 E, 7468221 S, próxima ao limite do sopé e da meia encosta, tiveram valores de argila variando em 270 a 695 g kg⁻¹ conforme (Tabela 14), ficando as camadas abaixo da superficial acima de 410 g kg⁻¹ para todos os horizontes, classificando-os como muito argilosos. Foi possível observar um crescente aumento de concentração de argila na camada C1, C2, C3 e C4 com valores ordenados indo de 475 g kg⁻¹ a 695 g kg⁻¹, estando a menor concentração no Ap com 270 g kg⁻¹, o que pode nos revelar uma perda de argila das camadas superficiais assim como dito anteriormente em outras trincheiras, possivelmente em função de argiluviação ou elutriação, erosão seletiva de partículas finas nas camadas superficiais.

O pedoambiente verificado apresenta certa fragilidade quanto ao seu uso, de acordo com suas características de gênese, limitação física do solo e morfologia na área de sopé que se encontra, configurando fatores limitantes sobretudo de uso, conforme também pôde se verificar Figueira et al., (2022) em estudo de um Gleissolo Háplico Ta eutrófico típico no Acre, ressalta a importância do plano de manejo e a delimitação de unidades com características físicas comuns para um planejamento ambiental adequado.

7.3.5.3. Trincheira 3- NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico

Os horizontes da trincheira 3 dividiram-se em: Ap (0-3 cm), B1 (3-60 cm), B2 (60-100 cm), C (100-130 cm), como pode ser visto na (Figura 36):

As amostras apresentaram cores homogêneas avermelhadas na avaliação seca para as três primeiras camadas, com matiz 10R, valor e croma 3/1 e 3/2 respectivamente, enquanto as úmidas mudaram para 3/2, 10R 2/5 e 4/3 seguindo a profundidade (Tabela 13).

A consistência seca dos horizontes foi de dura a muito dura, enquanto na consistência úmida variou de dura a ligeiramente dura. Na pegajosidade, as camadas se apresentaram como ligeiramente, muito pegajoso e não pegajoso no horizonte C, devido ao acréscimo de material de origem. Já na plasticidade obtiveram comportamento de ligeiramente plástico com exceção da última camada com ausência de plasticidade.

Figura 36- Trincheira 3.

Fonte: LIMA, 2023.

Observou-se também menor concentração de argila na camada superficial (350 g kg^{-1}) (Tabela 14), no entanto, para este perfil, todos outros 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 erodibilidade ou argiluviação /elutriação como discutido anteriormente. A presença de cerosidade na camada B1 foi essencial para identificação da classe Nitossolo.

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} . 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 havendo a regressão das encostas formando um perfil convexo no topo e côncavo na base (TORRADO et al., 2005) como configura-se a topossequência.

Os teores de silte não foram muito expressivos ficando entre 40 a 70 g kg^{-1} da camada superficial ao horizonte C.

7.3.5.4. Trincheira 4- NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico

Os horizontes da trincheira 4 dividiram-se em: Ap (0-20 cm), BA (20-40 cm), BN (40-60 cm), BC (60-85 cm), (Figura 37):

Figura 37- Trincheira 4.

Fonte: LIMA, 2022.

As amostras apresentaram cores homogêneas também avermelhadas na avaliação mantendo o matiz 10R, valor e croma 3/4, 3/6 nas amostras secas e 2.5YR, valor e croma de 2.5/4 na camada mais profunda, variando na cor úmida em valor e croma para 3/3 e no último horizonte em 2.5/2 (Tabela 13).

A consistência seca dos horizontes foi toda em dura, enquanto na consistência úmida foi para ligeiramente dura. Já a pegajosidade, as camadas se apresentaram como ligeiramente pegajosas e não pegajosas respectivamente conforme profundidade dos horizontes. Enquanto a plasticidade, configurou-se como sendo plásticas e não plástica na última camada.

Além de que a presença de cerosidade no HBt foi essencial para a identificação da classe de solo, presente em todos os perfis de Nitossolo Vermelho. A trincheira 4 está situada nas coordenadas 22 K 483258 E, 7468430 S, próxima ao limite da meia encosta e encosta, tiveram valores de argila variando em 330 a 560 g kg⁻¹ conforme (Tabela 14).

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.

7.3.5.5. Trincheira 5- CAMBISSOLO HÁPLICO Tb eutrófico típico

Os horizontes da trincheira 5 dividiram-se em duas camadas: A (0-20 cm), Bt1 (20-40 cm).

As duas amostras exibiram cores homogêneas também avermelhadas, na avaliação seca mantendo o matiz 10R e 2.5 YR na camada subsuperficial, valores e cromas 2.5/2 e 3/4 respectivamente. Enquanto para as amostras úmidas variaram para 3/2 e 3/6 com os mesmos matizes da avaliação seca (Tabela 13).

A consistência seca dos horizontes foi como na trincheira 4 toda em dura, enquanto na consistência úmida foi para ligeiramente dura. Já a pegajosidade, as camadas se apresentaram como muito pegajosa (superficial) e ligeiramente pegajosa (subsuperficial). A plasticidade, configurou-se como sendo plásticas e não plástica na última camada.

Apesar desse solo também ter apresentado cerosidade no HBt, por ser considerado raso e ter profundidade insatisfatória para classifica-lo em Nitossolo Vermelho, a classe com suas condições se enquadrrou como Cambissolo Háplico.

A trincheira 5 situada nas coordenadas: 22K 0483730 E, 7468271 S próxima ao limite da meia encosta e encosta, tiveram valores de argila variando em 255 a 275 g kg⁻¹ conforme (Tabela 14), enquanto que para areia obtiveram valores de 690 e 640 g kg⁻¹, silte com 55 e 85 g kg⁻¹ baixos teores.

Observa-se que, na (Tabela 14) de maneira geral as granulometrias amostradas são de solos argilosos a muito argilosos e arenosos nas camadas superficiais, apesar da maior parte de seus horizontes superficiais apresentarem grande quantidade de areia possivelmente, pelo fato de terem sido transportadas das partes superiores até sopé da vertente, oriunda dos perfis rasos de Cambissolos alocados na meia encosta e topo, e devido à perda de argila por erodibilidade ou argiluviação /elutriação.

O material primário da área tem origem do basalto, da Formação Serra Geral decorrentes dos derrames basálticos do Juro- cretáceo (FERNANDES et al., 2010).

Tabela 14- Granulometria e atributos químicos das trincheiras de solos da propriedade Bonitão, Primeiro de Maio, Paraná.

Atributos do solo - trincheiras															
	Horizonte	Prof. -----cm-----	Argila -----g kg ⁻¹ -----	Silte	Areia	pH		M.O. gkg ⁻¹	C	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC	V %
						CaCl ₂	H ⁺ +Al ³⁺								
P1-CYbe ¹	Ap	0-12	425	15	560	5,0	5,9	21,04	12,2	27,3	11,5	2,24	41,1	47,0	87
	C1	12-41	610	36	354	4,0	4,7	3,62	2,1	24,7	12,1	1,54	38,4	43,1	89
	C2	41-65	560	15	425	4,0	4,3	4,96	2,8	23,8	12,6	1,17	37,6	42,0	89
	R	65-90	275	30	695	4,3	5,5	0,23	0,1	14,0	9,2	0,98	24,2	29,7	81
P2-GXbe ²	Ap	0-10	270	140	590	6,0	6,5	27,74	16,1	29,5	11,0	1,30	41,8	48,4	86
	C1	10-30	610	90	300	5,5	6,5	26,80	15,5	33,0	9,4	0,37	42,9	49,4	86
	C2	30-60	670	100	230	4,5	5,4	0,94	0,5	28,9	14,7	1,09	44,8	50,2	89
	C3	60-70	685	30	285	5,6	6,0	1,34	0,7	31,8	15,8	1,49	49,2	55,2	89
	C4	70-110	695	35	270	6,5	7,3	0	0	29,5	15,0	0,74	45,3	52,6	86
P3-NVef ³	A	0-3	350	40	610	5,2	5,9	53,47	31,0	29,2	9,7	1,06	40,0	46,0	87
	B1	3-60	550	70	380	5,1	6,4	2,28	1,32	26,9	8	0,69	35,5	42,0	84
	B2	60-100	540	60	400	5,5	6,6	0,94	0,5	25,0	11,6	0,32	37,0	43,6	84
	C	100-130	275	70	655	5,8	6,8	0	0	27,9	8,2	0,85	37,0	43,8	84
P4-NVef ²	Ap	0-20	370	135	495	5,4	6,3	38,46	22,3	12,9	5,6	1,28	19,8	26,2	75
	BA	20-40	540	80	380	5,5	6,5	13,00	7,5	13,0	3,8	0,24	17,1	23,7	72
	BN	40-60	560	75	365	6,0	6,9	0,94	0,5	12,8	3,5	1,06	17,4	24,4	71
	BC	60-85	330	70	600	5,5	6,7	0,54	0,3	8,08	4,3	0,64	13,0	19,8	65
P5-CXbe ²	A	0-20	255	55	690	5,8	6,7	22,38	13,0	13,8	4,4	1,02	19,5	26,2	74
	Bt1	20-40	275	85	640	5,9	6,9	53,74	31,2	16,6	5,1	0,07	21,9	28,8	75

Fonte: os autores, (2023).

Os teores de matéria orgânica encontrados nas trincheiras apresentaram amplitude de variação de 0 a 53,47g kg⁻¹. Bem como os perfis, sem apresentar uma tendência sequente, apenas em profundidade entre as camadas de cada trincheira, que obtiveram altos teores em superfície e baixos nas partes mais profundas, chegando até mesmo a zero.

Os valores de pH em CaCl₂ também indicaram baixa acidez, com valores acima de 5,0 em quase todas as amostras com exceção perfil 1 abaixo de 5,0 considerado pH

médio a adequado, porém o restante sem apresentar uma tendência se comparado as trincheiras.

Os valores de V% apresentaram ($V > 50\%$) considerados eutróficos, extremamente altos, devido aos altos resultados das análises químicas de cálcio e magnésio.

As amostras das trincheiras também obtiveram elevados teores de cálcio e magnésio, com altas médias de $25,3 \text{ kg}^{-1}$, e $12,5 \text{ kg}^{-1}$ respectivamente, entre as trincheiras 1, 2 e 3 situadas na parte de planície e terraço fluvial. Enquanto as trincheiras 4 e 5, na parte do planalto entre as tradagens 06 a 11 obtiveram valores menores com médias de $13,5 \text{ kg}^{-1}$ e $4,05 \text{ kg}^{-1}$ de cálcio e magnésio, bem menores que as trincheiras no terraço fluvial, podendo estar atrelado ao acúmulo e transporte dos elementos móveis do solo, além de também estar atrelado a gênese do material de origem. Neto, (2010) apresentou variação entre 13,5 a $19,5 \text{ kg}^{-1}$ de Cálcio e 6,1 a $11,6 \text{ kg}^{-1}$ de Magnésio, sobre um Gleissolo Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, valores mais próximos aos obtidos na área.

Estes também, apresentaram altos valores de soma de bases (SB) e CTC, podendo estar atrelada a presença dos minerais 2:1 e a influencia do material de origem, que pode ser identificada pela Difractometria de Raio-X e pelos dados de Ki, conforme resultados de Coringa et al., (2012) em estudos de solos hidromórficos onde obtiveram valores elevados.

Já a acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) com exceção da trincheira 1, aumentaram em profundidade, diferente das tradagens dos perfis. Aparentemente também sem relação direta com a vertente.

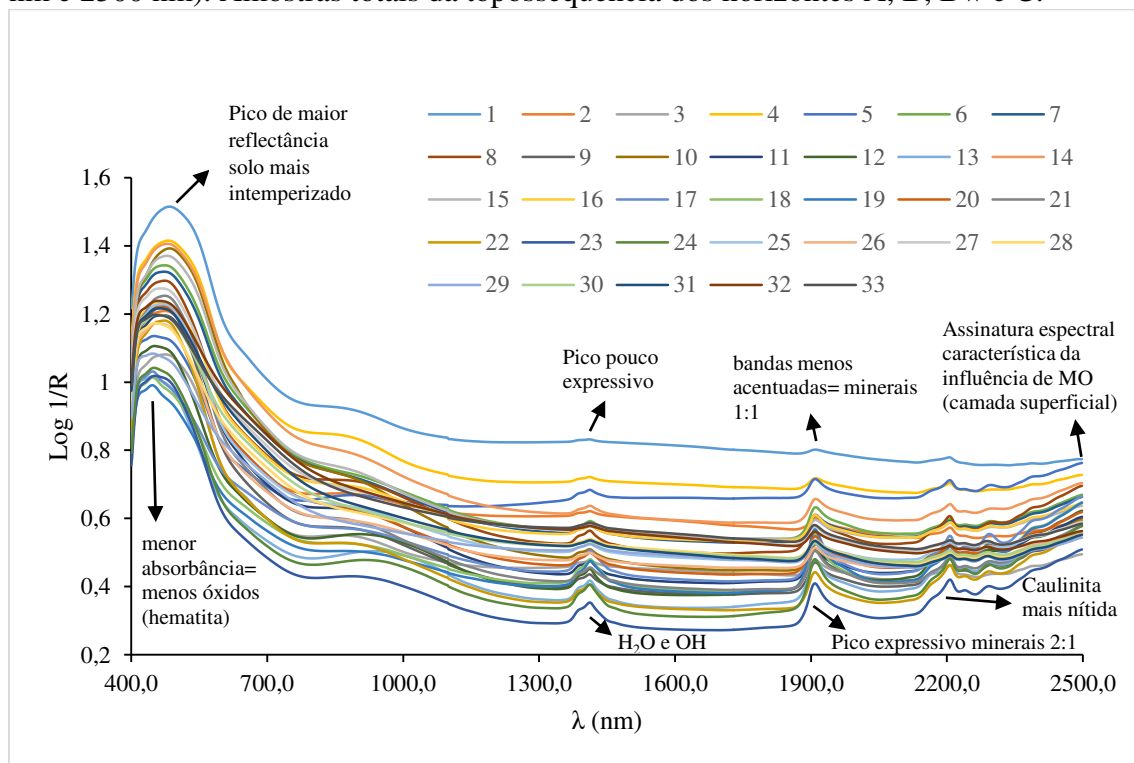
De maneira geral, os atributos químicos permitem inferir que as condições atuais dos solos são valores que saem do padrão dos valores da química convencional de solos adequados para uso de plantio, devido a seus resultados atípicos. Considerando sua gênese de solo hidromórfico, ainda que situados em áreas de planície e terraço fluvial.

7.3.6. Análise das assinaturas espectrais dos solos

Os espectros são compostos por 33 amostras de solos da camada 60 – 80 cm que foram classificados como Cambissolos Flúvicos Tb Eutróficos gleissólicos e Háplicos Tb eutróficos típicos, Gleissolos Háplicos Tb Eutróficos, Nitossolos Vermelhos eutroféricos típicos. Esses solos se localizam em relevo plano, suave ondulado e ondulado e estão sob cultivo de lavouras anuais de plantio de milho. Foi possível observar algumas bandas de absorção com mesmo comportamento espectral, com intensidades diferentes e outras com

outras bandas semelhantes, podendo se dar essa diferença à diferentes classes de solo encontradas na área, conforme pode ser verificado na (Figura 38):

Figura 38- Espectros de absorbância na faixa do visível e infravermelho próximo (400 nm e 2500 nm). Amostras totais da topossequência dos horizontes A, B, Bw e C.



Fonte: os autores, (2023).

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 por diversos autores (BELLINASSO 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 na faixa de 1400, 1900 e 2200 nm, dentre os minerais de argila 1:1 caulinita em 2200 nm (Goetz et al., 2009). É comum segundo Souza- Junior et al., (2008) solos mais intemperizados que são compostos por caulinita, apresentarem picos menores em 1400, 1900 nm e maiores em 2200 nm exibindo mineralogia simples.

Os óxidos de ferro e alumínio proporcionam características diferentes ao longo da curva espectral, que é representada pela primeira curva espectral entre 400 e 778 nm. Sendo uma importante banda comprimento do (VIS), por absorver e refletir diferentes classes de solo. Onde os mais claros têm a capacidade de refletir mais, conforme

observado na (Figura 38), em que a amostra 1 se difere e se distancia bastante das outras, com curva mais larga e pronunciada, sendo a camada superficial da amostra 1. Com feições centradas em 530 nm para hematita e, 480 nm para goethita (SHERMAN; WAITE, 1985). Diversos autores já relataram concavidade em 480 nm mais estreita para solos goetíticos em comparação aos hematíticos. Segundo Demattê et al., (2017) a goethita também tem influência nos comprimentos de 425 nm, 480 nm e 600 nm, enquanto a hematita em 750 nm e 1050 nm.

As regiões em 1366-1446 nm e 1870-2134 nm, podem também estar relacionadas às diferenças de umidade nas amostras, como resultados obtidos por Felix et al., (2016). Segundo Marchão et al., (2010) os picos em 1400 nm podem estar atrelados à água adsorvida nos minerais de argila e nos grupos de OH. A região entre 1366- 1446 nm pode representar diferenças na quantia de caulinita entre as amostras, conforme pode ser visto na (Figura 38), que apresenta as assinaturas de perfis situados no topo com alta absorção nesta região, porém feições bem menos pronunciadas do que outros que não apresentaram nenhuma tendência.

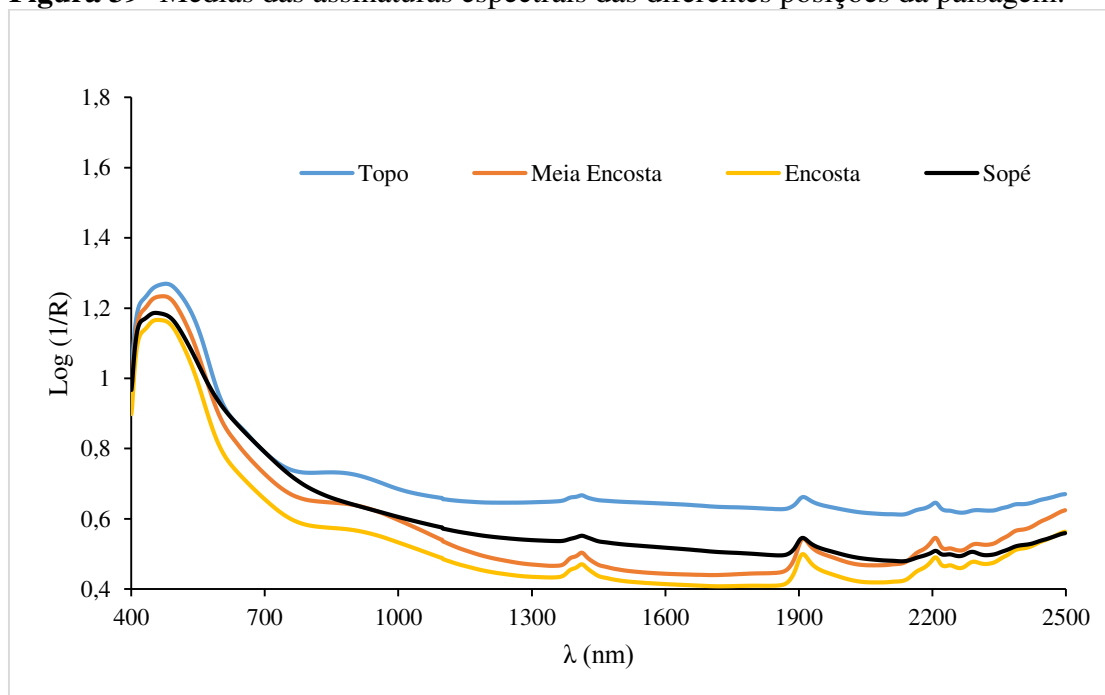
O pico em 2200 nm é característico da caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH}_4)$) por apresentar um degrau em sua banda. De acordo com Demattê., (2017) no mesmo comprimento de onda, a água em excesso oculta o efeito dos grupos OH da caulinita por sua menor superfície específica. O maior pico apresentado em aproximadamente 2200 nm indica que a absorbância de horizontes de solos mais rasos com alta presença de picos bem definidos, determinado especialmente pelo expressivo teor de areia, devido a sua constituição mineralógica rica em quartzo pois reflete uma quantidade expressiva de energia (WHITE et al.,1997). Ao mesmo tempo a (Figura 38) apresenta outros picos menos expressivos, como a amostra 1 de camada superficial, podendo ser devido a influência do alto teor de matéria orgânica.

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 SiO_2) mais intenso.

Encontrou-se na região entre 2346-2416 nm comportamento dos picos semelhantes, indo contramão a ideia de relação da presença de carbonatos nas amostras, devido a presença da ligação C-O de CO_3^{2-} (MADEIRA NETTO; BATISTA, 2000).

Na (Figura 39) estão apresentados os comportamentos espectrais em médias das diferentes posições na paisagem em diferentes declividades, coletados na propriedade Bonitão no município de Primeiro de Maio, Paraná.

Figura 39- Médias das assinaturas espectrais das diferentes posições da paisagem.



Fonte: os autores, (2023).

As assinaturas espectrais da (Figura 39) são constituídas da média das amostras totais de solo da topossequência. Para fazer a média das diferentes posições na paisagem, foi realizada a divisão das amostras situadas em cada parte do relevo. Assim, as assinaturas do topo abrangeram as amostras das tradagens de 1-5, meia encosta 6-13, a encosta de 14- 28 e o sopé 29-33.

A assinatura espectral do topo sobressaiu-se sobre as outras posições na paisagem com maior intensidade de absorbância, podendo ser devido aos maiores teores de matéria orgânica influenciando ao longo de todo espectro. Tendo maior semelhança nos picos com o espectro do sopé, apesar de apresentarem classes de solos diferentes, amostras do topo de Cambissolos Háplicos e Nitossolos Vermelhos enquanto do sopé classes como Gleissolo Háplico e Cambissolo Flúvico.

Pode-se observar também picos menos expressivos desses dois espectros em 1400 nm, 1900 nm e 2100 nm, podendo estar associado por apresentarem textura mais argilosa, enquanto os solos da encosta e meia encosta são de texturas menos argilosas,

corroborando com Demattê, (2002) que relata que solos com textura arenosa tendem a exibir reflectâncias elevadas em 1300-2100 nm.

O espectro do sopé em aproximadamente 750 nm e 1050 nm, faixa da hematita se encontra praticamente reto quase sem curva, podendo estar atrelado aos menores teores nesta faixa de absorbância, devido à redução de ferro dos solos sob condição de hidromorfismo.

As feições em 2265 nm podem ser atribuídas à presença de gibbsita nos solos (MADEIRA NETTO, 1996) não tendo influencia a intensidade de reflectância mas na forma da expressão, verificadas nas médias espectrais com exceção do topo.

Rasooli et al. (2023), avaliou a espectroscopia Vis- NIR como método ecologicamente correto e eficiente no monitoramento de variações pedoambientais e pedológicas na Bacia Hidrográfica de Lut, Irã Central, em solos com diferentes variações geomorfológicas. Tendo entre essa ligação da espectroscopia e pedogênese forte auxílio aos pedólogos e pesquisadores na identificação e delineamento das variações espaciais nos solos.

7.3.7. Sugestões de práticas e adequações para a área de estudo

Este tópico tem como objetivo promover e sugerir práticas ideais com o planejamento de atividades que contemple a integração dos recursos naturais e aspectos socioeconômicos. Na perspectiva de renda para o produtor aliado à preservação ambiental. Indicando metas e soluções que podem ser aplicadas a curto, médio e longo prazo na propriedade Bonitão- PR.

Com o intuito de compreender a relação que é estabelecida entre a pedogênese e morfogênese, com a realização do mapeamento, análise física, química, mineralógica e espectral, pode-se sugerir práticas e procedimentos edafovegetativos que auxiliem na conservação da água e solo como:

- A) Manejo adequado do solo;
- B) Adequação do uso do solo nas áreas de Planícies e Terraços Fluviais (substituição de cultivo);
- C) Sugestão de cultivar: hortaliças na área de planície e terraço fluvial, ou adequação da área em APP e reflorestamento;
- D) Preparo do solo e plantio em nível para reduzir as perdas de solo e as perdas de água;

- E) Aumento na quantidade de plantas por meio de ajuste na densidade e sua distribuição espacial;
- F) Material orgânico, onde requer a preservação dos resíduos das culturas sobre a superfície do solo, evitando sua incorporação.

7.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os solos da propriedade Bonitão foram classificados e mapeados até 4º nível categórico identificando um detalhamento de classes mais fidedigno à realidade, do que o mapeamento de solos do Paraná realizado por Bhering e Santos, (2008). Dentre outros mapas que se mostraram fundamentais para compreensão da relação pedogeomorfologia, podendo serem utilizados no delineamento do uso e readequações do manejo na área de estudo.

Os mapas de distribuição espaciais dos minerais, também permitiram uma visualização do transporte lateral de SiO_2 de montante a jusante dos solos situados no topo e encosta, até as partes mais baixas da vertente conforme a declividade, com acúmulo de SiO_2 no sopé. Evidenciando o transporte constante de solos e a necessidade de implementação de práticas conservacionistas.

As assinaturas espectrais, identificadas na área de estudo das camadas 60-80 cm classificadas como Cambissolos Flúvicos e Háplicos, Gleissolos Háplicos, Nitossolos Vermelhos eutroféricos, podem compor futuros bancos de dados espectrais pedológicos da região. Pois a diversidade de classes pedológicas identificadas contribuem significativamente para futuras pesquisas mais aprofundadas na compreensão relação solo paisagem na região e para a ciência como um todo.

Sendo assim, foi possível trazer alternativas de práticas adequadas para a propriedade de estudo, baseada nos resultados de mapeamento e análise pedogeomofológica. Com sugestões de readequação do uso e manejo, contemplando e integrando os recursos naturais e aspectos socioeconômicos, indicando então melhorias à propriedade.

REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas, 2014. Disponível em: <<https://www2.paranapanema.org/wp-content/uploads/2021/08/NT-01-Characteriza%C3%A7%C3%A3o-Consultora.pdf>> Acesso em: 16 jun. 2023.
- BECKHOFF, B. **Physikalisch-Technische Bundesanstalt**, X-ray Spectrometry, Berlin, Germany. Handbook of Practical X-Ray Fluorescence Analysis, 2006.
- BELLINASSO, H.; DEMATTÊ, J. A. M.; ROMEIRO, S. A. Soil spectral library and its use in soil classification (in Portuguese). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 861-870, 2010.
- BENEDETTI, U. G. et al. Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos plioleustocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, Norte Amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n.2, p.299-312, 2011.
- BHERING, S.B.; SANTOS, H.G. **Mapa de solos do Estado do Paraná. Legenda atualizada**. Rio de Janeiro, Embrapa Florestas/Embrapa Solos/Instituto Agrônômico do Paraná, 2008. 74p.
- BOULET, R. et al. Analyse structurale et cartographie en pédologie I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **Cahiers ORSTOM**, v.19, n.4, p.309-322, 1982a.
- BOULET, R. et al. Analyse structurale et cartographie en pédologie II. Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. **Cahiers ORSTOM**, v.19, n.4, p.323-339, 1982b.
- BOQUIER, G. Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad: interprétation biogéodynamique. Mém. **ORSTOM**, vol. 62, 1973. 351 p.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil, 2022. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/>> Acesso em: 22 Set. 2022.
- CAMPOS, R. C.; DEMATTÊ, J. A. M. Cor do solo: uma abordagem da forma convencional de obtenção em oposição à automatização do método para fins de classificação de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.5, p.853-863, 2004.
- CORINGA, E. A. O. et al. Atributos de solos hidromórficos no Pantanal Norte Matogrossense. **Acta Amazônica**, Manaus, v.42, n.1, p.19-28, 2012.
- CUNHA, A. M.; FONTES, M. P. F.; LANI, J. L. Mineralogical and chemical attributes of soils from the Brazilian Atlantic Forest domain. **Scientia Agricola**, v.76, n.1, p.82-92, 2019.

DARLYMPLE, J. B.; BLONG, R. J.; CONACHER, A. J. A hypothetical nine unid land-surface model. **Geomorphology**, Amsterdam, v.12, n.1, p.60-76, 1968.

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. 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.

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.

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

FELIX, J.C. et al. Predição de fósforo, carbono e nitrogênio em solos de basalto, por meio de espectroscopia NIR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1405-1416, 2016.

FERNANDES, A.J., MALDANER, C.H., SOBRINHO, J.M.A., PRESSINOTTI, M.M.N. & WAHNFRIED, I. 2010. **Estratigrafia dos Derrames de Basaltos da Formação Serra Geral (Ribeirão Preto - SP) Baseada na Geologia Física, Petrografia e Geoquímica**. Geologia USP, Série Científica, v.10, n.2, p.73-99.

FERREIRA, B. A. et al. Óxidos de ferro das frações areia e silte de um Nitossolo desenvolvido de basalto. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v.27, n.3, p.405–413, 2003.

FERREIRA, M. M. et al. 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, 2002a.

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.

FILGUEIRA, V. et al. Caracterização pedoambiental como subsídio à criação de unidade de conservação no município de Jordão, estado do Acre. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v.17, n.2, p.509-525, 2022.

FUMIYA, M. H. **Transformações estruturais em uma topossequência sobre basaltos em Maruinbi-PR**. 2013. 96p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

GHIDIN, A. A. et al. 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.

IAPAR. Instituto Agrônômico do Paraná, 2022. Disponível em: <<https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlasclimatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2022.

IAT. Instituto das Águas do Paraná, 2020. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/sites/aguaterra/arquivos_restritos/files/documento/2020-05/1261-iap-32-gl-rt-0009-r0-tomo_ii-vol_i.pdf> Acesso em: 20 set. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/primeiro-de-maio.html>> Acesso em: 16 set. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/primeiro-de-maio.html>> Acesso em: 16 set. 2021.

IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social, 2019. Disponível em: <<https://www.ipardes.pr.gov.br/busca?termo=Primeiro-de-Maio>> Acesso em: 16 set. 2022.

JENNY, H. **Factors of soil formation** 1.ed. New York, McGraw- Hill, 1941. 362p.

JUNIOR, A. P. A.; GOMES, L. N. Extração da Informação Posicional de Pontos de Projeção Cartográfica Geradas em Rotinas de Processamento para Geração de Ortofotos. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 74, n.1, 2002.

LEMO, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta do solo no campo**. 3ªed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 83p. 1996.

LICHT, O. A. B. (2018). A Revised Chemo-Chrono-Stratigraphic 4-D Model for the Extrusive Rocks of the Paraná Igneous Province. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 355:32-54.

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

MARCHÃO, R. L. et al. 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.

MEDEIROS, F. B. et al. 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**, Minas Gerais, v.28, n.55, 2018.

IAT. Instituto Água e Terra, 2023. Disponível em: <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapeamento-Geologico/>> Acesso em: 16 fev. 2023.

NETO, L. F. S. **Pedogênese e matéria orgânica de solos hidromórficos da região metropolitana de Porto Alegre**. 2010. 117p. Tese (Tese em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

OLIVEIRA, D. P. **Avaliação da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica Ribeirão Vermelho (PR) e identificação de conflito de uso do solo em Áreas de Preservação Permanente – APP**. 2023. 93p. Dissertação (Dissertação em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil**. Jaboticabal: FUNEP/ FCAV, 1992. 201p.

PEREIRA, M.: G. et al. 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.

QUEIROZ NETO, J. P. Relações entre as vertentes e os solos: revisão de conceitos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n.3, p. 15-24, 2011.

RASOOLI, N. et al. Vis-NIR spectroscopy as an eco-friendly method for monitoring pedoenviromental variations and pedological assessments in Lut Watershed, Central Iran. **Soil and Tillage Research**, Volume 233, 2023.

RESENDE, M. **Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil**. 1976. 237 f. Thesis (Doctor) - Purdue University, West Laffayette, 1976.

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. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados**. Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo. 1994. p.63 – 74. Disponível em: <<https://doi.org/10.7154/rdg.1994.0008.0006>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

RUBIRA, F. G. et al. Sistemas pedogeomorfológicos na interpretação da evolução de paisagens quaternárias em climas tropicais úmidos. **Mercator**, Fortaleza, v.18, 2019.

RUBIRA, F. G.; PEREZ FILHO, A.; MELO, G. V. Análise macromorfológica da cobertura pedológica e perfil da topossequência realizada em um segmento da vertente da FEI/UEM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA E CONGRESSO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA, Campinas - SP. **Anais**, v.1, p.1-13, 2017.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5.ed. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2005. 92p.

SCHWERTMANN, U. Relations between iron oxides, soil color, and soil formation. *In: Soil color*. Madison: Soil Science Society American, 1993. p.51–69. (Spec. Publ. No. 31)

SHERMAN, D. M.; WAIT, T. D. Electronic spectra of Fe³⁺ oxides and oxides hydroxides in the near IR to near U.V. **American Mineralogist**, v.70, p.1262-1269, 1985.

SIEFERT, C. A. C.; SANTOS, I. DOS. Identificação de áreas hidrologicamente sensíveis por meio de modelagem hidrológica e da distribuição espacial de solos e vegetação em ambientes hidromórficos. **Sociedade & Natureza**, v.27, n.1, 2015.

SILVA, R. R. **Metodologia para o mapeamento de solos na escala 1:100.000 usando tecnologias da geoinformação**. 2011. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

SOUZA 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.

TOLEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, S.M.B. de; MELFI, A.J. Cap 8 p.128-239 Da rocha ao Solo – Intemperismo e pedogênese. *In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.M.; TAIOLI, F. Decifrando a Terra*. 2ª ed. São Paulo: IBEP Editora Nacional-Conrad, 2009. 620p.

TRICART, J. As relações entre a morfogênese e a pedogênese. **Notícia Geomorfológica**, v. 8, n. 15, p. 5-18, 1968.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE: Diretoria Técnica: SUPREN, 1977. VASHCHENKO, Y.; FAVARETTO, N.; BIONDI, D. Fragilidade ambiental nos picos Camacua, Camapuã e Tucum, Campina Grande do Sul, PR. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 37, n. 2, mai./ago. 2007.

VIDAL TORRADO, Pablo; LEPSCH, Igo Fernando; CASTRO, Selma Simões de. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. *In: Tópicos em Ciência do Solo* [S.l: s.n.], v. 4. p. 145-192, 2005.

WHITE, K. et al. 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.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. 1983. **O domínio dos cerrados: introdução ao conhecimento.** Fundação Centro de Formação do Servidor Público. V.3, n. 4, p.41-55.

AB'SABER. **Problemas do mapeamento geomorfológico no Brasil. Geomorfologia,** São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, n. 6, p. 1-16, 1969.

AGUIAR, M. I. et al. Caracterização de solos por espectroscopia no infravermelho próximo e análise de componentes principais. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, n.1, p. 68-25, 2021.

BAHIA, A. S. R. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D. S. Procedures using diffuse reflectance spectroscopy for estimating hematite and goethite in Oxisols of São Paulo, Brazil. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v.5, p.150–156, 2015.

BARTHÈS, B.G. et al. 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.

BELLINASSO, H.; DEMATTÊ, J. A. M.; ROMEIRO, S. A. Soil spectral library and its use in soil classification (in Portuguese). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 861-870, 2010.

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

BEN-DOR, E., CHABRILLAT, S., DEMATTÊ, J.A.M., TAYLOR, G.R., HILL, J., WHITING, M.L., SOMMER, S. Using Imaging Spectroscopy to study soil properties. **Remote Sens. Environ.** 113, S38-S55, 2009.

BEN-DOR, E. Characterization of soil properties using reflectance spectroscopy. In: THENKABAIL, P. S.; LYON, J. G.; HUETE, A. (Ed.) **Hyperspectral remote sensing of vegetation.** Boca Raton: CRC Press, 2011. p. 513-557.

BEN-DOR, E.; HELLER, D.; CHUDNOVSKY, A. A novel method of classifying soil profiles in the using optical means. **Soil Science Society American Journal**, v.72, p.1113-1123, 2008.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** São Paulo: Ícone, 2010. 355 p.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. **Mapa de solos do Estado do Paraná. Legenda atualizada.** Rio de Janeiro, Embrapa Florestas/Embrapa Solos/Instituto Agrônômico do Paraná, 2008. 74p.

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M.R.; SILVA, J.X. Considerações a respeito da evolução das vertentes. **Boletim Paranaense de Geografia**, v. 16, n.17, p.85-116, 1965.

BOCQUIER, G. Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Thèse Sei., Strasbourg et Mém. **ORSTOM**, 62, 350p. 1971.

BOULET, R.; BRUGIÈRE, J.M. & HUMBEL, F.X. Relations entre organization des sols et dynamique de l'eau en Guyane Française Septentrionale. **Science du Sol**, 1:3-18, 1979.

BOULET, R. et al. Analyse structurale et cartographie en pédologie I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. **Cahiers ORSTOM**, v. 19, n. 4, p. 309-322, 1982a.

BOULET, R. et al. Analyse structurale et cartographie en pédologie II. Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. **Cahiers ORSTOM**, v. 19, n. 4, p. 323-339, 1982b.

BROWN, D.J. et al. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, n. 132, p. 273-290, 2006.

BRUNET, D. et al. 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.

BUOL, S.W.; HOLE, F.D. & McCracken, R.J. **Soil genesis and classification**. 3.ed. Ames, Iowa State University Press, 1980. 446p.

CAMAPUM DE CARVALHO, J., MARINHO, F.A.M., OLIVEIRA, O.M., & GITIRANA JUNIOR, G.F.N. (2012). **Contribuição ao entendimento do comportamento dos solos não saturados**. In: Anais XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (pp. 1-9). São Paulo, Brasil: ABMS.

CAMPOS, M. C. C. et al. Relações solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 519-529, 2007.

CAMARGO, L. A. et al. Mapping of clay, iron oxide and adsorbed phosphate in Oxisols using diffuse reflectance spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 251/252, p.124-132, 2015.

CAMARGO, L. A. et al. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas de relevo: I - Mineralogia da fração argila. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2269-2277, 2008.

CASSETI, V. (2005) - **"Fisiologia da paisagem"**. Disponível em: <www.passeidireto.com/arquivo/23846343/fisiologia-paisagem-valter-casseti> Acesso em: 22 de Jun. de 2021.

CELLIGOI, A. **Recursos hídricos subterrâneos da Formação Serra Geral em Londrina -PR. 1993.** 108f. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrologia) –Universidade de São Paulo –Instituto de Geociências, São Paulo, 1993.

CHAUVEL, A. **Recherches sur la transformation des sols ferralitiques de la zone tropicale à saisons contrastées.** Paris, 1977. 532 p. Tese - Université de Strasbourg.

CHRISTOFOLETTI, A. (2002) **Geomorfologia.** Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2 ed., 7 reimp.:188p.

CORNELL, R. M.; SCHWERTMANN, U. **The iron oxides.** Structure, properties, reactions, occurrence and uses. Weinheim: Wiley VHC; 1996. 573p.

CORREIA, R. M. et al. Portable near infrared spectroscopy applied to abuse drugs and medicine analyses. **Analytical Methods**, v. 10, p. 593–603, 2018.

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.

CUNHA, P. et al. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolo em uma seqüência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, v. 29, 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.

CURI, N. **Lithosequence and toposequence of Oxisols from Goiás and Minas Gerais States, Brazil.** West Lafayette, Purdue University.158p. (Tese de Doutorado).1983.

DANIELS, R.B.; GAMBLE, E.F. & CADY, J.G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. **Advances in Agronomy**, v.23, p.51-87, 1971.

DARLYMPLE, J. B.; BLONG, R. J.; CONACHER, A. J. A hypothetical nine unid land-surface model. **Geomorphology**, Amsterdam, v.12, n.1, p.60-76, 1968.

DA SILVA, V. H.; DA SILVA, J. J.; PEREIRA, C. F. Portable near-infrared instruments: Application for quality control of polymorphs in pharmaceutical raw materials and calibration transfer. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v.134, p. 287–294, 2017.

DAVIES, T. The history of near infrared spectroscopic analysis: Past, present and future –“From sleeping technique to the morning star of spectroscopy”. **Analisis Magazine**, v. 26, n.4, p.M17-M19, 1998.

DELVIGNE, J. Pédogenèse en zone tropicale: La formation des minéraux secondaires en milieu ferralitique. Paris, **Bulletin de Minéralogie**, v.88-2, p. 369, 1965.

DUNN, B. W. et al. 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.

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

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.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS – FAO DATABASE. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data>> Acesso em: 25 de agosto de 2022.

FONTÁN, J. M. et al. 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.

GHIDIN, A. A. et al. 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.

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.

GUERRA, A. J. T. & GUERRA, A. T. (1997) – Novo Dicionário Geológico – **Geomorfológico**, Ed. Bertrand Brasil, 648p.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA J. K. S. **Erosão dos solos e a questão ambiental**. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 280 p.

GROTZINGER J., JORDAN T.H. 2013. Para entender a Terra. 6. ed. Porto Alegre: Bookman. HALL, G. F.; NORTON, L. D. Differentiation of lithologically similar soil parent materials, **Soil Science Society American Journal**. v.49, p.409–414, 1985.

HOLLER F. JAMES DOUGLAS A. SKOOG AND STANLEY R. CROUCH. 2009. **Princípios de Análise Instrumental**. 6. ed. Porto Alegre (RS): Bookman.

HUMBEL, F.X. Caractérisation, par des mesures physiques, hydrologiques et de l'enracinement de sols de Guyane Française à dynamique de l'eau superficielle. **Science du Sol**, v. 2, p. 83-94, 1978.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. Manuais Técnicos em Geociências, 3ª edição, IBGE, Rio de Janeiro, 428p, 2015.

IMPERIO, E. et al. Spectral investigations on 1000 £ banknotes throughout Italian Republic. **Vibrational Spectroscopy**, v. 79, p. 52–58, 2015.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw-Hill, 1941.

KÄMPF, N.; CURI, N. Óxidos de ferro: indicadores de atributos e ambientes pedogenéticos 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.

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. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, v. 5, n.1, p.17-40, 1997.

KING, L. C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, v.18, n.2, p.147-266, 1956.

KULBICKI, G., MILLOT, G. Diagenesis of Clays in Sedimentary and Petroliferous Series. **Clays Clay Miner**, v.10, p.329–330, 1961.

LEPSCH, I.F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178p.

LEPSCH, I. F. **19 lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LOPES, A. S. 1984. **Solos sob cerrado**: características, propriedades e manejo. (2ª ed). Piracicaba: Potafos. 162p.

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

MAGALHÃES, V. L.; CUNHA, J. E.; NÓBREGA, M. T. Análise do sistema poroso e hídrico de uma vertente constituída por ‘Latosolo-Nitossolo’. **Revista Perspectiva Geográfica**, Marechal Cândido Rondon, v.10, n.12, p. 43-62, 2015.

MARCHÃO, R. L. et al. 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.

MARCOLIN, L., CALEGARI, M. R. Atributos químicos, físicos e mineralogia de Latossolos e sua relação com a paisagem no oeste do Paraná. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, v.39, p.48–61, 2020.

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. *In*: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org). **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 4 ed.: p.23-50, 2001.

MEIRELES, H. T. et al. Relações solo-paisagem em topossequência de origem basáltica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.42, p.129-136, 2012.

MENDES, W. S. et al. Is it possible to map subsurface soil attributes by satellite spectral transfer models? **Geoderma**, v.343, p.269-279, 2019.

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

IAT, Instituto Água e Terra. Atlas comentado da Geologia e dos recursos minerais do Estado do Paraná, 2021. Disponível em: <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapeamento-Geologico>> Acesso em: 01 ago. 2022.

MOHAMED, E. S. et al. Application of near-infrared reflectance for quantitative assessment of soil properties. Egypt. **Journal Remote Sensing Space Science**, v.21, p. 1-14, 2018.

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.

MONTEIRO, C. A. F. William Morris Davis e a Teoria Geográfica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.2, n.1, p.1-20, 2001.

MUGGLER, C. C.; BUURMAN, P.; VAN, DOESBURG J. D. J. Weathering trends and parent material characteriscs of polygenec oxisols from Minas Gerais, Brazil: I. Mineralogy. **Geoderma**, v.138, p.39-48, 2007.

MUGGLER, C. C.; SOBRINHO, F. A. P. & MACHADO, V. A. Educação em solos: princípios e pressupostos metodológicos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., Recife, 2005. Anais. Recife, **Sociedade Brasileira de Ciências do Solo**, 2005.

NÓBREGA, J. S.; LOPES, K. P. Quality of sesame seeds produced under soil salinity levels 1. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 2018, p. 280–286, 2018.

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

Osman, K.T. (2013) **Soils: Principles, Properties and Management**. Springer, Dordrecht.

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

PENCK, W. **Morphological analysis of landforms: a contribution to physical geology**. Tradução: Czech, H.; Boswell, K.C. London: Macmillian, 1953. 429 p.

PEREIRA, J. F. Q. et al. Evaluation and identification of blood stains with handheld NIR spectrometer. **Microchemical Journal**, v.133, p.561–566, 2017.

PÉREZ-FERNÁNDEZ AND A. H. J. ROBERTSON, “Global and local calibrations to predict chemical and physical properties of a national spatial dataset of Scottish soils from their near infrared spectra”, **Journal Near Infrared Spectroscopy**, v.24, p.305–316, 2016.

PICCIRILLO, E. M. et al. Regional variations within the Paraná flood basalts (southern Brazil): Evidence for subcontinental mantle heterogeneity and crustal contamination, **Chemical Geology**, v.75, n.1-2, p.103-122, 1989.

POPPIEL, R. R. et al. Bridging the gap between soil spectroscopy and traditional laboratory: Insights for routine implementation. **Geoderma**, 425, 01-14, 2022.

ProBASE. Programa Brasileiro de Análise de Solos via Espectroscopia [Disponível em: <https://esalqgeocis.wixsite.com/geocis/probase>](https://esalqgeocis.wixsite.com/geocis/probase) Acesso em: 04 out. 2023.

PRONASOLOS. Programa Nacional de Solos do Brasil. [Disponível em: <http://pronasolos.agenciazetta.ufla.br/>](http://pronasolos.agenciazetta.ufla.br/) Acesso em: 22 mar. 2022.

QUEIROZ NETO, J. P. Análise estrutural da cobertura pedológica no Brasil. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 21., Campinas, 1987. Anais. Campinas, CBCS, p. 415-430, 1988.

QUEIROZ NETO, J. P. Relações entre as vertentes e os solos: revisão de conceitos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n.3, p. 15-24, 2011.

RABENARIVO, M. et al. Comparing near and mid-infrared reflectance spectroscopy for determining properties of Malagasy soils, using global or LOCAL calibration. **Journal Near Infrared Spectroscopy**, v.21, p.495–509, 2013.

RAMIREZ-LOPEZ, L. et al. Robust soil mapping at the farm scale with vis-NIR spectroscopy. **European Journal of Soil Science**, v. 70, n.2, p.378-393, 2019.

RASOOLI, N. et al. Vis-NIR spectroscopy as an eco-friendly method for monitoring pedoenvironmental variations and pedological assessments in Lut Watershed, Central Iran. **Soil and Tillage Research**, Volume 233, 2023.

REATTO, A. et al. Variation of the kaolinite and gibbsite content at regional and local scale in Latosols of the Brazilian Central Plateau. **Compters Rendus Geoscience**, Paris, v. 340, p. 741-748, 2008.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 6. ed. Viçosa, MG: NEPUT, 2014.

RESENDE, M.; SANTANA, D.P. & CURI, N. **Pedologia e fertilidade do solo: interação e aplicações**. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 81p. 1988.

RÍOS-REINA, R. et al. Sampling methods for the study of volatile profile of PDO wine vinegars. A comparison using multivariate data analysis. **Food Research International**, v. 105, p. 880-896, 2018.

RIZZO, R.; DEMATTÊ, J. A.; LACERDA, M. P. C. Espectros Vis-NIR do Solo e Fuzzy K-Médias Aplicados na Delimitação de Unidades de Mapeamento de Solos em Topossequências. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n.6, p.1533-43, 2015.

ROMERO, Juan M.; CORDON, Gabriela B.; LAGORIO, M. Gabriela. Modeling re-absorption of fluorescence from the leaf to the canopy level. **Remote Sensing of Environment**, v. 204, p. 138-146, 2018.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 8.ed. São Paulo: Contexto, 2005. 85p. (Repensando a Geografia).

ROSS, 1991. O Relevo Brasileiro, as Superfícies de aplainamento e os Níveis Morfológicos. **Revista do Departamento de Geografia (USP)** v.5, p.7-24, 1991.

RUBIRA, F. G. et al. Pedogeomorphological systems in the interpretation of the evolution of quaternary landscapes in humid tropical climates. **Mercator**, Fortaleza, v.18, oct. 2019. ISSN 1984-2201. Disponível em: <<http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/e18020>>. Acesso em: 20 apr. 2023.

RUELLAN, A; QUEIROZ NETO, J.P.; PELLERIN, J. (1984/1985) Analyse structurale de la couverture pédologique: une experience d'enseignement et de recherche au Brésil. Paris, **Cahier ORSTOM**, v.19, n.4, p.253-256.

RUHE, A. **On the quadratic convergence of the Jabobi method for normal matrices**. BIT 7, 305–313 (1967).

RUHE, R.V. Elements of the soil landscape. In: INTERNATIONAL CONGRES OF SOIL SCIENCE (7: 1960 : Madison): Transaction, Amsterdam, **Elsevier**, v.4, p.165-170.

RUHE, R. V. **Geomorphology**. Boston : Houghton Mifflin Company, 236p. 1975.

RUHE, R. V. Geomorphic surfaces and the nature of soils. **Soil Science**. Baltimore, v. 82, n.2, p.441-445, 1956.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M.. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 339 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.

SCHAEFER, C. E. G. R.; FABRIS, J. D. & KER, J. C. Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): A review. **Clay Miner**, v. 43, p. 137-154, 2008.

SCHROEDER, D. SOLOS, Fatos e Conceitos. São Paulo: ANDA, 2017. Disponível em: <<http://www.ufla.br/dcom/wpcontent/uploads/2018/03/Solos-Fatos-e-Conceitos-final-final-1-1.pdf>> Acesso em: 20 de Jan. de 2021.

SCHULTZE, D. G. **An introduction in soil mineralogy**. In: DIXON, J. B.; WEED, S.B. (Ed.) Minerals in soil environments. Madison: SSSA, 1989. p. 1-34.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R. M. Iron oxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S. B. (Eds.), Minerals in Soil Environments. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, p.379-438, 1989.

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, mai/jun., 2002.

SILVA, L. A. et al. Impact of Chemical Oxidation on Brazilian Soils. **Journal Brazilian of Chemical Society**, v.23, p.367-371, 2012.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys** 2nd ed. USDA Natural Resources Conservation Service Agricultural Handbook vol. 436, US Gov. Printing Office, Washington, DC. 1999.

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.

SOUZA, C. K. et al. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, n.27, p.1067-1074, 2003.

SOUZA JUNIOR, G.I. et al. Mineralogia e susceptibilidade magnética dos óxidos de ferro do horizonte B de solos do Estado do Paraná. **Ciência Rural**, v. 40, n. 3, p. 513-519, 2010.

SOUZA 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.

SOUZA, Z. M. et al. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.63, p.161-168, 2006.

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.

STOCKING, M.A. (1997). **Raifall erosivity in erosion: some problems and applications**. Research Discussion Paper, 13, Universidade de Edingurgh, Dept, de Geografia, 29p.

SUMMERFIELD, M. A. (1991). Global geomorphology. Harlow: Longman. doi: 10.1002/esp.3290170514

TOLEDO, M.C.M.; OLIVEIRA, S.M.B. de; MELFI, A.J. Cap 8 p.128-239 Da rocha ao Solo – Intemperismo e pedogênese. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.M.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2ª ed. São Paulo: IBEP Editora Nacional-Conrad, 2009. 620p.

TRICART, J. As relações entre a morfogênese e a pedogênese. **Notícia Geomorfológica**, v. 8, n. 15, p. 5-18, 1968.

TROEH, F. R. Landform equations fitted to contour maps. **American Journal of Science**, v.263, p. 616 - 627, 1965.

TRUCHE C. Caractérisation et quantification des minéraux argileux dans les sols expansifs par spectroscopie infrarouge aux échelles du laboratoire et du terrain. Toulouse, France: Laboratoire des Mécanismes et Transfert en Géologie. Université Paul Sabatier — Toulouse III; 2011. p.229.

WHITE, W. M. (2005). Geochemistry. United States: Wiley-Blackwell. 668 pag. Capítulo 6.

USDA. Natural Resources Conservation Service, 1984. Disponível em: <<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/7thru12/?cid=nrcseprd885606#:~:text=The%20following%20is%20the%20average,essential%20ingredient%20for%20living%20organisms>> Acesso em: 25 de Jan de 2022.

VALERIANO, M. M., 2008. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: INPE, 72 p. (INPE-15318-RPE/818).

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

VILAR, O. M. E PRANDI, E. C. (1993) **Erosão dos solos**. Solos do interior de São Paulo, ABMS/USP, São Carlos.

VISCARRA ROSSEL, R.A. et al. A global spectral library to characterize the world's soil, **Earth-Science Reviews**, v. 155, p. 198-230, 2016.

VISCARRA ROSSEL, R. et al. The Australian three-dimensional soil grid: Australia's contribution to the GlobalSoilMap project. **Soil Research**, v.53, n.8, p.845-864, 2015.

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.

YOUNG, A. **Slopes**. Edinburg: Oliver & Boyd, 288p. 1972.

o