

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ – UEM  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

JAQUELINE GORISCH WILKOMM FRUET

ANÁLISE DA ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DE CABECEIRAS DE  
DRENAGEM: SUBSÍDIOS PARA A CONSERVAÇÃO DE NASCENTES

MARINGÁ – PR

2021

JAQUELINE GORISCH WILKOMM FRUET

ANÁLISE DA ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DE CABECEIRAS DE  
DRENAGEM: SUBSÍDIOS PARA A CONSERVAÇÃO DE NASCENTES

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação – Doutorado em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental – do Departamento de Geografia, do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Estadual de Maringá, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Hélio Silveira

MARINGÁ – PR

2021

## FICHA CATALOGRAFICA

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

F944a

Fruet, Jaqueline Gorisch Wilkomm

Análise da estrutura e funcionamento de cabeceiras de drenagem : subsídios para a conservação de nascentes / Jaqueline Gorisch Wilkomm Fruet. -- Maringá, PR, 2021. 367 f.: il. color., figs., tabs., maps.

Orientador: Prof. Dr. Hélio Silveira.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2021.

1. Nascentes - Rio Pirapó. 2. Propriedades físico-hídrico. 3. Solos. 4. Área de preservação permanente. 5. Cabeceira de drenagem. I. Silveira, Hélio , orient. II.

CDD 23.ed. 551.48

ANÁLISE DA ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DE CABECEIRAS DE DRENAGEM:  
SUBSÍDIOS PARA A CONSERVAÇÃO DE NASCENTES

Tese de Doutorado apresentada a Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental, linha de pesquisa Análise Ambiental.

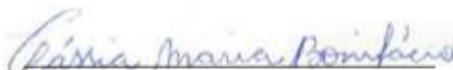
Aprovada em **20 de agosto de 2021**.

BANCA EXAMINADORA



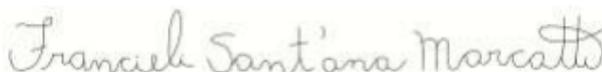
---

Prof. Dr. Helio Silveira  
Orientador - UEM



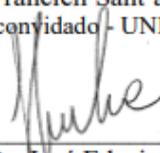
---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cassia Maria Bonifacio  
Membro convidado - UFSCAR



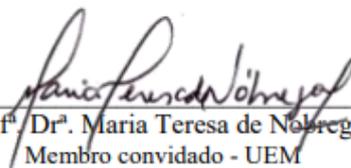
---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Francieli Sant'ana Marcatto  
Membro convidado - UNICENTRO



---

Prof. Dr. José Edezio da Cunha  
Membro convidado – UNIOESTE



---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Teresa de Nobrega  
Membro convidado - UEM

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais Paulo e Nilde  
(in memoriam).*

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço a Deus pela bênção de realização deste Doutorado, pela misericórdia e força nos momentos de dificuldade vivenciados durante este período;*

*Ao meu estimado marido Dirceu pelo companheirismo, e principalmente, pelo apoio incondicional nos momentos mais importantes da minha vida;*

*Ao professor e orientador Dr. Hélio Silveira, um agradecimento especial por ter aceitado a orientação deste trabalho e por todo o aprendizado oportunizado durante a realização desta pesquisa;*

*Ao professor Dr. José Edézio da Cunha e às professoras Dr<sup>a</sup>. Maria Teresa de Nóbrega, Dr<sup>a</sup> Francieli Sant'ana Marcatto, Dr<sup>a</sup> Cássia Maria Bonifácio pelas contribuições, correções e sugestões proferidas na banca de defesa;*

*Ao proprietário, pela cedência da área de estudo, sem a qual não seria possível a realização desta pesquisa, proporcionando a liberdade de entrar e sair durante o período necessário;*

*Aos prezados, Marcos e Laine, pela ajuda imensurável em várias etapas desta pesquisa e pelos momentos de descontração e alegria;*

*À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos;*

*Ao Laboratório do Grupo de Estudo Multidisciplinar do Ambiente (UEM) pela cedência do espaço para a realização de algumas das análises físicas de solo e ao técnico responsável, Vanderlei Grzegorzcyk;*

*Ao Carlos H. Graça pelo auxílio prestado com os mapas;*

*Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia (UEM), que contribuíram para a minha formação profissional;*

*A todos aqueles que de alguma forma contribuíram na realização dos trabalhos de campo e/ou de laboratório: Alan; Andressa; Andreza; Ewerton; Francieli; Gustavo; Jean; Leonardo; Maria Carolina; Matheus; Tiago e Vitor.*

*A todos que não estão aqui citados, e nem por isso deixam de ser importantes.*

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é compreender a estrutura e o funcionamento de duas cabeceiras de drenagem, representativas em termos pedológicos e geomorfológicos, localizadas no compartimento basáltico da bacia hidrográfica do Rio Pirapó, visando subsidiar ações de conservação de nascentes. Para tanto, utilizou-se a metodologia da Análise Estrutural Tridimensional da Cobertura Pedológica, além de análises físicas, hídricas e químicas do solo. Paralelamente, em relação a caracterização hidroambiental das nascentes, foram mensurados parâmetros hidrológicos de vazão e monitoramento do lençol freático e, ainda, a aplicação de uma avaliação macroscópica. Os resultados obtidos demonstraram que as cabeceiras possuem comportamento físico-hídrico diferenciado e que a estrutura e o funcionamento das cabeceiras estudadas procedem das características pedológicas, geomorfológicas e geológicas locais que, por sua vez, condicionam a tipologia e funcionalidade das nascentes. A cabeceira de drenagem 1 é de morfologia convergente-côncava, e a cobertura pedológica foi classificada como Neossolos Litólicos e Regolíticos de textura predominantemente siltosa e horizontes que exibem características químicas, como alta saturação de bases, alta CTC, alta atividade da argila, pH fortemente a moderadamente ácidos. A cabeceira de drenagem 2 apresentou morfologia convergente-retilínea e foram identificadas três classes de solos: Neossolo Litólico, Chernossolo e Plintossolo que variaram morfologicamente na espessura dos horizontes e composição granulométrica. De modo geral, os solos da cabeceira 2, quimicamente são moderadamente ácidos, com alta saturação de bases, alta CTC e alta atividade da argila. A morfologia da cabeceira 2 permite a formação de um ambiente com limitações impostas pela presença de lençol freático próximo à superfície possibilitando o processo pedogenético da plintização. Compreende-se que a cobertura pedológica tem influência sobre a dinâmica hidrológica das nascentes. De acordo com a caracterização fisiográfica, a nascente 1, localizada na cabeceira de drenagem 1, é pontual e perene, enquanto a nascente 2, localizada na cabeceira de drenagem 2, é pontual no inverno e difusa no verão, ambas provenientes de lençol freático. A avaliação macroscópica demonstrou que a nascente 2 está mais degradada em relação à nascente 1. A adequação da APP conforme a legislação ambiental vigente pode não ser satisfatória da mesma forma para as duas nascentes, já que o tipo de exfiltração e o contexto geoambiental é diferente. Comparativamente, a resolução nº303/2002 da CONAMA demonstrou ser mais eficiente em termos geoambientais, para a proteção das nascentes, quando comparada ao código florestal de 2012 (Lei 12.651/2012).

Palavras-chave: Propriedades físico-hídricas, fluxos hídricos, Plintossolos, comportamento hidrológico, APP.

## ABSTRACT

The objective of this work is to understand the structure and functioning of two drainage headwaters, representative in pedological and geomorphological terms, in the basaltic district of the Pirapó River watershed, formerly subsidiary actions for the conservation of springs. To do so, use the methodology of Three-dimensional Structural Analysis of Pedological Coverage, in addition to physical, water and soil composite analyses. At the same time, in relation to the hydroenvironmental characterization of the springs, hydrological parameters of flow and monitoring of the water table were measured, as well as the application of a macroscopic evaluation. The results obtained showed that the headwaters have a different physical-hydric behavior and that the structure and functioning of the headwaters studied come from local pedological, geomorphological and geological characteristics which, in turn, influence the typology and functionality of the headwaters. The drainage headwater 1 has a convergent-concave morphology, and the pedological cover was classified as Litholic and Regolith Neosols with predominantly silty texture and horizons that exhibit characteristics such as high base saturation, high CTC, high clay activity, strongly pH moderately acidic. The headwater drainage 2 presented a convergent-rectilinear morphology and three soil classes were identified: Litholic Neosol, Chernosol and Plinthosol which varied morphologically in terms of horizon thickness and granulometric composition. In general, headwater 2 soils are chemically moderately acidic, with high base saturation, high CEC and high clay activity. The morphology of head 2 allows the formation of an environment with limitations imposed by the presence of a water table close to the surface, enabling the pedogenetic process of plinthization. It is understood that the pedological coverage influences the hydrological dynamics of springs. According to the physiographic characterization, spring 1, located in drainage head 1, is punctual and perennial, while spring 2, located in drainage head 2, is punctual in winter and diffuse in summer, both coming from the water table. The macroscopic evaluation showed that spring 2 is more degraded in relation to spring 1. The adequacy of the APP according to current environmental legislation may not be satisfactory in the same way for the two springs, since the type of exfiltration and the geoenvironmental context is different. Comparatively, CONAMA Resolution No. 303/2002 proved to be more efficient in geoenvironmental terms, for the protection of springs, when compared to the 2012 forest code (Law 12.651/2012).

Key words: Physical-hydric properties, water fluxes, Plinthosols, hydrological behavior, APP.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó .....	57
Figura 2 - Classes de declividade e relevo da bacia hidrográfica do Rio Pirapó .....	59
Figura 3 - Principais de classes de solos da bacia hidrográfica do Rio Pirapó .....	60
Figura 4 - Cobertura vegetal e uso da terra da bacia hidrográfica do Rio Pirapó .....	63
Figura 5 - Fluxograma dos métodos e técnicas da pesquisa .....	64
Figura 6 - Mapa de localização do subcompartimento basáltico da bacia hidrográfica do rio Pirapó (PR) .....	65
Figura 7 - Classes de declividade do subcompartimento basáltico da bacia hidrográfica do rio Pirapó (PR) .....	66
Figura 8 - Tipos de usos dos solos do compartimento basáltico da bacia hidrográfica do rio Pirapó (PR) .....	66
Figura 9 - Localização das cabeceiras de drenagem no compartimento basáltico da bacia hidrográfica do Rio Pirapó (PR) .....	68
Figura 10 - Localização das cabeceiras de drenagem na bacia hidrográfica do Córrego Alegre (PR) .....	69
Figura 11 - Imagem ilustrativa do modelo de aeronave utilizado .....	71
Figura 12 - Método de implantação de sondagens em um segmento de transeção .....	74
Figura 13 - Operação sucessiva para a localização de curvas de isodiferenciação de horizontes/volumes das cabeceiras de drenagem .....	75
Figura 14 - Método direto de medição da vazão das nascentes .....	77
Figura 15 - Pontos de monitoramento do lençol freático da cabeceira 1 .....	78
Figura 16 - Pontos de monitoramento do lençol freático da cabeceira 2 .....	78
Figura 17 - Amostra de solo iniciando efervescência após a adição de água oxigenada .....	83
Figura 18 - Amostra de solo aproximadamente 15 minutos após a adição de água oxigenada .....	83
Figura 19- Imagem do uso do solo de 2002 das nascentes e cabeceiras do estudo .....	86
Figura 20 - Imagem do uso do solo do ano de 2010 das nascentes e cabeceiras do estudo .....	86
Figura 21 - Localização das cabeceiras bacia hidrográfica do ribeirão Alegre, alta bacia do rio Pirapó (PR) .....	87
Figura 22 - Rede de drenagem e hipsometria do compartimento basáltico da bacia hidrográfica do Rio Pirapó (PR) .....	90
Figura 23 - Bloco diagrama hipsométrico cabeceira de drenagem 1 e seu entorno .....	91
Figura 24 - Topossequências de solos da cabeceira de drenagem 1 .....	92

Figura 25 - Topossequência de solos do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	94
Figura 26 - Variação granulométrica dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	99
Figura 27 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a porosidade dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	103
Figura 28 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a densidade dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	104
Figura 29 - Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados do horizonte Ap do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	107
Figura 30 - Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados do horizonte Ap do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	107
Figura 31 - Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados do horizonte AC do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	107
Figura 32 - Topossequência de solos do eixo B da cabeceira de drenagem 1 .....	113
Figura 33 - Variação granulométrica do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1 .....	117
Figura 34 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a porosidade e densidade do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1 .....	119
Figura 35 - Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados do horizonte AC da topossequência de solos do eixo B da cabeceira de drenagem 1 .....	122
Figura 36 - Topossequência de solos do eixo C da cabeceira de drenagem 1 .....	126
Figura 37 - Variação granulométrica do perfil de solo da topossequência do eixo C .....	130
Figura 38 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a porosidade e densidade do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1 .....	133
Figura 39 - Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados do horizonte Ap da Topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1 .....	134
Figura 40 - Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados do horizonte AC da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1 .....	134
Figura 41 - Topossequência de solos do eixo D da cabeceira de drenagem 1 .....	139
Figura 42 - Variação granulométrica do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1 .....	142
Figura 43 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a porosidade e densidade do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira 1 .....	145

Figura 44 - Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados do horizonte AC do perfil 2 da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1 .....	146
Figura 45 - Topossequência de solos do eixo E da cabeceira de drenagem 1 .....	150
Figura 46 - Variação granulométrica do perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem1 .....	153
Figura 47 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a porosidade e densidade do perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem1 .....	155
Figura 48 - Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados do horizonte AC da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem1 .....	156
Figura 49 - Bloco diagrama do uso do solo da cabeceira de drenagem 1 .....	161
Figura 50 - Bloco diagrama dos conjuntos pedológicos da cabeceira de drenagem 1 .....	162
Figura 51 - Cascalho do volume C (P2).....	164
Figura 52 - Amostra do volume C (P3).....	164
Figura 53 - Bloco diagrama de isosilte da profundidade de 0 a 30 cm da cabeceira de drenagem 1 .....	166
Figura 54 - Bloco diagrama de isosilte em profundidades maiores que 30 cm da cabeceira de drenagem 1 .....	166
Figura 55 - Bloco diagrama de isoargila em profundidade de 0 a 30 cm da cabeceira de drenagem 1 .....	167
Figura 56 - Bloco diagrama de isoargila em profundidades maiores que 30 cm da cabeceira de drenagem 1 .....	167
Figura 57 - Classes de permeabilidade do volume Ap da cabeceira de drenagem 1.....	170
Figura 58 - Classes de permeabilidade do volume AC da cabeceira de drenagem 1 .....	170
Figura 59 - Classes de permeabilidade do volume C da cabeceira de drenagem 1.....	171
Figura 60 - Bloco diagrama vetorial da magnitude dos fluxos hídricos da cabeceira de drenagem 1 e seu entorno .....	182
Figura 61 - Bloco diagrama do uso do solo da cabeceira de drenagem 1 com o afloramento do lençol freático .....	182
Figura 62 - Bloco diagrama hispométrico da cabeceira de drenagem 2 .....	186
Figura 63 - Topossequências de solos da cabeceira de drenagem 2 .....	187
Figura 64 - Topossequência de solos do eixo A da cabeceira de drenagem 2.....	189
Figura 65 - Variação granulométrica dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2.....	195

Figura 66 - Mapeamento dos teores de argila da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2 .....	197
Figura 67 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a porosidade dos perfis de solos da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2 .....	202
Figura 68 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a densidade dos perfis de solos da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2 .....	203
Figura 69 - Mapeamento da condutividade hidráulica saturada da topossequência de solos do eixo A da cabeceira de drenagem 2 .....	204
Figura 70 - Mapeamento das classes de DMPa da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2 .....	207
Figura 71- Topossequência de solos do eixo B da cabeceira de drenagem 2 .....	215
Figura 72 - Fragmentos de rocha no horizonte AC (TR1) da topossequência de solos do eixo B da cabeceira de drenagem 2 .....	219
Figura 73 - Variação granulométrica dos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2.....	222
Figura 74 - Mapeamento dos teores de argila da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2 .....	224
Figura 75 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a porosidade dos perfis de solos da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2 .....	228
Figura 76 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a densidade dos perfis de solos da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2 .....	229
Figura 77 - Mapeamento da condutividade hidráulica saturada dos solos da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2 .....	230
Figura 78 - Mapeamento das classes de DMPa da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2 .....	233
Figura 79 - Topossequência de solos do eixo C da cabeceira de drenagem 2 .....	240
Figura 80 - Fragmentos de rocha do horizonte AC (TR1) da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2.....	244
Figura 81 - Variação granulométrica dos perfis de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2.....	247
Figura 82 - Mapeamento dos teores de argila da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2 .....	249
Figura 83 - Mapeamento da condutividade hidráulica saturada dos solos da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2 .....	254

Figura 84 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a porosidade dos perfis de solos da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2 .....	255
Figura 85 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a densidade dos perfis de solos da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2 .....	255
Figura 86 - Mapeamento das classes de DMPa da topossequência de solos do eixo C da cabeceira de drenagem 2.....	258
Figura 87 - Bloco diagrama das classes e uso dos solos da cabeceira de drenagem 2 .....	266
Figura 88 - Bloco diagrama dos conjuntos pedológicos da cabeceira de drenagem 2 .....	267
Figura 89 - Bloco diagrama dos teores de argila até 50 cm de profundidade da cabeceira de drenagem 2 .....	270
Figura 90 - Bloco diagrama dos teores de argila de 50 a 100 cm de profundidade da cabeceira de drenagem 2.....	270
Figura 91 - Bloco diagrama dos teores de argila superior a 100 cm de profundidade da cabeceira de drenagem 2.....	271
Figura 92 - Classes de permeabilidade do volume A da cabeceira de drenagem 2 .....	272
Figura 93 - Classes de permeabilidade dos volumes A2 e AC da cabeceira de drenagem 2.	273
Figura 94 - Classes de permeabilidade do volume B da cabeceira de drenagem 2.....	274
Figura 95 - Bloco diagrama vetorial da magnitude dos fluxos hídricos da cabeceira de drenagem 2 .....	281
Figura 96 - Horizonte Plíntico da TR2 da topossequência do eixo A.....	283
Figura 97 - Horizonte Plíntico da TR3 da topossequência do eixo A.....	283
Figura 98 - Horizonte Plíntico da TR2 da topossequência do eixo B .....	283
Figura 99 - Horizonte Plíntico da TR2 da topossequência do eixo C .....	283
Figura 100 - Horizonte Plíntico da TR3 da topossequência do eixo C .....	283
Figura 101 - Aspecto geral da nascente 1 da cabeceira de drenagem 1 .....	286
Figura 102 - Tipo de exfiltração da nascente 1 da cabeceira de drenagem 1 .....	286
Figura 103 - Localização e aspecto geral da exfiltração da nascente 2 da cabeceira 2 .....	288
Figura 104 - Processos erosivos no curso de água da nascente 2.....	292
Figura 105 - Comportamento mensal da precipitação para a área de estudo .....	294
Figura 106 - Relação da precipitação mensal com a vazão da nascente 1 .....	294
Figura 107 - Relação da precipitação mensal com a vazão da nascente 2 .....	295
Figura 108- Localização dos pontos de monitoramento do nível freático na topossequência de solos do eixo A na cabeceira de drenagem 1 .....	299

Figura 109 - Dados de precipitação e dos pontos de monitoramento do nível freático da cabeceira de drenagem 1 .....	300
Figura 110 - Média de verão e inverno dos pontos de monitoramento do nível freático da cabeceira de drenagem 1 .....	300
Figura 111 - Localização dos pontos de monitoramento do nível freático nas topossequências de solos da cabeceira de drenagem 2 .....	301
Figura 112 - Dados de precipitação e dos pontos de monitoramento do nível freático da cabeceira de drenagem 2.....	303
Figura 113 - Média de verão e inverno dos pontos de monitoramento do nível freático da cabeceira de drenagem 2.....	304
Figura 114 - Síntese comparativa dos atributos pedológicos físicos, hídricos e do carbono orgânico das cabeceiras de drenagem 1 e 2.....	307
Figura 115 - Síntese comparativa dos atributos pedológicos físicos, hídricos e do carbono orgânico do volume A das cabeceiras de drenagem 1 e 2 .....	310
Figura 116 - Representação gráfica de APP em raio de 50m de acordo com a Lei nº 12.651/2012 pra as nascentes 1 e 2.....	313
Figura 117 - Processos erosivos no córrego da nascente 2 da cabeceira de drenagem 2 .....	315
Figura 118 - Mapeamento da bacia de segunda ordem conforme a Lei Federal nº. 12.651, de 25/5/2012 incluindo a bacia de contribuição de acordo com a Resolução nº. 303/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).....	318

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de $\alpha$ sugeridos para os solos de acordo com sua macroporosidade e textura .....	76
Tabela 2 - Classificação da vazão das nascentes conforme Meinzer (1927).....	77
Tabela 3 - Localização do posto pluviométrico da estação meteorológica de Apucarana.....	79
Tabela 4 - Descrição morfológica dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	95
Tabela 5 - Proporção de frações grosseiras nos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	97
Tabela 6 - Características granulométricas dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	99
Tabela 7 - Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) dos perfis de solo do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	101
Tabela 8 - Condutividade hidráulica saturada (Kfs) dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	103
Tabela 9 - Distribuição das classes de agregados dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	106
Tabela 10 - Diâmetro médio ponderado dos agregados, carbono orgânico, argila total, grau de floculação e óxidos de ferro e alumínio dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	108
Tabela 11 - Potencial hidrogeniônico (pH) dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	109
Tabela 12 - Características químicas do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	109
Tabela 13 - Óxidos dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1 .....	111
Tabela 14 - Descrição morfológica do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1 .....	115
Tabela 15 - Proporção de frações grosseiras nos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1 .....	116
Tabela 16 - Propriedades granulométricas do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1 .....	117

Tabela 17 - Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) dos perfis de solos da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1.....	118
Tabela 18 - Condutividade hidráulica saturada (Kfs) do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1 .....	119
Tabela 19 - Distribuição das classes de agregados dos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1 .....	121
Tabela 20 - Diâmetro médio ponderado dos agregados, carbono orgânico, argila total, grau de floculação e óxidos de alumínio e ferro dos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1 .....	122
Tabela 21 - Potencial hidrogeniônico (pH) do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1 .....	123
Tabela 22 - Características químicas perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1 .....	123
Tabela 23 - Valores de Óxidos de ferro, alumínio e titânio do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1 .....	124
Tabela 24 - Descrição morfológica do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1 .....	127
Tabela 25 - Proporção de frações grosseiras no perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1 .....	129
Tabela 26 - Propriedades granulométricas do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1 .....	130
Tabela 27 - Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1 .....	131
Tabela 28 - Condutividade hidráulica saturada (Kfs) do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1 .....	132
Tabela 29 - Distribuição das classes de agregados dos perfis de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1 .....	134
Tabela 30 - Diâmetro médio ponderado dos agregados, carbono orgânico, argila total, grau de floculação e óxidos dos perfis de solo da topossequência de solos do eixo C da cabeceira de drenagem 1 .....	135
Tabela 31 - Potencial hidrogeniônico (pH) do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1 .....	136

Tabela 32 - Características químicas do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1 .....	136
Tabela 33 - Valores de óxidos de ferro, alumínio e titânio do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1 .....	137
Tabela 34 - Descrição morfológica do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1 .....	140
Tabela 35 - Proporção de frações grosseiras no perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1 .....	141
Tabela 36 - Propriedades granulométricas do perfil de solo da topossequência de solos do eixo D da cabeceira de drenagem 1 .....	142
Tabela 37 - Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1 .....	144
Tabela 38 - Condutividade hidráulica saturada (Kfs) do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1 .....	144
Tabela 39 - Distribuição das classes de agregados dos perfis de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1 .....	146
Tabela 40 - Diâmetro médio ponderado dos agregados, carbono orgânico, argila total, grau de floculação e óxidos de ferro dos perfis de solo da topossequência do eixo D da cabeceira 1	146
Tabela 41 - Potencial hidrogeniônico (pH) do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1 .....	147
Tabela 42 - Características químicas do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1 .....	147
Tabela 43 - Óxidos de ferro, alumínio e titânio do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1 .....	148
Tabela 44 - Descrição morfológica do perfis de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1 .....	151
Tabela 45 - Proporção de frações grosseiras no perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1 .....	153
Tabela 46 - Propriedades granulométricas do perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1 .....	153
Tabela 47 - Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) do perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem .....	154

Tabela 48 - Condutividade hidráulica saturada (Kfs) do perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1 .....	155
Tabela 49 - Distribuição das classes de agregados dos perfis de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1 .....	156
Tabela 50 - Diâmetro médio ponderado dos agregados, carbono orgânico, argila total, grau de floculação e óxidos dos perfis de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1 .....	157
Tabela 51 - Potencial hidrogeniônico (pH) do perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1 .....	157
Tabela 52 - Características químicas do perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1 .....	158
Tabela 53 - Óxidos de ferro, alumínio e titânio do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1 .....	159
Tabela 54 - Classificação e características gerais da cabeceira de drenagem 1 .....	160
Tabela 55 - Coeficiente de correlação de Pearson dos dados físicos, hídricos e carbono orgânico do Volume Ap da cabeceira de drenagem 1 .....	173
Tabela 56 - Coeficiente de correlação de Pearson dos dados físicos, hídricos e carbono orgânico do Volume AC da cabeceira de drenagem 1 .....	176
Tabela 57 - Coeficiente de correlação de Pearson dos dados físicos, hídricos e carbono orgânico do Volume AC (superficial) da cabeceira de drenagem 1 .....	177
Tabela 58 - Descrição morfológica dos perfis de solos da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2 .....	190
Tabela 59. Proporção de frações grosseiras nos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2 .....	194
Tabela 60 - Características granulométricas dos perfis de solo da topossequência do eixo A .....	195
Tabela 61 - Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) dos perfis de solos da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2 .....	199
Tabela 62 - Condutividade hidráulica saturada (Kfs) do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2 .....	202
Tabela 63 - Distribuição das classes de agregados dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2 .....	206

Tabela 64 - Correlação do diâmetro médio ponderado dos agregados com o carbono orgânico, grau de floculação, argila total e óxidos do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2.....	206
Tabela 65 - Potencial hidrogeniônico (pH) do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2.....	209
Tabela 66 - Características químicas dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2.....	210
Tabela 67 - Valores de óxidos de ferro, alumínio e titânio do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2.....	213
Tabela 68 - Descrição morfológica dos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2.....	217
Tabela 69 - Proporção de frações grosseiras dos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2.....	221
Tabela 70 - Características granulométricas dos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2.....	222
Tabela 71 - Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) dos perfis de solos da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2.....	226
Tabela 72 - Condutividade hidráulica Condutividade hidráulica saturada (Kfs) do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2.....	228
Tabela 73 - Distribuição das classes de agregados dos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2.....	232
Tabela 74 - Correlação do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa) com o carbono orgânico (CO), grau de floculação (GF), argila total (AT) e óxidos do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2.....	232
Tabela 75 - Potencial hidrogeniônico (pH) do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2.....	235
Tabela 76 - Características químicas dos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2.....	236
Tabela 77 - Valores de óxidos de ferro, alumínio e titânio do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2.....	238
Tabela 78 - Descrição morfológica dos perfis de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2.....	242

Tabela 79 - Proporção de frações grosseiras dos perfis de solo da topossequência de solos do eixo C da cabeceira de drenagem 2 .....	246
Tabela 80 - Características granulométricas dos perfis de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2.....	247
Tabela 81 - Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) dos perfis de solos da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2.....	250
Tabela 82 - Condutividade hidráulica saturada (Kfs) do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2.....	253
Tabela 83 - Distribuição das classes de agregados dos perfis de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2.....	256
Tabela 84 - Correlação do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa) com o carbono orgânico (CO), grau de floculação (GF), argila total (AT) e óxidos do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2.....	257
Tabela 85 - Potencial hidrogeniônico (pH) do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2.....	260
Tabela 86 - Características químicas dos perfis de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2.....	261
Tabela 87 - Valores de óxidos de ferro, alumínio e titânio do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1.....	264
Tabela 88 - Classificação dos solos e características gerais da cabeceira de drenagem 2.....	265
Tabela 89 - Coeficiente de correlação de Pearson dos dados físicos, hídricos e carbono orgânico da classe do Neossolo Litólico da cabeceira de drenagem 2 .....	275
Tabela 90 - Coeficiente de correlação de Pearson dos dados físicos, hídricos e carbono orgânico da classe de Chernossolo da cabeceira de drenagem 2 .....	277
Tabela 91 - Coeficiente de correlação de Pearson dos dados físicos, hídricos e carbono orgânico da classe do Plintossolo no setor médio da cabeceira de drenagem 2.....	279
Tabela 92 - Coeficiente de correlação de Pearson dos dados físicos, hídricos e carbono orgânico da classe do Plintossolo no setor baixo da cabeceira de drenagem 2.....	280

### **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Parâmetros para a avaliação macroscópica das nascentes .....	80
Quadro 2- Resultados da avaliação macroscópica das nascentes 1 e 2 das cabeceiras de drenagem .....	289

## SUMÁRIO

<b>INRODUÇÃO</b> .....	<b>24</b>
<b>1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>27</b>
1.1 CABECEIRA DE DRENAGEM.....	27
1.2 NASCENTES: LEGISLAÇÃO, DEGRADAÇÃO E CONSERVAÇÃO.....	31
1.3 AS PROPRIEDADES FÍSICAS E HÍDRICAS DO SOLO.....	38
1.4 ANÁLISE ESTRUTURAL DA COBERTURA PEDOLÓGICA: FUNCIONAMENTO FÍSICO E HÍDRICO .....	45
1.5 DINÂMICA HIDROLÓGICA DE NASCENTES: CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO E PEDOLÓGICO .....	50
<b>2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>56</b>
2.1 ASPECTOS FÍSICO-GEOGRÁFICOS .....	56
2.2 ASPECTOS HISTÓRICOS E SOCIOECONÔMICOS .....	61
<b>3 MÉTODOS E TÉCNICAS</b> .....	<b>64</b>
3.1 ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO.....	64
3.2 ATIVIDADES DE GABINETE.....	70
<b>3.2.1 Pesquisa Bibliográfica</b> .....	<b>70</b>
<b>3.2.2 Elaboração de materiais cartográficos e gráficos</b> .....	<b>70</b>
3.2.2.1 Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó .....	70
3.2.2.2 As cabeceiras de drenagem.....	70
3.3 ATIVIDADES DE CAMPO .....	73
<b>3.3.1 Análise estrutural tridimensional da cobertura pedológica</b> .....	<b>73</b>
<b>3.3.2 Ensaio hídrico do solo</b> .....	<b>75</b>
<b>3.3.3 Parâmetros Hidrológicos das nascentes</b> .....	<b>76</b>
3.3.3.1 Vazão .....	76
3.3.3.2 Monitoramento do lençol freático .....	78
3.3.3.3 Dados Pluviométricos .....	79
3.3.4 Avaliação macroscópica das nascentes.....	79
3.4 ATIVIDADES DE LABORATÓRIO.....	81
<b>3.4.1 Análises físicas do solo</b> .....	<b>81</b>
3.4.1.1 Teste da plintita.....	82
<b>3.4.2 Análises Químicas do Solo</b> .....	<b>82</b>

3.4.2.1 Determinação do Carbono orgânico e da Matéria Orgânica.....	82
3.4.2.2 Óxidos de ferro, alumínio e titânio extraídos por extrato sulfúrico.....	83
3.4.2.3 Teste do Manganês.....	83
<b>4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>84</b>
4.1 BREVE CONTEXTO HISTÓRICO.....	84
4.2 CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO REGIONAL.....	86
4.3 CABECEIRA DE DRENAGEM UM: MORFOLOGIA DAS VERTENTES, SISTEMAS PEDOLÓGICOS E SUAS PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS, FÍSICAS, HÍDRICAS E QUÍMICAS .....	91
<b>4.3.1 A Topossequência de solos do eixo A .....</b>	<b>93</b>
4.3.1.1 Propriedades físicas e hídricas dos solos .....	97
4.3.1.1.1 <i>Granulometria e argila dispersa em água .....</i>	97
4.3.1.1.2 <i>Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total .....</i>	100
4.3.1.1.3 <i>Características hídricas.....</i>	102
4.3.1.1.4 <i>Estabilidade de agregados.....</i>	105
4.3.1.2 Caracterização Química.....	109
4.3.1.3 Classificação do Solo .....	112
<b>4.3.2 A topossequência de solos do eixo B.....</b>	<b>113</b>
4.3.2.1 Propriedades físicas e hídricas .....	116
4.3.2.1.1 <i>Granulometria e argila dispersa em água .....</i>	116
4.3.2.1.2 <i>Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total .....</i>	118
4.3.2.1.3 <i>Características hídricas.....</i>	119
4.3.2.1.4 <i>Estabilidade de agregados.....</i>	121
4.3.2.2 Caracterização Química.....	122
4.3.1.3 Classificação do solo.....	125
<b>4.3.3 A Topossequência de solos do eixo C .....</b>	<b>125</b>
4.3.3.1 Propriedades físicas e hídricas .....	129
4.3.3.1.1 <i>Granulometria e argila dispersa em água .....</i>	129
4.3.3.1.2 <i>Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total .....</i>	131
4.3.3.1.3 <i>Características hídricas.....</i>	132
4.3.3.1.4 <i>Estabilidade de agregados.....</i>	133
4.3.3.2 Caracterização Química.....	135
4.3.3.3 Classificação do solo.....	138
<b>4.3.4 A topossequência de solos do eixo D .....</b>	<b>138</b>

4.3.4.1 Propriedades físicas e hídricas .....	141
4.3.4.1.1 <i>Granulometria e argila dispersa</i> .....	141
4.3.4.1.2 <i>Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total</i> .....	143
4.3.4.1.3 <i>Características hídricas</i> .....	144
4.3.4.1.4 <i>Estabilidade de agregados</i> .....	145
4.3.4.2 Caracterização Química .....	147
4.3.4.3 Classificação do solo .....	149
<b>4.3.5 A Topossequência de solos do eixo E</b> .....	<b>149</b>
4.3.5.1 Propriedades físicas e hídricas .....	152
4.3.5.1.1 <i>Granulometria e argila dispersa</i> .....	152
4.3.5.1.2 <i>Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total</i> .....	154
4.3.5.1.3 <i>Características hídricas</i> .....	155
4.3.5.1.4 <i>Estabilidade de agregados</i> .....	156
4.3.5.2 Caracterização Química .....	157
4.3.5.3 Classificação do solo .....	159
4.4 ORGANIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA CABECEIRA DE DRENAGEM 1 .....	160
<b>4.4.1 Síntese morfológica e caracterização tridimensional da cobertura pedológica ....</b>	<b>160</b>
<b>4.4.2 Interpretação da dinâmica física e hídrica da cabeceira de drenagem 1</b> .....	<b>169</b>
4.4.2.1 Comportamento físico e hídrico da cobertura pedológica da cabeceira de drenagem 1 .....	169
4.4.2.2 Funcionamento hidrogeomorfológico e morfopedogenético da cabeceira de drenagem 1 .....	181
4.5 CABECEIRA DE DRENAGEM DOIS: MORFOLOGIA DAS VERTENTES, SISTEMAS PEDOLÓGICOS E SUAS PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS, FÍSICAS, HÍDRICAS E QUÍMICAS .....	185
<b>4.5.1 A topossequência de solos do eixo A</b> .....	<b>188</b>
4.5.1.1 Propriedades físicas e hídricas .....	193
4.5.1.1.1 <i>Granulometria e argila dispersa</i> .....	193
4.5.1.1.2 <i>Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total</i> .....	199
4.5.1.1.3 <i>Características hídricas</i> .....	201
4.5.1.1.4 <i>Estabilidade de Agregados</i> .....	205
4.5.1.2 Caracterização química .....	208
4.5.1.3 Classificação do solo .....	213
<b>4.5.2 A topossequência de solos do eixo B</b> .....	<b>214</b>

4.5.2.1 Propriedades físicas e hídricas .....	220
4.5.2.1.1 <i>Granulometria e argila dispersa em água</i> .....	220
4.5.2.1.2 <i>Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total</i> .....	225
4.5.2.1.3 <i>Características hídricas</i> .....	227
4.5.2.1.4 <i>Estabilidade de agregados</i> .....	231
4.5.2.2 Caracterização química .....	235
4.5.2.3 Classificação do solo.....	238
<b>4.5.3 A Topossequência de solos do eixo C</b> .....	<b>239</b>
4.5.3.1 Propriedades físicas e hídricas .....	246
4.5.3.1.1 <i>Granulometria e argila dispersa em água</i> .....	246
4.5.3.1.2 <i>Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total</i> .....	250
4.5.3.1.3 <i>Caraterísticas hídricas</i> .....	252
4.5.3.1.4 <i>Estabilidade de agregados</i> .....	256
4.5.3.2 Caracterização química .....	260
4.5.3.3 Classificação do solo.....	264
4.6 ORGANIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA CABECEIRA DE DRENAGEM 2 .....	265
<b>4.6.1 Síntese morfológica e caracterização tridimensional da cobertura pedológica ....</b>	<b>265</b>
<b>4.6.2 Interpretação da dinâmica física e hídrica da cabeceira de drenagem 2</b> .....	<b>272</b>
4.6.2.1 Comportamento físico e hídrico da cobertura pedológica da cabeceira de drenagem 2 .....	272
4.6.2.2 Funcionamento hidrogeomorfológico e morfopedogenético da cabeceira de drenagem 2 .....	281
4.7 ANÁLISE HIDROAMBIENTAL DAS NASCENTES .....	285
<b>4.7.1 Fisiografia das nascentes</b> .....	<b>285</b>
<b>4.7.2 Aplicação do Índice de Impacto Ambiental em Nascentes</b> .....	<b>289</b>
<b>4.7.3 Avaliação da dinâmica hidrológica</b> .....	<b>293</b>
4.7.3.1 Interpretação dos dados de vazão das nascentes.....	293
4.7.3.2 Monitoramento do nível freático .....	298
<b>4.7.4 Comparação dos atributos pedológicos das cabeceiras</b> .....	<b>306</b>
<b>4.7.5 Adequação da legislação ambiental para APP das cabeceiras</b> .....	<b>312</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>321</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>323</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>352</b>

## INRODUÇÃO

As nascentes são sistemas ambientais naturais em que ocorrem a exfiltração da água subterrânea de modo temporário ou perene, formando canais de drenagem a jusante (FELIPPE, 2009). Entretanto, Valente e Gomes (2005, p. 147) ressaltam que “a nascente é um fenômeno natural que transcende o ponto onde se manifesta, sendo resultado de um processo hidrológico que ocorre em uma área de contribuição chamada bacia hidrográfica”. Sob esses aspectos, pode-se considerar que as nascentes são resultantes do contexto ambiental regional e local em que estão inseridas (CARMO *et al.*, 2014).

Além de estarem sob uma ótica conservacionista de natureza hídrica, as nascentes também estão inseridas nas áreas de preservação permanente (APPs), conforme determina a Lei nº. 12.651/12, designada pelo Novo Código Florestal brasileiro, que em seu artigo 1º estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, das áreas de Preservação Permanente e das áreas de Reserva Legal; da exploração florestal, do suprimento de matéria-prima florestal, do controle da origem dos produtos florestais e do controle e prevenção dos incêndios florestais, e prevê instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos. A referida legislação em seu artigo 3º, entende a nascente como “afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d’água”. Em seu artigo 4º (alterado pela Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012), em que trata das áreas de preservação permanente (APP), estabelece as “áreas no entorno das nascentes e dos olhos d’água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros.”

Autores como Felipe *et al.* (2009), Faria (1997) e Valente e Gomes (2005), destacam que as nascentes diferem quanto ao tipo de exfiltração (pontuais, difusas ou múltiplas), mobilidade do local de exfiltração (fixas ou móveis) e a sazonalidade (perenes ou intermitentes). Assim, observa-se que a Legislação em vigor não considera, para delimitação das áreas de APP das nascentes, diferenças de fatores pedológicos, geomorfológicos e fitotípicos, que decorrem do contexto geoambiental em que as nascentes estão inseridas.

Considerando o pressuposto de que a Lei nº. 12.651/12 não contempla as complexidades físicas particulares das nascentes e o contexto geoambiental em que se encontram para estabelecer a delimitação de área de APP, dessa forma, a hipótese deste trabalho pauta-se de que a dinâmica das nascentes estudadas e sua funcionalidade hidrológica procedem das características pedológicas, geomorfológicas e geológicas locais e, portanto, devem ser levadas

em consideração para a proteção ambiental no entorno das nascentes, como computo das áreas de APP.

Levando em consideração o entendimento de que é necessário compreender o contexto geoambiental de onde as nascentes afloram, foi definido como área de estudo desta pesquisa as cabeceiras de drenagem que, segundo explicita Silva (2015, p.15), “são áreas cruciais para o reabastecimento dos lençóis freáticos, dos aquíferos, das nascentes e, conseqüentemente, dos rios” e ainda, conforme Silva (2019, p.16), “embora tenham características importantes, não se percebe merecida atenção às áreas de início dos canais de drenagem, que são carentes de estudos no cenário nacional”.

Para tanto, propõe-se este estudo em duas bacias de primeira ordem denominadas de cabeceiras de drenagem, compreendendo que são nesses ambientes, onde ocorrem a exfiltração de nascentes, que envolvem complexas interações de processos hidrológicos, geomorfológicos e pedológicos. Assim, a própria proteção e recuperação das cabeceiras de drenagem podem estar diretamente ligadas à conjuntura funcional, assim como, à degradação das nascentes.

Diante do exposto, o objetivo principal deste trabalho é compreender a estrutura e o funcionamento de duas cabeceiras de drenagem, representativas em termos pedológicos e geomorfológicos, localizadas no compartimento basáltico da bacia hidrográfica do Rio Pirapó, visando subsidiar ações de conservação das nascentes. Aplicando-se os preceitos metodológicos da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (BOULET *et al.*, 1982; 1993) para efetivação da pesquisa, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar o uso e a ocupação do solo nas áreas das cabeceiras de drenagem;
- Interpretar o funcionamento físico e hídrico da cobertura pedológica das cabeceiras de drenagem;
- Caracterizar as características fisiográficas e hidrológicas das nascentes e sua relação com o uso e ocupação do solo;
- Realizar a avaliação macroscópica das nascentes;
- Estabelecer relações entre as características morfológicas (formas das vertentes), pedológicas (dados físicos, químicos, hídricos) e as práticas antrópicas (uso e manejo do solo) para cada cabeceira;
- Identificar de forma detalhada os horizontes pedológicos associados para cada cabeceira, privilegiando particularmente a análise tridimensional da cobertura pedológica;

- Confrontar as diferenças de formas e estruturas apresentadas para cada cabeceira de drenagem com a legislação ambiental vigente (Código Florestal Brasileiro: Lei nº 12.651/2012).

Diante do exposto, visando a efetivação dos objetivos propostos, o presente trabalho foi organizado em cinco sessões: fundamentação teórica, caracterização geral da área de estudo, procedimentos metodológicos adotados, resultados obtidos e considerações finais.

Na sessão um consta a fundamentação teórica, que foi organizada de forma a pautar as interpretações relacionadas às cabeceiras de drenagem, às nascentes, aos processos hidrológicos das nascentes e à compreensão da cobertura pedológica e seus atributos físicos e hídricos. A caracterização geral da área de estudo, descrita na sessão dois, apresenta brevemente os aspectos físico-geográficos e socioeconômicos da bacia hidrográfica do Rio Pirapó. Na sessão três consta os procedimentos metodológicos que foram necessários para a realização da pesquisa, a qual está subdividida em: trabalhos de gabinete, trabalhos de campo e trabalhos de laboratório.

A sessão quatro contém a apresentação dos resultados obtidos na pesquisa para cada cabeceira de drenagem e suas respectivas nascentes. Assim, tem-se a caracterização das propriedades físico-hídricas e químicas dos solos, a caracterização hidroambiental das nascentes, a organização tridimensional das cabeceiras e uma avaliação comparativa em síntese entre estas. Por último, constam as considerações finais onde foram abordados os principais resultados obtidos na realização da pesquisa.

# 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 1.1 CABECEIRA DE DRENAGEM

As cabeceiras de drenagem são áreas côncavas situadas a montante de um canal de primeira ordem (PAISANI *et al.*, 2006). Dentre os fatores responsáveis pela formação das cabeceiras de drenagem, pode-se citar “os estruturais (influenciados pelas fraturas e falhamentos), os litológicos (que podem originar diferentes coberturas superficiais) e os fatores climáticos” (BRAGAS, 2010, p.20). Podem receber distintas denominações como bacia de ordem zero, cabeceira de vale, anfiteatro, rampa e concavidade (COELHO NETTO, 2003).

Coelho Netto (2003) classificou as cabeceiras de drenagem quanto a sua morfologia em cabeceiras abertas (CA) e cabeceiras estruturais (CE). As abertas apresentam base inferior larga e fundo de vale raso, com eixo longitudinal curto e topograficamente nivelado ao fundo de vale adjacente. Já as concavidades estruturais caracterizam-se por apresentar maior largura na porção superior, sendo mais estreitas na base inferior. Em relação à gênese das cabeceiras de drenagem, Coelho Netto (2003) realizou um estudo no município de Bananal, leste do estado de São Paulo, inserido no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, onde identificou duas unidades fisiográficas, sendo a primeira de domínio montanhoso e a segunda de colinas rebaixadas. Verificou-se que em ambas o perfil de alteração do substrato rochoso pode atingir grandes espessuras. A autora aponta para a atuação de um forte controle estrutural, mesmo que sob substratos geológicos distintos na formação e evolução das concavidades e, conseqüentemente, na formação de canais.

Paisani *et al.* (2006), em seus estudos na Bacia do Rio Quatorze no sudoeste do Paraná, caracterizaram morfologicamente as cabeceiras de drenagem classificando o seu tipo de eixo de drenagem em suaves e íngremes, e a sua forma utilizando o índice de circularidade (IC). Os autores verificaram a influência da estrutura na distribuição e forma de cabeceiras de drenagem na Bacia do Rio Quatorze no sudoeste do Paraná. Nessa área, com predomínio de substrato vulcânico da Formação Serra Geral, os lineamentos são controlados por fraturas na direção Noroeste (NW) e falhamentos associados, os quais estariam condicionados à existência de cabeceiras de drenagem.

Moura *et al.* (1991) trataram do aspecto morfológico das cabeceiras de drenagem do médio vale do Rio Paraíba do Sul, considerando a terminologia *hollow* côncavo (HC), relacionado ao predomínio de vários episódios de colúviação convergentes para o eixo

principal, e um segundo tipo denominada *hollow* plano (HCP), relacionada às cabeceiras de drenagem denominadas de paleovoçorocas, que em seu eixo longitudinal são constituídas por rampas de alúvio-colúvio.

Ruhe (1975 citado por Moura *et al.*, 1991, p.256) menciona “a combinação dos três tipos de forma possíveis em planta e perfil de uma vertente (retilínea, côncava e convexa), que resulta em nove geometrias básicas de encosta dentro da perspectiva tridimensional”. Moura *et al.* (2005) salientam que as formas côncavas em planta tendem à concentração dos fluxos formando canais de escoamento superficial, podendo gerar voçorocas e canais de primeira ordem.

Valeriano (2008) define a curvatura horizontal relacionando-a ao comportamento divergente, convergente e planar dos fluxos de água sobre um determinado terreno quando analisado em projeção horizontal. Já a curvatura vertical refere-se ao comportamento convexo, côncavo e retilíneo do terreno quando analisado em perfil. Associando a curvatura vertical (côncavo, retilíneo e convexo) e a curvatura horizontal (convergente, planar e divergente), foram determinadas nove classes distintas para a composição das formas do terreno.

As curvaturas do terreno estão relacionadas aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície e subsuperfície, proporcionados pela gravidade, e que desempenham importante papel sobre o balanço hídrico e os processos de pedogênese e erosão (VALERIANO; CARVALHO JÚNIOR, 2003). Nesses aspectos, Silva Neto (2013) definiu a vulnerabilidade das formas do terreno à perda de solos, avaliando as características morfológicas das curvaturas vertical e horizontal das vertentes, a partir das formas do terreno. O autor concluiu que “as dinâmicas e intensidades dos processos erosivos estão diretamente ligadas às formas do terreno e aos formatos das vertentes, tanto na análise do formato do seu perfil, côncavo, retilíneo e convexo, quanto na análise do direcionamento dos fluxos de escoamento da água, convergente, planar e divergente” (SILVA NETO, 2013, p. 23).

Diversos autores têm associado as variáveis topográficas com atributos pedológicos e/ou espessuras de horizontes pedogenéticos, como Fernandes Barros (1985); Calegari (2000); Santos (2000); Karling (2000); Cunha (2002); Magalhães (2008; 2013); Silva *et al.* (2007); Zapparoli (2009); Rocha (2011; 2016); Lima (2012); Ficagna júnior *et al.* (2015); Parreira (2018), entre outros.

Fiori (1995) indica que quanto maior o grau de inclinação das vertentes da cabeceira de drenagem maior será o processo erosivo mecânico e, além disso, a inclinação da vertente também influencia no perfil de alteração da rocha, uma vez que a capacidade de infiltração de água será menor quanto maior for o grau de inclinação da vertente. Ainda, para o autor, a litologia e o padrão de fraturamento associados à pluviosidade, podem acentuar o processo de

alteração das rochas, pois os cruzamentos de linhas de fraturas e falhas facilitam a percolação lateral e vertical e a exfiltração dos fluxos subsuperficiais, conduzindo à gênese de formas côncavas, como as cabeceiras de drenagem.

Nóbrega e Cunha (2011) mencionam os estudos dos sistemas pedológicos como formas de compreensão da estrutura e do funcionamento das cabeceiras de drenagem. Nesse sentido, Karling (2000) estudou uma cabeceira de drenagem situada na Cidade Gaúcha, região noroeste do Paraná, área de ocorrência do arenito da Formação Caiuá, com o objetivo de demonstrar a relação entre a cobertura pedológica e os processos erosivos desencadeados pelo uso agrícola dos solos. O trabalho demonstrou que a declividade e a forma das vertentes exercem forte influência sobre a formação e evolução dos solos. As duas toposequências analisadas pela autora são constituídas por Latossolos Vermelho-Escuro, (atualmente denominado como Latossolo Vermelho de textura média) passando gradativamente para Areia Quartzosa (Neossolo Quartzarênico), geradas pela destruição do horizonte latossólico que sofre perdas de argila em sentido lateral e vertical. Analisando a dinâmica da paisagem da área de estudo, Karling (2000) observou que a nascente se encontrava anteriormente em setor mais a jusante e o nível do lençol subterrâneo encontrava-se em menor profundidade. Segundo a autora citada, um processo de erosão regressiva resultou na lixiviação de material mais fino e no rebaixamento do lençol, promovendo a degradação das margens dos cursos de água.

Martins (2000), em trabalho realizado na cabeceira de drenagem na bacia do córrego Bom Jesus, na Cidade Gaúcha (PR), identificou e caracterizou os sistemas pedológicos para verificar sua relação com a topografia e circulação hídrica. Os resultados permitiram interpretar um sistema de transformação eluvial-iluvial na transição dos horizontes Bw/Bt, e iluvial-eluvial nas transições BA/E e E/Bt. A autora explica essa dinâmica da pedogênese/morfogênese em decorrência do aprofundamento progressivo do nível de base, ligadas às condições úmidas do período quaternário e a subsequente convexização do modelado do relevo, crescente para o setor jusante da bacia.

Bragas (2010) analisou por meio de sondagens e trincheiras, uma cabeceira de drenagem desenvolvida sobre substrato vulcânico, no Alto Curso do Rio Sargento (Campo Erê - SC). Os atributos físicos da cobertura pedológica, como análise granulométrica e a associação dos volumes pedológicos com a topografia, permitiram a autora apontar a pedogênese como principal fator na evolução da cabeceira de drenagem.

Ainda, além de estudos sobre a gênese e morfologia, Coelho Netto (2003), Nóbrega e Cunha (2011), Palma *et al.* (2015), Silva (2015), Silva (2019) têm apontado a importância e a necessidade de pesquisas detalhadas em áreas de cabeceiras de drenagem, para a avaliação das

suas potencialidades e vulnerabilidades.

Ficagna Júnior *et al.* (2015), utilizando a abordagem morfopedológica, averiguaram as alterações ambientais resultantes da ocupação antrópica numa cabeceira do rio São Lourenço no município de Campo Verde - MT. Segundo os autores, a cobertura pedológica da cabeceira é constituída por Latossolo Amarelo de textura argilosa na porção superior, em direção a jusante, no terço intermediário, foi identificado o Plintossolo de textura argilosa e o Gleissolo, localizado no terço inferior e na base da vertente, também de textura argilosa. As alterações ambientais foram comprovadas pela observação da mudança de posição da nascente, em consequência do rebaixamento do nível freático, causado pela compactação do solo, dificultando o movimento de infiltração vertical da água no solo e promovendo o escoamento lateral.

Tiz e Cunha (2015) propuseram um estudo sobre os processos erosivos em cabeceiras de drenagens da área periurbana da cidade de Marechal Cândido Rondon-PR. Esses autores puderam constatar aumento da impermeabilização a princípio das áreas de topo (divisores de águas) consideradas como áreas topograficamente mais estáveis, e posteriormente das áreas menos estáveis, localizadas nos fundos de vales e cabeceiras de drenagem, onde os processos erosivos são mais atuantes. Isso tem ocorrido pois, gradualmente, a população de menor poder aquisitivo tem ocupado loteamentos em áreas periféricas, ou seja, fundos de vales e cabeceiras de drenagens, sem considerar as consequências quanto a forma do terreno, o tipo de solo, a direção dos ventos, a poluição e as redes de drenagem.

Zaparoli e Nóbrega (2006) analisaram os impactos ambientais na cabeceira do ribeirão Pinguim, situada nos limites dos municípios de Maringá e Sarandi, na região metropolitana de Maringá, gerados por processos erosivos. No interior do anfiteatro está instalado um processo de erosão acelerada (voçoroca) causada pela descarga de drenagem urbana. Segundo as autoras, a voçoroca possui cerca de 10 metros de profundidade e aproximadamente 784 metros de comprimento, tendo início na alta vertente, centenas de metros a montante das nascentes e a 1 Km de distância do leito estável do rio. Zaparoli e Nóbrega (2006) concluíram que a descarga da drenagem ocorre a montante das nascentes que estão poluídas, assim como, como o leito do Ribeirão, devido a entulhos e lixos depositados, além disso, não há o cumprimento da legislação ambiental referente a mata ciliar.

Curcio (2016) enfatiza a importância de estudos que contemplem compõem as cabeceiras de drenagem e ressalta sobre a preservação dessas áreas, que deveria ser estabelecida segundo uma conjunção funcional, determinada pela forma das rampas, natureza das rochas e tipos de solos.

Levando em consideração os trabalhos de Paisani *et al.* (2006), Felipe (2009), Carmo *et al.* (2014), ainda que insuficientes, os estudos em cabeceiras de drenagem têm demonstrado que atualmente o que prevalece nessas áreas é uma paisagem instável e heterogênea submetida às mudanças ambientais que tendem a potencializar as suas vulnerabilidades, tornando-as mais suscetíveis ao desencadeamento de processos erosivos e intensificando a ocorrência de problemas hidrológicos.

Felipe (2009, p.21) considera que “ao determinarem o rearranjo dos fluxos em superfície, funcionando como pequenas bacias de captação de água e sedimentos, as cabeceiras possuem destacada importância na proteção e conservação das nascentes que devem ser entendidas em seus contextos socioambientais”. Nessa perspectiva, trata-se no próximo item sobre as nascentes e os pressupostos legislativos para sua conservação e/ou preservação.

## 1.2 NASCENTES: LEGISLAÇÃO, DEGRADAÇÃO E CONSERVAÇÃO

A Lei Federal nº. 12.651, de 25/5/2012, denominada de Código Florestal de 2012, em seu art.3º, define a nascente como todo afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água (BRASIL, 2012).

Em uma abordagem geográfica, Felipe (2009; 2013) considera que as nascentes são ambientes singulares e heterogêneos dotados de uma notável importância geomorfológica, hidrológica, ecológica e social e caracterizam-se pela passagem da água do meio subterrâneo para o superficial, definindo a espacialização da rede hidrográfica e configurando ecossistemas específicos de importância primária para o equilíbrio dinâmico do sistema ambiental em escala regional. Desse modo, Felipe (2009, 2013) salienta que a complexidade envolvida na gênese e dinâmica das nascentes não pode ser simplificada como um ponto, uma área, um local, uma descarga ou uma feição, e sim como um hidrossistema.

Silva (2019), corroborando com Felipe e Magalhães Júnior (2013), compreende a nascente como um sistema ambiental, com trocas de matéria e energia, com distinção pelas formas e processos envolvidos na sua conformação, além da importância geomorfológica, sobretudo, pela sua localização na vertente, e conseqüentemente, pelo papel geomorfológico que é capaz de exercer. Nesses aspectos, Felipe (2013) destaca que não só a morfologia da nascente é derivada das características geológico-geomorfológicas locais, como também sua constituição é influenciada por componentes vegetacionais e sociais.

Diante da importância das nascentes e de sua complexidade ambiental, Curcio (2016) discorre sobre a forma de manter a integridade das nascentes e suas funcionalidades ecológicas,

pois é por meio delas que se estabelece toda configuração hidrológica da superfície, a qual tem suas ramificações controladas pela congruência de elementos climáticos e geológicos.

Nesta perspectiva, pesquisas sobre nascentes têm demonstrado a simplicidade com que esses ambientes complexos foram tratados no âmbito legislativo. São trabalhos que discutem o desrespeito à legislação ambiental brasileira e ao não cumprimento do raio mínimo de 50 metros. Ainda versam sobre os Códigos Florestais de 2012 e de 1965, comparando a eficiência na proteção das nascentes e/ou recursos hídricos, e ainda, demonstram sobre os mapeamentos contemplando as bacias de contribuição previstas na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n° 303/2002 (RIBEIRO *et al.*, 2005; SANTOS; CASTRO, 2012; CARMO *et al.*, 2014; ALVES, 2016).

Souza *et al.* (2019) discorrem brevemente sobre a evolução histórica da legislação em relação às APP:

Apesar do primeiro Código Florestal (BRASIL, 1934) estabelecer como florestas protetoras aquelas com função de conservação do regime hídrico, não havia previsão expressa para proteção dos locais de afloramento de água subterrânea. Apenas com o Código Florestal de 1965, já sob a designação como áreas de preservação permanente, foram protegidas as “nascentes, mesmo nos chamados ‘olhos d’água’, seja qual for a sua situação topográfica” (BRASIL, 1965, art. 2º, alínea “c”, redação original). Em 1981 foi editada a Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) transformou as APP em reservas ecológicas (BRASIL, 1981, art. 18), regulamentadas em 1985 pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que estabeleceu como reserva ecológica uma faixa mínima de proteção de 50 metros de largura, contar da margem do afloramento, que deveria incorporar a bacia de drenagem contribuinte (BRASIL, 1986, art. 3º, alínea “b”, inciso III). Em 1989, a Lei n° 7.803, modificou o Código Florestal de 1965, que passou a prever expressamente a APP no entorno de nascentes e olhos d’água num raio mínimo de 50 metros de largura (BRASIL, 1989) e, quando necessário, exigir-se-ia, ainda, aquela área adicional correspondente à bacia de drenagem contribuinte, com fundamento na Resolução do CONAMA n° 4, de 1985, recepcionada pela Lei de proteção às nascentes (BRASIL, 1989). Contudo, em 19 de julho de 2000 foi publicada a Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) que extinguiu as reservas ecológicas (BRASIL, 2000, art. 60) e revogou tacitamente a Resolução do CONAMA n° 4, de 1985, por incompatibilidade. Consequentemente, o entorno protegido de nascentes deixou de incorporar a bacia de drenagem contribuinte, ficando restrito a uma faixa de 50 metros de largura. O CONAMA então editou a Resolução n° 303, de 2002, regulamentando o Código Florestal vigente (BRASIL, 1965) e a Lei de proteção às nascentes (BRASIL, 1989a), que complementou a definição de nascente, conferindo uma dimensão espacial “local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea” com raio mínimo de cinquenta metros de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte” (BRASIL, 2002, art. 3º, inciso II). (Brasil, 2002, Art. 2º) (SOUZA *et al.*, 2019, p.77 e 78).

Em 2012, o novo Código Florestal redefiniu conceitualmente as nascentes, a partir da Lei Federal n° 12.651, de 25/5/2012, sendo consideradas como Áreas de Preservação Permanente (APP) “as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d’água perenes, qualquer que

seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros”, desconsiderando a bacia de contribuição. Desse modo, segundo a Lei Federal nº 12.651/2012 em seu art. 3º, ficou estabelecido que a “APP é uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2012).

Embora tenha ocorrido uma evolução em termos jurídicos para a área de proteção e preservação de nascentes, o Código Florestal de 2012 recebeu críticas, como apontado por Führ (2015) e Silva (2016), as quais discorrem que a partir da promulgação da Lei Federal nº 12.651/2012, o Brasil apresentou relativa regressão à proteção do meio ambiente, pois nos processos de construção da referida lei a opinião pública e as manifestações de instituições científicas do país foram ignoradas, priorizando determinados setores econômicos e promovendo riscos aos processos ecológicos essenciais à conservação e equilíbrio ecossistêmico.

Para Palma *et al.* (2015), relacionaram a faixa ciliar de acordo com a Lei nº 12.651/12 com perdas de água, largura de faixa ciliar, tipos e atributos de solos em cabeceiras de drenagem, perenes e intermitentes, em uso agrícola ou com vegetação natural de Cerrado. Os autores identificaram diferentes resultados de acordo com o tipo de solo e o seu respectivo uso. Assim, Palma *et al.* (2015) concluíram que as variáveis solos, declividade e cobertura vegetal, devem ser consideradas para a delimitação de “área de preservação permanente de cabeceiras de drenagem”.

Valera (2017) avaliou uma Área de Proteção Ambiental (APA) municipal do Rio Uberaba, com extensão de 525km<sup>2</sup> e comparou os parâmetros definidos em lei, das faixas marginais dos cursos d’água naturais e perenes de menos de 10 (dez) metros de largura, entre a Lei nº 4.771/65 hoje revogada e o Novo Código Florestal (Lei nº 12651/12). O autor fez uma análise para correlacionar as alterações físico-químicas da água e do solo com o uso e ocupação dos ecossistemas das bacias hidrográficas em áreas de preservação permanente (APPs), ocupada ou não por vegetação nativa, para comprovar a hipótese de que a preservação das APPs às margens dos cursos d’água de até 10 metros de largura, segundo o atual Código Florestal Brasileiro definida em 30 metros, não é capaz de desempenhar a função ambiental segundo o referido código.

Carmo *et al.* (2014) selecionaram quatro nascentes em Minas Gerais, uma localizada no Parque Nacional da Serra do Cipó (Jaboticatubas-MG) que apresentou exfiltração múltipla e mobilidade superior a 1,5km; outra nascente localizada no Parque Lagoa do Nado (Belo

Horizonte- MG), caracterizada por exfiltração difusa; a terceira nascente localizada no Parque das Mangabeiras (Belo Horizonte- MG) que é pontual e intermitente; e a quarta nascente também localizada no Parque das Mangabeiras que é perene e pontual. Os autores elaboraram propostas de mapeamento contemplando as APPs previstas na legislação, ou seja, uma com os 50m de raio, e outra proposta de mapeamento contemplando as bacias de contribuição das nascentes previstas na Resolução CONAMA nº 303/2002. Os resultados confirmaram que cada nascente configura um sistema complexo e único, gerando especificidades que não podem ser minimizadas pela delimitação simplória de 50 metros.

Faria *et al.* (2014) realizaram um estudo comparativo das Áreas de Preservação Permanente (APPs) de propriedades rurais localizadas em Itu e Sarapuí, SP, conforme a Lei Federal nº 12.651/12. Os resultados mostraram que houve redução nas áreas de APPs nas duas propriedades, variando de 20,97% para 17,81% da área total do imóvel para a propriedade de Itu e de 23,16% para 8,11% para a propriedade de Sarapuí. Segundo Faia *et al.* (2014, p. 566), “os fatores que mais contribuíram para esse resultado foram a diminuição na largura estabelecida para APPs de cursos de água em áreas consolidadas, a dispensa de estabelecimento de APP em nascentes intermitentes e no entorno de lagos artificiais com superfície inferior a um hectare”.

Nery *et al.* (2013), utilizando técnicas do geoprocessamento, fizeram a comparação das áreas de preservação permanente em topos de morro na Sub-Bacia do Rio Canoas, no município de Montes Claros/MG, embasado pelas Leis Federais de nº 4.771/65 (BRASIL, 1965) e 12.651/12 (BRASIL, 2012), onde puderam verificar uma redução de um percentual de 13,05 % das áreas de preservação permanente em (APPs) topos de morros em comparação ao código florestal brasileiro de 1965.

Zanatta *et al.* (2014) realizaram uma análise na aplicação do atual e antigo código florestal na alta bacia do Ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (SP). O estudo indicou que a preservação contemplada pelo antigo Código Florestal (1965), com maior abrangência frente à dinâmica natural, é mais eficiente na proteção dos recursos naturais, quando comparada ao atual Código Florestal (2012). Os autores observaram que ocorreu uma redução da área total das APPs de aproximadamente 70% em relação ao antigo Código Florestal (Lei 4771/65) com 795,04 hectares, para o atual Código com 205,19 hectares.

Schueda (2016) buscou analisar como a nova Lei Florestal nº 12.651, de 25 de maio de 2012, pode interferir na qualidade da água. A autora destaca as polêmicas envolvendo a concepção de leito regular do rio e não mais do leito médio como no antigo Código; o novo conceito de APP consolidada e o fato da lei considerar apenas a largura do rio como critério

para o estabelecimento da APP, mesmo sabendo que o Brasil possui um ambiente diverso com características que necessitam de formas diferentes para a sua preservação. O estudo indicou que o tipo de solo, o tipo de vegetação e a declividade do terreno onde se encontra a mata ciliar são parâmetros que afetam diretamente a qualidade dos cursos d'água.

Alves (2016) avaliou no município de Viçosa (Minas Gerais), o hidromorfismo como parâmetro para delimitação das zonas ripárias em APPs, em áreas de 19 nascentes, sendo 10 (52 %) difusas e 9 (48 %) pontuais. Os resultados demonstraram que as nascentes estudadas se encontram degradadas, 78 % delas estão sujeitas a pisoteio de animais, 89 % possuem predominância de pastagem e 73 % não possuem 20 % da cobertura florestal, sendo que quando existente, é composta por capoeiras e está em fase de regeneração. O referido autor verificou que as nascentes difusas possuem características hidrogeológicas, apresentam solos hidromórficos, baixa declividade e múltiplos pontos de afloramento do lençol freático. Neste sentido, o autor propõe que o cômputo da APP em torno das nascentes seja iniciado logo após o término da ocorrência dos solos hidromórficos, e não em apenas um raio de 50 metros contados a partir do início do curso d'água como previsto na Lei Federal nº12651/2012.

Santos e Nascimento (2012) analisaram os impactos ambientais em áreas de nascente a partir do uso da terra com o uso de ferramentas geotecnológicas. Foram analisadas um total de oito nascentes na bacia hidrográfica do Igarapé Judia, localizada entre os municípios de Senador Guiomard (Acre) e Rio Branco (Acre). Os autores observaram que somente 25% das nascentes estudadas podem ser classificadas como “preservadas”, com sua mata ciliar intacta e sem alterações que interfiram em sua dinâmica natural. Como “perturbadas”, foi constatado o percentual de 12,5% das nascentes, ainda não totalmente desmatadas e com fluxo contínuo de água. As nascentes classificadas como “degradadas” representam um percentual de 65% com alto grau de pressão antrópica e praticamente com toda sua área de mata ciliar desmatada, interferindo na recarga dos afluentes de ordens menores.

França Júnior e Villa (2013) identificaram e avaliaram o nível de degradação nas nascentes em área urbana de Umuarama, particularmente nos afluentes da alta bacia, localizada no córrego Pinhalzinho II. De acordo com os resultados obtidos da cor da água, odor, lixo, materiais flutuantes, espumas, óleos, esgoto, preservação da vegetação, ocupação por animais domésticos e a proximidade com edificações, as nascentes apresentam-se degradadas, principalmente pela presença de resíduos sólidos, esgoto doméstico e efluente industrial.

Curcio e Bonnet (2018), ao estudar uma propriedade rural localizada no município de Toledo, região oeste do estado do Paraná, caracterizaram a estrutura do ambiente de nascentes e segmento de rios de primeira ordem. Nessa pesquisa, foi considerado os aspectos referentes

à geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetal e suas interatividades e os efeitos provocados pelas elevadas precipitações pluviométricas do mês de outubro de 2017 que ocasionaram processos erosivos incorrendo perdas e prejuízos para o ambiente. Para os autores, a vegetação fluvial está com largura aquém do que seria necessário para dissipar a energia proveniente das lavouras, portanto, deve-se reconstruir a floresta fluvial em coerência aos preceitos da legislação ambiental (Código Florestal Brasileiro), atingindo as larguras recomendadas para os ambientes. No segmento das nascentes, os autores identificaram quantidade expressiva de fluxos de massa, os quais trouxeram forte impacto ao ambiente fluvial, com ênfase aos solos, à floresta fluvial e aos recursos hidrológicos.

Curcio e Bonnet (2018) discutem sobre a qualidade e a largura efetiva das florestas fluviais para contenção das enxurradas em zona de nascentes, considerando aspectos como tipos de solo, textura, relevo, formas de uso, tipo climático, entre tantos outros itens essenciais na garantia de estabilidade ambiental. Nesse sentido, é notório que as áreas de preservação permanente (APP) necessitam de cuidados específicos, pois estão voltadas para a preservação da qualidade das águas, vegetação, fauna e dissipação de energia erosiva. São áreas importantes para a regularização da vazão fluvial, e devem ser mantidas em suas características originais para a manutenção das bacias hidrográficas e, influenciando, na vida humana e em seu desenvolvimento.

Diante do exposto, é válido destacar que as formações vegetais que margeiam os rios e as nascentes (APP) não possuem apenas a função de arborização, elas estão diretamente relacionadas ao controle da erosão, à recarga dos aquíferos, aos filtros contra carreamento de produtos químicos nocivos, à matéria orgânica e sedimentos, ao favorecimento da polinização, ao controle trófico-dinâmico das populações, ao refúgio de fauna, entre outras funções (GOMES, 2015).

Marmontel e Rodrigues (2015) avaliaram e compararam a qualidade da água de quatro nascentes no Córrego Pimenta (São Manuel-SP), em diferentes coberturas da terra e conservação da vegetação ciliar. Segundo os autores, a cobertura da terra com mata ciliar em duas nascentes, contribuiu para uma melhor qualidade da água nos parâmetros de temperatura, turbidez, cor, pH, nitrato, nitrito e ferro, indicaram que sete parâmetros foram melhores na qualidade da água, demonstrando que a mata ciliar auxilia em sua proteção qualitativa da água.

Bisognin *et al.* (2017) realizaram análises físico-químicas e microbiológicas da água em quatro campanhas de amostragem e visitas às localidades rurais do município de Três Passos. Segundo resultados obtidos pelos autores, dos pontos mapeados 11 possuem vegetação ao seu redor, em um raio mínimo de 50m, em conformidade com a Lei Federal n.º 12.651/2012 que

dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, enquanto três nascentes estão parcialmente protegidas, mas não possuem o raio mínimo de conservação exigido pela referida Lei. Os autores constataram ainda, a contaminação das nascentes avaliadas por coliformes totais e *Escherichia coli*, indicando o descarte de esgotos nos cursos hídricos, bem como de dejetos de animais no solo.

Analisando 17 parâmetros de qualidade das águas de oito nascentes localizadas no Assentamento Paraíso, Alegre (Espírito Santo), Agrizzi *et al.* (2018) verificaram que o cercamento de nascentes favoreceu a melhoria da qualidade da água, tendo aquelas protegidas por caixa de alvenaria apresentado a melhor qualidade de água. Por outro lado, a nascente sob pastagem sem cercamento apresentou a pior qualidade da água. Os parâmetros que mais explicaram as diferenças entre as nascentes foram: coliformes termotolerantes e totais, demanda bioquímica de oxigênio, condutividade, alcalinidade, turbidez, sólidos suspensos e temperatura.

Oliveira *et al.* (2020) avaliaram a qualidade das águas de oito nascentes com diferentes características ambientais no Assentamento Florestan Fernandes (AFF), localizado no Sul do Estado do Espírito Santo, com coletas periódicas e análises laboratoriais para avaliar os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água. As variáveis analisadas que mais apresentaram condições incompatíveis com a legislação normativa do CONAMA e Ministério da Saúde foram o oxigênio dissolvido, o pH, os coliformes, o fósforo total e a turbidez. Os autores observaram, ainda, que a qualidade microbiológica das nascentes foi sensível à variação do uso e manejo do solo na bacia.

Para a indicação da qualidade dos recursos hídricos, Valera (2017) mediu os seguintes atributos: temperatura; potencial hidrogeniônico; potencial de oxidação-redução; condutividade; turbidez; oxigênio dissolvido; déficit de oxigênio dissolvido e sólido total dissolvido. Foram analisadas 10 amostras em cada ponto, de acordo com a Resolução CONAMA n°. 357/2005. De acordo com os resultados obtidos por Valera (2017), as águas das bacias com o IQA (Índice de qualidade da água) calculadas podem ser consideradas de qualidade ruim, o que demonstra que mesmo uma largura de APP de 50 metros não condiciona proteção do recurso hídrico e do solo. Logo, os 30 metros previstos na Lei Federal n°12.651/2012 não satisfazem as necessidades de preservação dos recursos água e solo nas bacias avaliadas.

Diante do exposto, percebe-se a necessidade de identificação das causas e da magnitude da degradação da qualidade da água de uma nascente. Nesse sentido, autores têm trabalhado na descrição de parâmetros para identificação de impactos ambientais e suas consequências nas nascentes de forma qualitativa quanto ao grau de proteção em que se encontram. Gomes *et al.*

(2005) e Gomes (2015), baseadas na Classificação do Grau de Impactos de Nascentes (2004) e no Guia de Avaliação da Qualidade das Águas (2004), formularam a proposta metodológica da avaliação macroscópica de nascentes. Diversos autores como Malaquias e Cândido (2013); França Junior e Villa (2013); Belizário (2015); Leal *et al.* (2017); Silva *et al.* (2018) e Oliveira *et al.* (2020), têm utilizado a avaliação macroscópica para comparar parâmetros na identificação de impactos ambientais e suas consequências nas nascentes.

Assim, “fatores como a supressão da vegetação, as atividades agropecuárias inadequadas e o uso indevido do solo potencializam o processo de degradação de nascentes e dos cursos d’água, interferindo na qualidade e quantidade da água de uma bacia hidrográfica” (BOMFIM *et al.*, 2015, p. 454). Nesse sentido, considerando a necessidade e a relevância das nascentes, compreende-se que seu estado de conservação é influenciado pelo relevo, conservação do solo e da vegetação, os quais dependem do uso e ocupação de terras pela atividade antrópica nas regiões à montante destas (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Silva (2019) aborda que é importante destacar que a nascente está intimamente relacionada a um lençol subterrâneo já que é a manifestação dele na superfície. Desta maneira, a nascente representa a transição entre a água subterrânea e superficial, demarcando grande importância hidrogeomorfológica, pois a água exfiltrada carrega componentes geoquímicos desnudacionais. Neste aspecto, Valente e Gomes (2011) destacam a importância dos perfis de solo na garantia da produção e armazenamento para a disponibilidade hídrica. Para os autores, a existência e distribuição da água no perfil do solo depende da porosidade, ou seja, da porcentagem de vazios em relação ao volume considerado.

Os solos possuem níveis diferentes de permeabilidade que podem favorecer ou não a condutividade hidráulica saturada. Solos de textura arenosa, por exemplo, que são favorecidos pela elevada constituição de macroporos, exibem altos níveis de permeabilidade, o contrário ocorre em solos de textura argilo-siltosa. Além disso, as diferenças de espessura dos volumes pedológicos determinam mudanças significativas na dinâmica retenção/transferência hídrica (CURCIO, 2006; 2013). Assim, conhecendo a capacidade de infiltração da água no solo e suas propriedades físicas, que influenciam no entendimento da circulação hídrica, podem ser propostas estratégias de recuperação, conservação e gestão dos recursos naturais, principalmente os recursos hídricos (JUHÁSZ *et al.*, 2006). Com base nesta assertiva, trata-se no próximo item sobre as propriedades físicas e hídricas do solo.

### 1.3 AS PROPRIEDADES FÍSICAS E HÍDRICAS DO SOLO

As principais propriedades físicas consideradas adequadas, segundo Ingaramo (2003), para a avaliação da qualidade do solo são a densidade do solo, a porosidade, a infiltração, a condutividade hidráulica, a distribuição do tamanho de partículas e a profundidade em que as raízes crescem. Contudo, esses atributos podem ser modificados dependendo do uso e manejo adotados, gerando mudanças em seu comportamento físico-hídrico (ALBUQUERQUE *et al.*, 2001; REICHERT *et al.*, 2003; REINERT *et al.*, 2008; FARIA *et al.*, 2010; SUZUKI (2005); GENNARO *et al.*, 2014)

A textura, a estrutura e a porosidade do solo são as características físicas que contribuem diretamente para a circulação hídrica superficial e subsuperficial dentro do perfil do solo ou ao longo da vertente. Essa circulação determina a distribuição e a transformação das partículas no interior do perfil de solo, colaborando assim para a organização dos horizontes pedológicos que irão influenciar a forma do perfil das vertentes (FACCO, 2017).

Dessa maneira, os solos devem apresentar porosidade suficiente para a infiltração de água das chuvas e passagem de ar, favorecendo as trocas gasosas nos macroporos e a retenção de água nos microporos (MAGALHÃES, 2013). De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2005), a porosidade deve ser compreendida como a proporção de espaços ocupados pelos líquidos e gases em relação à massa de solo, assim, o tamanho e a disposição dos espaços porosos têm influência direta na velocidade da infiltração da água nos solos.

Ingaramo (2003) destaca que as características do sistema poroso do solo (porosidade total, distribuição do tamanho do poro, continuidade, estabilidade do sistema poroso, resiliência) são importantes para os processos de infiltração, aeração e retenção da água. Assim sendo, a distribuição dos poros por seus tamanhos condiciona o comportamento físico-hídrico do solo, influenciando a potencialidade agrícola dos solos (RIBEIRO *et al.*, 2007).

A agregação do solo refere-se ao processo físico pelo qual partículas de mesma natureza, ou de natureza distinta, são aglomeradas em conjuntos maiores, denominados agregados. No caso do solo, a agregação de suas partículas é importante para a definição de sua estrutura. Os agregados são resultado da agregação de partículas primárias do solo em unidades compostas ou agrupamento de partículas primárias, que são separadas em unidades adjacentes por superfície de fraca resistência (LEPSCH, 2011).

A formação de agregados no solo ocorre, de maneira geral, em duas etapas: “a primeira corresponde à aproximação das partículas do solo, decorrente das variações do conteúdo de água, favorecida pelos ciclos de umedecimento e secagem, pela ação mecânica das raízes e hifas de fungos ou pela atração eletrostática entre as partículas de solo” (BOCHENER *et al.*, 2008, p.47); a segunda se refere à estabilização, ou seja, “à consolidação da união entre as

partículas do solo pela ação cimentante dos polímeros orgânicos da matéria orgânica do solo e dos exsudados orgânicos liberados pelas raízes de plantas, em função das ligações com a superfície das partículas minerais do solo por meio de cátions polivalentes” (CASTRO FILHO *et al.*, 1998, p.528)

Conforme Hanke (2012) explicita, um grande número de variáveis é capaz de atuar no processo de formação e estabilização estrutural em solos pedogeneticamente distintos, do mesmo modo que diferentes variáveis podem atuar simultaneamente na estabilidade de distintas classes de tamanho de agregados. De acordo com Bastos (2005), os principais fatores que interferem na agregação do solo são:

tipo e teor de argila, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, exsudados orgânicos de plantas, substâncias orgânicas provenientes da ação de microrganismos e outros compostos orgânicos”. A matéria orgânica, os óxidos e os hidróxidos são agentes cimentantes, tanto das partículas primárias quanto das partículas secundárias do solo (BASTOS, 2005, p.22).

Para a avaliação da agregação estrutural dos solos, autores têm utilizado a análise do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa) como indicador da qualidade física do solo (FERREIRA *et al.*, 2007; ALMEIDA *et al.*, 2014) e sua vulnerabilidade à erosão (SILVA; MIELNICZUK, 1998; TERASSI *et al.*, 2014). O DMPa é tanto maior quanto maior for a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores (PASSARIN *et al.*, 2007). Diversos trabalhos têm corroborado com o intuito de avaliar a estabilidade dos agregados por meio do DMPa em diferentes sistemas de uso e manejo, a partir da influência do carbono orgânico e de outras propriedades físicas dos solos (CASTRO FILHO *et al.*, 1998; CRUZ *et al.*, 2003; FERREIRA *et al.*, 2007; SALTON *et al.*, 2008).

Salton *et al.* (2008), no estado do Mato Grosso do Sul, avaliaram a estabilidade dos agregados em sistemas de manejo do solo, incluindo lavouras em plantio direto, lavouras (soja) em rotação com pastagens em plantio direto e pastagens permanentes. Em todos os experimentos com pastagens, seja de forma isolada ou em rotação com lavouras, foi verificado maior volume de agregados com tamanho superior a 4,76 mm. Para os autores, a formação de macroagregados está relacionada à presença de raízes, que são mais abundantes sob pastagem de gramíneas. Além disso, os autores concluíram que a estabilidade dos macroagregados está relacionada ao teor de carbono orgânico (CO) no solo.

Castro filho *et al.* (1998) verificaram as relações entre o teor de carbono orgânico e o tamanho e estabilidade dos agregados do solo em dois sistemas de plantio (convencional e direto) e três rotações de culturas (milho/trigo/milho, soja/trigo/milho e soja/trigo/soja). A pesquisa foi realizada em Londrina em um Latossolo Vermelho, onde os resultados mostraram

que o sistema de plantio direto melhorou o estado de agregação do solo com o incremento do teor de carbono orgânico (CO) sobretudo na camada de 0-10 cm, onde os valores de DMP e DMG foram significativamente superiores.

Almeida *et al.* (2014) identificaram o tamanho e distribuição dos agregados e correlacionaram com os fatores físicos e químicos em Latossolo Amarelo na região do Triângulo Mineiro, em Minas Gerais, considerando diferentes manejos e usos da terra (cana-de-açúcar, pastagem, milho e eucalipto), nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. Os resultados demonstraram que a profundidade de 0-20 cm apresentou os maiores tamanhos dos agregados em todos os usos e manejos, tendo um acréscimo 25,96 % quando comparado com a camada de 20-40 cm. Em relação a distribuição dos agregados por tamanho entre cerrado natural, pastagem, plantio direto com milho e monocultura com eucalipto, na profundidade de 0-20 cm, os referidos autores observaram maior concentração de agregados na classe de 4-2 mm em todos os tipos de usos e manejo avaliados, exceto no uso com o milho.

Silva e Mielniczuk (1998) estudaram em Santo Ângelo (RS), um Latossolo Vermelho, com cultivo convencional de soja, trigo e setária, e um Argissolo Vermelho de Eldorado do Sul (RS), submetido à exploração com capim-pangola, siratro, plantio direto com aveia, milho e área sem vegetação. Os autores evidenciaram que as amostras de solo sob capim-angola e capim setária além de apresentarem maior quantidade de agregados grandes, caracterizaram-se pela forma arredondada, ao passo que, nas amostras de solo sob cultivo de soja, trigo e milho, os agregados eram arredondados, indicando que sua formação pode ter ocorrido por forças compressivas.

Guerra (1990) enfatiza a influência do teor de matéria orgânica e da estabilidade dos agregados do solo como os principais fatores controladores da erodibilidade. Dessa forma, a importância do teor de matéria orgânica e dos agregados é demonstrada em um estudo, onde essas duas propriedades juntamente com a textura, o pH, a densidade aparente, a porosidade, a taxa de infiltração e a umidade do solo são analisadas em Rogate, West Sussex, no Sudeste da Inglaterra. Guerra (1990) analisa problemas erosivos em três escalas: numa área de 3km x 6km, na Vila de Rogate; em seguida, numa escala espacial de maior detalhamento (10m x 10m), por fim, numa estação experimental contendo cinco parcelas (1m x 10m cada um). O referido autor adotou essa diferenciação de escala para melhor explicar e prever a erosão dos solos de uma forma mais globalizante e integrada. Os resultados demonstraram que todos os solos que sofreram erosão, apresentaram uma densidade aparente que varia entre 1,3 g.cm<sup>-3</sup> e 1,9 g.cm<sup>-3</sup>, baixo a médio teor de matéria orgânica com valores entre 2,1 % e 3,8 %, e baixo teor de agregados entre 3,2 % e 10,9 %. Por outro lado, os solos que não sofreram erosão possuem de

médio a alto teor de matéria orgânica (2,7 % - 6,6 %), elevado teor de agregados (25,2 % - 36,4%) e densidade aparente que varia entre  $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$  e  $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$ .

Em uma toposequência, localizada no município de Tamboara, na região Noroeste do Paraná, Terassi *et al.* (2014) estudaram a variação da estabilidade dos agregados com o objetivo de evidenciar as suas relações com os tipos de solos e os seus efeitos sobre a vulnerabilidade à erosão. As classes de solos contempladas neste estudo foram o Latossolo, Argissolo e Neossolo Quartzarênico. De acordo com os resultados obtidos pelos autores, o Neossolo Quartzarênico teve a maioria de seus agregados menores que 0,59 mm, com 95,7 % para o horizonte A e 93 % para o horizonte C. Dentre as demais peneiras, com diâmetros entre 4 mm a 0,59 mm, apresentaram 4,3 % e 7 % de agregados para os horizontes A e C, respectivamente. Segundo os autores, essa maior diferenciação se deve ao maior revolvimento e degradação do horizonte superficial, submetido ao plantio de mandioca. Dessa forma, em relação aos processos erosivos, Terassi *et al.* (2014) concluíram que há uma grande instabilidade de agregados para o Neossolo Quartzarênico e Argissolo Vermelho textura média, e maior susceptibilidade aos processos erosivos, já o Latossolo Vermelho textura média, devido à maior estabilidade dos agregados e por sua característica de boa drenagem, é o solo menos vulnerável aos processos erosivos.

Medeiros *et al.* (2018) propuseram uma pesquisa para estudar a vulnerabilidade à erosão dos solos da zona de contato do arenito da Formação Caiuá com o basalto da Formação Serra Geral, no município de Araruna, Mesorregião Noroeste Paranaense. Conforme os resultados obtidos pelos autores, a estabilidade de agregados, representada pelo diâmetro médio ponderado dos agregados, demonstrou relação direta com o percentual de argila, onde a redução do conteúdo dessa partícula do solo resultou em agregados menores e menos estáveis.

Ferreira *et al.* (2007) estudaram a distribuição de agregados em solos classificados como Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico e Neossolo Litólico Eutrófico típico no município de São João do Polêsine, localizado no Rebordo do Planalto do RS. Os autores coletaram amostras sob três diferentes tipos de uso: floresta, pastagem e lavoura, distantes aproximadamente 50 metros. A maior expressão da hierarquia de agregados ocorreu no Neossolo, segundo os autores, isso provavelmente se deve ao maior teor de CO (carbono orgânico) em relação ao Argissolo. Analisando o comportamento da percentagem de agregados das classes de tamanho de 8 a 2mm e de 2 a 0,25mm, em relação ao efeito das práticas agrícolas na diminuição da estabilidade, foi claramente observado no Argissolo, onde tanto o uso floresta quanto o uso pastagem, apresentaram maior percentagem agregados em relação ao uso lavoura, independentemente do tempo de agitação.

Além do DMPa, para melhor compreender a qualidade física do solo e seu comportamento físico e hídrico, autores têm recorrido à determinação da correlação entre as propriedades físicas, como a porosidade, a densidade, a condutividade e a textura do solo. Paiva *et al.* (2000) utilizaram a estatística de correlação ao avaliarem algumas propriedades físico-hídricas dos solos em uma topossequência de tabuleiro do Estado da Bahia. Por um lado, Hickmann e Costa (2012) utilizaram a correlação de *Pearson* para verificar, após 23 anos de uso, os efeitos de diferentes sistemas de manejo sobre os atributos físico-hídricos e o carbono orgânico total em um Argissolo Vermelho-Amarelo em comparação a uma área sob vegetação natural. Por outro, Ghidin *et al.* (2006) que por meio da correlação de *Pearson*, avaliaram a relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos em topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no estado do Paraná. Ademais, Santos *et al.* (2012), devido a necessidade de entender o comportamento e relação entre as propriedades físicas do solo de um Latossolo Vermelho distroférico típico, após o cultivo de soja utilizaram o coeficiente de correlação linear de *Pearson*. Por fim, Deobald (2013) fez uso da correlação de *Pearson* para averiguar a variabilidade de classes de solos e os atributos morfológicos e físico-hídricos no rebordo do Planalto Meridional.

Considera-se a densidade do solo como um parâmetro físico-hídrico que colabora para identificar anomalias na qualidade física do solo, pois ela interfere na sua porosidade, uma vez que os poros do solo são espaços vazios dentro e entre os agregados (AZEVEDO; DALMOLIM, 2004). A densidade e a porosidade do solo são propriedades relacionadas com alterações no volume de solo, portanto, relacionadas com a compactação do solo. A densidade apresenta relação inversa com a porosidade. Geralmente, a redução da porosidade ocorre com os poros maiores (macroporos), responsáveis pela infiltração de água e aeração do solo (REICHERT *et al.*, 2007).

Nesse viés, as consequências da deformação do volume solo, na porosidade total, principalmente na macroporosidade em função do aumento da densidade, propiciam alterações no funcionamento hídrico do solo (Reichert *et al.*, 2007). Para determinar ou prever a circulação hídrica das diferentes coberturas pedológicas, utiliza-se da propriedade da condutividade hidráulica saturada (FIORI, 2010; FIORI *et al.*, 2010) que é determinada pela geometria e continuidade dos poros preenchidos com água, tornando-se dependente, portanto, da forma, da quantidade, da distribuição e da continuidade dos mesmos (REICHARDT, 1990).

Desse modo, diversos trabalhos têm retratado que a obtenção de condutividade hidráulica saturada assume relações matemáticas e correlações com outras variáveis não hidráulicas do solo, tais como a densidade do solo, a porosidade total e a macro e microporosidade, as quais influenciam a distribuição dos poros e, por consequência, a

permeabilidade dos solos (MESQUITA; MORAIS, 2004; FIORI *et al.*, 2010; SUZUKI *et al.*, 2012; HANKE, 2012;).

Albuquerque *et al.* (2001), em Lages (SC), mensuraram as modificações nas propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho submetido ao sistema de preparo convencional e plantio direto com milho no verão, e aveia com pisoteio animal durante o inverno, comparado ao sistema mata nativa. A condutividade hidráulica saturada, conforme observado por Albuquerque *et al.* (2001), foi 38 vezes menor no plantio direto do que na mata, atribuído a diminuição dos macroporos, os quais são responsáveis pela drenagem da água. Observou-se que, quando a macroporosidade foi reduzida para  $0,12 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ , a condutividade hidráulica saturada foi nula. Para os autores, o aumento da densidade e a redução dos macroporos e da condutividade hidráulica saturada foram supostamente causados por compactação, ocasionadas pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas utilizados no plantio do milho e ao pisoteio animal no período de inverno, quando a umidade do solo geralmente é elevada.

Gennaro *et al.* (2014), em uma área de Latossolo Vermelho distroférico típico, avaliaram dois sistemas de manejos distintos: preparo convencional (PC), com uma passagem da grade aradora e o revolvimento do solo até 0,10 metros de profundidade e semeadura direta (SD) sobre restos culturais de aveia-preta. As profundidades analisadas foram de 0-0,20 metros e 0,20-0,40 metros. Os manejos não diferiram para a densidade e macroporosidade do solo nas duas profundidades em estudo. Os autores destacam, porém, que o SD apresentou valores de macroporosidade do solo superiores a  $0,10\text{m}^3\text{m}^{-3}$  para as profundidades de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 metros, o que tem sido considerado um valor mínimo adequado para as trocas gasosas entre o ambiente externo e o solo. A condutividade hidráulica do solo saturado (Kfs) variou de 99,10 a 112,00 e de 82,21 a 91,30  $\text{mm/h}^{-1}$  para SD e PC, respectivamente. A maior Kfs na SD, indica maior continuidade dos poros, o que facilita a movimentação tridimensional da água. Os autores concluíram que a semeadura direta apresentou melhorias na estrutura do solo em relação ao plantio convencional nas duas camadas em estudo, com maior condutividade hidráulica e área total de poros, propiciando a conservação do solo e da água nos sistemas produtivos

Stürmer (2008) desenvolveu um trabalho nas áreas de encosta do Rebordo do Planalto do RS, na área de transição da Depressão Central e Planalto do Rio Grande do Sul, em cinco Neossolos com a sequência de horizontes A, Cr/A e Cr. Os solos foram classificados como Neossolo Regolítico Eutrófico típico (N1) sob o uso mata natural; Neossolo Regolítico Eutrófico típico (N2) em campo nativo; Neossolo Regolítico Eutrófico típico (N3) em campo nativo; Neossolo Regolítico Eutrófico típico (N4) em mata natural e Neossolo Regolítico Eutrófico típico (N5) em capoeira. Com exceção do Neossolo 2, cujos valores de porosidade

total encontrados variaram de 0,54 a 0,73  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ , nos solos N1, N3, N4 e N5 foram encontrados valores entre 0,65 e 0,71  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ . Na comparação entre os solos foram encontrados valores de microporosidade da ordem de 0,31 a 0,54  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$  e de macroporosidade de 0,13 a 0,35  $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ . Em relação a infiltração, os valores variaram de 1690  $\text{mm/h}^{-1}$  infiltrados até 380  $\text{mm/h}^{-1}$ . Para o autor, os Neossolos Regolíticos Eutróficos típicos apresentaram grandes variações em seu comportamento hídrico, expressando a necessidade de uma descrição mais detalhada do comportamento físico-hídrico dos Neossolos.

Tormena *et al.* (2004) determinaram e avaliaram as propriedades físicas de Latossolo Vermelho Eutrófico no campo experimental da Cooperativa Agrícola Mista Vale do Piquiri, denominada atualmente de Cooperativa Agroindustrial (C. Vale), localizada no município de Palotina, estado do Paraná. Foram coletadas amostras nas camadas de: 0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,15 m em sistemas de plantio direto com rotação de culturas (PD) e plantio direto com sucessão de culturas (PDR). De acordo com os autores, houve maiores valores de densidade do solo e menores de macroporosidade em solos sob plantio direto. No PDR, constataram-se diferenças na porosidade do solo em comparação com o PD, indicando que a utilização de escarificador no tratamento PDR proporcionou os maiores valores de macroporosidade e porosidade total. Estes resultados indicam que o aumento da densidade do solo no PD ocorreu à custas dos poros de maior diâmetro, enquanto o aumento da porosidade e a redução da densidade do solo no PDR decorreram do efeito da mobilização mecânica do solo com o escarificador.

Os trabalhos mencionados inferem que as propriedades físicas e hídricas do solo fornecem subsídios que permitem a adoção de práticas que visem o uso sustentável do ponto de vista ecológico e econômico do solo (TERASSI *et al.*, 2014). Portanto, a análise física e hídrica dos solos, a partir da metodologia exposta no próximo item, servirá como base para a discussão e análise dos sistemas pedológicos que compõem as cabeceiras de drenagem analisadas nesta pesquisa.

#### 1.4 ANÁLISE ESTRUTURAL DA COBERTURA PEDOLÓGICA: FUNCIONAMENTO FÍSICO E HÍDRICO

As cabeceiras de drenagem apresentam funcionalidades hídricas que podem variar de acordo com suas características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e hidrológicas (NEIVERTH, 2013). Assim, a análise detalhada da cobertura pedológica de cabeceiras de

drenagem, suas inter-relações com o meio físico, biótico e antrópico proporcionam o entendimento da dinâmica hídrica (LIMA, 2012).

A cobertura pedológica e suas interpretações além de subsidiarem as análises detalhadas dos processos pedogenéticos e morfogenéticos permitem a compreensão da dinâmica hídrica atuante (ROCHA, 2011). A partir deste princípio, admite-se que o comportamento hídrico das coberturas pedológicas auxilia no entendimento integrado do meio físico e, em especial, nas relações entre os solos e as vertentes, as formas de uso e manejo e a sua dinâmica (CUNHA, 2002; MAGALHÃES, 2013;).

O comportamento da água na cobertura pedológica envolve relações e mecanismos complexos determinados, de um lado, pelas propriedades físicas da água e pelos fenômenos de interface água/partícula sólida e água/fase gasosa, responsáveis pela circulação e retenção de água; e de outro, pelas propriedades físicas e mecânicas dos solos que controlam os movimentos e a distribuição, e, portanto, o seu comportamento no interior do solo e ao longo da vertente (CUNHA, 2002; CUNHA *et al.*, 2008).

A infiltração vertical propicia o avanço da frente de alteração e pedogênese, produzindo o espessamento do solo, enquanto a drenagem lateral, subsuperficial, envolvendo migrações de partículas finas (argila) e/ou elementos químicos dissolvidos, promove modificações na organização dos volumes (horizontes) pedológicos de montante para jusante e vice-versa (NÓBREGA; CUNHA, 2011).

Ruellan e Dosso (1993) e Vidal Torrado *et al.* (2005) sugerem a metodologia da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica para o estudo dos sistemas pedológicos e sua dinâmica hídrica, uma vez que esta permite compreender a distribuição dos solos de maneira bidimensional e tridimensional. A proposta metodológica da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (AECPE), introduzida por Boulet (1978), tem sua origem no conceito de catena de Milne (1935), que proporcionou novas interpretações da gênese dos solos e suas distribuições no relevo. Esse procedimento permitiu a superação da visão reducionista do perfil vertical de solo pela noção de cobertura pedológica como um *continuum* que recobre as vertentes (BOULET, 1978; BOULET *et al.*, 1982; RUELLAN; DOSSO, 1993; QUEIROZ NETO, 2002).

De acordo com Queiroz Netto o princípio desta metodologia,

inicia-se pela reconstituição bidimensional da organização dos solos com seus horizontes, em topossequências, estabelecidas no sentido de maior declive das vertentes. (...) Trincheiras abertas em pontos privilegiados permitem observar as transições verticais e laterais entre horizontes. Num segundo momento, com outras topossequências transversais e paralelas, reconstitui-se a distribuição espacial (tridimensional) das organizações pedológicas; os limites entre horizontes são colocados em mapas, sob a forma de curvas de isodiferenciação, que representam

posições onde se iniciam ou terminam horizontes e/ou outras feições pedológicas ou geológicas (QUEIROZ NETTO, 2002, p.78.)

Queiroz Neto (2002) destaca, no Brasil, a aplicação da metodologia da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica (AECPE) em diversas pesquisas realizadas em diferentes regiões do país, com foco no funcionamento hídrico e erosão, tais como: funcionamento hídrico e erosão em Marília (FERNANDES BARROS, 1986; SANTANA, 1991), em Bauru (SALOMÃO, 1994), em Rancharia (OLIVEIRA, 1994), em Cunha (FURIAN, 1995), em São Pedro (DIAS FERREIRA, 1997) e em Sorocaba do Sul - SC (BELTRAME, 1997). Essas pesquisas envolvem medidas de porosidade, condutividade hidráulica, infiltração básica, marcha anual da umidade atual dos solos e dinâmica das águas subterrâneas (piezometria).

Assim, considera-se que sob a perspectiva dos aportes teóricos e metodológicos da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, é possível “compreender de forma mais detalhada as correlações existentes entre as formas de relevo (declividade, concavidade, convexidade e comprimento das vertentes) em relação à distribuição dos solos em nível de topo, média e baixa vertente” (ROCHA, 2011, p.19) e sua dinâmica hídrica.

Nesta perspectiva, as pesquisas pautadas na Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, que interpretam a dinâmica hídrica pautadas na relação solo - relevo, subsidiam a compreensão dos processos pedogenéticos e morfogenéticos em âmbito bidimensional (CASTRO, 1989; VIDAL-TORRADO, 1994; SALOMÃO, 1994; SANTOS, 2000; MARTINS, 2000; KARLING, 2000; CUNHA, 2002; MAGALHAES, 2008, 2013; FACCO *et al.*, 2012; NAKASHIMA, 2013; ROCHA, 2011, 2016) e tridimensional (BOULET *et al.*, 1978; BOULET *et al.*, 1982; FERNANDES BARROS, 1986; LAHMAR *et al.*, 1989; SANTANA; QUEIROZ NETO, 1995; PELLERIN *et al.*, 1997; CALEGARI, 2000).

Magalhães *et al.* (2015) realizaram pesquisas em uma vertente representativa do platô da cidade de Marechal Cândido Rondon, região Oeste do Paraná. A topossequência analisada é composta no setor de topo por um Latossolo Vermelho Eutroférico e a partir da média vertente, por um Nitossolo Vermelho Distroférico latossólico. Em termos hídricos, os autores observaram que os horizontes Ap e Bw apresentaram maior condutividade hidráulica em detrimento dos horizontes AB e B nítico com menores índices, reforçando que o arranjo dos poros interfere diretamente no comportamento hídrico do sistema pedológico.

Magalhães (2013) analisou o comportamento físico-hídrico da cobertura pedológica ao longo de três topossequências no município de Marechal Cândido Rondon. O autor baseou-se nos dados de densidade do solo, de macro e microporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica. Na topossequência localizada no Platô de Marechal, os dados obtidos com os ensaios

de condutividade hidráulica evidenciam as relações entre a porosidade (macro e microporosidade) e o comportamento hídrico da cobertura pedológica. Na topossequência de solos de Margarida, os dados de condutividade hidráulica indicaram uma circulação predominantemente muito lenta a lenta ao longo de toda a topossequência. A configuração do sistema poral, portanto, refletiu em taxas de condutividade hidráulica baixas, indicativas de circulação hídrica lenta e muito lenta, anulando o efeito dos acréscimos de porosidade total e, sobretudo, de macroporosidade, observados em alguns volumes. Na topossequência denominada de Porto Mendes, para o referido autor, a análise da dinâmica hídrica desse sistema demonstra que os horizontes Ap e Bw2 apresentam condutividades hidráulicas maiores, assim como a macroporosidade e porosidade total.

Cooper e Vidal-Torrado (2005) realizaram a caracterização morfológica e físico-hídrica de dois perfis em uma topossequência com horizontes B nítico. Segundo os autores, o horizonte B nítico possui grau variável de agregação em blocos (poliédrica) com diferentes ocorrências e intensidades de cerosidade e de transições desse horizonte para o B latossólico (Bw), incluindo um Bw tipicamente microgranular, além disso, para o horizonte caracterizado como B nítico,

“Observou-se que os horizontes formados por blocos subangulares de grau forte ou moderado, com cerosidade moderada e abundante e moderada e comum, apresentavam um comportamento físico-hídrico influenciado por um menor desenvolvimento de poros estruturais (macroporos) e, conseqüentemente, por valores mais baixos de condutividade hidráulica e um maior desenvolvimento de poros texturais (microporos), que favorecem processos de retenção de água (COOPER; VIDAL-TORRADO, 2005, p. 593).

Santos (2000) identificou os processos pedogenéticos e suas relações com a evolução das vertentes na bacia hidrográfica do Córrego Ponte Preta (SP). O autor destacou a estreita relação entre a organização morfológica dos horizontes e suas características físico-hídricas, constatando que a porosidade total da cobertura latossólica é superior à da cobertura podzólica em que predominam os microporos. Ainda segundo Santos (2000), existe uma clara influência entre a organização estrutural dos horizontes na distribuição de macro e microporos que, conseqüentemente, com a condutividade hidráulica dos solos direcionando fluxos laterais entre os horizontes Bt, Bw e E, contribuiria para a evolução da pedogênese.

Em uma perspectiva tridimensional, no município de Nova Esperança, no estado do Paraná, Calegari (2000) estudou a distribuição da cobertura pedológica e a sua relação com as formas de relevo. Para tanto, a autora identificou quatro curvas de isodiferenciação em sua área de estudo: uma de aparecimento e desaparecimento de um horizonte subsuperficial eluvial (E), outra para o aparecimento e desaparecimento do horizonte B textural; uma terceira para desaparecimento do horizonte B latossólico e por fim uma para indicar o aparecimento e

desaparecimento da areia quartzosa. Além disso, a autora destaca as frentes de transformação nos sistemas pedológicos e a correlação com a morfologia das vertentes em decorrência de processos e-íluviais que atuaram, resultando na transformação da cobertura latossólica em argissólica.

Fernandes Barros (1986), em abordagem tridimensional, utilizou-se das curvas de isodiferenciação em uma cabeceira de primeira ordem para indicar o início e o fim de horizontes, o aparecimento e desaparecimento de características morfológicas, as modificações laterais e os limites de espessura de horizontes. Pellerin *et al.* (1997), por meio da análise tridimensional da cobertura pedológica, demonstraram a organização espacial dos volumes dos solos de uma pequena depressão fechada no distrito do município de Biguaçu (SC), onde propuseram aproximação do contexto evolutivo dela, evidenciando que a pedogênese está relacionada com o relevo.

Santana e Queiroz Neto (1995), na região de Marília (SP), identificaram com curvas de isodiferenciação, além do aparecimento e desaparecimento de horizontes, zonas de características pedológicas e comportamentos hídricos diferenciados para avaliar os fatores responsáveis e os mecanismos de erosão. Segundo os autores, a cobertura pedológica de Marília apresentou um comportamento hídrico de drenagem vertical nos setores de Latossolo, e um bloqueio de circulação hídrica vertical em solos com B textural (Bt). Acima da transição entre o horizonte E e Bt ocorre uma circulação lateral, configurando um lençol suspenso.

Piedade (2010), a partir dos princípios metodológicos da análise tridimensional da cobertura pedológica, analisou características físicas e químicas de solos elencando duas áreas de estudo. A primeira foi na Estação Experimental do Canguiri – UFPR, no município de Pinhais (PR), onde enfocou a atuação dos fatores de formação e processos pedogenéticos, e a segunda em uma área de mineração no município de Adrianópolis (PR), onde enfocou a contaminação do solo por chumbo. Os resultados obtidos pela autora apontaram que as características físicas e os atributos da fertilidade do solo variaram em função do relevo e material de origem, sendo possível identificar a atuação de fatores de formação e processos pedogenéticos. Os resultados obtidos sobre a espacialização dos teores de chumbo no espaço tridimensional permitiram o monitoramento das áreas mais contaminadas, sendo possível identificar também a interação do metal em função das características químicas e físicas do solo e formas de contaminação.

Carvalho (2003), buscando entender a organização dos solos através da análise estrutural tridimensional da cobertura pedológica em Espírito Santo do Pinhal – SP, utilizou a técnica da micromorfologia de solos. A autora identificou o processo vertical ocorrido

inicialmente na vertente, e que ainda ocorre, com a alteração da rocha em um volume argiloso, além de frentes de transformação em processos verticais e laterais com a transformação dos volumes Ap e B em E e Bt. A autora = evidenciou, ainda, o processo de hidromorfia ocorrendo lateralmente e remontante com a transformação dos volumes presentes e a sua destruição através das frentes de transformação anteriores (iluviação) e da mobilização do ferro por oxidação e redução.

Segundo Queiroz Neto (2010), as pesquisas com a aplicação da AECPP proporcionaram uma importante contribuição para compreensão da pedogênese e da dinâmica pedológica relacionada à gênese e evolução dos relevos e, também, às questões de uso dos solos. De acordo com o referido autor, “para isso, deve ser empregado todo o arsenal disponível de técnicas de campo e laboratório, que levem ao aprofundamento da questão das relações dos solos com as vertentes e substratos geológicos, da morfogênese com a pedogênese” (QUEIROZ NETTO, 2010, p.15).

Nóbrega e Cunha (2011) ressaltam que a variação das propriedades pedológicas interfere nos fluxos hídricos de superfície e subsuperfície, ora aumentando e acelerando o escoamento superficial (favorecendo as forças de tração), ora facilitando a infiltração (favorecendo as forças de resistência). Considerando esses aspectos, pautado na compreensão da dinâmica da água nas coberturas pedológicas por meio da análise estrutural da cobertura pedológica, será apresentado no próximo item a influência do contexto geomorfológico e pedológico para os processos hidrológicos, recarga e conservação de nascentes.

## 1.5 DINÂMICA HIDROLÓGICA DE NASCENTES: CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO E PEDOLÓGICO

As nascentes são responsáveis pela formação dos cursos de água, sendo assim, fundamentais para o abastecimento urbano, o agrícola, a geração de energia, dentre outras funções (ALVARENGA, 2004). Assim, caso ocorra o desaparecimento de uma nascente, os cursos de água também serão reduzidos (CASTRO; LOPES 2001). Diante do exposto, visando um uso sustentável da água, é necessário compreender como ocorrem os processos que promovem a recarga subterrânea, e os fatores que o influenciam, para uma melhor gestão desses recursos (JUNQUEIRA JÚNIOR, 2006). Destaca-se que o uso do solo pode alterar a qualidade e quantidade de água, além de influenciar o armazenamento de água subterrânea e o regime da nascente e dos cursos d'água (PINTO *et al.*, 2004). Nesse contexto, se insere o levantamento pedológico, a partir do qual acredita-se que fornecerá bases para a compreensão do processo de

recarga de aquíferos, uma vez que este está diretamente associado aos atributos do solo que influenciam na sua capacidade de infiltração, seu uso e sua posição na paisagem (MENEZES *et al.*, 2009).

Conforme Salomão (1994) explica, os sistemas pedológicos apresentam características específicas quanto a forma da vertente, a cobertura pedológica, a declividade e o substrato geológico. Essas especificidades conferem a esse tipo de sistema um funcionamento hídrico específico, desse modo, compreender cada um destes fatores garante o entendimento e o conhecimento do movimento preferencial da água, ou seja, a dinâmica hídrica naquele ambiente específico. Ainda, segundo esse mesmo autor, a fundamentação sobre o comportamento hídrico de vertentes é baseada na análise e na interpretação das disposições dos horizontes pedológicos tanto na vertical quanto na horizontal.

Para Rocha (2016, p.30) “compreender os processos físicos e hídricos, superficiais e subsuperficiais, condicionados pela forma, comprimento e declividade da vertente, significa compreender tanto a distribuição espacial dos sistemas na paisagem, como a distribuição espacial dos diferentes sistemas pedológicos, ambos intimamente relacionados”. Diante disso, estudos para compreensão de processos hidrológicos têm utilizado abordagens que consideram além do uso do solo as condições fisiográficas associadas às condições pedológicas e topográficas.

Menezes *et al.* (2009) realizaram um trabalho com o auxílio de sondagens e trincheiras com o intuito de analisar a dinâmica hidrológica de duas nascentes na bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha-MG, que possuem distintas coberturas vegetais, sendo uma sob mata nativa (Mata Atlântica) e a outra sob pastagem. No contexto dos parâmetros pedológicos, a sub-bacia apresenta baixo potencial de recarga de aquíferos, uma vez que tem 92,07 % de sua extensão composta por Cambissolos e elevadas declividades (predomínio de relevo forte ondulado e montanhoso). Os autores observaram que a nascente sob a Mata Atlântica, comparativamente à nascente sob pastagem, apresentou melhores condições para infiltração de água e, conseqüentemente, para o processo de recarga dos aquíferos. No setor da nascente sob pastagem, os valores de densidade do solo foram superiores a  $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$  e a condutividade hidráulica saturada situou-se abaixo de  $1 \text{ m dia}^{-1}$ , representando uma redução de 60 % da condutividade hidráulica em relação à verificada sob a Mata Atlântica. Segundo Menezes *et al.* (2009), a porosidade drenável é reflexo desses valores, sendo inferior a 32 %, ou seja, valor consideravelmente menor que o observado para cobertura da Mata Atlântica. Esse atributo tem relação direta com o movimento de água no solo, e por conseqüência, na capacidade de recarga dos aquíferos.

Lima (2012) caracterizou a cobertura pedológica em detalhe de duas cabeceiras de drenagem representativas da bacia hidrográfica do Alto São Lourenço, voltada para a interpretação do funcionamento hídrico de duas nascentes. Por meio do estudo de topossequência, as duas cabeceiras de drenagem foram interpretadas em relação ao funcionamento hídrico das coberturas pedológicas e às alterações ambientais resultantes da ação antrópica. As nascentes observadas nas duas cabeceiras apresentam diferentes tipologias e funcionamento hídrico, uma tem a ocorrência de Gleissolo, sendo intermitente e difusa; e a segunda nascente encontra-se associada ao Latossolo resultante do colapso da camada subsuperficial de couraça ferruginosa do tipo perene. Segundo Lima (2012), os resultados ainda evidenciam que as nascentes possuem diferenças de susceptibilidade em função da exfiltração, além disso, os usos do solo não garantem a proteção e a manutenção da funcionalidade hidrológicas delas.

Sousa (2013) fez um estudo em uma bacia hidrográfica situada na região norte do município de Iporá, na divisa com o município de Diorama, região oeste do estado de Goiás. Para tanto, o referido autor avaliou as propriedades físicas do solo de textura, densidade, porosidade e resistência à penetração, que interferem na capacidade de infiltração e suscetibilidade erosiva. Ademais, Souza (2013) mensurou a variação do lençol freático utilizando-se de dois poços de monitoramento, bem como de outros parâmetros a exemplo das classes de declividades, do tipo de relevo e do uso e ocupação das terras. Segundo os resultados obtidos por Souza (2013), os solos predominantes são das classes Cambissolo e Neossolo Litólico que juntos abrangem 73 % da área da bacia com o uso predominante por pastagem, enquanto a área de contribuição para recarga do lençol freático é de 26 % da bacia, na qual predominam solos bem desenvolvidos e de textura predominantemente argilosa. Ainda de acordo com o autor, a capacidade de infiltração média para todos os solos analisados foi de  $10^{-5}$  m/s, ou seja, um valor de alto a moderado tanto para a infiltração superficial quanto para a infiltração em profundidade. Souza (2013) concluiu que entre os aspectos físicos dos solos que mais influenciaram na capacidade de infiltração de água nos solos na zona de recarga do aquífero freático, pode-se destacar a porosidade, cuja média é de 55,4 %.

Souza Neto (2010) avaliou a textura e a umidade do solo a fim de estudar a perenidade de uma nascente em Barra de Guaratiba (RJ). Conforme exposto pelo autor, juntamente com as propriedades do solo os fatores que contribuíram para manter a nascente perene foram a declividade, a altura do lençol, a profundidade do solo e os afloramentos rochosos.

Marangon (2017) investigou os fatores hidrogeomorfológicos que determinam a ocorrência e a manutenção de três nascentes na bacia experimental do rio Saci com área de

18,5ha, localizada no município de Rio Negrinho (SC). O autor aborda a problematização de que nascentes que drenam a partir de um mesmo divisor e sob condições ambientais similares de formação geológica, propriedades físico-hídricas do solo com áreas de drenagem distintas. Segundo o autor, a topografia e espessura dos solos têm influência nas respostas hidrológicas das nascentes.

Santos (2009) discutiu sobre os mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica com base no monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos realizados na bacia experimental do rio Saci, localizada no município de Rio Negrinho (SC). Para tanto, a autora realizou uma caracterização físico-hídrica dos solos, com ênfase no mapeamento da profundidade do solo, da infiltração, da condutividade hidráulica saturada de campo e da umidade do solo. Como explicita a autora, a influência da dinâmica hidrológica na configuração da paisagem é corroborada especialmente pela forte correlação entre profundidade do solo e índice topográfico. Ainda, a autora destaca que próximo à superfície do solo os valores de Kfs foram superiores, indicando influência da estrutura do material e presença de macroporos; como também se observou alguns atributos hidrogeomorfológicos, que mostram que quanto maior a concentração de fluxo, devido ao aumento da área de drenagem, menor é a profundidade do solo e maior é a velocidade de escoamento dentro do solo.

Junqueira Júnior (2006) estudou a variabilidade espacial de alguns atributos do solo e suas implicações no escoamento base de nascentes, numa bacia hidrográfica de cabeceira representativa da Serra da Mantiqueira, região Alto Rio Grande – MG. Foram selecionadas duas nascentes em condições distintas de ocupação do solo (mata nativa e pastagem), mas sob domínio da mesma unidade pedológica. O autor avaliou atributos físicos dos solos como densidade, porosidade, granulometria e condutividade. Os resultados obtidos pelo autor mostraram que as maiores vazões específicas encontradas ao longo do monitoramento foram da nascente sob mata nativa. Portanto, práticas que levam à diminuição da infiltração da água no solo, ou, ao aumento do escoamento superficial, podem diminuir a vazão das nascentes comprometendo a existência das mesmas.

O conhecimento a respeito das características do nível freático é tido como fator determinante para o entendimento do funcionamento hídrico, pois dependendo do nível e da dimensão do lençol freático haverá diferentes tipos de funcionamento hídrico. O lençol freático é o ponto de chegada do escoamento vertical da água que infiltra e percola no solo, é ele o responsável pelo barramento do fluxo vertical da infiltração de água (LIMA, 2012).

A variação do nível freático condiciona a pedogênese de solos de várzea como os Gleissolos e Plintossolos. Os Gleissolos são “solos minerais hidromórficos, que apresentam forte gleização, resultante de processo de intensa redução de compostos de ferro, em presença de matéria orgânica, com ou sem alternância de oxidação, por efeito de flutuação de nível do lençol freático, em condições de regime de excesso de umidade permanente ou periódico” (EMBRAPA, 2018, p. 84). Os Plintossolos “compreendem solos minerais formados sob condições de restrição à percolação da água sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, de maneira geral imperfeitamente ou mal drenados, e se caracterizam fundamentalmente por apresentar expressiva plintização” (EMBRAPA, 2018, p.102)

Sousa (2013) discorre sobre outro aspecto relevante para o entendimento dos processos hidrológicos das nascentes, visto que se refere à permeabilidade em meios rochosos fraturados que depende da disposição das fraturas, da conectividade entre elas, da abertura e do número de fraturas por unidade de distância, por isso a característica rochosa tem grande influência sobre a infiltração da água e na alimentação do lençol freático.

A constituição geológica do aquífero (porosidade/permeabilidade intergranular ou de fissuras) é que irá determinar a velocidade da água em seu meio, a qualidade da água e a sua capacidade de acumulação como reservatório. Os aquíferos, dependendo da formação litológica e conseqüente porosidade, se dividem em três categorias: são denominados de aquíferos de meio fraturado ou de porosidade fissural; aquífero de meio poroso ou porosidade granular; e aquíferos de meio cárstico ou de porosidade química (ROSA FILHO *et al.*, 2011).

Graça (2019) estabeleceu uma classificação da vulnerabilidade da contaminação das águas superficiais e subsuperficiais nas escalas anual, trimestres seco e chuvoso, visando contribuir com a gestão mais efetiva da bacia hidrográfica do rio Pirapó (PR), na qual as cabeceiras de drenagem deste estudo estão inseridas. Segundo o autor, na bacia do Pirapó, devido suas características geológicas, são encontrados apenas dois tipos de unidades aquíferas, a Caiuá e a Serra Geral, que ocupam, respectivamente, 42,29% e 57,71 % da área total da bacia, ambas consideradas para o estudo como aquíferos livres. O autor expõe os resultados que mostraram que a vulnerabilidade média é predominante, correspondendo a cerca de 63 % da área da bacia. Essa classificação está relacionada à ocorrência de solos profundos (Latosolos e Nitossolos) e resistentes ao desprendimento de partículas, por obter valores mais baixos de escoamento superficial, influenciados pela redução na intensidade da precipitação, além de estar sobre áreas de declividade moderadas com predomínio de classes ente 6 e 15 %.

Diante do exposto, compreende-se que a cobertura pedológica e o lençol freático apresentam uma relação de dependência. Nesse sentido, a avaliação da condutividade hidráulica dos solos juntamente a outros parâmetros físicos permite interpretar as condições de abastecimento do lençol freático. Cada tipo de solo apresentará diferentes condutividades hidráulicas em função de sua textura, de sua estrutura, de sua densidade e de sua porosidade, assim como do tipo de uso da terra. Sob esses aspectos, a capacidade de armazenamento do solo repercutirá no favorecimento e na percolação da água até o lençol freático. A circulação hídrica será condicionada conforme as condições climáticas e de topografia que repercutirão na profundidade da linha piezométrica. Portanto, os movimentos de oscilação do lençol freático refletem o seu nível de recarga e rebaixamento (SOUZA NETO, 2010; SOUSA, 2013; SOUSA; RODRIGUES, 2014).

Nas bacias de primeira ordem com baixa capacidade de armazenamento de água, “as nascentes ocorrem em condições geoambientais específicas que permitem o confinamento parcial do lençol freático, onde os controles estruturais, que são estruturas que reduzem a velocidade de passagem da água sub-superficialmente, dificultam o movimento lateral dos aquíferos, induzem o afloramento do lençol freático na superfície” (CORTINES, 2008, p.11). Nos locais onde as rochas apresentam alto grau de fraturamento e as condições de precipitação favorecem a infiltração, é possível o desenvolvimento do manto de intemperismo e, conseqüentemente, a formação dos solos bem como a facilitação da percolação da água até o lençol freático (SOUSA, 2013).

## 2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 ASPECTOS FÍSICO-GEOGRÁFICOS

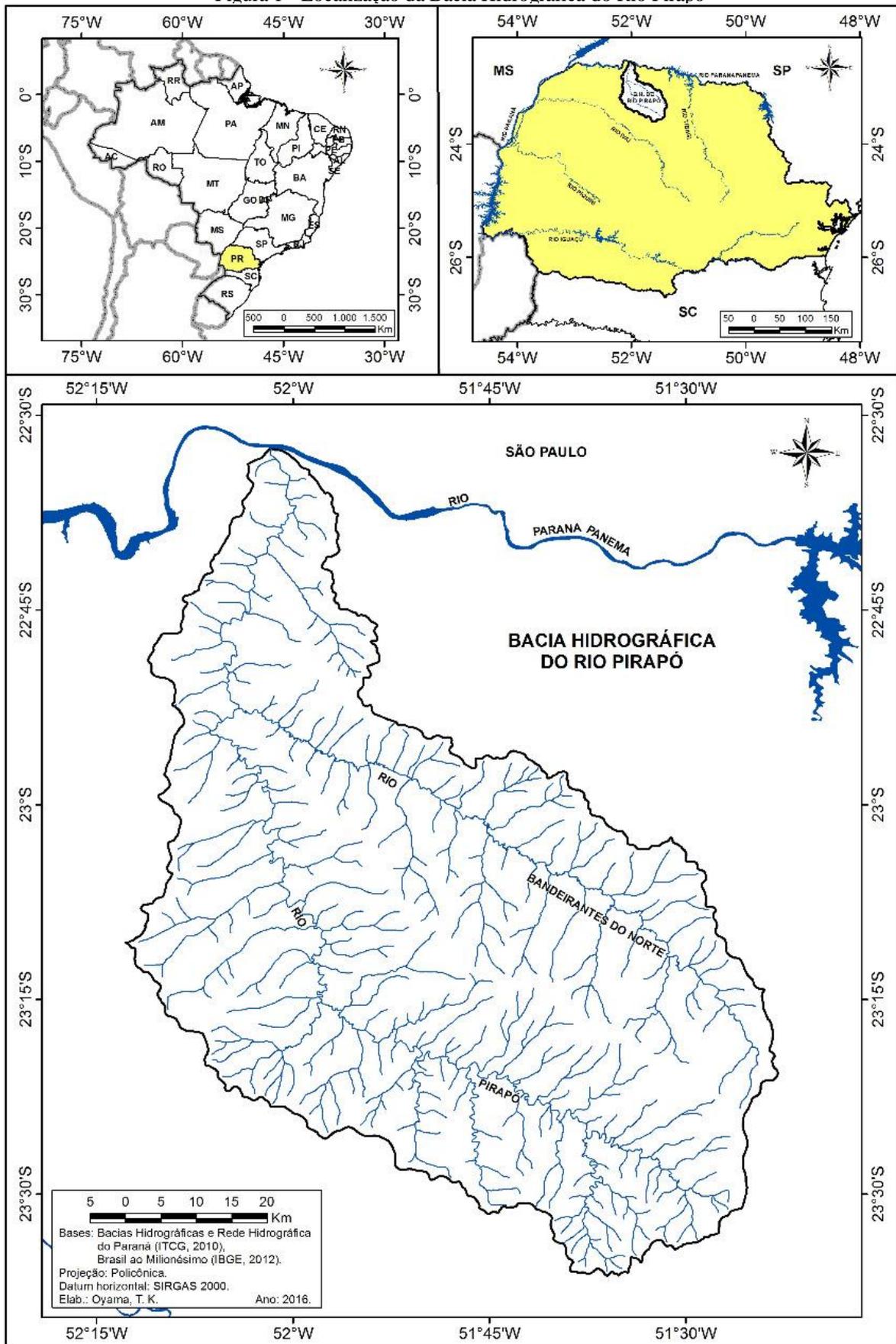
A Bacia Hidrográfica do Pirapó (Figura 1) está situada no terceiro planalto paranaense e possui uma área total de 5.098,10 km<sup>2</sup> (SEMA-2007). O rio Pirapó nasce no município de Apucarana a cerca de 1.000m de altitude e escoar para a direção norte, percorrendo uma extensão de 168km até sua foz no rio Paranapanema, a cerca de 300 metros de altitude no município de Jardim Olinda (SEMA, 2013).

Ao longo de seu curso, o rio Pirapó recebe águas de mais de 120 afluentes, sendo o maior deles o rio Bandeirantes do Norte, cujas nascentes se localizam no município de Arapongas. A área da bacia hidrográfica do rio Pirapó se encontra total ou parcialmente em 35 municípios (SEMA, 2013), sendo assim, um corpo hídrico de suma importância para o abastecimento de água, diluição e transporte de efluentes dos pólos industriais, situados na região norte e noroeste do estado do Paraná (LOPES, 2001).

Em relação ao clima, a bacia do Pirapó está no domínio do clima subtropical, o Cfa, segundo a classificação de Köppen (1918). Esse clima apresenta temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C (CAVIGLIONE *et al.*, 2000).

Terassi e Silveira (2013), aplicando o sistema de classificação climática de Köppen (1918), concluíram que a bacia hidrográfica do Pirapó pode ser dividida em duas áreas de tipologias climáticas distintas. A primeira é a tipologia climática Ama, que corresponde ao clima Tropical com inverno seco, cuja temperatura do mês mais frio é acima dos 18°C e a temperatura do mês mais quente é acima dos 22°C, com precipitação pluviométrica concentrada nos meses de verão e significativa redução nos meses de inverno. A segunda é a tipologia climática Cfa (Subtropical quente) com cotas acima de 650 metros, caracterizada por temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e a temperatura do mês mais quente superior a 22°C, com tendência de concentração de chuvas no verão, sem estação seca bem definida.

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó



Fonte: OYAMA (2017).

No que se refere ao relevo (Figura 2), Graça (2019) explica que

apresenta uma diferença altimétrica de 608 metros, com altitudes variando entre 264 metros, próximas a calha do rio Paranapanema, no município de Jardim Olinda, a 872 metros no limite superior extremo da bacia, no município de Apucarana. Apresenta, de modo geral, uma maior monotonia nas suas formas, com predominância de declividades inferiores a 8%. Entretanto, a montante da bacia o relevo é mais dissecado com presença de vales entalhados e declividades mais acentuadas (superiores a 20%) conforme classificação da EMBRAPA (2018) para as formas de relevo. (GRAÇA, 2019, p.36).

O substrato geológico da bacia é caracterizado pela presença de uma zona de transição entre diferentes unidades litológicas, constituído por rochas formadas na era Mesozóica como os basaltos da Formação Serra Geral e os arenitos das Formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina (MINEROPAR, 2001). Regionalmente, a bacia do rio Pirapó está inserida sobre a área de abrangência da unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, a unidade morfoescultural do Terceiro Planalto Paranaense mais especificamente, nas subunidades morfoescultural Planalto Maringá e Planalto de Apucarana (SANTOS *et al.*, 2006).

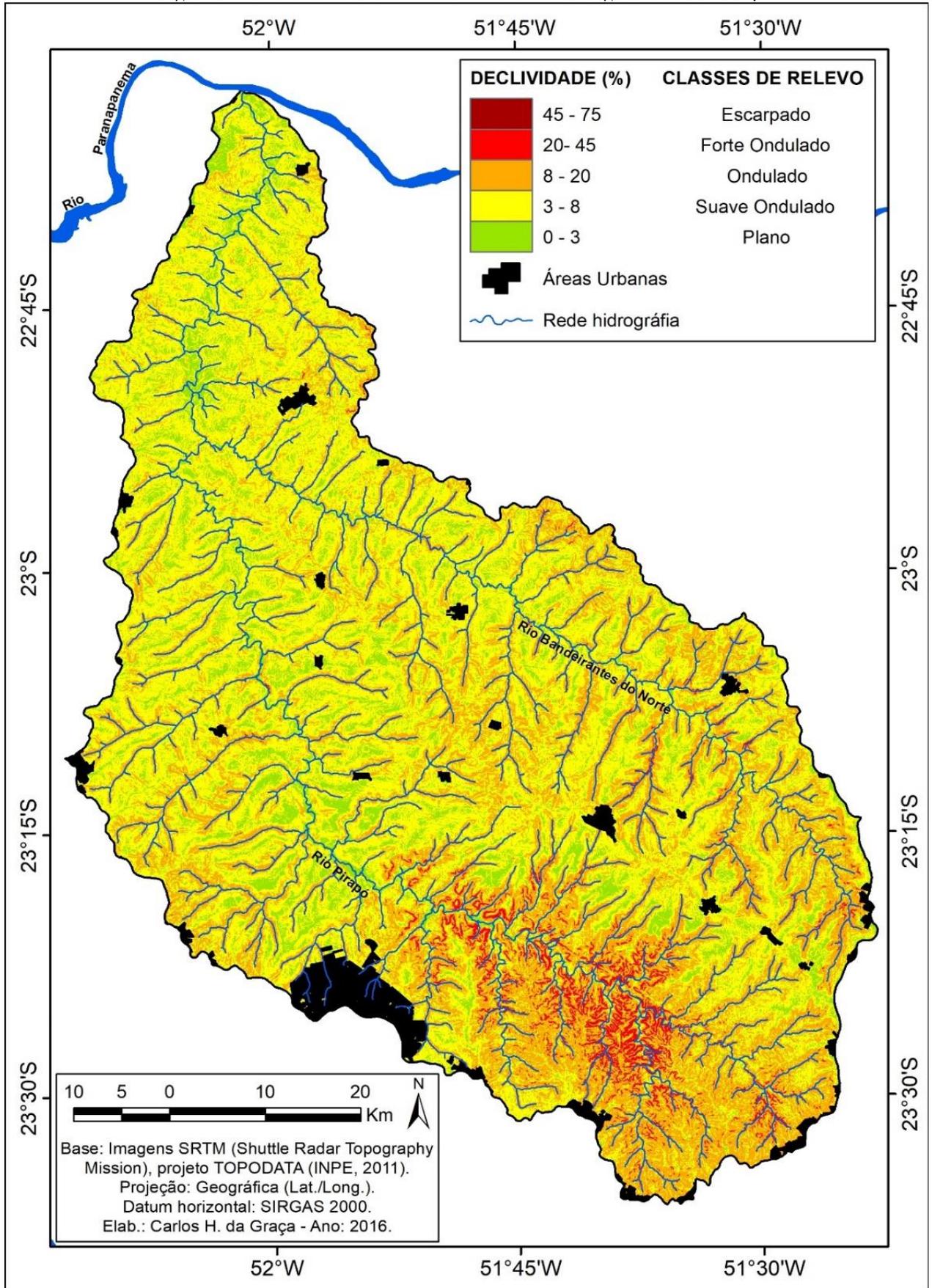
A distribuição das classes de solos na bacia é reflexo da variação geológica, assim como das formas e declividades das vertentes. De acordo com Marcatto (2016), devido as diversificadas variações litológicas

a bacia do Pirapó apresenta diversos tipos de solos, com diferentes características físicas, químicas e mineralógicas. Nos setores da Formação Serra Geral são encontrados em maior expressividade os Latossolos Vermelhos, Nitossolos Vermelhos, e em menor proporção, os Neossolos Regolíticos e/ou Litólicos. Nos setores das formações areníticas, as classes de solos predominantemente são os Latossolos Vermelhos e os Argissolos Vermelhos, ambos de textura média (MARCATTO, 2016, p. 32).

As classes de solos encontradas na bacia hidrográfica do rio Pirapó que foram mapeadas de acordo com o levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Paraná (EMBRAPA, 2007), pode ser visualizada na Figura 3. As principais classes de solos encontradas na bacia hidrográfica do rio Pirapó compreendem aos Latossolos Vermelhos, os Nitossolos Vermelhos, os Argissolos Vermelhos e os Neossolos Litólicos e Regolíticos, conforme a EMBRAPA (2018), e são caracterizados da seguinte forma:

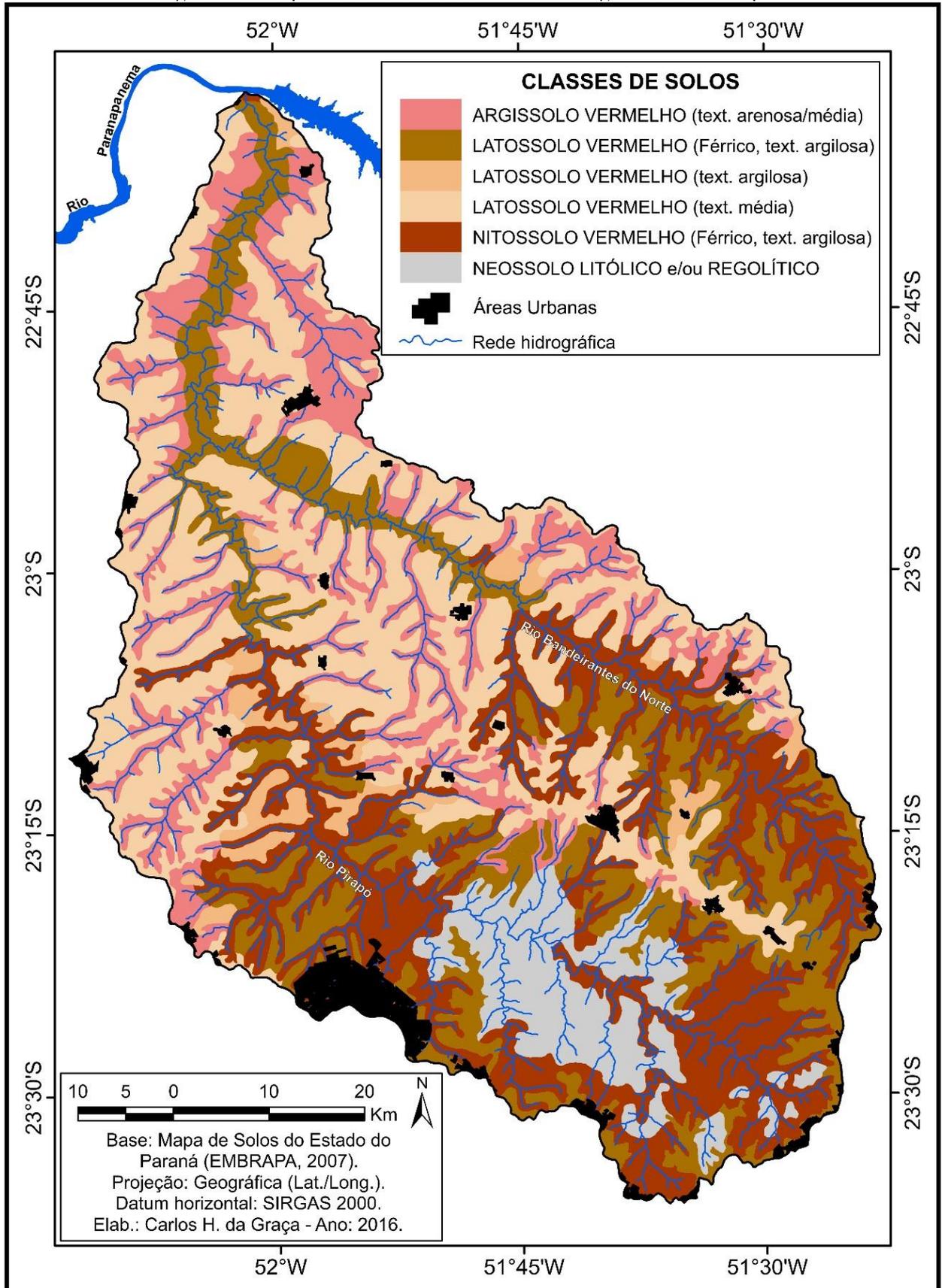
Latossolos Vermelhos: constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A dentro de 200 cm a partir da superfície do solo ou dentro de 300 cm se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura. Sua evolução é muito avançada com atuação expressiva de processo de latolização (ferralitização), resultando em intemperização intensa dos constituintes minerais primários, e mesmo secundários menos resistentes, e concentração relativa de argilominerais resistentes e/ou óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Os Latossolos Vermelhos devem apresentar matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (EMBRAPA, 2018, p.195).

Figura 2 - Classes de declividade e relevo da bacia hidrográfica do Rio Pirapó



Fonte: Graça (2019).

Figura 3 - Principais de classes de solos da bacia hidrográfica do Rio Pirapó



2 Nitossolo Vermelhos: são solos constituídos por material mineral, com 350 g kg<sup>-1</sup> ou mais de argila, inclusive no horizonte A, que apresentam horizonte B nítico abaixo do horizonte A. O horizonte B nítico apresenta argila de atividade baixa ou atividade alta conjugada com caráter alumínico, ambos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). As cores variam de vermelhas a vermelho-escuras, são de textura argilosa e muito argilosa, estrutura em blocos fortemente desenvolvidos, e cerosidade no mínimo comum e moderada. Os Nitossolos Vermelhos devem apresentar matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (exclusive BA) (EMPRAPA, 2018, p.233 e 234).

3 Argissolos Vermelhos: grupamento de solos com B textural, com argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico. Os Argissolos Vermelhos devem apresentar matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (EMBRAPA, 2018, p, 115 e 116)..

4 Neossolos Litólicos: apresentam contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm a partir da superfície, apresentando horizonte A ou hístico assente diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos grosseiros (por exemplo, cascalheira de quartzo) com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões). Admitem um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a nenhum tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2018, p.219). Neossolos Regolíticos: sem contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm a partir da superfície, apresentando horizonte A ou hístico sobrejacente a horizonte C ou Cr. Admite um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a nenhum tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2018, p.219 e 220).

No que se refere à vegetação natural remanescente na bacia do rio Pirapó, segundo Roderjan *et al.* (2002), a representação se dá pelas formações da Floresta Estacional Semidecidual (Montana, submontana e aluvial) que perde entre 20 a 50 % das suas folhas no período de baixa precipitação pluviométrica, modificando fortemente a fisionomia da vegetação e por pequenos resquícios de savana arborizada (Cerrado relictual), encontradas entre o interflúvio dos rios Pirapó e Bandeirantes do Norte, ao meio das cidades de Astorga e Sabáudia, estendendo-se em uma área de 40 km<sup>2</sup> em altitudes superiores a 600 m (PAULA, 2008).

Atualmente restam alguns poucos remanescentes de vegetação nativa na bacia, preservados em forma de reservas legais em espaços rurais e urbanos, que na grande maioria apresentam fortes evidências da antropização (GRAÇA, 2019).

## 2.2 ASPECTOS HISTÓRICOS E SOCIOECONÔMICOS

Os fatores físicos geográficos estiveram relacionados com o processo de ocupação e colonização da bacia do Pirapó, uma vez que as atividades agropecuárias estiveram na raiz dos interesses econômicos que serviram como argumentos à própria ocupação. Todos os municípios têm seu histórico marcado pela perda das florestas naturais e matas ciliares para práticas agropecuárias. O uso inadequado do solo e a agricultura intensiva contribuíram para a degradação do solo e, conseqüentemente, para a qualidade ambiental da área, afetando os

recursos hídricos (KLEPKA, 2011; RIGON; PASSOS, 2014).

A bacia do Pirapó teve seu processo ocupacional iniciado ainda na primeira metade do século XX, inserido na marcha cafeeira oriunda de São Paulo (MORO,1998) quando foram estabelecidos os primeiros núcleos urbanos na região pela Companhia de Melhoramentos Norte do Paraná (SERRA, 2001). Segundo consta no trabalho de Graça (2019), o desenvolvimento do Norte e Noroeste paranaense se deve, principalmente, a expansão da lavoura cafeeira em que foi atrelado às condições favoráveis tanto dos fatores físicos (solo e clima) quanto aos econômicos (crise econômica mundial de 1929).

Sob esse aspecto, Moro (1998) aponta que a partir da década de 1970 a cafeicultura entra em decadência na região Norte do Paraná em decorrência de mudanças na política econômica e problemas de ordem climática, com conseqüente modernização da agricultura. De acordo com o autor, houve, nesse período, incentivos governamentais visando a erradicação dos cafezais e a introdução de culturas temporárias mecanizadas, agravadas pelas fortes geadas ocorridas no período, o modelo de ocupação e o uso do solo ali vigente perderam vitalidade e entraram em decadência, acarretando significativa perda de população rural como resposta à inovação tecnológica empreendida.

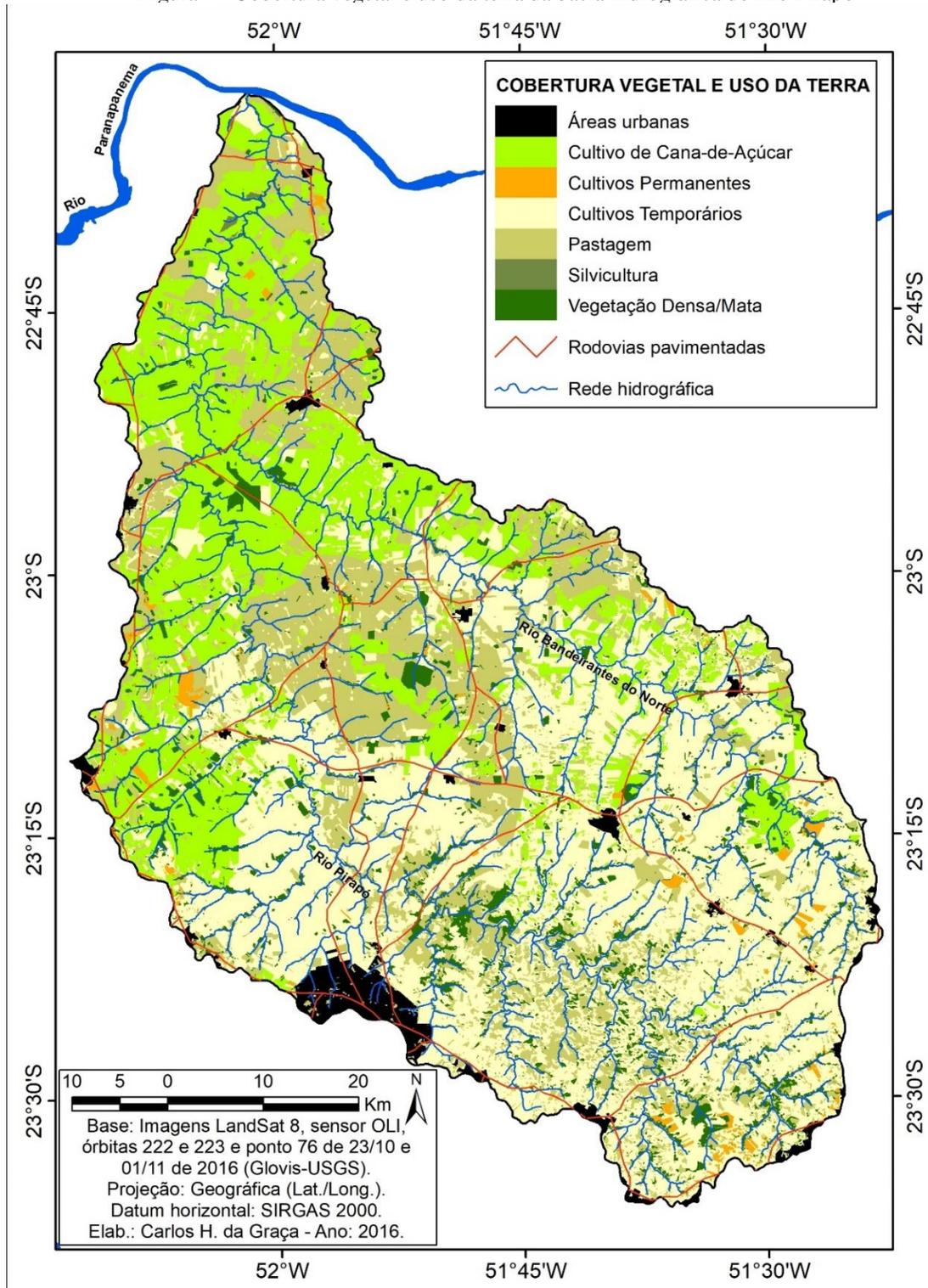
A partir da decadência do ciclo cafeeiro, Rigon (2012) salienta que a produção agrícola passou a refletir a introdução do complexo agroindustrial. As lavouras cafeeiras, grandes empregadoras de mão-de-obra, passaram a ceder lugar para soja, milho, algodão, cana-de-açúcar, trigo e outras culturas, resultando em profundas transformações nas relações de trabalho no meio rural.

Em relação ao uso e ocupação, segundo Graça (2019), a cobertura vegetal e uso da terra da bacia do Pirapó está diretamente relacionada à dependência dos municípios em relação ao setor primário de produção, com predominância de culturas extensivas como cultivos temporários (cultivo de soja, milho e trigo) e a cana-de-açúcar, que ocupam juntos aproximadamente 70 % da área total da bacia. As pastagens ocupam cerca de 23% da área total da bacia, enquanto outros usos são representados pelas áreas urbanas, cultivos permanentes e florestas/matras, como mostra a (Figura 4).

Na bacia hidrográfica do Rio Pirapó, Nóbrega *et al.* (2015) associam as lavouras mecanizadas de soja, trigo e milho, com as áreas de relevo de colinas médias com topos arredondados e mais alargados, recobertos por Latossolos Vermelhos e Nitossolos Vermelhos. Entretanto, no alto vale do rio Pirapó, onde o relevo é mais dissecado, os autores descrevem que as declividades são mais fortes e os solos mais rasos coincidindo com o aparecimento das pastagens. Nas áreas de solos de textura média/arenosa, em solos derivados dos arenitos, as

pastagens cedem lugar para o cultivo da cana-de-açúcar, segundo os referidos autores.

Figura 4 - Cobertura vegetal e uso da terra da bacia hidrográfica do Rio Pirapó

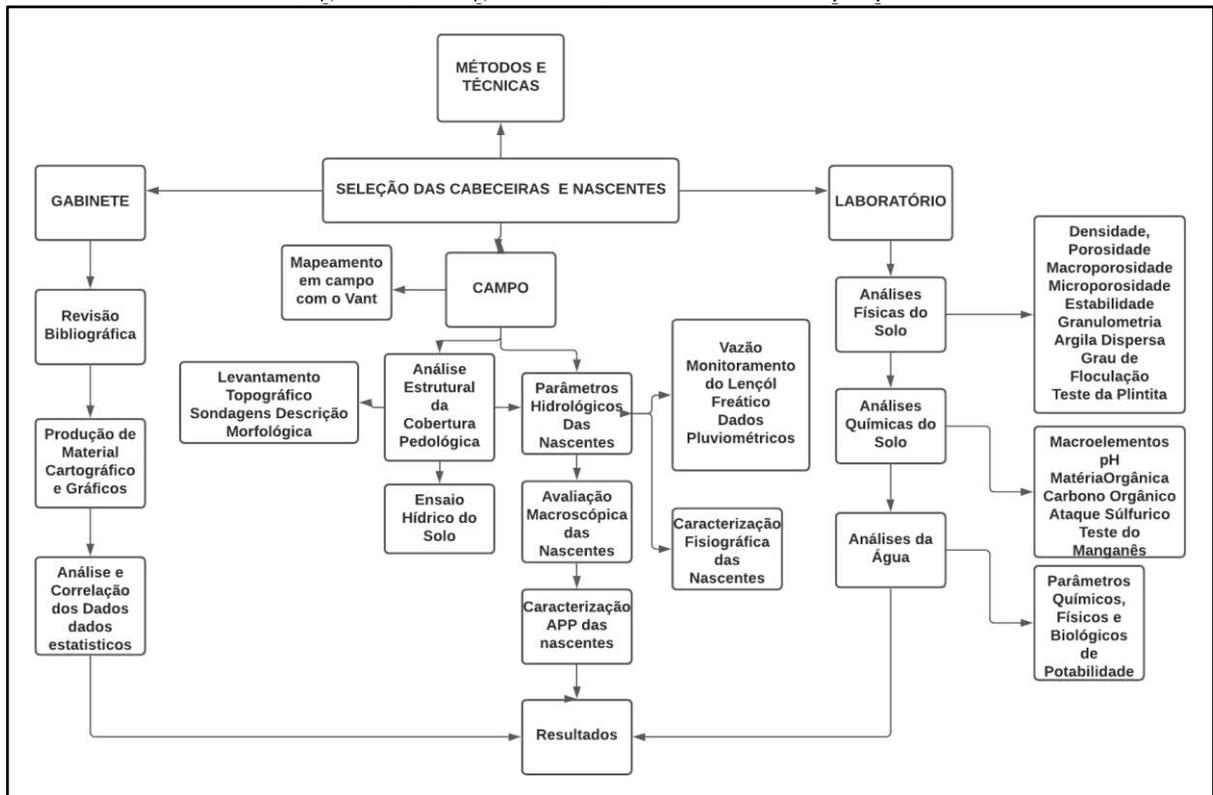


Fonte: Graça (2019).

### 3 MÉTODOS E TÉCNICAS

Os procedimentos metodológicos para a realização da pesquisa foram realizados de forma concomitante e divididos em: escolha da área de estudo, trabalhos de gabinete, trabalhos de campo e trabalhos de laboratório, conforme a Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma dos métodos e técnicas da pesquisa



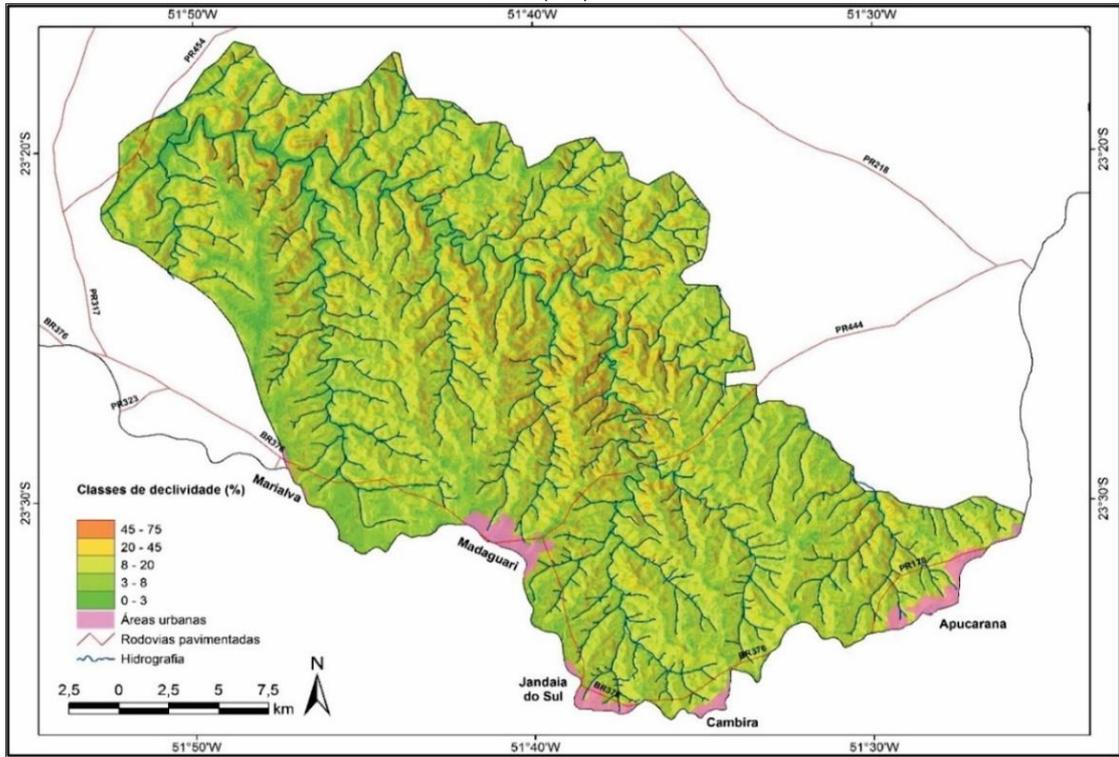
Elaboração: A autora (2021).

#### 3.1 ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO

Para a delimitação da área de estudo e a realização dessa pesquisa, foi utilizada a compartimentação da bacia hidrográfica do Pirapó, proposta por Nóbrega *et al.* (2015), que levou em consideração a composição do seu substrato geológico diversificado (arenito e basalto), e por sua vez, reflete nas características da cobertura pedológica e no uso e ocupação do solo. Segundo os autores, a bacia hidrográfica do Pirapó compreende dois compartimentos: um arenítico e outro basáltico, a exemplo da Figura 6. O intuito desta compartimentação foi caracterizar as unidades de paisagem da bacia hidrográfica do Pirapó, ressaltando os seus atributos físicos e os processos de uso e ocupação, responsáveis pela estrutura da paisagem atual e, conseqüentemente, pelas condições dos seus recursos hídricos.

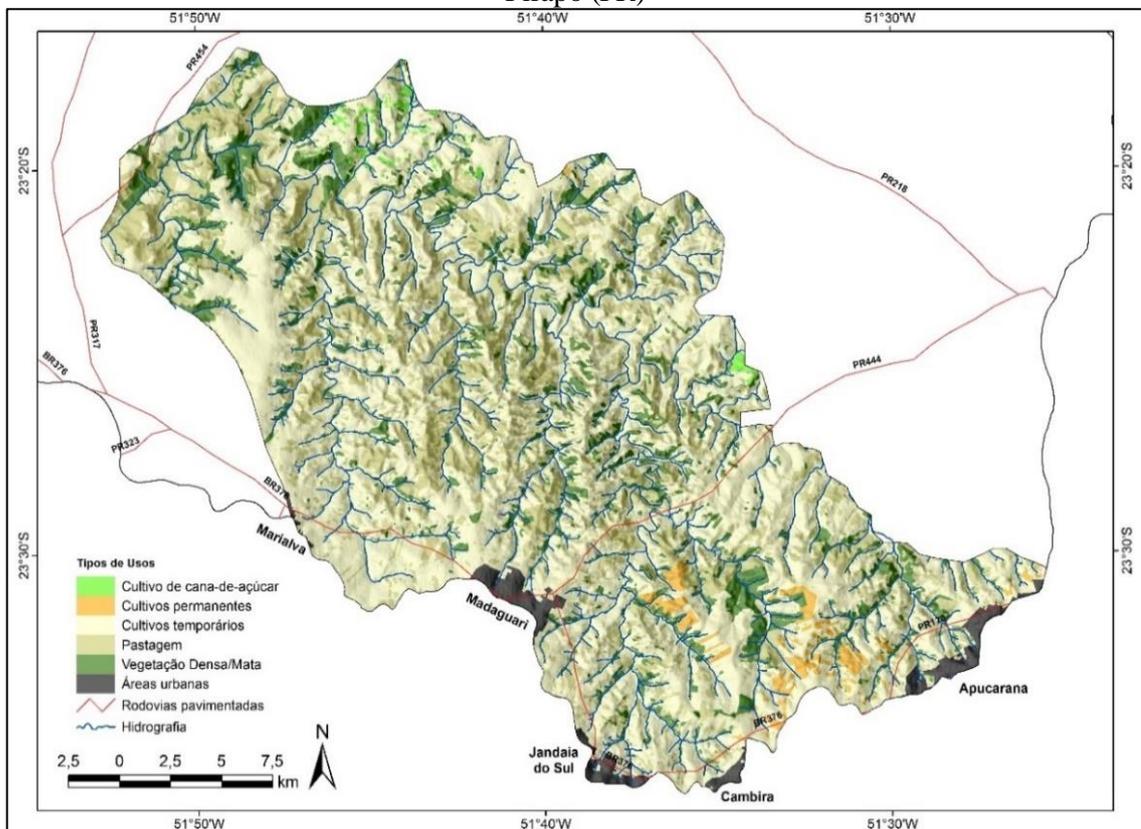


Figura 7 - Classes de declividade do subcompartimento basáltico da bacia hidrográfica do rio Pirapó (PR)



Fonte: Graça (2019).

Figura 8 - Tipos de usos dos solos do compartimento basáltico da bacia hidrográfica do rio Pirapó (PR)



Fonte: Graça (2019).

Depois de identificado o subcompartimento e definido o local onde seria desenvolvido o estudo, foram analisadas as imagens disponíveis no *Google Earth* (2018). Em função dos objetivos propostos, foi necessário selecionar cabeceiras pedologicamente e geomorfologicamente distintas, que abrangessem nascentes fisiograficamente heterogêneas.

Além disso, a acessibilidade deveria ser relativamente fácil, a fim de ser possível a aplicação das técnicas para a mensuração dos parâmetros quantitativos e análises afins. Outra questão que foi levada em consideração, além do acesso das nascentes, foi a permissão de entrada na propriedade particular.

Dessa forma, selecionou-se duas cabeceiras de drenagem, representativas da unidade de paisagem do subcompartimento basáltico da bacia hidrográfica do Rio Pirapó, localizadas na zona rural do município de Mandaguari, estado do Paraná. As nascentes pertencem a uma bacia de primeira ordem afluente do Córrego Belém, fazendo parte da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Ribeirão Alegre (Figura 9).

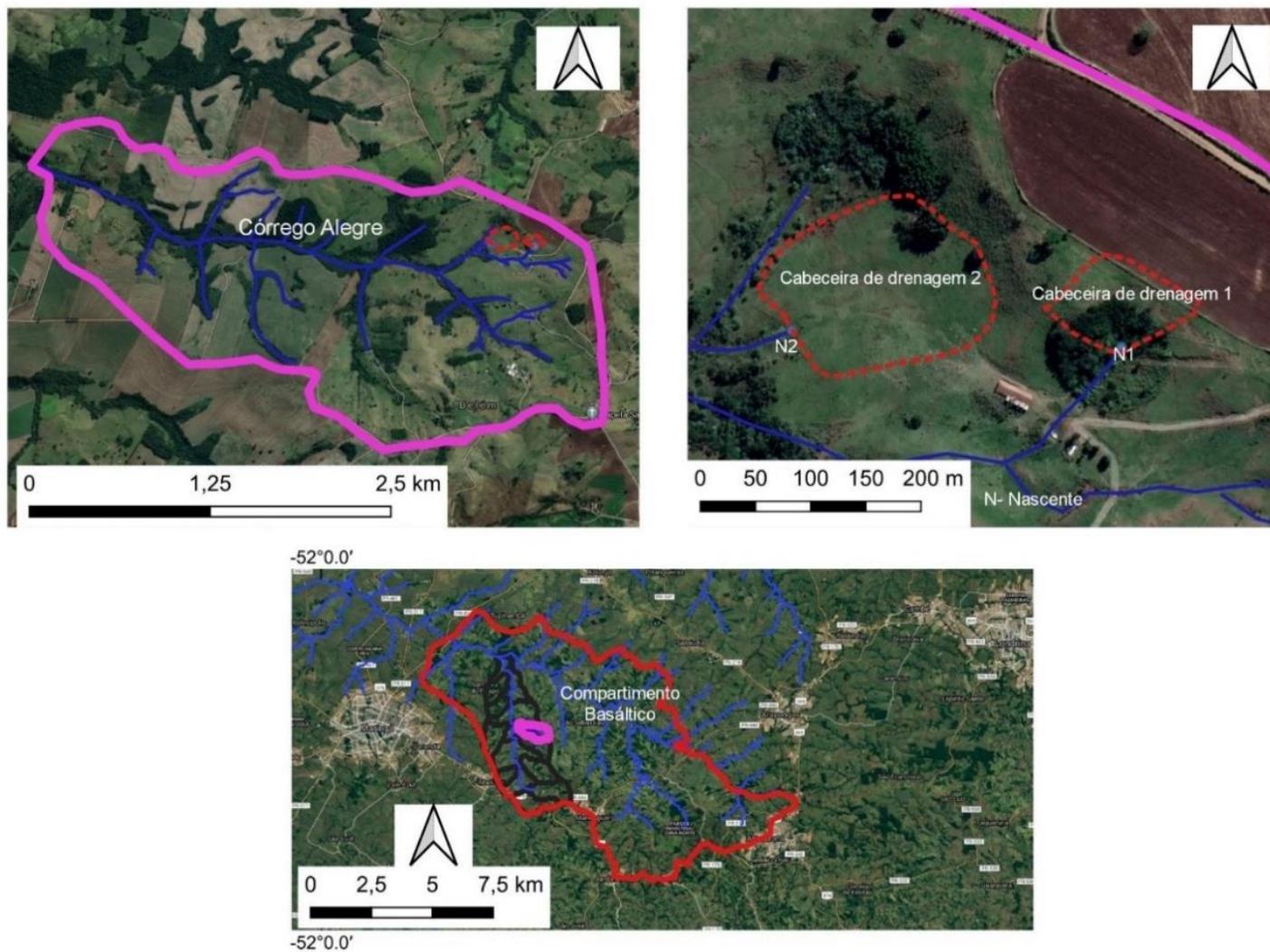
Bonifácio (2013) caracteriza a bacia do Ribeirão Alegre com

relevo dissecado, entalhes de até 80m de desnível entre o topo e o fundo do vale, os segmentos de vertentes com declividades moderadas (12 a 20%) e fortes (20 a 30%) que ocupam maior extensão nas vertentes, com a ocorrência também de setores com declividades superiores a 30%. A cobertura pedológica é constituída predominantemente por Neossolos Litólicos e/ou Regolíticos. Nos segmentos retilíneos, ligeiramente inclinados na base da vertente e que muitas vezes chegam até o setor médio, onde os solos ficam um pouco mais espessos, a autora observou a ocorrência de Cambissolos e Nitossolos Vermelhos, ocupados por culturas sazonais, no restante da unidade dominam as pastagens (BONIFÁCIO, 2013, p. 76-77).

Os limites superiores e inferiores das cabeceiras de drenagem foram delimitados com a utilização de GPS e auxílio das imagens das curvas de nível, mapeadas com o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT), em 2019.

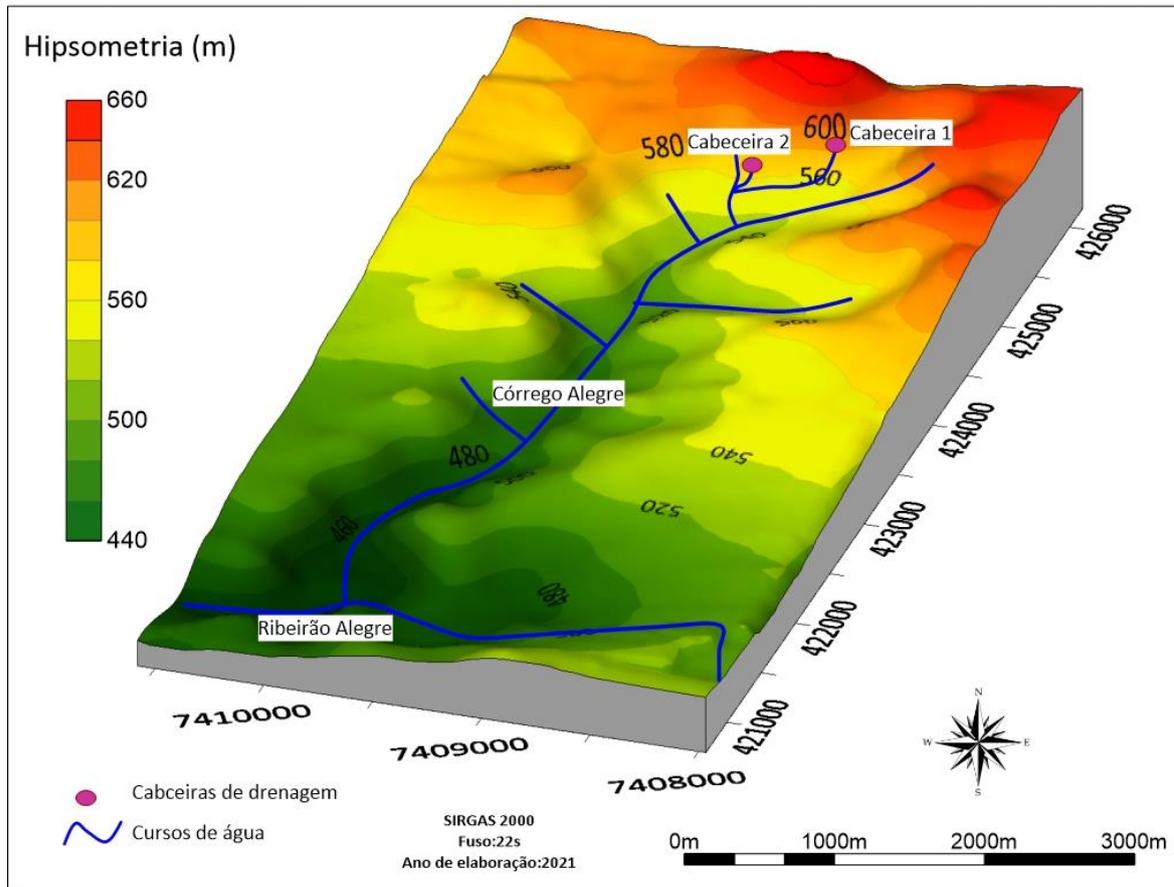
A identificação das nascentes ocorreu através do caminhamento exploratório de observação na parte inferior da área das cabeceiras de drenagem selecionadas para o estudo, sendo estipulado como nascente o local onde houvesse início do canal de primeira ordem, conforme Horton (1945). Observando a Figura 10 pode-se ter uma visão panorâmica do relevo e hipsometria nas quais as cabeceiras estão inseridas. A cabeceira de drenagem 1 está localizada entre cotas altimétricas de 580 a 600 m de altitude com vertentes curtas e majoritariamente convexas. A cabeceira de drenagem 2 possui área em cotas altimétricas de 540 a 570 m, constituída predominantemente por vertentes retilíneas.

Figura 9 - Localização das cabeceiras de drenagem no compartimento basáltico da bacia hidrográfica do Rio Pirapó (PR)



Elaboração: A autora (2021)..

Figura 10 - Localização das cabeceiras de drenagem na bacia hidrográfica do Córrego Alegre (PR)



Elaboração: A autora (2021).

Admite-se que, uma vez estudando o funcionamento e a estrutura destas cabeceiras, pode-se utilizar os resultados como parâmetros para o entendimento de outras cabeceiras semelhantes, contribuindo para sua conservação, sobretudo das nascentes, no intuito de garantir as funcionalidades essenciais à preservação dos recursos hídricos. Dessa maneira, a interpretação e caracterização morfológica das cabeceiras e funcionalidade das nascentes teve o embasamento metodológico da Análise Estrutural Bi e Tridimensional da Cobertura Pedológica, de acordo com Boulet *et al.* (1982) e Boulet (1993).

Compreende-se que a metodologia mencionada proporciona compreender a interação dos diferentes elementos (relevo, rochas, clima, vegetação, solos e atividade antrópica) e suas relações com processos de pedogênese e morfogênese (BOULET *et al.*, 1982; BOULET, 1988; RUELLAN; DOSSO, 1993). Assim sendo, permite elaborar sínteses sobre a estrutura e dinâmica da paisagem em escala local e regional (Rubira *et al.*, 2019), pois torna possível estudos detalhados em nível de vertente, relacionando os processos hídricos com as formas de relevo e mecanismos pedogenéticos, permitindo entender o funcionamento e a estrutura da paisagem (NAKASHIMA *et al.*, 2017).

A partir dos pressupostos da metodologia da Análise Estrutural Bi e Tridimensional da Cobertura Pedológica, foram efetivados os trabalhos de levantamento topográfico e sondagens dos horizontes pedológicos, aberturas de trincheiras, medições de condutividade hidráulica saturada e as coletas de amostras de solos para os ensaios laboratoriais.

## 3.2 ATIVIDADES DE GABINETE

### 3.2.1 Pesquisa Bibliográfica

Esta etapa refere-se ao levantamento de fontes bibliográficas a fim de promover o desenvolvimento da presente pesquisa e para embasar a reflexão teórica e metodológica referente à cabeceira de drenagem, às nascentes, à área de Preservação Permanente (APP) e os sistemas pedológicos.

### 3.2.2 Elaboração de materiais cartográficos e gráficos

#### 3.2.2.1 Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó

A informações sobre hipsometria e declividade foram extraídas de imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) do Projeto TOPODATA (INPE, 2011). A declividade, em porcentagem (%) e em ângulo (°) foi obtida por meio da ferramenta Slope (ArctoolBox – Spacial Analyst Tools – Surface). As informações sobre os tipos de solos foram obtidas do Mapa de Solos do Estado do Paraná (EMBRAPA, 2007), assim como as informações sobre as unidades litoestratigráficas foram retiradas do Mapa Geológico do Estado do Paraná (MINEROPAR, 2001).

O mapeamento dos tipos de uso e ocupação do solo na bacia foram estabelecidos por meio de classificação supervisionada (*MAXVER*) de imagens de satélite *LandSat* 8, sensor OLI (órbitas 222 e 223 e ponto 76 de 23/10 e 01/11 de 2016), obtidas via sítio eletrônico do *U.S Geological Survey (USGS-GLOVIS)*, bem como em trabalhos de campo para coleta dos pontos de amostragens visando minimizar erros de interpretação visual das classes estabelecidas durante a rotina de processamento, sendo estabelecidas as classes: área urbana; cultivo de cana-de-açúcar; cultivo permanentes (café, laranja e outras); cultivos temporários (soja, milho, trigo, cana-de-açúcar e outras); pastagem; vegetação densa/mata e corpos hídricos.

#### 3.2.2.2 As cabeceiras de drenagem

Para a elaboração dos produtos cartográficos da área de estudo com maior detalhamento e qualidade, foi utilizada a técnica de aerofotogrametria em imagens de alta resolução adquiridas utilizando o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) em voos realizados por parceria com a empresa Falcon Farms de Maringá. A aeronave utilizada foi o MaptorAgro/Horus Aeronaves, como mostra a Figura 11, que apresenta como características grande autonomia de voo (cerca de 80 minutos), grande cobertura de área (cerca de 2.500ha/dia) e voo automatizados e guiados via telemetria e GPS, embarcado com sistema GNSS (*Global Navigation Satélites System*).

Figura 11 - Imagem ilustrativa do modelo de aeronave utilizado



Fonte: Falcon Farms (2019).

Os planejamentos dos voos foram realizados no *software Mission Planner*, por meio do qual estabeleceu-se os parâmetros utilizados ao longo do trajeto a ser percorrido e a sobreposição desejada das imagens. Os voos foram realizados no dia 23 de fevereiro de 2019, somente no canal de segunda ordem, nas quais as cabeceiras são integrantes. o período escolhido foi o matutino, com sobreposição de imagens de 65 %, tanto frontal quanto lateral, e GSD (*Ground Sample Distance*) de 2.5 cm.

As imagens foram capturadas a partir da câmera RGB (*Red, Green e Blue*) Nikon com resolução de 20 mega/pixels, adaptada para o modelo de VANT utilizado. A captura de imagem foi realizada de forma automática, com uma foto tirada a cada 2 segundos, totalizando aproximadamente 1200 fotos.

No escritório foram realizadas toda a parte de pré e pós-processamento das imagens e geração dos produtos cartográficos. Inicialmente, efetuou-se o georreferenciamento das imagens. Esse processo consiste em adicionar informações de latitude, longitude e cota

altimétrica no conjunto de imagens. Além de ser realizado diretamente no software Mission Planner utilizando as informações do *Geotags* registrados por voos.

Com as imagens georreferenciadas deu-se início ao processo de junção das imagens ao manusear o *software Agisoft Photoscan Professional*, pelos quais foram realizadas as rotinas de Alinhamento de Fotos (*Tie Points*); Construir Nuvem Densa, Construir Malha; Construir Textura, Construir Modelo 3D, Construir DEM (*Digital Elevation Model*) e Construir Ortomosaico.

Embora o software traga em sua rotina o modelo digital de elevação, na verdade, seu produto é o modelo digital de superfície (MDS) que posteriormente é convertido em Modelo Digital de Terreno/Elevação (MDT/MDE). O processo de conversão consiste em gerar uma máscara/filtro sobre a nuvem de pontos densa para identificação de objetos ou formas acima da superfície do terreno, para isso foi utilizada a extensão *Classifique os Pontos de Terra*.

A imagem de saída representa apenas o traçado topográfico com resolução espacial 8cm/pixel no formato *raster\*.tif*, que onde foram gerados por meio do *software ArcGis/ArcMap 10.4.1*, modelo hipsométrico com equidistância de um (1) metro entre as curvas de nível para gerar as classes de declividade/relevo.

O modelo 3D do relevo foi elaborado utilizando o *software ArcGis/ArcScene 10.4.1*, no qual o arquivo MDT/MDE foi submetido a um exagero de 10% no modelamento do relevo e, também, sobreposto pelo ortomosaico no formato *raster \*.tif* para gerar uma imagem tanto com as formas do relevo quanto com os tipos de usos do local.

As representações esquemáticas dos blocos diagramas na perspectiva tridimensional dos solos existentes nas cabeceiras foram elaboradas no programa *Surfer 18 (Golden Software)*, com a imagem do ortomosaico e adicionando camadas dos horizontes dos solos em relação às respectivas profundidades verificadas nas amostras das sondagens e nas trincheiras, e em seguida foram finalizados no *software Corel Draw X8*. Os blocos diagramas com as curvas de isodiferenciação dos espessamentos dos horizontes foram baseadas na metodologia descrita por Boulet *et al.* (1978), Boulet (1993) e Ruellan e Dosso (1993). Para a interpretação da morfologia das cabeceiras, a partir dos blocos diagramas, foram consideradas as propostas de Valeriano e Carvalho Júnior (2003); Werlang (2004); Valeriano (2008); Silva Neto (2013); Guareschi (2018) e Carvalho *et al.* (2019).

A elaboração cartográfica bidimensional das toposequências de solos, a distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados, as classes de permeabilidade, bem como os gráficos de granulometria, densidade do solo, porosidade e Kfs (condutividade hidráulica saturada), foram realizadas com auxílio do *software Corel Draw X8*.

O mapeamento dos teores de argila ao longo das topossequências foram elaborados manualmente em papel milimetrado e finalizados com auxílio do *software Corel Draw X8*. Já o mapeamento com os teores de silte e argila nos blocos diagramas foram realizados no *software ArcGis/ArcMap 10.4.1* pelo método de interpolação da *Krigagem*.

As representações cartográficas da APP (área de preservação permanente) foram baseadas na proposta de mapeamento de Carmo *et al.* (2014) a partir da Legislação Federal (Brasil; 2002; 2012). Os procedimentos de mapeamento foram realizados por meio do *software Qgis 3.16.3*, a partir das imagens aerofotogramétricas (2019). Para tanto, foram produzidas representações cartográficas considerando 50m de raio ao redor das nascentes, gerados a partir de *buffers* com a referida equidistância, e, também com acréscimo da bacia de contribuição delimitada manualmente de acordo com as curvas de nível. Para a delimitação da mata ciliar do córrego de 2º ordem foi gerado um *buffer* de 30 m. Utilizou-se, ainda, imagens históricas do *Google Earth* (anos de 2002, 2010 e 2020) para verificar o processo vegetativo das cabeceiras.

### 3.2.3 Análise e correlação dos dados estatísticos

Para avaliação estatística do grau de correlação entre as variáveis, empregou-se o coeficiente de correlação de *Pearson (r)*, classificado conforme a interpretação de Zou *et al.* (2003) adaptada por Santos *et al.* (2012), sendo:  $0,2 \leq |R| < 0,4$  (fraca);  $0,4 \leq |R| < 0,6$  (moderada);  $0,6 \leq |R| < 0,8$  (forte)  $0,8 \leq |R| \leq 1$  (muito forte). A análise de variância das médias foi comparada através do teste de *Tukey*, ao nível de ( $p < 0,05$ ). Os cálculos envolvidos para análises estatísticas foram realizados no *software Excel* (2010) e no *software de estatística PAST*.

Para fins de interpretação do coeficiente de variação (CV) foi adotado os limites propostos por Warrick e Nielsen (1980), sendo:  $CV < 12 \%$ ,  $12 \% < CV < 60 \%$  e  $CV > 60 \%$ , considerados de baixa, média e alta variabilidade, respectivamente. Essa classificação foi também adotada nos trabalhos de Souza *et al.* (2004), Leão *et al.* (2007), Carvalho *et al.* (2012), Oliveira *et al.* (2013), Santos *et al.* (2017) e Gomes *et al.* (2018).

## 3.3 ATIVIDADES DE CAMPO

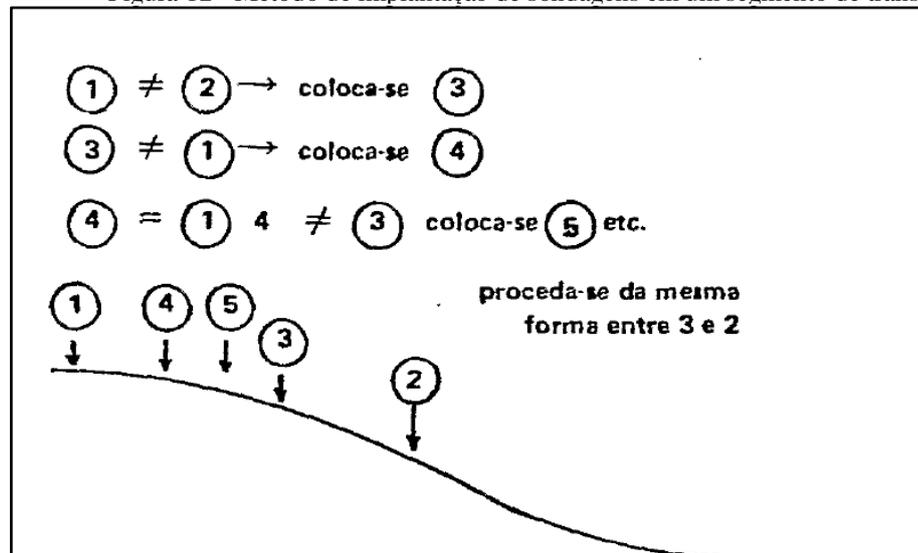
### 3.3.1 Análise estrutural tridimensional da cobertura pedológica

Utilizou-se a análise bi e tridimensional da cobertura pedológica, conforme a metodologia proposta por Boulet *et al.* (1982) e Boulet (1993). A aplicação da proposta abordou estudos em topossequências que expressam as variações laterais dos horizontes pedológicos e de suas transições ao longo das vertentes.

Para o levantamento do perfil topográfico foi utilizado o clinômetro de bolso, metro e trena, o que possibilitou a elaboração dos perfis topográficos dos eixos considerados representativos nas cabeceiras de drenagem, que foram selecionadas por intermédio de critérios topográficos, morfológicos, pedológicos e de uso e ocupação do solo. Para o levantamento e identificação dos horizontes pedológicos por meio de sondagens, utilizou-se o trado do tipo holandês e efetuou-se coletas de amostras de solos a cada 10 cm de profundidade até encontrar a rocha, organizando-as parte em pedocomparadores e parte em embalagens plásticas.

Na cabeceira de drenagem 1, foram definidos cinco eixos topográficos (topossequências: A, B, C, D, E) nos quais foram executadas sondagens de cinco em cinco metros de distância. Na cabeceira de drenagem 2 foram definidos três eixos topográficos (topossequências: A, B, C), sendo executadas em distância de dez metros e retornando para realizar sondagens intermediárias sempre que necessário quando se observava modificação na organização dos horizontes da cobertura pedológica, conforme demonstrado na Figura 12.

Figura 12 - Método de implantação de sondagens em um segmento de transeção

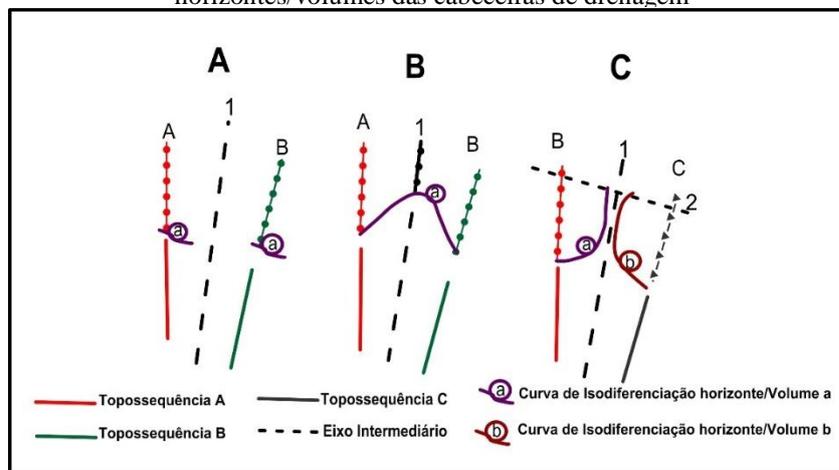


Fonte: Boulet (1993).

A partir das sondagens, foi possível indicar os locais para abertura das trincheiras em pontos representativos das topossequências para a descrição macromorfológica de perfis, de acordo com Lemos e Santos (1996) que descrevem a cor, a textura, a estrutura, a consistência,

a transição entre horizontes, a cerosidade e as raízes. Na cabeceira de drenagem 1 foram descritos seis perfis de solo, enquanto na cabeceira de drenagem 2 foram descritos nove perfis (Anexos 1 e 2). Num segundo momento, como mostra a Figura 13, reconstituiu-se a distribuição espacial (tridimensional) das organizações pedológicas; nas quais os limites entre horizontes foram colocados em mapas sob a forma de curvas de isodiferenciação que representam posições onde se iniciam ou terminam horizontes/volumes e suas respectivas espessuras, além de outras feições pedológicas ou geológicas, caso fosse necessário (QUEIROZ NETO, 2002).

Figura 13 - Operação sucessiva para a localização de curvas de isodiferenciação de horizontes/volumes das cabeceiras de drenagem



Fonte: Adaptado de Boulet (1993).

Após a descrição dos horizontes pedológicos foram coletadas amostras deformadas e indeformadas para a realização de análises físicas e químicas do solo.

### 3.3.2 Ensaio hídrico do solo

O estudo do comportamento hídrico do solo envolveu a análise e determinação da condutividade hidráulica saturada ( $K_{fs}$ ). Esse procedimento foi realizado em campo, com três medições sequenciais por ponto, utilizando o permeâmetro de *Guelph* a partir da aplicação de uma carga hidráulica e do uso do reservatório combinado, conforme proposto por Elrick *et al.* (1989). Para tanto, foi necessário efetuar perfurações com o trado do tipo holandês, considerando como profundidade limite o centro dos horizontes descritos nas trincheiras abertas ao longo das topossequências. As medições consistiram na aplicação de uma carga constante de água ( $h$ ) em um furo de sondagem com raio determinado ( $a$ ), em intervalos de tempo ( $t$ ) conforme a água infiltrava o solo ( $R$ ), passando pela área transversal do tubo acrílico graduado

do permeâmetro (A). O cálculo da condutividade hidráulica é obtido a partir das seguintes equações (1) (2) (3):

$$Q = R \times A \quad \dots\dots\dots \quad \dots\dots\dots \quad \text{Equação (1)}$$

$$C = \left( \frac{H/a}{2.074 + 0.093 \left( \frac{H}{a} \right)} \right)^{0,754} \quad \text{Equação (2)}$$

$$K_{fs} = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + \pi a^2 C + \frac{2\pi h}{\alpha})} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde: Q= vazão do regime permanente; R= razão da vazão constante obtida durante os ensaios; A= área do reservatório do permeâmetro utilizado; C = parâmetro fator de forma, que depende da relação H/a e das características do solo; H = altura da carga hidráulica aplicada em campo (cm); Kfs = condutividade hidráulica saturada; a= diâmetro do furo da sondagem aberta pelo trado no solo (cm);  $\alpha$  = Considera as características dos solos relacionados a sua textura e à macroporosidade obtida a partir dos valores sugeridos por Elrick *et al.* (1989), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de $\alpha$ sugeridos para os solos de acordo com sua macroporosidade e textura	
$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	Tipo de Solo
0,01	Argilas compactas (aterros, <i>liners</i> , sedimentos lacustres e marinhos).
0,04	Solos de textura fina, principalmente sem macroporos e fissuras.
0,12	Argilas até areias finas com alta e moderada quantidade de macroporos e fissuras
0,36	Areia Grossa e solos com macroporos e fissuras

Fonte: ELRICK *et al.* (1989).

A permeabilidade do solo com água foi classificada de acordo com Beutler *et al.* (2001), adaptada de *Soil Survey Staff* (1993).

### 3.3.3 Parâmetros Hidrológicos das nascentes

A avaliação hidrológica das nascentes foi interpretada a partir da medição dos seguintes parâmetros: observação da mobilidade do local de exfiltração; vazão; profundidade do nível freático e precipitação.

#### 3.3.3.1 Vazão

O método utilizado para a medição da vazão das nascentes foi o método direto volumétrico, que se baseia no tempo gasto que um determinado fluxo de água leva para ocupar um recipiente de volume conhecido (SANTOS, 2001) (Figura 14).

Figura 14 - Método direto de medição da vazão das nascentes



Fonte: Trabalhos de campo (2020).

Para minimizar os erros, foram realizadas cinco medições seguidas, sendo a vazão da nascente definida pela média aritmética dos eventos (FELIPPE; MAGALHÃES JÚNIOR, 2009). A vazão é, então, calculada pela Equação 4 (PINTO *et al.* 2004):

$$Q = [(v/t)]/n. \quad (\text{Equação 4})$$

Em que: Q é a vazão (L/s); v é o volume de água (em litros); t é o tempo (em segundos); n é o número de medições. As nascentes foram classificadas quanto à magnitude, de acordo com Meinzer (1927), demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação da vazão das nascentes conforme Meinzer (1927)

Magnitude	Vazão (L/min)
1	> 2.800 L/s
2	280 a 2.800 L/s
3	28 a 280 L/s
4	6,3 a 28 L/s
5	0,63 a 6,3 L/s
6	63 a 630 ml/s
7	8 a 63 ml/s
8	< 8 ml/s
Magnitude 0 Sem vazão (locais de fluxo passado/histórico)	

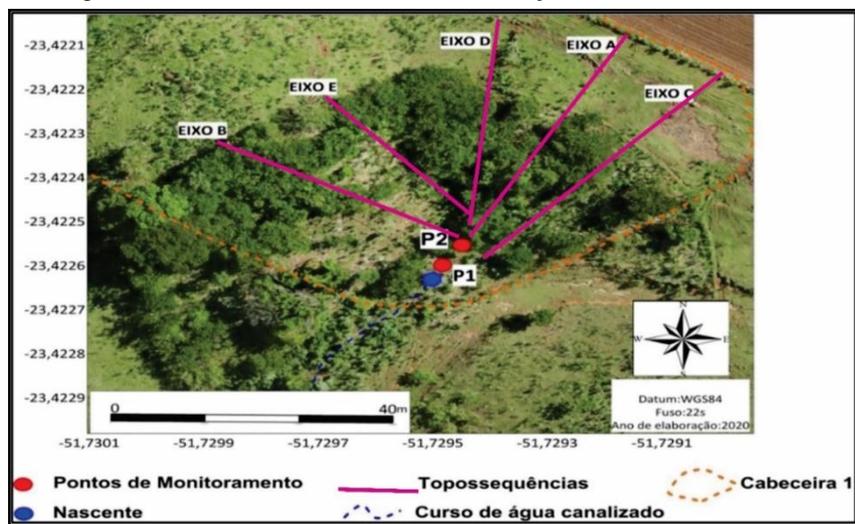
Fonte: Meinzer (1927) adaptado de Todd (1959) por Felipe (2009, p.84).

A mensuração da vazão ocorreu de setembro de 2019 a dezembro de 2020 na nascente 1 da cabeceira de drenagem 1 e na nascente 2 da cabeceira de drenagem 2, de forma mensal.

### 3.3.3.2 Monitoramento do lençol freático

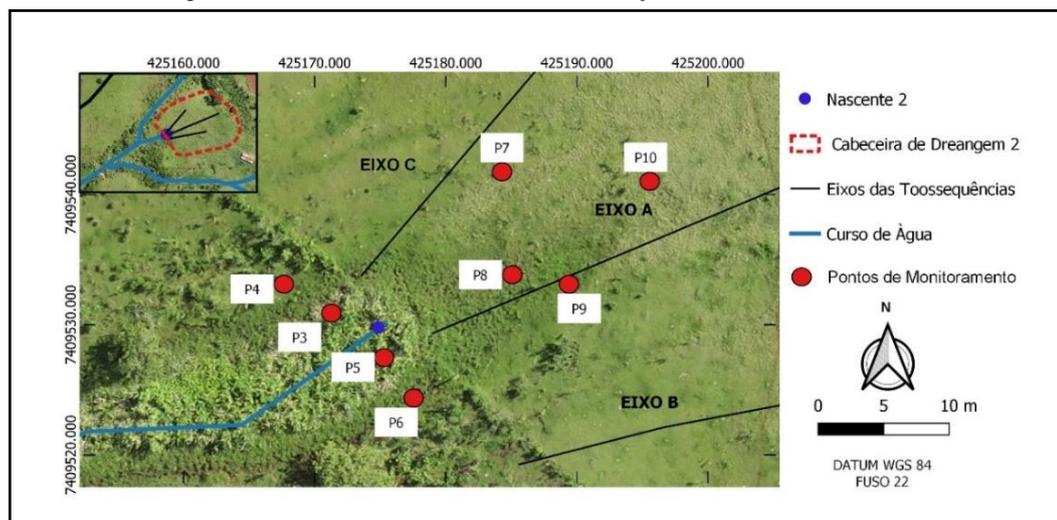
Na cabeceira de drenagem 1 foram perfurados com um trado do tipo holandês, dois pontos de observação da variação do lençol freático próximos à nascente (Figura 15). Na cabeceira de drenagem 2 foram perfurados oito pontos de monitoramento ao redor do ponto inicial da nascente (Figura 16).

Figura 15 - Pontos de monitoramento do lençol freático da cabeceira 1



Elaboração: A autora (2021).

Figura 16 - Pontos de monitoramento do lençol freático da cabeceira 2



Elaboração: A autora (2021).

Em cada ponto perfurado foi colocado um tubo de policloreto de polivinila (PVC). Os tubos tiveram sua extremidade superior vedada com tampa de PVC, sendo abertos furos ao longo dos tubos para permitir a entrada da água do lençol freático. Assim como a vazão, a medição foi realizada mensalmente com uma régua. O monitoramento ocorreu de janeiro de 2019 a dezembro de 2020 na cabeceira de drenagem 1, e de agosto de 2019 a dezembro de 2020 na cabeceira de drenagem 2.

### 3.3.3.3 Dados Pluviométricos

Os dados de precipitação foram utilizados como apoio, na compreensão dos parâmetros de qualidade da água e vazão, durante o período de monitoramento (2019-2020). Foram obtidos pelo Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná – (SIMEPAR). As informações geográficas do posto pluviométrico estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Localização do posto pluviométrico da estação meteorológica de Apucarana

Localização do posto pluviométrico				
Código	Nome	Latitude	Longitude	Altitude (m)
02351008	Apucarana	23° 30' 00"	51° 32' 00"	746

Fonte: SIMEPAR (2021)..

### 3.3.4 Avaliação macroscópica das nascentes

A avaliação macroscópica de nascentes caracteriza-se na descrição de parâmetros para identificação de impactos ambientais e suas consequências nas nascentes a partir da interpretação visual e subjetiva. Os procedimentos são de caráter exploratório e descritivo, realizados por meio da pesquisa de campo e observação *in loco* e foram realizados durante o ano de 2019. Verificou-se de forma qualitativa o grau de proteção em que as nascentes se encontram, atribuindo pontos aos parâmetros observados, conforme mostra o Quadro 1.

Como técnica, utilizou-se o Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (IAN), proposto por Gomes *et al.* (2005). Segundo os autores, a técnica baseou-se na Classificação do Grau de Impacto de Nascente do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos de Portugal e no Guia de Avaliação da Qualidade das Águas da Rede das Águas, sendo aplicada e adaptada por diversos autores como Corrêa *et al.* (2016); Felipe (2009); Belizário (2015); França Júnior; Villa (2013); Leal *et al.* (2017); Malaquias e Cândido (2013); Oliveira *et al.* (2020) e Silva *et al.* (2018).

Quadro 1 - Parâmetros para a avaliação macroscópica das nascentes

Parâmetros macroscópicos avaliados	Classificação			OBSERVAÇÕES
	Ruim (1 ponto)	Médio (2 pontos)	Bom (3 pontos)	
1. Cor da água	Escura	Clara	Transparente	
2. Odor da água	Forte	Com Odor	Sem odor	
3. Lixo ao redor da nascente	Muito	Pouco	Ausente	
4. Materiais flutuantes (lixo na água)	Muito	Pouco	Ausente	
5. Afloramento	Assoreada	Difusa	Pontual	
6. Fluxo	Temporária	Intermitente	Perene	
7. Acesso	Fácil	Difícil	Sem acesso	
8. Vegetação (APP)	Degradada ou ausente	Alterada	Presente (nativa)	
9. Uso pela fauna	Presença	Evidência	Ausente	
10. Processos erosivos (APP e nascente)	Voçoroca e ravinas	Sulcos	Ausente	
11. Proteção (cerca)	Ausente	Presente, mas com fácil acesso	Presente, mas com difícil acesso	
12. Fragilidade dos Solos	Neossolos, Gleissolos	Cambissolos;	Nitossolos	
TOTAL	Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (IIAN)			
Ótimo: IIAN entre 36 e 34; Bom: IIAN entre 33 e 31; Razoável: IIAN entre 30 e 28; Ruim: IIAN entre 27 e 25; Péssimo: IIAN abaixo de 25.				

Fonte: adaptada de Gomes *et al.* (2005); Felipe Magalhães Júnior (2012); Malaquias e Cândido (2013); Leal *et al.* (2017).

Os doze parâmetros avaliados foram: cor da água, odor da água, lixo ao redor da nascente, materiais flutuantes (lixo na água), processos erosivos (Gomes *et al.*, 2005), acesso (Gomes *et al.*, 2005; Felipe, 2009), tipo de afloramento e fluxo (Malaquias e Cândido, 2013), vegetação na APP, uso pela fauna (Oliveira *et al.*, 2020) e proteção (Leal *et al.*, 2017).

O parâmetro fragilidade dos solos foi acrescido e adaptado para atender aos objetivos desta pesquisa. Esse parâmetro foi estabelecido de acordo com os resultados obtidos por Bonifácio (2019), que desenvolveu uma metodologia para elaboração de um modelo de Fragilidade Ambiental a partir daquela proposta por Ross (1994), procedendo a uma reformulação da classificação da fragilidade potencial e emergente. Segundo a autora citada, na metodologia original de Ross (1994), é atribuída importância maior aos aspectos do relevo (declividade ou distância interfluvial), que acabam por definir o grau de fragilidade, enquanto os outros atributos aparecem de forma complementar.

Já na proposta de Bonifácio (2019), considera-se os solos e as declividades com igual importância, justificando a valorização do elemento solo nessa avaliação de fragilidade incorporada à influência da rocha, do clima, da vegetação e dos fluxos hídricos condicionados pela topografia, dos organismos vivos, além das transformações desencadeadas por seu uso e

manejo. Bonifácio (2019, p.86) associou as “observações realizadas nos levantamentos de campo e os dados de erodibilidade dos solos paranaenses, além da comparação com resultados de outros estudos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1975; CAVALIERI, 1994; SILVA; ALVARES, 2005; MANNIGEL *et al.*, 2005 entre outros)”.

Conforme Oliveira *et al.* (2020) demonstra, para Interpretação do Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (IIAN), as notas dos fatores determinantes para a avaliação da qualidade ambiental são somadas e convertidas em classes de qualidade. Assim, as nascentes foram categorizadas quanto ao grau de conservação em relação aos impactos presentes em: A - ótimo (IIAN entre 36 e 34 pontos); B - bom (IIAN entre 33 e 31); C - razoável (IIAN entre 30 e 28); D - ruim (IIAN entre 27 e 25) e E - péssimo (IIAN abaixo de 25).

Ressalta-se que o parâmetro fragilidade do solo foi introduzido nesta avaliação para atender ao objetivo do trabalho que se refere a importância dos diferentes tipos de solos na manutenção da vazão das nascentes. O Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (IIAN) foi adaptado às necessidades e aos objetivos da área de estudo desta pesquisa, contudo, não transgrediu os pressupostos metodológicos originais.

### **3.3.5 Caracterização fisiográfica das nascentes**

A caracterização fisiográfica envolveu a descrição de parâmetros qualitativos do sistema ambiental obtidos nos trabalhos exploratórios de campo. Em seguida, a interpretação fisiográfica das nascentes foi elaborada a partir da bibliografia consultada como importantes para compreensão da dinâmica das nascentes, conforme corroboram Faria (1997), Felipe (2009; 2013) e Valente e Gomes (2005), sendo abordados em relação à: origem e tipo de exfiltração, sazonalidade, mobilidade, e, ainda, foi levado em consideração os contextos geomorfológico e geológico e o tipo de aquíferos.

## **3.4 ATIVIDADES DE LABORATÓRIO**

As atividades laboratoriais contemplaram a realização das análises físicas e químicas das amostras de solos coletadas nos horizontes pedológicos das trincheiras, dispostas ao longo das topossequências de solos das cabeceiras de drenagem.

### **3.4.1 Análises físicas do solo**

As análises físicas do solo foram executadas de acordo com os procedimentos do Manual de Métodos e Análise de Solo (EMBRAPA, 2017):

- Preparo de amostras e separação de terra fina, cascalho, calhaus e matacões: Método de tamisamento via seca
- Granulometria (Areia, silte e argila): Método da Pipeta
- Argila dispersa em água: Método da Pipeta
- Densidade do solo: Método do anel volumétrico
- Porosidade do Solo (Porosidade Total, Macroporosidade e Microporosidade): Método da Mesa de Tensão
- Diâmetro Médio Ponderado dos agregados (DMPa): Estabilidade de Agregados Via Seca.

#### **3.4.1.1 Teste da plintita**

Realizado de acordo com a EMBRAPA (2018, p.39), para o qual a plintita “suporta amassamento e rolamento moderado entre o polegar e o indicador, podendo ser quebrada com a mão”, as amostras foram submersas em água por período de duas horas, período no qual não foi observado esboroamento, mesmo submetida a suaves agitações periódicas, mas foi possível ser quebrada após ter sido submersa em água por mais de duas horas (Anexo 3).

#### **3.4.2 Análises Químicas do Solo**

As análises químicas foram realizadas para fins de classificação dos solos encontrados nas cabeceiras de drenagem. Foram determinados o pH em água e em KCl, a acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ), o Cálcio ( $Ca^{2+}$ ), o Magnésio ( $Mg^{2+}$ ), o Potássio ( $K^+$ ), o Alumínio ( $Al^{3+}$ ). Em seguida foram obtidas a soma de bases (Valor S), capacidade de troca catiônica (CTC), atividade da fração argila e saturação por bases (V %). A metodologia utilizada segue a proposta do Manual de Métodos de Análises de Solo (EMBRAPA, 2017).

##### **3.4.2.1 Determinação do Carbono orgânico e da Matéria Orgânica**

O procedimento foi realizado de acordo com Boletim técnico do Instituto Agrônomo de Campinas (2009, p.18) em que se determina “a oxidação da matéria orgânica do solo com solução de dicromato de potássio em presença de ácido sulfúrico, utilizando como catalisador da oxirredução o calor desprendido na diluição do ácido sulfúrico e titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal”. Para transformar o valor do carbono orgânico em porcentagem de matéria orgânica multiplicou-se o C pelo fator 1,725.

#### 3.4.2.2 Óxidos de ferro, alumínio e titânio extraídos por extrato sulfúrico

O ferro, alumínio e titânio foram extraídos a partir da solubilização das amostras de solo com  $H_2SO_4$ . As técnicas de determinação utilizadas no extrato obtido pelo ataque sulfúrico foram:

1.  $Fe_2O_3$  -Espectrometria de absorção atômica.
2.  $TiO_2$  -Colorimetria em Espectrofotômetro UV-Vis.
3.  $Al_2O_3$  -Complexometria (Titulação)

#### 3.4.2.3 Teste do Manganês

O teste para detecção de óxidos de manganês foi realizado de acordo com o manual da EMBRAPA (2017), adicionando gotas de água oxigenada comercial (10 volumes), a frio, em amostras de solo. A avaliação do conteúdo de manganês foi classificada como reação violenta, segundo a proposta do IBGE (2007), que ocorre quando a efervescência é forte, causando muitas vezes destruição dos agregados (Figuras 17 e 18).

Figura 17 - Amostra de solo iniciando efervescência após a adição de água oxigenada



Fonte: A autora (2021).

Figura 18 - Amostra de solo aproximadamente 15 minutos após a adição de água oxigenada



Fonte: A autora (2021).

## 4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 BREVE CONTEXTO HISTÓRICO

As cabeceiras de drenagem deste estudo possuíam a sua cobertura florestal nativa composta pela floresta Estacional Semidecidual Submontana (RODERJAN *et al.*, 2002). Devido a intensos processos de degradação em função de solos férteis propícios para a expansão da cultura cafeeira (RIGON, 2012), as Florestas Estacionais Deciduais primárias foram tornando-se escassas sendo restringidas apenas a fragmentos florestais, que por sua vez, foram afetados por impactos antrópicos e/ou naturais, apresentando variações na estrutura e composição das espécies, muitas vezes diferente da condição original (DICK, 2014).

Segundo relato do responsável pela fazenda onde estão localizadas as cabeceiras de drenagem, a área era utilizada para o cultivo do café, mas ele não soube informar o período com precisão. Nesse aspecto, Moro (1998) e Rigon (2012) apontam que a partir da década de 1970 a cafeicultura entra em decadência na região Norte do Paraná em decorrência de mudanças na política econômica, com consequente modernização da agricultura, além dos problemas de ordem climática.

De acordo com Moro (1998) e Rigon (2012), houve, nesse período, incentivos governamentais visando a erradicação dos cafezais e a introdução de culturas temporárias mecanizadas, agravadas pelas fortes geadas ocorridas no período, o modelo de ocupação e uso do solo ali vigente perdeu vitalidade e entrou em decadência, acarretando significativa perda de população rural como resposta à inovação tecnológica empreendida. No entanto, as características geomorfológicas de relevo dissecado da região (alta bacia do Rio Pirapó) onde estão localizadas as cabeceiras de drenagem, impedem a mecanização que, aliadas a presença de solos rasos como os Neossolos Litólicos e Regolíticos, pouco propícios para fins de atividade agrícola, fizeram com que essas áreas fossem destinadas para a pastagem (BONIFÁCIO, 2013).

Assim, a cafeicultura foi desaparecendo e cedendo espaço a novas formas de uso e ocupação do solo sem que houvesse consciência conservacionista, no intuito de maximizar a utilização da propriedade, por parte dos proprietários de terras. Em meio ao processo de expansão econômica e degradação ambiental surgem as preocupações visando a sustentabilidade, principalmente, dos recursos hídricos. Pode-se considerar como exemplo a criação das Áreas de Preservação Permanente (APPs), antigas “florestas protetoras”, que haviam sido definidas pelo então presidente militar Humberto Alencar Castello Branco, em 15 de setembro de 1965, pela lei nº 4.771, que substituiu o Código Florestal de 1934. Contudo, o

que se observa é a distância entre o que rege a legislação e o que se verifica na prática da aplicabilidade em relação a APP (AGLIO, 2012).

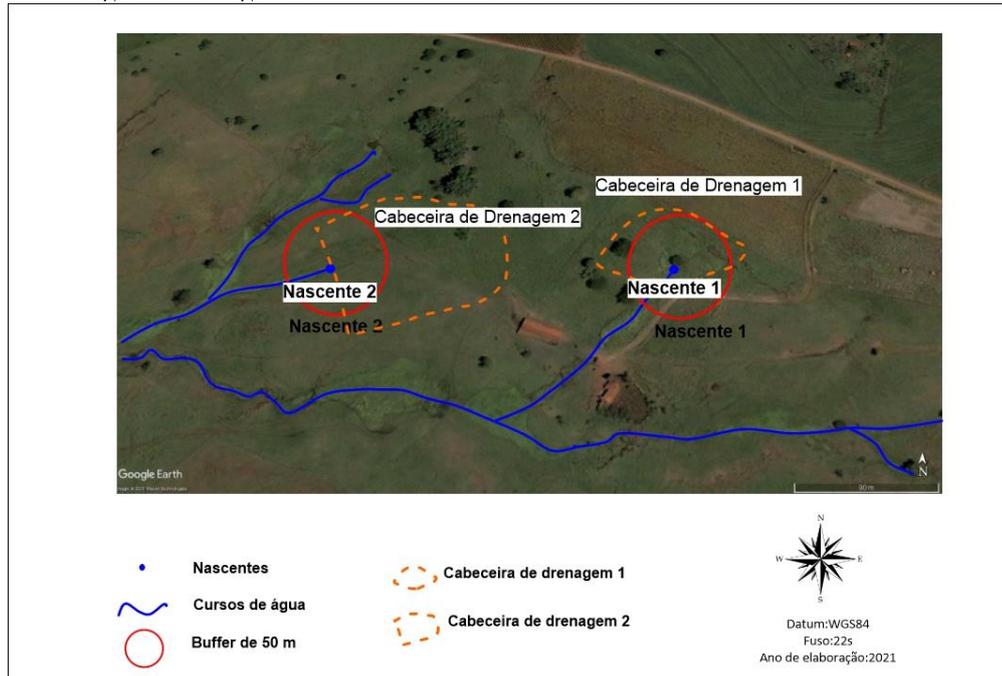
Com base nos pressupostos históricos mencionados, ao observar as mudanças temporais da APP em relação a área de estudo, verifica-se que em 2002 era possível constatar na imagem histórica do *Google Earth*, que a nascente 1 e 2 não apresentava APP (Figura 19), deixando as nascentes vulneráveis ambientalmente. Já a partir do ano de 2010, observou-se na área da nascente 1 (pela imagem histórica do *Google Earth*) o incremento da vegetação arbórea, quando comparada à imagem de 2002 (Figura 20).

Aparentemente, foi realizado o cercamento em torno da nascente, provavelmente para atender a Legislação ambiental que exigiria uma faixa de APP de raio mínimo de 50 metros, o mesmo não ocorreu para a nascente 2, possivelmente pela baixa declividade propiciar o uso de pastagem (Figura 20). É válido destacar que no período de 2008 a 2012, ocorria a discussão no âmbito nacional acerca da reformulação do código florestal brasileiro. Em 22 de julho de 2008 o governo brasileiro havia editado o Decreto nº 6.514 que dispusera sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, e estabelecia o processo administrativo federal para apuração de infrações. Ainda de acordo com esse decreto, exigia-se a averbação das áreas de Reserva Legal, sendo o não cumprimento cabível de advertência, multa diária por hectare ou fração da área de reserva legal.

No âmbito legislativo das questões ambientais, formou-se a partir de 2009 uma Comissão Especial na Câmara dos Deputados com o objetivo de elaborar um projeto de reformulação do Código Florestal. Em 25 de maio de 2011, o relator Aldo Rebelo apresentou à Câmara dos Deputados a proposta de revisão ao Código Florestal, a qual foi aprovada. Em sequência, foi encaminhada para o Senado Federal para análise, sendo revisada e aprovada uma nova versão para o Código Florestal em 06 de dezembro de 2011.

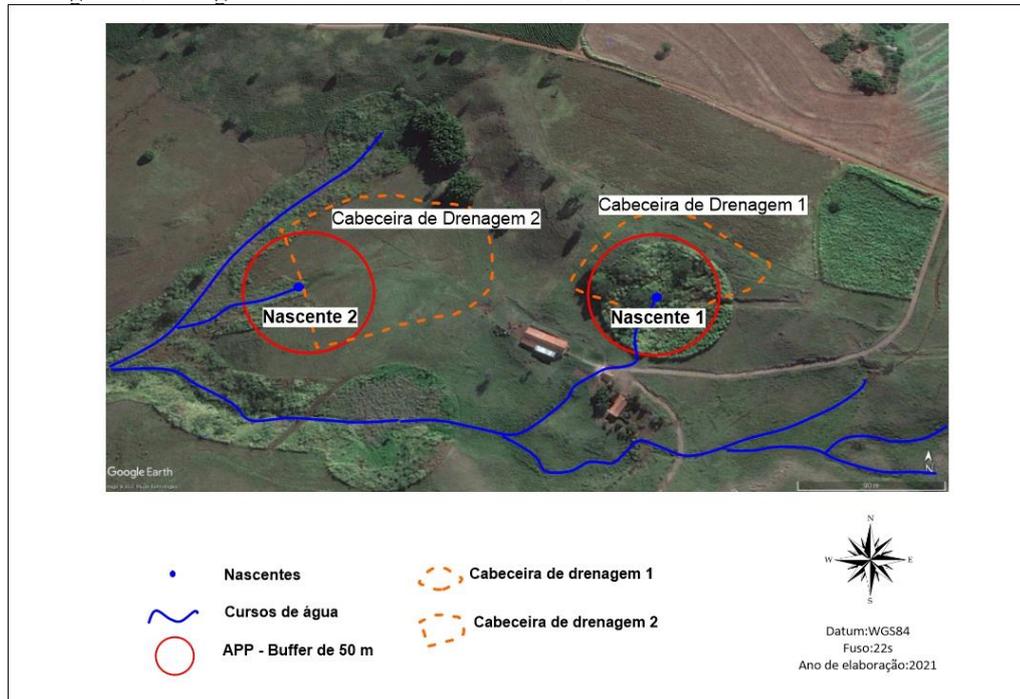
O texto de revisão do Código Florestal retornou, após a aprovação do Senado, para análise da Câmara dos deputados, pela qual foi revisado e aprovado no dia 25 de abril de 2012. O novo código foi publicado, através da Lei 12.651/2012, tendo realizado doze vetos e trinta e duas alterações no texto da proposta aprovada pela Câmara dos Deputados. Após a publicação da Lei 12.651/2012, foi editada a Medida Provisória 571/2012 que introduziu mais de 30 alterações a esta Lei, e posteriormente, foram editadas mais de 620 emendas à MP 571/2012 até o dia 05 de junho de 2012, conforme publicado por Lima (2012). O Código Florestal de 2012 sofreu diversas críticas referentes a sua promulgação, como apontado por Aglio (2012), Carmo et al. (2014), Führ (2015) e Vieira (2016).

Figura 19- Imagem do uso do solo de 2002 das nascentes e cabeceiras do estudo



Fonte: *Google Earth* (2020).

Figura 20 - Imagem do uso do solo do ano de 2010 das nascentes e cabeceiras do estudo

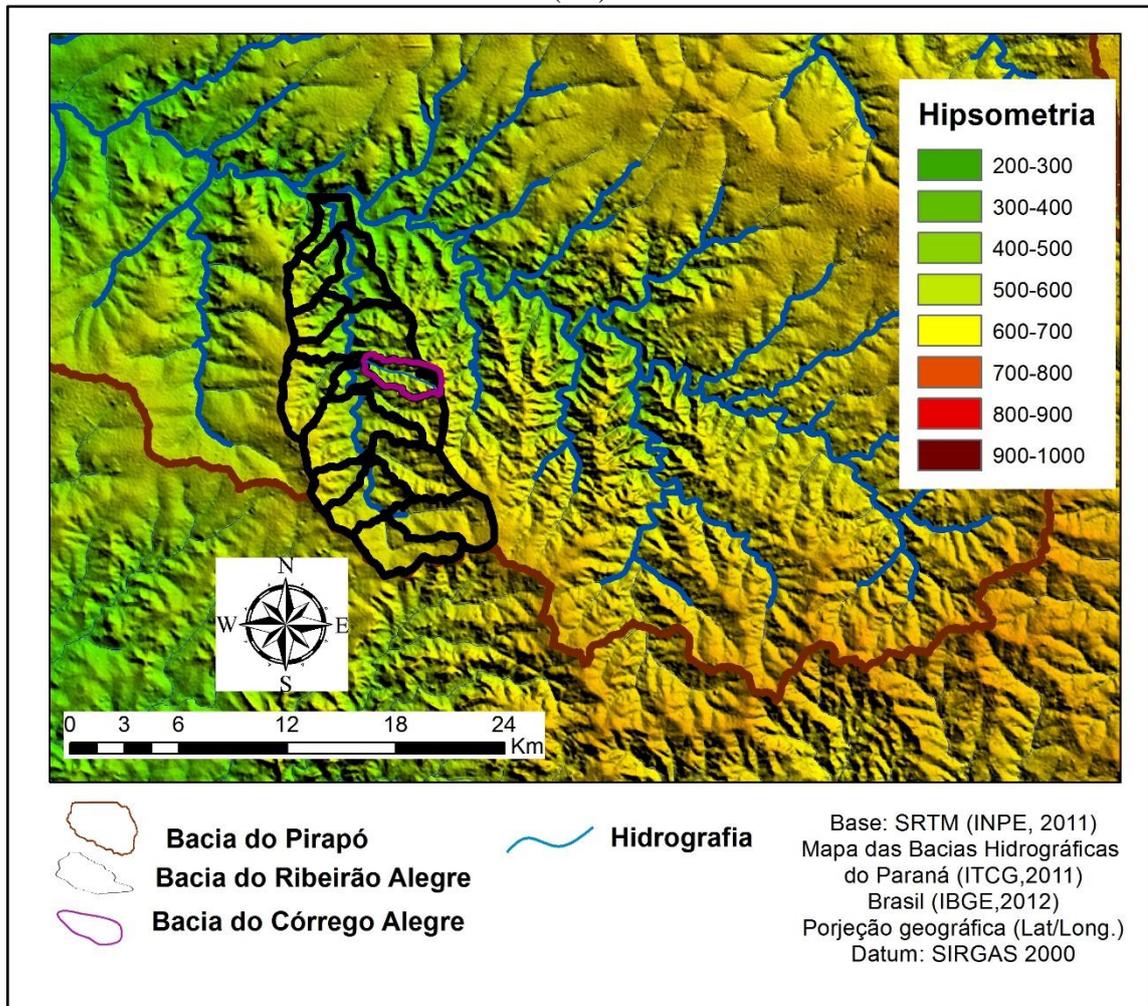


Fonte: *Google Earth* (2020).

## 4.2 CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO REGIONAL

As cabeceiras de drenagem estão localizadas na bacia hidrográfica do Córrego Alegre, afluente do Ribeirão Alegre, na alta bacia do rio Pirapó, em um setor do compartimento basáltico caracterizado pela forte dissecação do relevo (Figura 21).

Figura 21 - Localização das cabeceiras bacia hidrográfica do ribeirão Alegre, alta bacia do rio Pirapó (PR)



Elaboração: A autora (2021)..

O substrato geológico é aí constituído pela Formação Serra Geral composta por basaltos toleíticos e andesi-basaltos com alto teor de titânio (PICCIRILLO *et al.*, 1988), de coloração cinza escura a negra, hipocristalinos maciços ou vesiculares (PINESE; NARDY, 2003). Essas rochas foram formadas por derrames sucessivos e sub-horizontais de lavas que datam da era Mesozóica (MINEROPAR, 2006). A Formação Serra Geral constitui-se, desse modo, de uma espessa sequência de derrames de lavas basálticas (com intercalações de arenitos e brechas intertrapianas) sobrejacentes às camadas de arenitos eólicos da Formação Botucatu (MINEROPAR, 2006). A partir do setor médio e da baixa bacia hidrográfica do Pirapó, a Formação Serra Geral está recoberta pelas rochas sedimentares do Grupo Bauru,

principalmente os arenitos das formações Caiuá e Santo Anastácio. Nessas áreas, o basalto aflora apenas ao longo do vale do rio Pirapó, ocorrendo como uma faixa contínua com largura variável entre 10 e 20km (MINEROPAR, 2006).

Em cada derrame basáltico, conforme Guidicini e Campos (1968) explicam, distingue-se três compartimentações: a porção superior do derrame que apresenta a faixa de desgasificação em função do rápido resfriamento do magma, onde ocorrem as estruturas vesiculares e/ou amigdaloidais e onde acontece intenso diaclasamento horizontal; a porção central do derrame em que a rocha é maciça e exibe texturas de afaníticas a microcristalinas, e o diaclasamento é predominantemente vertical devido ao resfriamento mais lento das lavas por isotermas ascendentes; finalmente, a porção inferior do derrame, que é uma zona de rocha normalmente vítrea, com diaclasamento preferencialmente horizontal, cujo resfriamento ocorreu de maneira rápida, devido ao contato com o embasamento.

De acordo com Manasses *et al.* (2011):

As principais estruturas primárias são contatos interderrames (descontinuidades atectônicas de grande extensão lateral); zonas de basalto vesicular e amigdaloidal preenchidas principalmente por calcita, quartzo e zeólitas; áreas horizontais de basalto compacto, geralmente diaclasados, característicos de zonas de exclusão, além de tratos de base de derrame, raramente vesicular, com fraturas paralelas ao contato (MANASSES *et al.*, 2011, p. 60).

A área de estudo encontra-se sobre o padrão estrutural das zonas de falha NW Curitiba/Maringá, que é limitada por duas falhas principais: a falha de São Jerônimo/Curiúva, ao norte, e a falha do Rio Alonzo, ao Sul (FRAGAS, 1986). “Os milhares de lineamentos NW que representam a zona de falha Curitiba/Maringá estão normalmente preenchidos por diques de diabásio. A ocorrência de grandes diques, alguns com espessura da ordem de centenas de metros, e deformações associadas, são típicas das zonas de falhas com direção NW” (SOUSA, 2004, p.16).

As fraturas observadas na Formação Serra Geral não são de grandes extensões, possuem algumas centenas de metros e originaram-se sobretudo do resfriamento das lavas basálticas, mas também por alívios de cargas. Entretanto, nos casos averiguados pela regularidade da superfície de quebra e persistência nas orientações, é provável que esses elementos também tenham sido desencadeados por atividade tectônica, possivelmente associada à atividade do Arco de Ponta Grossa (MARTINEZ, 2005). Um estudo detalhado foi realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A (1981) na região de Mandaguari, o qual demonstrou que os lineamentos de origem tectônica tinham orientação N40-60E e N40-60W. Esses lineamentos constituíam-se de fraturas com planos regulares de pouca abertura,

frequentemente preenchidas por calcedônia, zeólitas, calcita e clásticos finos quase sempre recobertos por películas de óxido e hidróxido de ferro.

A Formação Serra Geral (Cretáceo Inferior), abriga o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG – fissural). Nele, o armazenamento da água subterrânea ocorre ao longo de falhas e fraturas das rochas e da intercalação com rochas mais permeáveis, segundo Athayde e Athayde (2016):

O modelo eruptivo tradicionalmente aceito para a Formação Serra Geral é o “fissural”, composto por magmas basálticos e basalto-andesíticos que fluíram por falhas e fraturas NW-SE. O principal fluxo subterrâneo em aquíferos vulcânicos ocorre na horizontal, e secundariamente por estruturas verticais. As estruturas verticais possibilitam a recarga e mistura de águas entre diferentes derrames, bem como intercomunicam diferentes aquíferos dependendo das relações potenciométricas. (ATHAYDE; ATHAYDE, 2016 p.320).

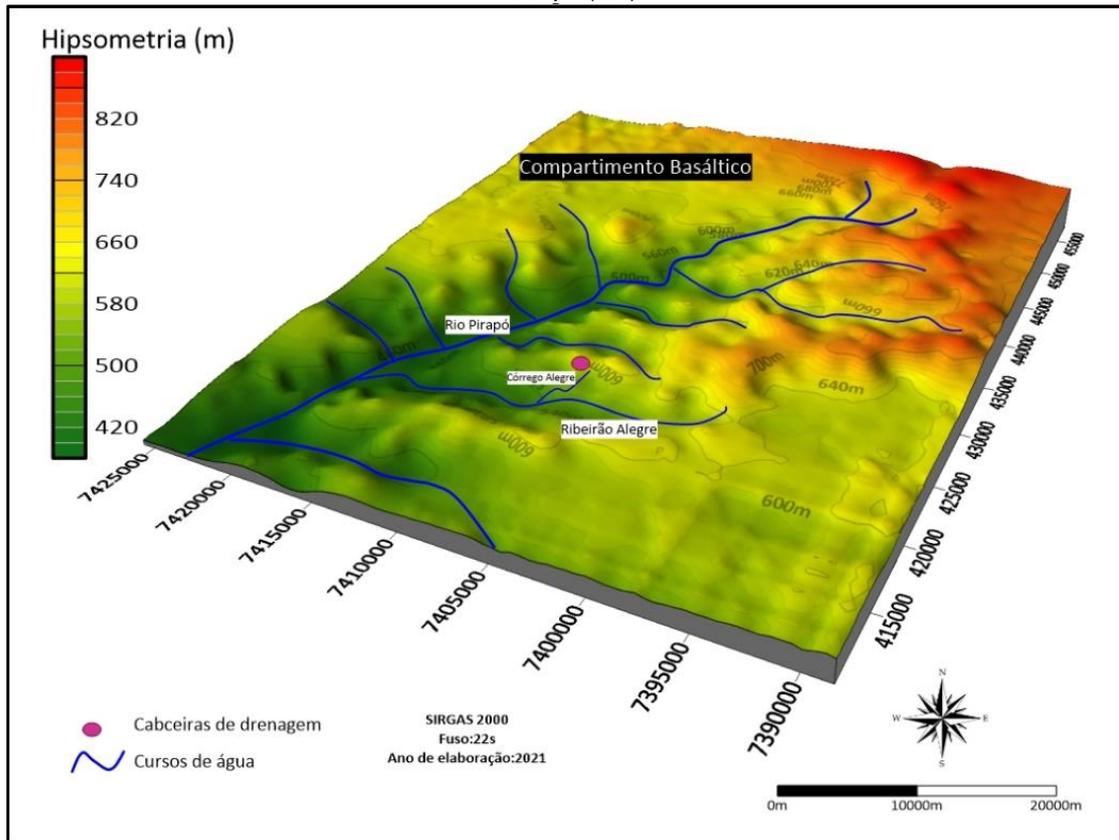
Uma característica importante do aquífero Serra Geral é o fato de ser constituído por rochas originalmente impermeáveis. Em função da ação da tectônica e do processo de resfriamento das rochas ígneas, criou-se uma porosidade e permeabilidade secundárias que permitem a circulação e o armazenamento de água nessas estruturas (MANASSES, 2011).

Em relação ao relevo, a área de estudo está localizada na subunidade morfoescultural denominada Planalto de Apucarana, situada no Terceiro Planalto Paranaense, e apresenta dissecação com um gradiente de 620 metros com altitudes variando entre 300 (mínima) e 920 (máxima). As formas predominantes são topos alongados, vertentes convexas e vales em “V”. A direção geral da morfologia é NW/SE, modelada em rochas da Formação Serra Geral (MINEROPAR, 2006).

O sistema hidrográfico é predominantemente do tipo dendrítico e percebe-se seu condicionamento com os sistemas de falhamentos e fraturamentos da estrutura geológica regional, principalmente no sentido NW-SE. Martinez (2005, p.45) salienta que a rede de drenagem da área mantém uma estreita relação com o substrato rochoso, “possuindo quase que invariavelmente leito em rocha, com alguns trechos encaixados que formam pequenos “*canyons*” além de numerosas corredeiras e cachoeiras em degraus”.

A área de estudo está situada em um setor do compartimento basáltico (Figura 22) caracterizado por topos estreitos e vertentes mais curtas em patamares, alternando segmentos de alta declividade com segmentos de média declividade, expondo rupturas acentuadas e frequentes afloramentos de blocos rochosos que são, em geral, recobertas por Neossolos Litólicos e/ou Regolíticos (NÓBREGA *et al.*, 2015).

Figura 22 - Rede de drenagem e hipsometria do compartimento basáltico da bacia hidrográfica do Rio Pirapó (PR)



Elaboração: A autora (2021).

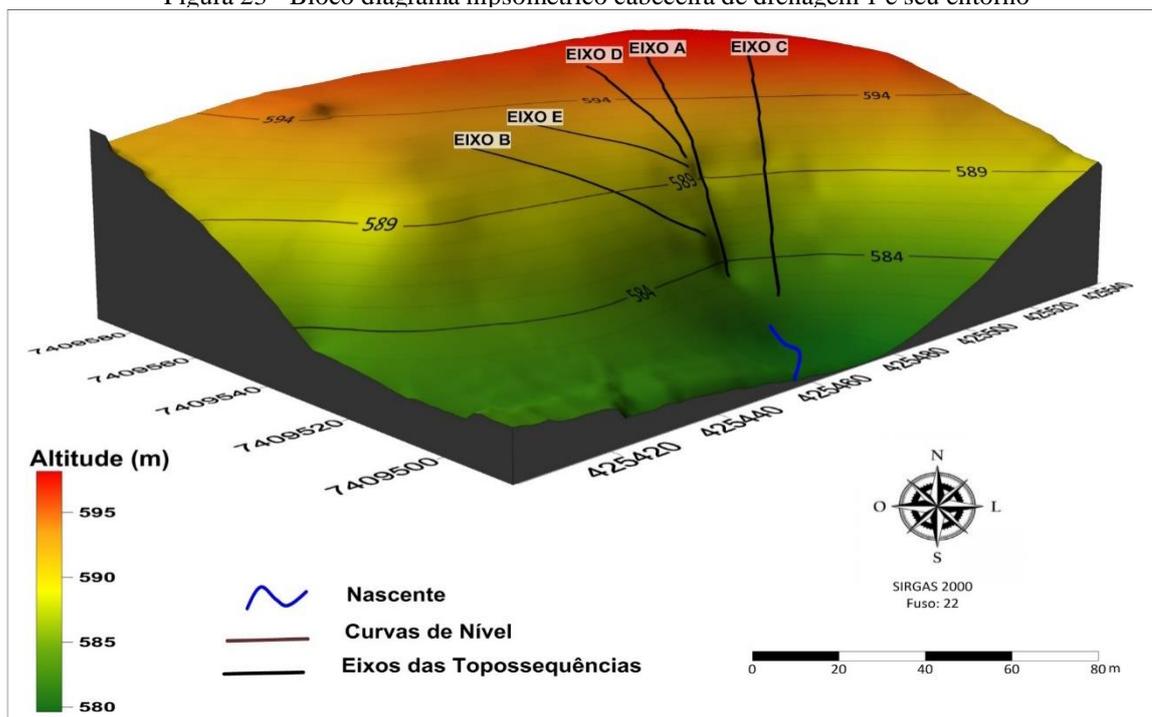
As cabeceiras de drenagem analisadas estão próximas à área do interflúvio. A cabeceira 1 está associada a uma área de ruptura marcada por declividade em posição de alta encosta. A cabeceira 2 aparece em posição mais baixa, associada a um vale em berço instalado em um segmento inclinado da vertente, e de declividade de fraca a moderada.

Diante do exposto, a seguir serão apresentados e discutidos os resultados embasados nos levantamentos de campo e análises físicas e químicas do solo para as topossequências das duas cabeceiras de drenagem, privilegiando a análise tridimensional da cobertura pedológica. Em seguida, serão apresentados também os aspectos físico-geográficos de cada cabeceira de drenagem e de suas respectivas nascentes. Convencionou-se denominar de Nascente 1 a que está localizada na cabeceira de drenagem 1, e de Nascente 2, a que está situada na cabeceira de drenagem 2. Por fim, serão analisadas as interações das características ambientais de ambas as cabeceiras e nascentes.

### 4.3 CABECEIRA DE DRENAGEM UM: MORFOLOGIA DAS VERTENTES, SISTEMAS PEDOLÓGICOS E SUAS PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS, FÍSICAS, HÍDRICAS E QUÍMICAS

A cabeceira de drenagem possui uma área de 10,571 m<sup>2</sup> e está localizada entre as cotas altimétricas de 580 a 600 m de altitude (Figura 23).

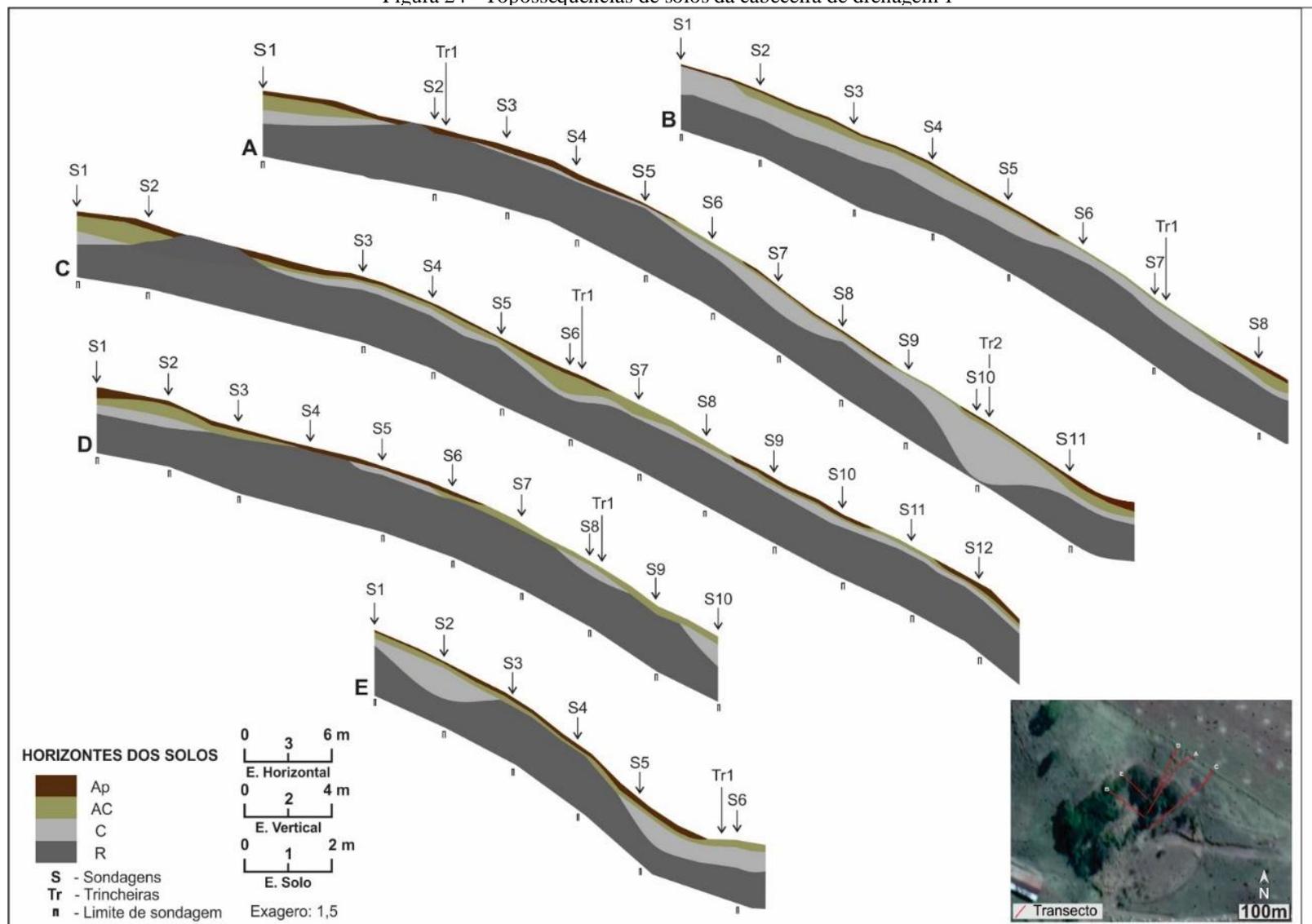
Figura 23 - Bloco diagrama hipsométrico cabeceira de drenagem 1 e seu entorno



Elaboração: A autora (2021).

Na primeira cabeceira de drenagem analisada, considerou-se os aspectos morfológicos da vertente em relação a nascente, assim, foram traçadas cinco topossequências que receberam a denominação de eixos A; B; C; D e E (Figura 24). As principais características dessas topossequências serão descritas separadamente, iniciando pela organização e morfologia dos horizontes pedológicos ao longo dos eixos, em consonância com a forma das vertentes. Para tanto, objetivando o entendimento e detalhamento dos limites dos horizontes que compõem a cobertura pedológica dessas topossequências, optou-se pela setorização em segmento: alto, médio e baixo

Figura 24 - Topossequências de solos da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: a Autora (2021).

Em sequência, foram abordadas as propriedades granulométricas, assim como os dados de densidade, porosidade, diâmetro médio ponderado de agregados (DMPa), condutividade hidráulica saturada (Kfs) e caracterização química dos perfis de solo da cobertura pedológica para cada eixo. Destaca-se que para as propriedades de densidade, porosidade e DMPa apenas os horizontes superficiais (Ap e AC) foram analisados em função da pedregosidade em subsuperfície.

#### **4.3.1 A Topossequência de solos do eixo A**

A primeira topossequência denominada de eixo A, está localizada no alinhamento central a cabeceira em relação a nascente, entre as coordenadas de 7409565, 965 m de latitude Sul; 425508,857 m de longitude Oeste (no setor alto); 7409515,120 m latitude Sul e 42547,141 m longitude Oeste (setor baixo). Em relação ao uso do solo, a topossequência apresenta 22m de extensão utilizada para o sistema de pastagem no setor alto, bem como 38m de sua extensão com vegetação arbórea, abrangendo os segmentos médio e baixo da topossequência (Figura 25).

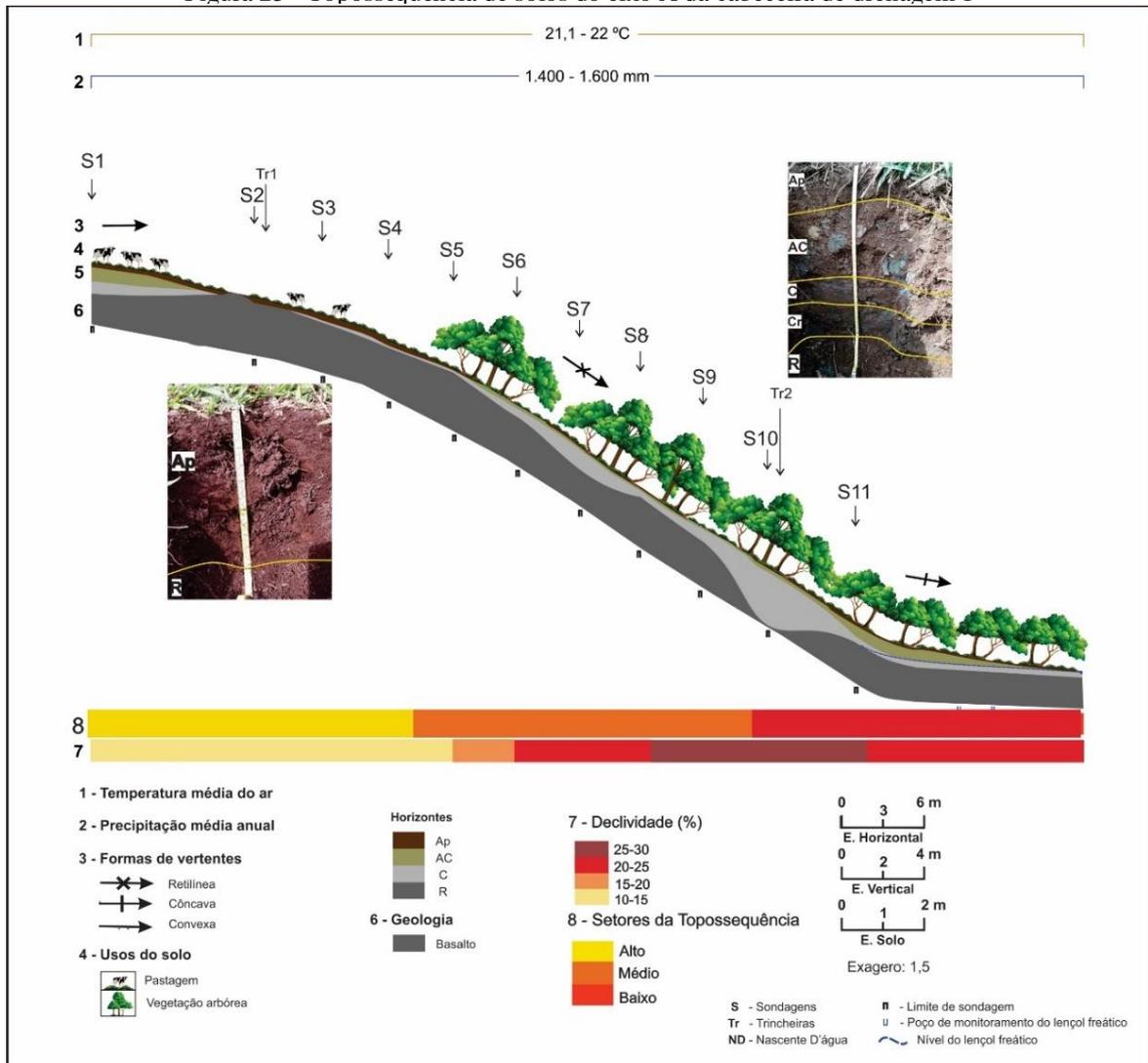
O eixo A (Figura 25) estende-se por 60 metros de extensão e apresentou 18 metros de desnível topográfico. O perfil topográfico demonstra as mudanças que ocorrem ao longo da topossequência, configurando assim, um setor alto com morfologia convexa, um médio de forma retilínea, passando a forma suavemente côncava na porção baixa. A hipsometria da topossequência do Eixo A varia de 582 a 597 m de altitude.

No levantamento pedológico preliminar da topossequência do eixo A, foram realizadas onze sondagens que permitiram identificar a ocorrência da classe dos Neossolos, constituído pelos horizontes Ap, AC, C e R (Tabela 4). Em sequência, foram abertas ao longo do eixo A duas trincheiras para as descrições morfológicas dos horizontes dos solos e de suas respectivas transições.

No setor alto da topossequência o horizonte Ap teve um espessamento variando de 10 a 27cm. Devido à proximidade do afloramento rochoso, verificou-se o horizonte Ap sobreposto diretamente sobre a rocha sã, configurando a sequência de horizontes Ap e R. Neste segmento alto foi aberta a primeira trincheira (TR1) do eixo A, para a caracterização morfológica dos horizontes. Na trincheira (TR1) localizada no setor alto da topossequência, o horizonte Ap apresentou 27cm de espessura, sobreposto diretamente sobre a rocha sã, e exibiu cores de matiz 2,5YR 2,5/2 (vermelho-muito-escuro acinzentado) e textura argilosa.

A estrutura do horizonte Ap, é de grau moderado a forte, de tamanho médio, tipo granular e em blocos subangulares. A consistência quando seca é solta a macia, quando úmida é muito friável e quando molhada é plástica e pegajosa. O horizonte Ap (TR1) apresenta transição de topografia plana e nitidez clara para o horizonte R. Nos segmentos médio e baixo da topossequência, a transição para o horizonte subsuperficial AC é de nitidez clara e forma plana. Em direção ao setor médio da topossequência ocorre a mudança na morfologia da vertente de convexa para retílinea onde há a diminuição no espessamento do horizonte Ap de 27 para 15 cm. À medida que a declividade aumenta, a espessura do horizonte Ap reduz para 5 cm de espessura até o local em que sofre uma descontinuidade (desaparecimento entre as sondagens 4 e 6).

Figura 25 - Topossequência de solos do eixo A da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

Tabela 4 - Descrição morfológica dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1

HORIZONTES (cm)	COR	TEXTURA	ESTRUTURA	CONSISTÊNCIA	TRANSIÇÃO	RAÍZES	Observações
TR1-EIXO A – NEOSSOLO LITÓLICO							
Ap (0-27)	2,5YR 2,5/2	Argilosa	Grau: Moderada a forte Tamanho: Média Tipo: granular e bloco subangular	Seca: solta a macia Úmida: muito friável Molhada: plástica e pegajosa	clara plana	Muito finas e abundantes	
R (27+)	-	-	-	-	-	-	
TR2-EIXO A – NEOSSOLO LITÓLICO							
Ap (0-10)	2,5YR 2,5/4	Siltosa	Grau: forte Tamanho: pequena a Média Tipo: granular	Seca: solta a macia Úmida: muito friável Molhada: muito plástica e muito pegajosa	clara ondulada	Muito finas, finas, média e abundantes	
AC (10-37)	2,5YR3/6	Siltosa	Grau: fraca a moderada Tamanho: pequena a média Tipo: blocos subangulares	Seca: solta Úmida: muito friável Molhada: plástica e pegajosa	clara plana	Muito finas e abundantes	Fragmentos de rochas alteradas de cor 7,5 YR 4/10 e 7,5 YR 6/8
C (37-49)	-	-	-	-	-	-	Fragmentos de rochas alteradas, predomínio de cor 7,5 YR 4/0
Cr (49-70)	-	-	-	-	-	-	Presença de estrutura de rocha original (vesículas e amígdalas preenchidas por calcita)
R (70+)	-	-	-	-	-	-	

Elaboração: A autora (2021).

No setor médio, o horizonte Ap novamente sofre descontinuidade (desaparece entre as sondagens 8 e 9) tornando a se desenvolver na parte baixa da topossequência, com 5cm de espessura. A descontinuidade do horizonte Ap e a redução da sua espessura, que ocorre na porção média da topossequência, decorre possivelmente de processos de erosão superficiais condicionados pelo aumento das classes de declividade.

Na TR2, o horizonte Ap exprimiu 10 cm de espessura, apresentando coloração-bruno-avermelhado-escura (2,5YR 2,5/4), de textura siltosa. O horizonte Ap (TR2) manifesta um grau de estrutura forte, de tamanho pequeno a médio e tipo granular. A consistência variou de solta a macia quando seca, muito friável quando úmida, e muito plástica e muito pegajosa quando molhada. Ocorre a transição do horizonte Ap para o horizonte AC com nitidez clara e topografia ondulada.

O horizonte AC, no setor alto da topossequência, apresenta 35 cm de espessura. No segmento médio, o horizonte AC emerge superficialmente (entre as sondagens 4 e 6) com 5 a 10 cm de espessura, respectivamente. A partir da seção média em direção à parte baixa da topossequência, o horizonte AC apresenta 5cm de espessura subjacente ao horizonte Ap. Em virtude da remoção do horizonte Ap, o horizonte AC é exposto na superfície com 5cm de espessura no final do setor médio baixo da topossequência. Dessa forma, observa-se a redução do espessamento do horizonte AC ao longo da topossequência. Com base na descrição morfológica do perfil de solo da TR2, foi possível verificar as características morfológicas do horizonte AC.

Assim, o horizonte AC (TR2) apresenta 27 cm de espessura com coloração vermelho escuro (2,5YR3/6), é texturalmente siltoso, exprime estrutura de grau fraco a moderado, tamanho de pequeno a médio e tipo em forma de blocos subangulares. A consistência seca é solta e, quando úmida é muito friável, e plástica e pegajosa quando molhada. Nesse horizonte, pode-se verificar fragmentos de rocha alterada de coloração cinza-escuro (7,5YR4/0) e amarelo-avermelhado (7,5YR6/8). O horizonte AC transaciona para o horizonte C de forma plana e nitidez clara.

O horizonte C apresenta-se pouco alterado por processos pedogenéticos e pode ser observado em todos os setores do eixo A. No segmento alto, onde a curvatura é convexa, apresenta cerca de 30 cm espessura e varia entre as profundidades de 45 a 75 cm. No segmento médio da topossequência, pode ser encontrado de 5 a 30cm de profundidade, variando sua espessura entre 5 e 20 cm.

Na porção baixa da topossequência, o horizonte C pode ser observado de 15 a 45 cm de espessura, passando a 35 a 50 cm até o final do segmento do eixo A, próximo à nascente. No

setor baixo, no perfil de solo da TR2, a descrição morfológica demonstra que o horizonte C possui fragmentos de rocha de cor cinza escuro (7,5YR4/0). Nesse horizonte há o aumento dos fragmentos de rocha alterada em comparação ao horizonte AC. A partir de 49 até 7cm, observa-se a diminuição da quantidade de fragmentos de rocha alterada e um aumento substancial de fragmentos mais resistentes com estrutura da rocha original ocupando cerca de 90 % do volume do horizonte. A presença de material endurecido subjacente constituído por rocha pouco alterada foi denominado como horizonte Cr. A partir de 70 cm (TR2) subjacente ao horizonte Cr, foi identificado o horizonte R.

O horizonte R foi encontrado nessa topossequência a uma profundidade de 75 cm no setor alto. Conforme aproximação com o afloramento rochoso, é encontrado mais próximo a superfície em profundidades de 15 cm. Na divisão média da topossequência, o horizonte R possui uma conformação oscilatória em termos de profundidade, em consonância com o aumento gradativo da declividade. Dessa forma, pode ser observada de 20 a 65 cm no segmento médio, e de 25 até 35 cm até o baixo. Pontualmente é identificado a partir de 100 cm, onde ocorre a modificação da morfologia da curvatura de retílinea para côncava.

#### 4.3.1.1 Propriedades físicas e hídricas dos solos

##### 4.3.1.1.1 Granulometria e argila dispersa em água

Conforme consta na Tabela 5, os solos da topossequência do eixo A apresentaram quantidade significativa de frações grosseiras em seus perfis. As frações grosseiras referem-se, segundo a EMBRAPA (2018), aos fragmentos grosseiros com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões).

Tabela 5 - Proporção de frações grosseiras nos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1

Horizontes	prof. (cm)	Frações grosseiras (g.kg <sup>-1</sup> )	Frações Finas (g.kg <sup>-1</sup> )
<b>EIXO A – TR1 - NEOSSOLO LITÓLICO</b>			
Ap	0-27	645	355
R	27+	-	-
<b>EIXO A – TR2 - NEOSSOLO LITÓLICO</b>			
Ap	0-10	670	330
AC	10-39	810	190
C	39-49	900	100
Cr	49-70	920	80
R	70+	-	-

Frações grosseiras - fragmentos grosseiros com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões) Frações finas - frações menores que 2 mm (areia, silte e argila)

Elaboração: A autora (2021).

O horizonte Ap da TR1 apresentou a quantidade de frações grosseiras na ordem de 645 g.kg<sup>-1</sup>, enquanto para os horizontes da TR2, Ap, AC, C e Cr os valores foram de 670 g.kg<sup>-1</sup>, 810 g.kg<sup>-1</sup>, 900 g.kg<sup>-1</sup> e 920 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Estes resultados são semelhantes aos verificados por Pedron *et al.* (2009), que encontraram valores para fragmentos grosseiros em Neossolos Litólicos e Regolíticos no horizonte A que variaram desde 230 g.kg<sup>-1</sup> até 760 g.kg<sup>-1</sup> e no horizonte Cr/A, com variação de 590 g.kg<sup>-1</sup> até 870 g.kg<sup>-1</sup>.

Observa-se que no horizonte Ap da TR1, a quantidade de fragmentos grosseiros foi menor em relação ao horizonte Ap da TR2. Stürmer (2008) fez observação similar comparando os perfis de cinco Neossolos Regolíticos no Rio Grande do Sul. De acordo com o autor, para os Neossolos associados ao relevo plano a contribuição de fragmentos grosseiros foi menor no horizonte A, sendo em torno de 20%. Nesse caso, segundo o autor, o relevo pode ter facilitado a acumulação superficial de material com menor diâmetro e impedido a perda dos mesmos por erosão, contudo, também foi observado em local com relevo forte ondulado, onde a presença de material grosso foi de aproximadamente 67 %.

Em relação às análises granulométricas das frações finas (TR1 e TR2), evidenciou-se a predominância da fração silte, enquanto a fração areia apresentou menor expressividade nos perfis (Figura 26 e Tabela 6). O horizonte Ap da TR1 apresentou 75 g.kg<sup>-1</sup> de teor de areia, enquanto no horizonte Ap da TR2 o valor foi de 66 g.kg<sup>-1</sup>, caracterizando uma redução de 12 % no percentual de areia do setor alto na TR1, em direção à porção baixa da topossequência na TR2. Nos horizontes AC, C e Cr da TR2 os valores de areia foram 65 g.kg<sup>-1</sup>, 90 g.kg<sup>-1</sup> e 69 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

No que diz respeito à fração silte, no horizonte superficial Ap da TR1 verifica-se que o valor de silte foi de 526 g.kg<sup>-1</sup> e 706 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap da TR2. No horizonte subsuperficial AC da TR2, foi obtido o valor de 647 g.kg<sup>-1</sup>, enquanto no horizonte C o valor foi de 602 g.kg<sup>-1</sup> e no horizonte Cr 637 g.kg<sup>-1</sup>. A prevalência da fração silte em relação à argila ocorreu em todos os horizontes da TR1 e TR2, sendo esse resultado proveniente da menor espessura do solo e proximidade com o material de origem (ROCHA, 2011; ALHO *et al.*, 2007).

Em relação aos resultados da fração argila nos perfis das trincheiras, o maior resultado foi de 399 g.kg<sup>-1</sup> encontrado no horizonte Ap da TR1. Na TR2 foram obtidos os valores de argila de 228 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap, 288 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte AC, 308 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte C e 294 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Cr (Figura 26 e Tabela 6).

Figura 26 - Variação granulométrica dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1

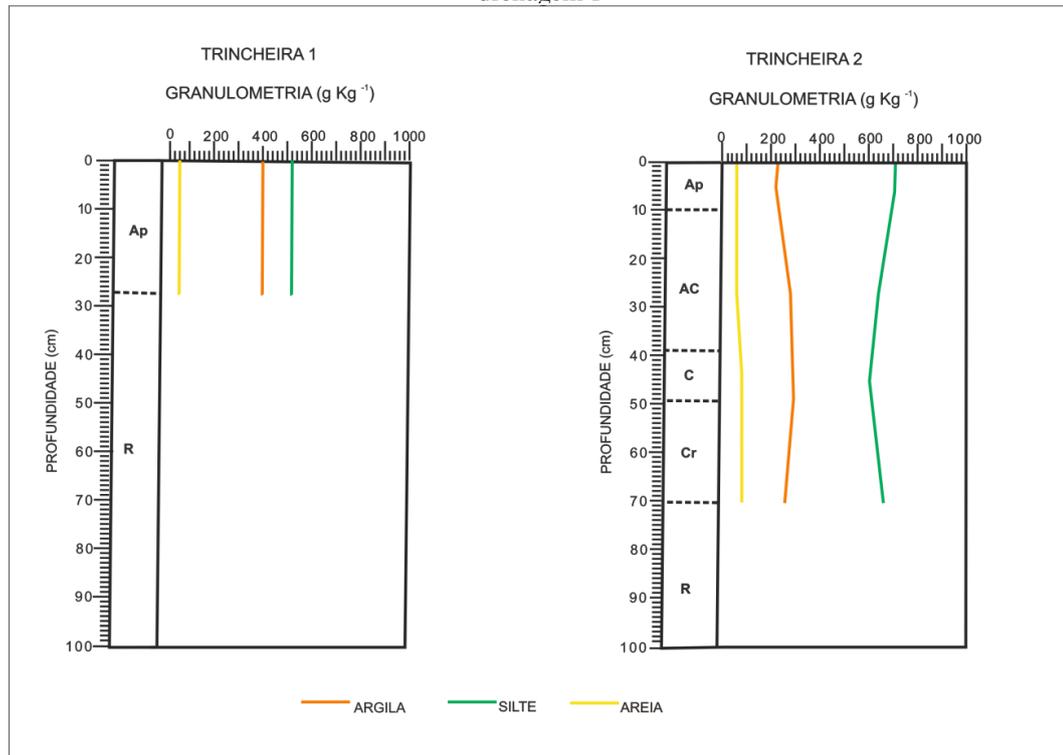


Tabela 6 - Características granulométricas dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1

EIXO A – TR1- NEOSSOLO LITÓLICO										
Prof. (cm)	Hor.	Argila (g.kg <sup>-1</sup> )	Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	Areia (g.kg <sup>-1</sup> )	Textura	Silte/argila	GD (%)	GF (%)	ADA (g.kg <sup>-1</sup> )	
0-27	Ap	399	526	75	Argilosa	1,32	46,87	53,13	187	
27+	R	-	-	-	-	-	-	-	-	
EIXO A- TR2- NEOSSOLO LITÓLICO										
0-10	Ap	228	706	66	Siltosa	3,10	37,72	62,28	86	
10-39	AC	288	647	65	Siltosa	2,25	48,26	51,74	139	
39-49	C	308	602	90	Siltosa	1,95	49,03	50,97	151	
49-70	Cr	294	637	69	Siltosa	2,17	84,69	15,31	249	
70+	R	-	-	-	-	-	-	-	-	

GD – Grau de dispersão da argila; GF- grau de floculação da argila; ADA- argila dispersa em água

Elaboração: A autora (2021).

Pode-se verificar que se dá uma redução de argila do setor alto em direção a parte baixa da topossequência no horizonte Ap, e conseqüentemente, um aumento da fração silte. Esse resultado sugere a influência da topografia (declividade) conjuntamente com a proximidade do

material de origem na superfície. Observa-se ainda, o aumento em profundidade do teor da argila do horizonte Ap ( $228 \text{ g.kg}^{-1}$ ) em direção ao horizonte Cr ( $294 \text{ g.kg}^{-1}$ ) na TR2 do eixo A. Pedron (2007) constatou um aumento nos teores de argila em profundidade, em quatro de cinco perfis estudados de Neossolos Litólicos e Regolíticos no Rio Grande do Sul.

A composição granulométrica das frações finas do horizonte Ap (TR1) em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela EMBRAPA (2018), permitiu a classificação deste horizonte em textura argilosa em função de exibir seu conteúdo de argila entre  $350 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $600 \text{ g.kg}^{-1}$ . Os horizontes Ap, AC, C, Cr da TR2, foram classificados com a textura siltosa por possuírem composição granulométrica com menos de  $350 \text{ g.kg}^{-1}$  de argila e menos de  $150 \text{ g.kg}^{-1}$  de areia.

Ademais, foi possível verificar na relação silte/argila o baixo nível de intemperismo dos solos, evidenciado pelos valores na TR1 de 1,32 no horizonte Ap, e na TR2 de 3,10 no horizonte Ap, 2,25 no horizonte AC, e 1,95 no horizonte C. Segundo a EMBRAPA (2018), a relação silte/argila indica alto grau de intemperismo quando apresenta valor inferior a 0,6 nos solos de textura argilosa ou muito argilosa (Tabela 6).

Em relação a argila natural (dispersa em água), no horizonte Ap da TR1 o valor foi de  $187 \text{ g.kg}^{-1}$ . Na TR2 foram encontrados os valores de  $86 \text{ g.kg}^{-1}$  no horizonte Ap,  $139 \text{ g.kg}^{-1}$  no horizonte AC,  $151 \text{ g.kg}^{-1}$  no horizonte C e  $249 \text{ g.kg}^{-1}$  no horizonte Cr. Verifica-se que a argila natural aumenta em profundidade, na qual os teores de argila total também são mais elevados. Para o grau de floculação da argila na TR1 foi obtido o valor de 53,13 % no horizonte Ap. Na TR2 foram aferidos os valores de 62,28 % no horizonte Ap, 51,74 % no horizonte AC, 50,97 % no horizonte C e 15,31 % no horizonte Cr.

Nota-se que no horizonte superficial Ap (TR1 e TR2) a argila está mais floculada, possivelmente devido à presença da matéria orgânica estando de acordo com Metzner *et al.* (2003), segundo os quais as partículas de argila e matéria orgânica, em solo onde não há o revolvimento periódico e intensivo, agem como agregantes na floculação preservando boas condições estruturais.

#### 4.3.1.1.2 Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total

A densidade do solo encontrada na TR1 foi de  $1,18 \text{ g.cm}^{-3}$  para o horizonte Ap, na TR2,  $1,23 \text{ g.cm}^{-3}$  para o horizonte Ap e  $1,27 \text{ g.cm}^{-3}$  para o horizonte AC (Tabela 7). Em termos gerais, os resultados de densidade da topossequência podem ter sofrido influência da matéria orgânica

no horizonte superficial Ap. O aumento da densidade em profundidade na TR2 possivelmente está relacionado ao incremento de argila no horizonte AC.

Tabela 7 - Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) dos perfis de solo do eixo A da cabeceira de drenagem 1

Horizonte	Prof.(cm)	Ds (g.cm <sup>-3</sup> )	Ma (%)	Mi (%)	Pt (%)	Proporção da Porosidade Total	
						Macro (%)	Micro (%)
TR1 - NEOSSOLO LITÓLICO							
Ap	0-27	1,18	8,65	34,04	42,69	20,26	79,74
R	27+						
TR2 - NEOSSOLO LITÓLICO							
Ap	0-10	1,23	4,92	41,34	46,26	10,63	89,37
AC	10-39	1,27	12,46	34,17	46,62	26,72	73,28
C	39-49	-	-	-	-		
Cr	49-70	-	-	-	-		
R	70+	-	-	-	-		

Ds – Densidade do solo; Ma – macroporosidade; Mi – microporosidade; Pt – porosidade total

Elaboração: A autora (2021).

Broch (2016), com o objetivo de verificar a influência do silte nas propriedades físico-hídricas em Neossolos, realizou coletas em profundidades de 0 a 10cm, em 18 pontos do Rio Grande do Sul em sistema plantio direto. A autora concluiu que a densidade do solo diminuiu nas amostras com o aumento de silte e matéria orgânica, tendo encontrado valores que variaram entre 1,09 e 1,46 g.cm<sup>-3</sup>. Não obstante, Braida *et al.* (2011) indicam que o aumento no teor de matéria orgânica no solo reduz a sua densidade, pelo fato do material orgânico apresentar densidade menor do que os sólidos minerais presentes no solo.

Sob os aspectos da porosidade total (Tabela 7) foram encontrados os valores de 42,69 % no horizonte Ap da TR1, 46,26 % no Ap e 46,62 % no AC da TR2. Para a microporosidade, os valores encontrados foram na TR1 de 34,04 % no horizonte Ap. Na TR2, a microporosidade foi de 41,34 % no horizonte Ap e 34,17 % no horizonte AC da. Para os dados de macroporosidade foram obtidos valores de 8,65 % no horizonte superficial Ap da TR1, 4,92 %, no horizonte Ap da TR2 e 12,46 % no horizonte AC também da TR2. Dessa forma, constata-se que a microporosidade representou 79,74 % do sistema poral (porosidade total) do horizonte Ap da TR1, 89,37 % no horizonte Ap da TR2 e 73,28 % no horizonte AC da TR2.

Desse modo, relacionando os valores de porosidade com a densidade, pode-se averiguar que no perfil da TR2, a macroporosidade aumentou em 153,25 % do horizonte Ap para o AC, enquanto a densidade teve um aumento apenas de 3,25 % nestes mesmos horizontes. Esse resultado pode estar relacionado à quantidade de fragmentos de rocha (frações maiores que 2 mm) encontrados no horizonte AC da TR2, que é superior ao horizonte Ap conforme

apresentado na Tabela 5. Dalbianco (2009), correlacionando a macroporosidade com a densidade do solo, verificou que as frações grosseiras como o cascalho, modificam a organização estrutural do volume do solo, proporcionando aumento na macroporosidade.

Ainda, observa-se que a macroporosidade apresentou valores abaixo dos 10 % adotados como restritivos para aeração do solo, segundo Erickson (1982) e Xu *et al* (1992). Reichert *et al.* (2007) esclarecem que a redução da porosidade ocorre primeiramente com os poros maiores (macroporos), responsáveis pela infiltração de água e aeração do solo, portanto, os macroporos são os primeiros a serem destruídos em um processo de compactação. Isso posto, os dados de porosidade possivelmente estão relacionados com as condições morfológicas dos horizontes em termos texturais e de espessura dos horizontes, conforme apontado, inclusive, por Pedron *et al.* (2011) que atribuíram a variabilidade dos dados de porosidade, em Neossolos Litólicos e Regolíticos, principalmente à macroporosidade, à sequência de horizontes, à profundidade efetiva e à granulometria.

#### 4.3.1.1.3 Características hídricas

Na Tabela 8 e Figuras 27 e 28 estão apresentados os dados de permeabilidade da topossequência de solos do eixo A da cabeceira de drenagem 1. Em termos hídricos, o horizonte Ap da TR1 apresentou o valor de  $40,05 \text{ mm/h}^{-1}$  em sua condutividade hidráulica saturada (Kfs). Na TR2, o horizonte Ap demonstrou uma condutividade hidráulica saturada de  $26,7 \text{ mm/h}^{-1}$ , no horizonte AC o valor foi de  $25,03 \text{ mm/h}^{-1}$ , e no horizonte C obteve-se o valor de  $6,46 \text{ mm/h}^{-1}$ . Esses resultados demonstram uma circulação hídrica de lenta a moderada (entre  $63,5$  e  $20 \text{ mm/h}^{-1}$ ) nos horizontes Ap na TR1 e Ap e AC na TR2, porém de lenta no horizonte C ( $20$  a  $5 \text{ mm/h}^{-1}$ ), conforme classificação proposta por Beutler *et al.* (2001).

Com base nos resultados, o horizonte Ap da TR1 apresentou condutividade hidráulica saturada maior ( $40,05 \text{ mm/h}^{-1}$ ) em relação aos horizontes Ap ( $26,7 \text{ mm/h}^{-1}$ ) e AC ( $25,03 \text{ mm/h}^{-1}$ ) da TR2. O horizonte Ap da TR1 apresentou menor densidade, maior espessura, menor microporosidade e maior macroporosidade quando comparado ao Ap da TR2. Esses fatores conjugados podem explicar a maior média de Kfs do horizonte Ap da TR1 em relação ao Ap da TR2.

Tabela 8 - Condutividade hidráulica saturada (Kfs) dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1

Horizontes (cm)	Kfs (mm/h <sup>-1</sup> )	CV (%)	Classes de Permeabilidade (mm/h <sup>-1</sup> )*
<b>EIXO A – TR1- NEOSSOLO LITÓLICO</b>			
Ap (0-27)	40,05	0	Lenta a Moderada
R (27+)	-	-	-
<b>EIXO A – TR2 - NEOSSOLO LITÓLICO</b>			
Ap (0-10)	26,7	46,77	Lenta a Moderada
AC (10-39)	25,03	74,83	Lenta a Moderada
C (39-49)	6,46	93,56	Lenta
Cr (49-70)	-	-	-
R 70+	-	-	-

Kfs – condutividade hidráulica saturada; CV- coeficiente de variação para média de três leituras

Fonte: \* Classificação proposta por Beutler *et al.* (2001), adaptada do *Soil Survey Staff*.

Figura 27 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a porosidade dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1

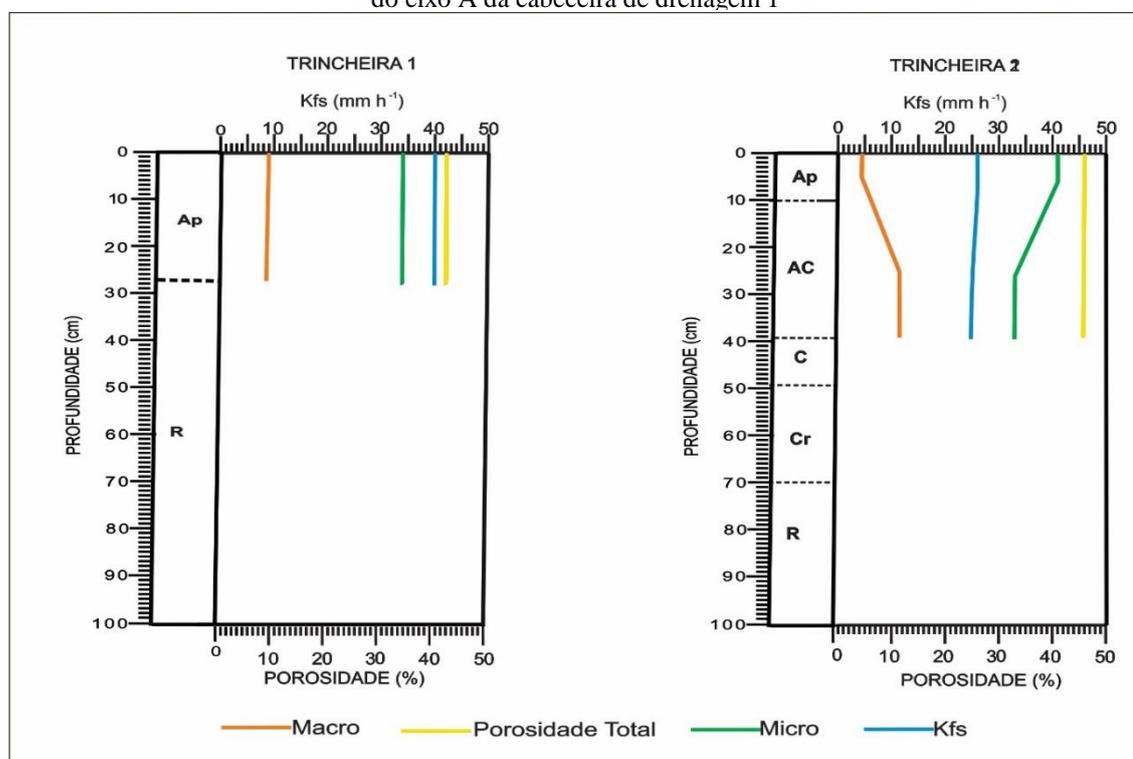
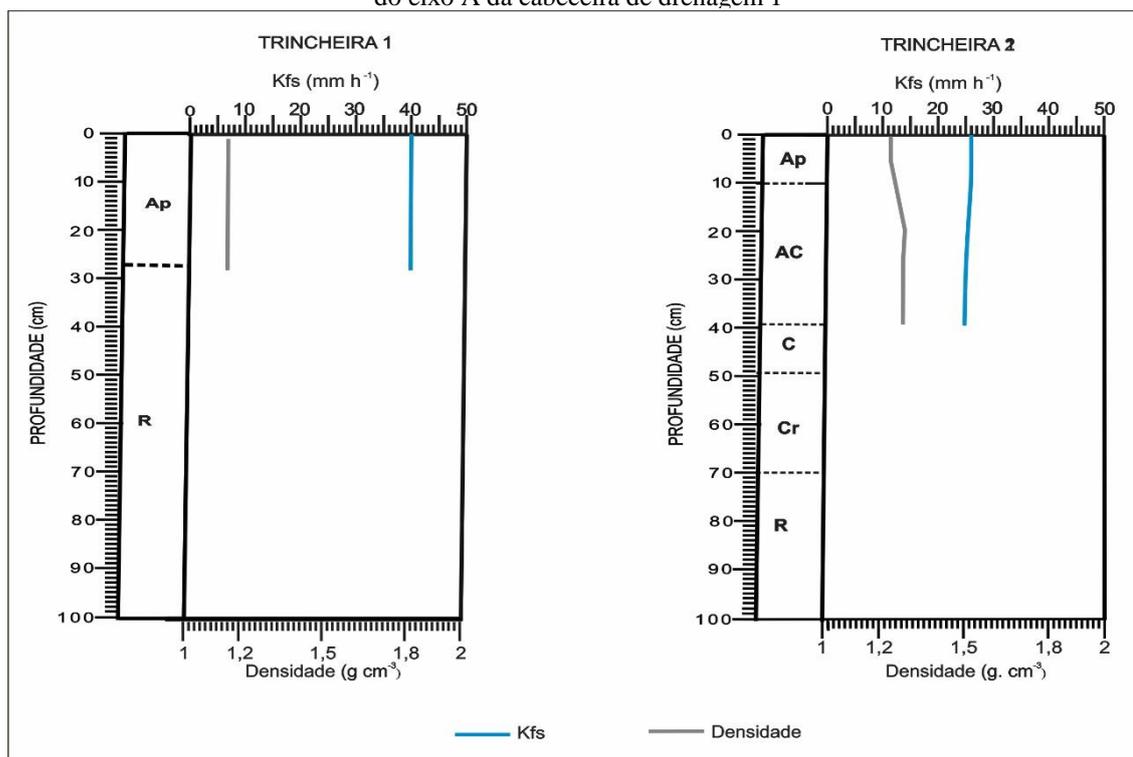


Figura 28 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a densidade dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

De modo geral, observa-se na topossequência a correspondência inversamente proporcional da densidade com a Kfs. Visualiza-se nas Figuras 27 e 28 que o horizonte Ap da TR1 apresentou o maior valor de Kfs ( $40,0 \text{ mm/h}^{-1}$ ) e o menor valor de densidade ( $1,18 \text{ g.cm}^{-3}$ ), enquanto o horizonte AC da TR2 obteve o menor valor de Kfs ( $25,03 \text{ mm/h}^{-1}$ ) e o maior valor de densidade ( $1,27 \text{ g.cm}^{-3}$ ).

Em que se refere aos dados obtidos no perfil da TR2, a condutividade hidráulica saturada diminuiu do horizonte Ap para o AC. É possível observar que o aumento da densidade em profundidade na TR2 pode estar relacionado aos teores de argila, pois o horizonte Ap apresentou  $228 \text{ g.kg}^{-1}$  de argila e  $1,23 \text{ g.cm}^{-3}$  de densidade, enquanto no horizonte AC os valores foram de  $288 \text{ g.kg}^{-1}$  e  $1,27 \text{ g.cm}^{-3}$ , respectivamente. Esse resultado evidencia que não houve o favorecimento da macroporosidade no horizonte AC (12,46 %) em relação ao horizonte superficial Ap (4,92 %).

Dessa forma, os dados indicam a redução da permeabilidade em profundidade à medida que se aproxima ao material de origem. Isso pode ser comprovado pela observação realizada referente ao horizonte C da TR2, que apresentou o menor valor de Kfs ( $6,46 \text{ mm/h}^{-1}$ ) dentre todos os horizontes analisados da topossequência do eixo A.

Como os Neossolos Litólicos e Regolíticos são pedogeneticamente pouco desenvolvidos, “é de se esperar que esse tipo de solo apresente grandes variações nos seus atributos químicos, físicos e biológicos” (STÜRMER, 2008, p. 74) o que afeta, principalmente, o comportamento hídrico desses solos, segundo consta em trabalhos como os de Stürmer (2008); Stürmer (2009) e Pedron *et al.* (2009). Nesse sentido, acredita-se que o comportamento físico-hídrico dos horizontes da toposequência do eixo A é influenciado pela argila, densidade, macroporosidade, profundidade, pedregosidade e/ou rochosidade, corroborando assim, com os resultados encontrados por Stürmer (2008).

No que tange o coeficiente de variação, os valores foram considerados, segundo Warrick e Nielsen (1980), de média variação (entre 12 e 60 %) no horizonte Ap (46,77 %) e alta variabilidade para os horizontes AC (74,83 %) e C (93,56 %) da TR2. Scherpinski *et al.* (2010), na região Oeste do Estado do Paraná, na cidade de Cascavel, avaliaram a variabilidade espacial da condutividade hidráulica com o permeâmetro de *Guelph* em um Latossolo Vermelho distroférico, encontrando coeficiente de variação de 110,24 % para a condutividade hidráulica.

Abreu *et al.* (2003) em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico, encontrou o valor de 62,7 % para o coeficiente de variação da condutividade hidráulica, determinada em campo com a utilização do permeâmetro de *Guelph*, na profundidade de 0,15m. Mesquita e Moraes (2004) consideram que determinar a condutividade hidráulica saturada é um processo complexo e que envolve todos os fatores que influenciam nestas propriedades, bem como nas relações entre elas, portanto, deve-se considerar a possibilidade de alta variação. Autores têm indicado variabilidade nos dados de condutividade hidráulica em diferentes coberturas pedológicas (MESQUITA, 2001; MESQUITA; MORAES, 2004; DALBIANCO, 2009; SCHERPINSKI *et al.*, 2010).

#### 4.3.1.1.4 Estabilidade de agregados

Na avaliação do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa) não foram observadas variações significativas entre os perfis da toposequência do eixo A. Os valores encontrados foram de 2,7 mm no horizonte Ap da TR1; 2,6 mm no horizonte Ap da TR2, e 2,7 mm no horizonte AC da TR2 (Tabela 9). De acordo com Tisdall e Oades (1982), solos com diâmetro médio ponderado de agregados (DMPa) abaixo de 0,5 mm são considerados de baixa estabilidade. Nesse sentido os valores encontrados estão acima desse limite.

Tabela 9 - Distribuição das classes de agregados dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1

Hor.	Prof. (cm)	Classes de Agregados (mm)						DMPa (mm)
		8-4	4-2	2-1	1-0,50	0,50-0,25	0,25-0,00	
%								
EIXO A – TR1- NEOSSOLO LITÓLICO								
Ap	0-27	48,31	34,6	12,70	3,16	0,95	0,19	2,7
R	27+	-	-	-	-	-	-	-
EIXO A – TR2 - NEOSSOLO LITÓLICO								
Ap	0-10	45,41	39,04	11,27	2,90	0,87	0,48	2,6
AC	10-37	51,14	32,24	11,85	3,52	0,98	0,27	2,7
C	37-49	-	-	-	-	-	-	-
Cr	49-70	-	-	-	-	-	-	-
R	70+	-	-	-	-	-	-	-

DMPa- diâmetro médio ponderado dos agregados

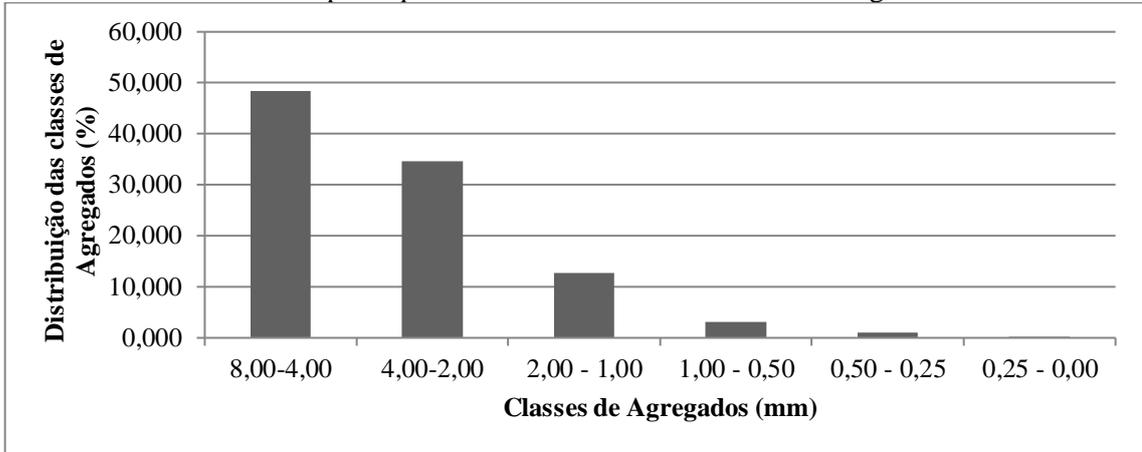
Elaboração: A autora (2021).

Os valores de DMPa estão relacionados ao tamanho dos agregados, dessa forma, quanto maior for a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores, tanto maior é o DMPa (CASTRO FILHO *et al.*, 1998). No horizonte Ap da TR1 (Figura 29) houve predominância nas classes de 8,00 a 4,00 mm com 48,31%, seguida das classes de 4,00-2,00 mm, 2,00-1,00 mm, 1,00-0,50 mm, 0,50-0,25 mm e 0,250,00 mm, com 34,66 %, 12,70 %, 3,16 %, 0,95 % e 0,19 %, respectivamente.

O horizonte Ap da TR2 (Figura 30) apresentou 45,41 % de seus agregados retidos nas peneiras de 8,00 a 4,00 mm. Para as outras peneiras os resultados foram de 39,04 % na peneira de 4,00-2,00 mm, 11,27 % para a abertura de 2,00-1,00 mm, 2,90 %, na peneira de 1,00-0,50, 0,87% para a 0,50-0,25 mm e 0,48 % na peneira de 0,25-0,00 mm.

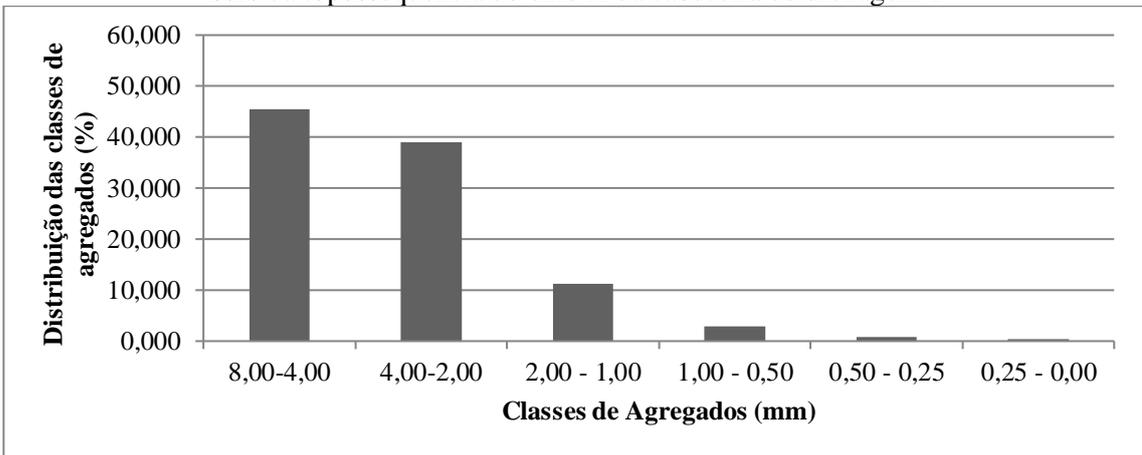
Já no horizonte AC (Figura 31), os valores foram de 51,14 %, 32,24 %, 11,85 %, 3,52 %, 0,98 % e 0,27 % nas peneiras de 8,00-4,00 mm, 4,00-2,00 mm, 2,00-1,00 mm, 1,00-0,50 mm, 0,50-0,25 mm e 0,25-0,00 mm, respectivamente. Observa-se que, quando se compara a distribuição do tamanho nas classes de agregados nos horizontes Ap (TR1 e TR2) e AC (TR2), todos apresentaram eminência na quantidade de agregados entre as classes 8,00 a 4,00 mm, sendo que na referida classe o horizonte AC da TR2 obteve a maior quantidade de contribuição de agregados maiores (51,14 %), seguido do horizonte Ap da TR1(48,31 %) e Ap da TR2 (45,41 %). Desse modo, o horizonte Ap da TR2 apresentou menor quantidade dos agregados maiores (8,00 a 4,00 mm) em relação aos outros horizontes.

Figura 29 - Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados do horizonte Ap do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1



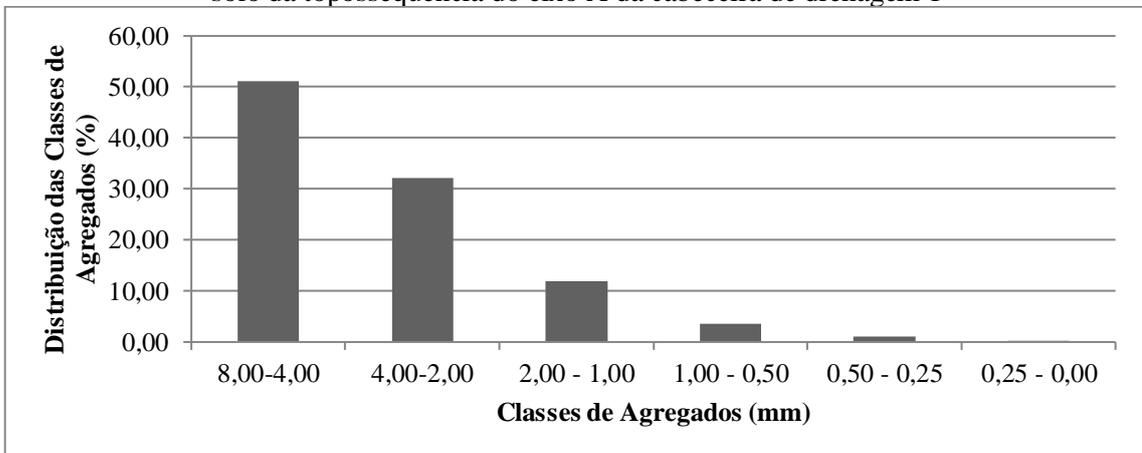
Elaboração: A autora (2021).

Figura 30 - Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados do horizonte Ap do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

Figura 31 - Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados do horizonte AC do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

Na Tabela 10 foram consideradas as propriedades que podem influenciar nos resultados de DMPa. Em vista disso, o horizonte Ap da TR1 possui DMPa superior ao horizonte Ap da TR2, assim como o valor de carbono orgânico ( $42,8 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e de argila total ( $399 \text{ g.kg}^{-1}$ ). Na TR2, o horizonte Ap apresenta teor de carbono orgânico de  $33,1 \text{ g.kg}^{-1}$  e argila total de  $228 \text{ g.kg}^{-1}$ . Assim, embora o teor de argila total no horizonte Ap na TR2 seja inferior em comparação ao horizonte Ap da TR1, os dados demonstram que a argila está mais floculada. O horizonte Ap da TR1 possui 53,13 % de grau de floculação da argila, enquanto no horizonte Ap da TR2 o valor é de 62,28 %.

Tabela 10 - Diâmetro médio ponderado dos agregados, carbono orgânico, argila total, grau de floculação e óxidos de ferro e alumínio dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1

Horizontes (cm)	Prof.(cm)	DMPa (mm)	CO ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	AT ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	GF (%)	Al <sub>2</sub> O ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ( $\text{g.kg}^{-1}$ )
EIXO A - TR1- NEOSSOLO LITÓLICO							
Ap	0-27	2,7	42,8	399	53,13	64	193
R	27+	-	-	-	-	-	-
EIXO A - TR2 – NEOSSOLO LITÓLICO							
Ap	0-10	2,6	33,1	228	62,28	121	197
AC	10-39	2,7	20,6	288	51,74	-	-
C	39-49	-	-	-	-	-	-
Cr	49-70	-	-	-	-	-	-
R	70+	-	-	-	-	-	-

DMPa- diâmetro médio ponderado dos agregados; CO- carbono orgânico; AT- argila total; GF- grau de floculação

Elaboração: A autora (2021)..

Pôde-se verificar na TR2 que o horizonte AC (2,7 mm) apresentou DMPa superior em comparação ao horizonte Ap (2,6 mm) da TR2. No horizonte subsuperficial AC da TR2 o valor de carbono orgânico é  $20,6 \text{ g.kg}^{-1}$ , a argila total é de  $288 \text{ g.kg}^{-1}$  e o grau de floculação 51,74 %. Dessa forma, percebe-se que na TR2 a argila total aumentou em profundidade, enquanto os valores de carbono orgânico e grau de floculação diminuíram.

Compreende-se, portanto, que o fator preponderante na agregação desses horizontes foi o teor da argila. Para os horizontes superficiais pode-se considerar ainda o teor de carbono orgânico. Comumente autores correlacionam os valores de DMPa com a influência do carbono orgânico e/ou da argila na agregação do solo (CASTRO FILHO *et al.*, 1998; CRUZ *et al.*, 2003; FERREIRA *et al.*, 2007; SALTON *et al.*, 2008).

Embora não tenha sido possível realizar a correlação da agregação dos solos com os óxidos de ferro e alumínio analisados nesta topossequência, autores destacam sua atuação como agentes cimentantes para a formação dos agregados (BARRAL *et al.*, 1998; FERREIRA *et al.*, 2007; RHOTON; DUIKER, 2008).

## 4.3.1.2 Caracterização Química

Os dados químicos da topossequência do eixo A estão dispostos nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11 - Potencial hidrogeniônico (pH) dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1

Horizontes	Prof. (cm)	pH em KCl	pH em H <sub>2</sub> O	ΔpH	classes pH (solo/água 1:2,5)
EIXO A - TR1- NEOSSOLO LITÓLICO					
Ap	0-27	4,5	4,6	-0,1	fortemente ácido
R	27+	-	-	-	-
EIXO A - TR2- NEOSSOLO LITÓLICO					
Ap	0-10	4,6	4,8	-0,2	fortemente ácido
AC	10-39	4,3	5,1	-0,7	fortemente ácido
C	39-49	4,8	5,7	-0,9	moderadamente ácido
Cr	49-70	-	-	-	-
R	70+	-	-	-	-

Elaboração: A autora (2021).

Tabela 12 - Características químicas do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1

Hor.	Prof.	H <sup>+</sup> Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SB	CTC pH7	ATA	V	MO
(cm)		Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup>									(%)
EIXO A - TR1- NEOSSOLO LITÓLICO											
Ap	0-27	4,61	0	20,62	3,54	0,57	24,73	29,34	73,53	84,28	7,4
R	27+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EIXO A - TR2- NEOSSOLO LITÓLICO											
Ap	0-10	4,88	0	17,71	3,58	0,42	21,71	26,59	116,62	81,64	5,7
AC	10-39	4,77	0,1	18,53	3,57	0,12	22,22	26,99	93,72	82,32	3,5
C	39-49	2,2	0	19,05	3,77	0,11	22,93	25,13	81,59	91,24	0,8
Cr	49+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação de bases; ATA= atividade da argila

Elaboração: A autora (2021).

Na Tabela 11, observa-se que o valor pH (H<sub>2</sub>O) foi de 4,6 no horizonte Ap da TR1, enquanto na TR2 os valores foram de 4,8 no horizonte Ap, 5,1 no horizonte AC e 5,7 no horizonte C. Diante dos resultados expressos de pH em água, conforme os parâmetros da EMBRAPA (2018), os horizontes Ap da TR1, Ap e AC da TR2 são classificados como fortemente ácidos (pH entre 4,3 e 5,3), enquanto o horizonte C da TR2 é moderadamente ácido (pH entre 5,4 e 6,5). O pH em KCl exibiu valores de 4,5 no horizonte Ap da TR1, na TR2 foram encontrados os valores de 4,6 no horizonte Ap, 4,3 no horizonte AC e 4,8 no horizonte C. Esses resultados demonstram que as cargas predominantes no complexo adsorvente são negativas como nos resultados do ΔpH (LIMA *et al.*, 2006).

Observa-se na TR2 que a acidez do pH reduziu em profundidade, possivelmente devido a quantidade de matéria orgânica mais expressiva no horizonte superficial Ap. Em relação ao alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), a maioria dos horizontes apresentou valores nulos, exceto no horizonte AC ( $0,1 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ) da TR2 (Tabela 12).

Os valores nulos de alumínio também foram obtidos por Magalhães (2013) e Rocha (2016) em Latossolos e Nitossolos, e por Stürmer (2008) em Neossolos Regolíticos. A acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ) foi de  $4,61 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte Ap da TR1, enquanto na TR2 os valores foram de  $4,88 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ,  $4,77 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  e  $2,2 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  nos horizontes Ap, AC e C, respectivamente (Tabela 12). Para fins agrícolas, esses resultados são importantes para mensurar o potencial que o alumínio tem em acidificar os solos e proporcionar a correção.

Quanto às bases trocáveis, o cátion básico predominante foi o cálcio em todos os horizontes:  $20,62 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte Ap da TR1, na TR2  $17,71 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ,  $18,53 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  e  $19,05 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  nos horizontes Ap, AC e C, respectivamente. O magnésio teve pouca variação, com menor valor de  $3,54 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  encontrado no horizonte Ap da TR1 e o maior valor de  $3,77 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no C da TR2. O potássio teve sua maior representatividade no horizonte Ap da TR1 sendo de  $0,57 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ , seguido de  $0,42 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ,  $0,12 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  e  $0,1 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  nos horizontes Ap, AC e C, respectivamente, na TR2.

Em geral, os resultados de cálcio são superiores, possivelmente devido a facilidade de solubilidade do magnésio e do potássio no solo. Além disso, a presença e a quantidade desses elementos no solo estão relacionadas ao material de origem. Lepsch (2011) explica sobre a influência do material de origem (rocha) no comportamento químico do solo: os minerais primários influenciam na quantidade de íons que estará presente no complexo de troca das argilas ou do húmus do solo. A maior parte dos cátions que se localizam nas cargas das argilas tem sua origem na estrutura dos minerais primários, após a dissolução desses com o intemperismo, cada mineral possui uma composição química específica, com diferentes cátions, o que interfere em seus teores no solo em que se forma a partir da alteração da rocha que os contém.

A partir da determinação das bases presentes no solo ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ), obtiveram-se os valores da soma das bases (SB). Na TR1, a soma das bases no horizonte Ap apresentou o valor de  $24,73 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ , já na TR2 foi menor com  $21,71 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ,  $22,22 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ,  $22,93 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  nos horizontes Ap, AC e C, respectivamente.

Dos valores obtidos com a soma de bases (SB) juntamente com a acidez potencial ( $\text{H} + \text{Al}$ ) foi possível estabelecer a capacidade de troca catiônica (CTC). Os resultados obtidos de CTC foram de  $29,34 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte Ap da TR1, e  $26,59 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte Ap,  $26,99 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte AC e  $25,13 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte C da TR2 (Tabela 12).

Nota-se que a CTC e a matéria orgânica reduzem em profundidade na TR2. Os teores de matéria orgânica (Figura 30) foram de 7,4 % no horizonte Ap da TR1; no horizonte Ap da TR2 5,7 %; no horizonte AC, 3,5 % e no horizonte C, 0,8 %. A contribuição da matéria orgânica para CTC do solo está relacionada ao fato de seu favorecimento na retenção de cátions e diminuição das perdas por lixiviação (CANELLAS *et al.*, 2003).

Outra característica química importante obtida a partir da CTC foi a atividade da argila (Tabela 13). Em todos os perfis foram encontrados altos valores para a atividade da argila com variação de 73,53  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte Ap da TR1 e 116,62  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte Ap da TR2. Dessa forma, os horizontes são constituídos por argilas de atividade alta (valor igual ou superior a 27  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ), segundo o critério de classificação da EMBRAPA (2018). De acordo com Lepsch (2011), as argilas são fontes de cargas negativas, logo, quanto mais argiloso o solo, maior será a CTC, principalmente se forem argilas do tipo 2:1. Nesse sentido, observa-se que no horizonte Ap da TR1 foram encontradas as maiores concentrações de argila (399  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), assim como também foi obtido o maior valor de CTC da topossequência.

Para a saturação por bases (V%), os dados obtidos foram de 84,28 % no horizonte Ap da TR1; 81,64 % no horizonte Ap, 82,32 % no horizonte AC e 91,24 % no horizonte C da TR2. Esses resultados permitiram classificar os horizontes como de alta saturação (igual ou maior que 50 %), e quando a saturação por bases é acima de 65% no horizonte superficial, juntamente com outros critérios, indica-se a existência de A chernozêmico, a partir do estabelecido pela EMBRAPA (2018).

Os dados químicos obtidos neste trabalho são semelhantes aos encontrados por Alho *et al.* (2007) em Neossolos Litólicos e Stürmer (2008) para Neossolos Regolíticos.

Na Tabela 13 constam os resultados referentes ao ataque sulfúrico da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1.

Tabela 13 - Óxidos dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 1

Horizontes	Prof. (cm)	g.kg <sup>-1</sup>		
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
EIXO A -TR1-NEOSSOLO LITÓLICO				
Ap	0-27	64	46	193
R	27 +	-	-	-
EIXO A- TR2- NEOSSOLO LITÓLICO				
Ap	0-10	121	84	197
AC	10-39	-	-	-
C	39-49	-	-	-
Cr	49+	-	-	-

Elaboração: A autora (2021).

Em função da pouca profundidade do solo e de quantidade de frações grosseiras, a análise foi realizada somente no horizonte Ap, sendo encontrado os valores de 193 e 197 g.kg<sup>-1</sup> de óxidos de ferro para a TR1 e TR2, respectivamente, caracterizando solos com alto teor de ferro (EMBRAPA, 2018).

#### 4.3.1.3 Classificação do Solo

A partir da avaliação dos dados morfológicos e químicos dos perfis de solo da topossequência do eixo A foi realizada a sua classificação conforme os parâmetros estabelecidos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), da EMBRAPA (2018).

O perfil de solo da TR1 apresenta o horizonte A com 27cm de espessura, assentado diretamente sobre o horizonte R, e ocorrendo, portanto, o contato lítico inferior a 50cm a partir da superfície. Essas características possibilitam sua classificação até o segundo nível categórico denominado de Neossolo Litólico.

Para a classificação no terceiro nível categórico, foram observadas as características químicas e físicas do horizonte A chernozêmico, permitindo enquadrá-lo no grande grupo Chernossólico. No quarto nível categórico, foram levadas em consideração o seu contato lítico típico com rocha sã (material endurecido subjacente ao solo). Diante do exposto, para fins de classificação, ao solo localizado no setor topo da topossequência do eixo A (TR1), em consonância com as características químicas e morfológicas citadas atribui-se a denominação de NEOSSOLO LITÓLICO Chernossólico típico, textura argilosa, fase floresta Estacional Semidecidual.

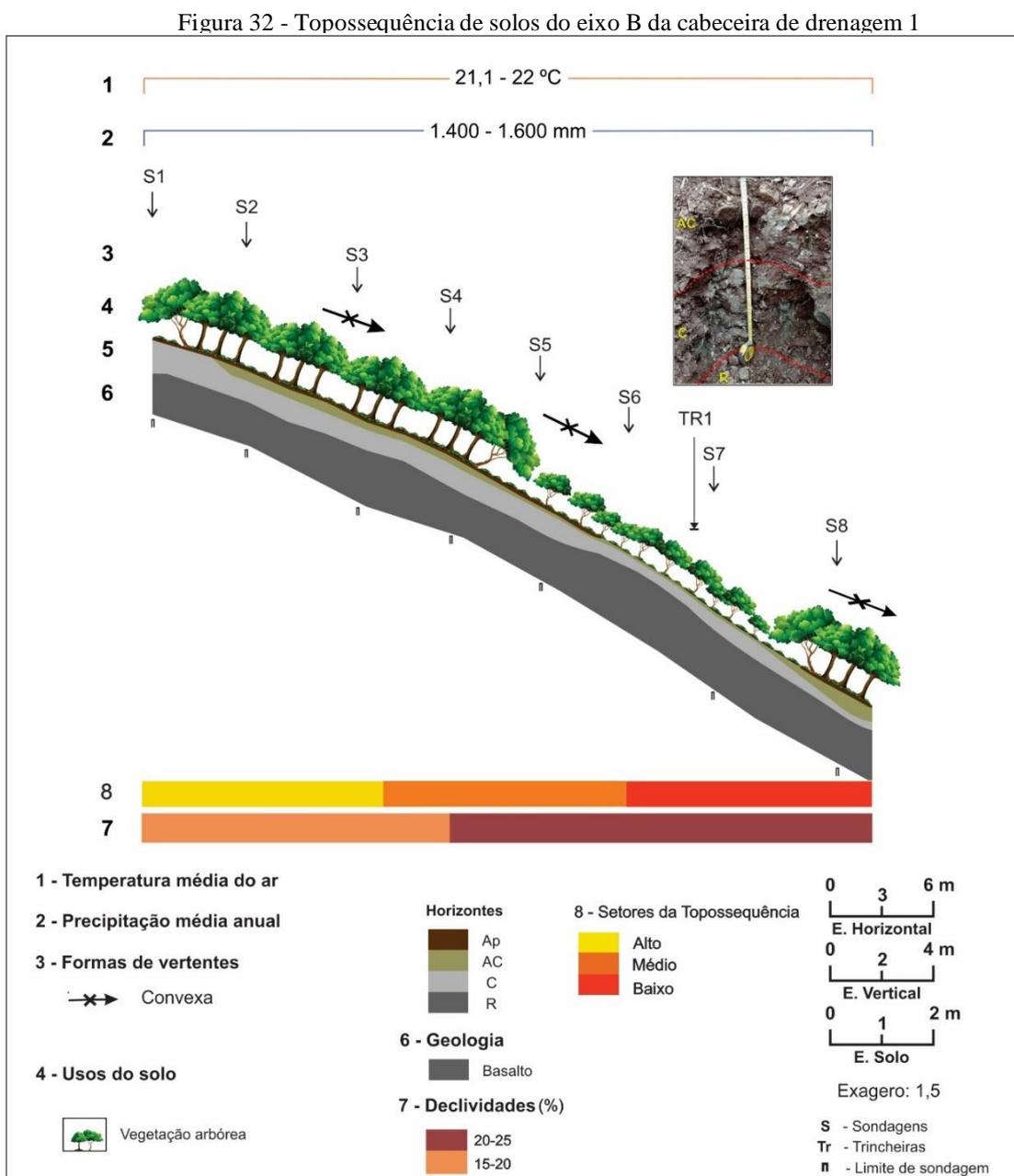
No perfil do Neossolo descrito na TR2, no segmento baixo da topossequência da topossequência do eixo A, foi identificado os horizontes Ap, AC, C, Cr e R, dado que os horizontes C e Cr apresentaram 90 % e 91 %, respectivamente, de seu volume constituído de frações grosseiras (maiores que 2 mm), apresentando estrutura de rocha original no horizonte Cr, satisfazendo assim os requisitos para classificá-lo no segundo nível categórico, como Neossolo Litólico (EMBRAPA,2018).

Para o terceiro nível categórico, em função dos critérios estabelecidos pela EMBRAPA (2018), cumpriu-se os requisitos necessários de A chernozêmico, lhe conferindo a classificação de chernossólico. Para a classificação do quarto nível categórico, levando em consideração a observação do contato lítico que permitiu categorizá-lo como fragmentário. Conforme o exposto, as características químicas e morfológicas do perfil de solo (TR2), permitem sua

classificação como NEOSSOLO LITÓLICO Chernossólico, fragmentário, de textura siltosa e fase floresta Estacional Semidecidual.

#### 4.3.2 A topossequência de solos do eixo B

A topossequência do eixo B está localizada entre as coordenadas de 7409548,913 m latitude Sul e 425452,943 m longitude Oeste (setor alto); 74,09521,725 m latitude Sul e 425475,063 m longitude Oeste (setor baixo) (Figura 32).



Elaboração: A autora (2021).

Em relação ao uso do solo, a topossequência está totalmente sob o uso de vegetação arbórea. A topossequência do eixo B (Figura 32) possui 38 metros de extensão e 14 metros de desnível topográfico. O perfil topográfico demonstrou que o eixo B possui uma forma topográfica convexa, estando entre as cotas altimétricas de 585 a 593 m.

Para o levantamento pedológico preliminar da topossequência do eixo B foram realizadas 8 sondagens com a presença dos horizontes Ap, AC, C e R. Para a caracterização morfológica dos horizontes, foi aberta uma trincheira no setor baixo da topossequência em que foi averiguado os horizontes AC, C e R. A descrição morfológica dos horizontes pode ser visualizada na Tabela 14.

O horizonte Ap apresentou espessura de 5 cm na maior parte da topossequência do eixo B. No segmento alto, o horizonte Ap apresenta a espessura de 5 cm permanecendo até a porção média da topossequência, onde ocorre sua descontinuidade (desaparecimento) gradativa até próximo a parte baixa. O horizonte Ap torna a ser observado somente no segmento final da topossequência, no qual sua espessura atinge 15 cm. As observações indicam que o horizonte Ap, mais precisamente suas variações de espessura e ausência, devem estar relacionadas à incidência de processos erosivos superficiais, devido à declividade da vertente e sua forma. Esse horizonte (Ap) encontra-se sobrejacente ao horizonte C somente no segmento inicial do setor alto da topossequência, estando nos demais segmentos sobrejacentes ao horizonte AC.

O horizonte AC pode ser observado a partir de 4m da extensão da topossequência do eixo B, da porção alta até a baixa, sobrejacente ao horizonte C. Inicia-se subsuperficialmente com 20 a 35 cm de espessura, no segmento alto. A partir da divisão média, o horizonte AC, aparece ainda subsuperficialmente, mas com 15 cm de espessura. Entretanto, em direção à porção mais baixa, esse horizonte passa a ocorrer em superfície, apresentando 5cm de espessura

Na parte baixa da topossequência (TR1), o horizonte AC apresentou 18 cm de espessura, e exibiu a coloração bruno-avermelhada (2,5YR 3/4) e textura siltosa. Sua estrutura apresenta grau forte, tamanho de pequeno a médio, tipo granular passando para blocos angulares. A consistência quando seca é macia, quando úmida é muito friável e quando molhada muito plástica e muito pegajosa. A transição do horizonte AC para o horizonte subjacente C ocorre de forma ondulada e a nitidez é clara.

O horizonte C pode ser encontrado ao longo de toda a topossequência do eixo B. No setor alto, o horizonte C se inicia apresentando 65 cm de espessura, passando na divisão média da topossequência a exprimir de 30 a 50 cm de espessura, quando no segmento baixo reduz para 20 cm de espessura.

Tabela 14 - Descrição morfológica dos perfis de solo da toposseqüência do eixo B da cabeceira de drenagem 1

HORIZONTES (cm)	COR	TEXTURA	ESTRUTURA	CONSISTÊNCIA	TRANSIÇÃO	RAÍZES	OBSERVAÇÕES
TR1- NEOSSOLO LITÓLICO							
AC (0-18)	2,5YR 3/4	Siltosa	Grau: forte Tamanho: pequena a média Tipo: granular passando a blocos angulares	Seca: macia Úmida: muito friável Molhada: muito plástica e muito pegajosa	clara ondulada -	Muito finas, finas e abundantes	Fragmentos de rocha semialterada
C (18 -44)	10 YR 6/2	-	-	-	-	-	Rocha alterada
R (44+)	-	-	-	-	-	-	Rocha pouco alterada

Elaboração: A autora (2021).

Ainda na parte baixa da topossequência (TR1), o horizonte C variou de 18 a 44 cm de profundidade, apresentando cor vermelho-claro-acinzentado (10YR 6/2) e textura siltosa. Nesse horizonte foram observadas quantidades significativas de fragmentos de rochas e a partir de 44 cm de profundidade encontrou-se a rocha pouco alterada.

O horizonte R foi identificado ao longo de toda topossequência em profundidades maiores no setor alto (60 a 70 cm), e no médio encontrado a 25 cm de profundidade, por meio dos quais visualiza-se os menores espessamentos da cobertura pedológica em relação a toda topossequência. Na subdivisão baixa está localizada a partir de 50 cm de profundidade.

#### 4.3.2.1 Propriedades físicas e hídricas

##### 4.3.2.1.1 Granulometria e argila dispersa em água

A determinação da separação da granulometria da topossequência do perfil de solo do eixo B indicou a predominância de fragmentos grosseiros (diâmetro maior que 2 mm - cascalhos, calhaus e matacões) em detrimento da fração fina (menores que 2 mm) como apresentado na Tabela 15. Para o horizonte AC a proporção foi de 710g.kg<sup>-1</sup> para frações grosseiras e 290 g.kg<sup>-1</sup> para frações finas. No horizonte C, as frações grosseiras corresponderam a 900 g.kg<sup>-1</sup> de sua composição e as frações finas a 100 g.kg<sup>-1</sup>. A quantidade significativa de fração grosseira eventualmente é proveniente da pouca profundidade efetiva do solo (inferior a 50 cm).

Tabela 15 - Proporção de frações grosseiras nos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1

EIXO B- TR1- NEOSSOLO LITÓLICO			
Horizontes	Prof.(cm)	Frações grosseiras(g.kg <sup>-1</sup> )	Frações finas (g.kg <sup>-1</sup> )
AC	0-18	710	290
C	18-44	900	100
-	44+	-	-

Frações grosseiras - fragmentos grosseiros com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões) Frações finas - frações menores que 2 mm (areia, silte e argila)

Elaboração: A autora (2021).

O resultado da análise granulométrica das frações finas da TR1 do eixo B pode ser verificado na Tabela a16 e Figura 33. O horizonte AC exibiu valores de 696 g.kg<sup>-1</sup> de silte, seguido de 164 g.kg<sup>-1</sup> de argila e em menor proporção a fração areia, com 140 g.kg<sup>-1</sup> (Figura

33). O horizonte C expressou  $729 \text{ g.kg}^{-1}$  de silte, seguido de  $150 \text{ g.kg}^{-1}$  de argila e, em menor proporção,  $121 \text{ g.kg}^{-1}$  de areia. Desse modo, os elevados teores da fração silte ( $696$  a  $729 \text{ g.kg}^{-1}$ ) foram determinantes para conferir classificação textural siltosa em todos os horizontes (AC e C), conforme classificação da EMBRAPA (2018) (Tabela 16 e Figura 33).

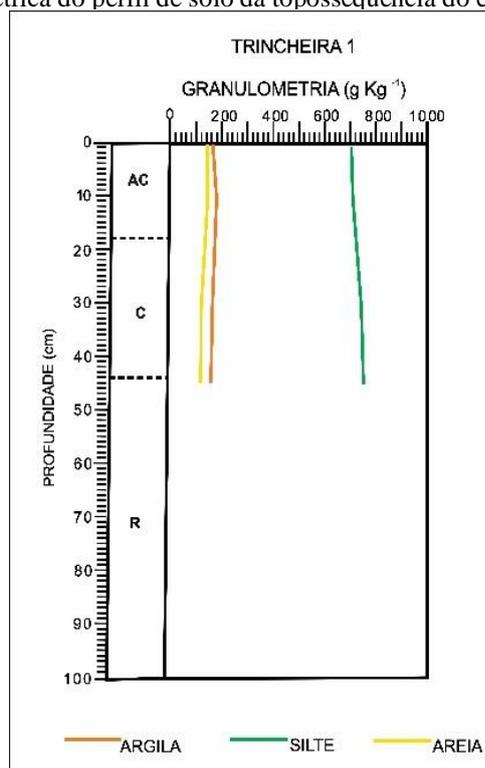
Tabela 16 - Propriedades granulométricas do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1

Hor.	Prof.(cm)	Argila ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	Silte ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	Areia ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	Textura	Silte /argila	GD (%)	GF (%)	ADA ( $\text{g.kg}^{-1}$ )
EIXO B - TR1 - NEOSSOLO LITÓLICO									
AC	0-18	164	696	140	Siltosa	4,24	31,09	68,90	51
C	18-44	150	729	121	Siltosa	4,86	41,33	58,66	62
R	44+	-	-	-	-	-	-	-	-

GD – Grau de dispersão da argila; GF- grau de floculação da argila; ADA- argila dispersa em água

Elaboração: A autora (2021).

Figura 33 - Variação granulométrica do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

Houve uma diminuição de 8,53 % da argila em profundidade do horizonte AC para o horizonte subsuperficial C, enquanto o teor de areia diminuiu 15,97 %. Assim, os teores de argila e areia reduziram em profundidade enquanto o teor de silte teve um aumento de 4,74 %. A redução do teor da argila em profundidade e o aumento do silte no horizonte C decorreram da proximidade com o material de origem também verificado em Rocha (2011).

A relação do silte com a argila evidenciou o baixo grau de intemperismo dos horizontes da topossequência do eixo B, sendo de 4,24 no horizonte AC e 4,86 no horizonte C, portanto, são solos pouco evoluídos segundo parâmetros da EMBRAPA (2018) (Tabela 16).

O valor de argila dispersa (argila natural) foi maior no horizonte C, 62 g. kg<sup>-1</sup>, sendo que no horizonte AC o valor foi de 51 g.kg<sup>-1</sup>. O grau de floculação foi maior no horizonte superficial AC (68,90 %) em relação ao horizonte subsuperficial C com 58,66 % (Tabela 16).

Desse modo, verifica-se que a argila está 17,45 % mais floculada no horizonte AC em relação ao horizonte C. Ainda, percebe-se que o grau de floculação predominou em relação ao grau de dispersão em ambos os horizontes (Tabela 16). Autores têm atestado a relação de maior grau de floculação da argila em horizontes superficiais em função do incremento do teor de carbono orgânico e/ou matéria orgânica, como postulam Azevedo e Bueno (2016), Metzner *et al.* (2003).

#### 4.3.2.1.2 Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total

Os resultados de densidade do solo e porosidade total da topossequência do eixo B podem ser observados na Tabela 17.

Tabela 17 - Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) dos perfis de solos da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1

Horizonte	Prof. (cm)	Ds (g.cm <sup>-3</sup> )	Ma (%)	Mi (%)	Pt (%)	Proporção da Pt (%)	
						Macro	Micro
<b>EIXO B – TR1 - NEOSSOLO LITÓLICO</b>							
AC	0-18	1,44	4,39	37,82	42,21	10,40	89,60
C	18 – 44	-	-	-	-		
R	44+	-	-	-	-		

Ds – Densidade do solo; Ma – macroporosidade; Mi – microporosidade; Pt – porosidade total

Elaboração: A autora (2021).

O valor obtido de densidade no horizonte AC foi de 1,44 g.cm<sup>-3</sup>. Em relação a porosidade total o resultado obtido foi de 42,21 %, sendo que a microporosidade foi de 37,82 %, e a macroporosidade 4,39 %. Dessa forma, em termos de proporcionalidade em relação a porosidade total, nota-se que a microporosidade correspondeu a 89,60 % e a macroporosidade 10,40% do sistema poral deste horizonte.

A macroporosidade encontra-se abaixo do valor de 10 % considerado ideal para o crescimento das plantas e aeração dos solos conforme consta em Erickson (1982) e Xu *et al* (1992). Esses resultados podem estar relacionados a livre circulação do gado bovino em

diferentes classes de solo, de acordo com Silva *et al.* (2000); Collares, (2005) e Lanzanova, (2005).

#### 4.3.2.1.3 Características hídricas

Na Tabela 18 e Figura 34 estão os resultados mensurados da condutividade hidráulica saturada (Kfs) da topossequência de solos do eixo B.

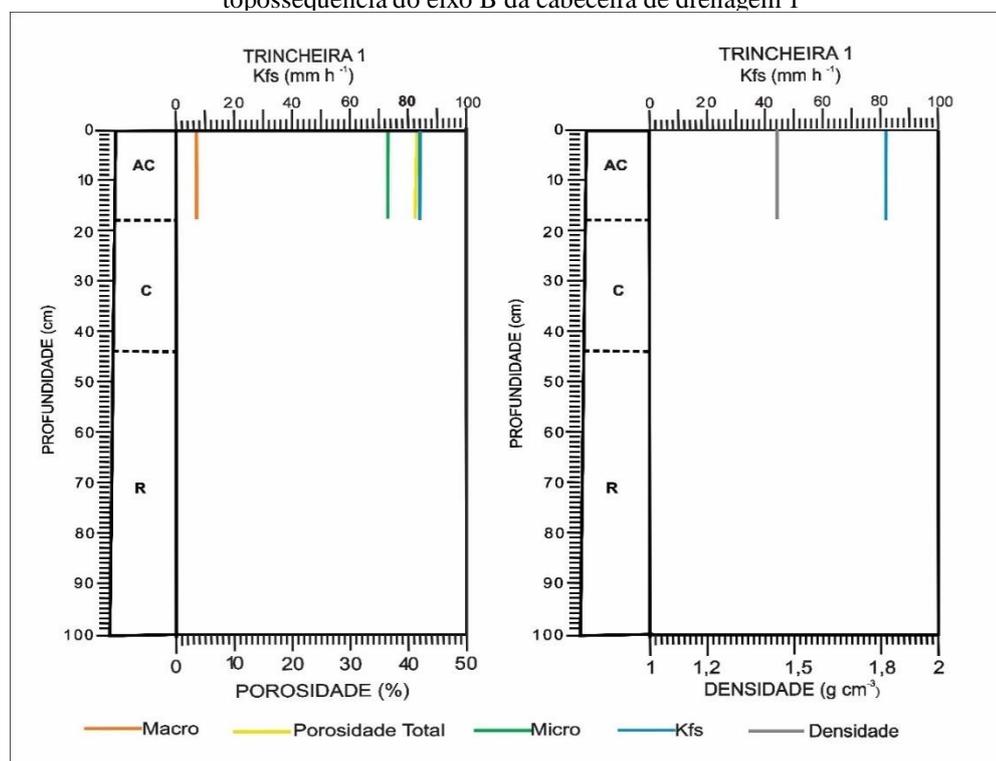
Tabela 18 - Condutividade hidráulica saturada (Kfs) do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1

Horizontes (cm)	Kfs (mm/h)	Classes de Permeabilidade (mm/h <sup>-1</sup> )*	CV (%)
EIXO B - TR1 - NEOSSOLO LITÓLICO			
AC (0-18)	82,29	Moderada	2,65
C (18-44)	15,01	Lenta	33,33
R (44+)	-	-	-

Kfs – condutividade hidráulica saturada; CV- coeficiente de variação para média de três leituras

Fonte: \* Classificação proposta por Beutler *et al.* (2001), adaptada do *Soil Survey Staff*.

Figura 34 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a porosidade e densidade do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

Em termos hídricos, o horizonte AC apresentou uma condutividade hidráulica de 82,29 mm/h<sup>-1</sup>, considerada como moderada (127- 63,5 mm/h<sup>-1</sup>), e 15,01 mm/h<sup>-1</sup> no horizonte C que foi classificada como lenta (20-5 mm/h<sup>-1</sup>), a partir da classificação definida por Beutler *et al.* (2001).

Segundo Scherpinski *et al.* (2010), a condutividade hidráulica do solo saturado depende do espaço poroso, e este parâmetro é variável de um solo para outro e, assim como para solos iguais em função das variações estruturais. Nesse sentido, observa-se que os fragmentos grosseiros podem ter contribuído para esse resultado de condutividade hidráulica que constituem cerca de 90 % de sua massa de solo no horizonte AC. Kaiser (2006) observou que a tendência da condutividade hidráulica é ser maior nos locais com predomínio das frações grosseiras (cascalho e calhaus), e menor onde há predomínio no teor de frações menores que 2 mm (areia, silte e argila). Observa-se na Figura 44 que a condutividade hidráulica foi elevada no horizonte AC, na qual a macroporosidade apresentou valor de 4,39 %, enquanto a densidade foi de 1,44 g.cm<sup>-3</sup>. Dessa forma, estima-se que os resultados de porosidade e densidade não tenham afetado as condições de circulação hídrica deste solo.

Este resultado concorda com Stürmer (2008), que estudando cinco perfis de Neossolos Regolíticos no Rio Grande do Sul, também não encontrou correspondência para a macroporosidade e Kfs em um dos perfis. Segundo o autor, verificou-se que embora um dos perfis tenha apresentado menor macroporosidade e porosidade total, foi o que apresentou maior infiltração de água no solo. Para Stürmer (2008), diversos fatores podem interferir no comportamento físico-hídrico nos Neossolos Litólicos ou Regolíticos como granulometria fina, condições de relevo e uso do solo, pequena profundidade efetiva, grande pedregosidade e/ou rochosidade, além da presença de contato lítico próximo à superfície.

Mesquita e Moraes (2003) apontam que elevados valores de condutividade hidráulica saturada encontrados onde ocorreram maiores valores de densidade podem estar relacionados a continuidade dos macroporos e seu diâmetro, os quais permitem maiores valores de condutividade hidráulica saturada, porém sem exercer grande influência na densidade. Destarte, conforme já mencionado, diversos são os fatores que podem interferir no comportamento físico-hídrico nos Neossolos Litólicos e Regolíticos em função de serem pedogeneticamente pouco desenvolvidos, assim, espera-se variações nos seus atributos físicos (PEDRON, 2007), o que afeta principalmente o comportamento hídrico (STÜRMER, 2008; STÜRMER *et al.*, 2009; PEDRON *et al.*, 2009).

A variabilidade dos dados de Kfs foi baixa (menor que 12 %), segundo Warrick e Nielsen (1980), expressando o valor de 2,65 % para o horizonte AC, e média para o horizonte C (entre 12 e 60 %) (Tabela 18).

#### 4.3.2.1.4 Estabilidade de agregados

Na Tabela 19 constam os resultados da estabilidade dos agregados da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1.

Tabela 19 - Distribuição das classes de agregados dos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1

Hor.	Prof. (cm)	Classes de Agregados (mm)						DMPa (mm)
		8-4	4-2	2-1	1-0,50	0,50-0,25	0,25-0,00	
%								
EIXO B - TR1- NEOSSOLO LITÓLICO								
Ap	0-18	52,1	32,4	10,6	3,0	1,1	0,8	2,5
C	18-44	-	-	-	-	-	-	-
R	44+	-	-	-	-	-	-	-
DMPa- diâmetro médio ponderado dos agregados								

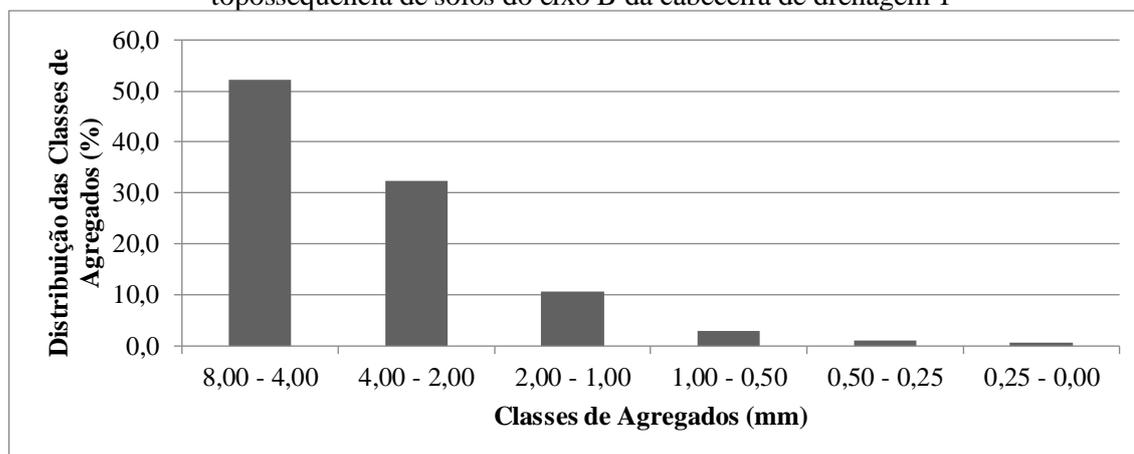
Elaboração: A autora (2021)..

Para o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa), o valor encontrado foi de 2,5mm no horizonte AC (Tabela 19). Esse valor de DMPa encontrado está acima do limite considerado por Tisdall e Oades (1982) como de baixa estabilidade. No que se refere a distribuição das classes de agregados houve a predominância dos agregados retidos na peneira de 8 a 4 mm, exibindo o percentual de 52,1 %. Para as classes de 4 a 2 mm, 2 a 1 mm, 1 a 0,50 mm, 050 a 0,25 mm e 0,25 a 0,00 mm, os resultados encontrados foram 32,4 %, 10,6 %, 3,0 %, 1,1 % e 0,8 %, respectivamente (Figura 35).

À vista disso, foi possível averiguar em termos proporcionais que a classe de 8 a 4mm possui uma concentração de agregados de 8,76 % a mais do que todas as outras classes somadas. A maior concentração de agregados nas classes de 8 a 4 mm pode estar relacionada ao fato de não haver o revolvimento periódico do solo que cause a desagregação em função dos fragmentos de rocha que limitam seu uso. Entre os agentes que influenciam na agregação, o grau de floculação da argila apresentou o valor de 68,90 %, a argila total foi de 164 g.kg<sup>-1</sup>, seguido do carbono orgânico com 10,91 g.kg<sup>-1</sup> (Tabela 20). Em relação aos óxidos, houve maior contribuição do ferro com 189 g.kg<sup>-1</sup> seguido do alumínio com 90 g.kg<sup>-1</sup>. Por conseguinte,

acredita-se que o carbono orgânico, a argila, o grau de flocculação e os óxidos de ferro contribuíram mutuamente para o resultado de DMPa do horizonte AC (2,5 mm).

Figura 35 - Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados do horizonte AC da topossequência de solos do eixo B da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

Tabela 20 - Diâmetro médio ponderado dos agregados, carbono orgânico, argila total, grau de flocculação e óxidos de alumínio e ferro dos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1

Horizontes	Prof. (cm)	DMPa (mm)	CO (g.kg <sup>-1</sup> )	GF (%)	AT (g.kg <sup>-1</sup> )	Al <sub>2</sub> O (g.kg <sup>-1</sup> )	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g.kg <sup>-1</sup> )
EIXO B – TR1- NEOSSOLO LITÓLICO							
AC	0-18	2,5	10,91	68,90	164	90	189
C	18-44	-	-	-	-	-	-
R	44+	-	-	-	-	-	-

DMPa- diâmetro médio ponderado de agregados; CO- carbono orgânico; GF- grau de flocculação da argila; AT - argila total

Elaboração: A autora (2021).

Estes resultados concordam com Ferreira *et al.* (2007) e Salton *et al.* (2008) que correlacionam os valores de DMPa com a influência do carbono orgânico, de Villa e França Júnior (2017) com a argila na agregação do solo e com Paes *et al.* (2012) que destacam a ação cimentante dos óxidos de ferro e alumínio nos agregados.

#### 4.3.2.2 Caracterização Química

As características químicas do perfil de solo da topossequência do eixo B podem ser consultadas Tabelas 21 e 22. Foi possível observar que os valores de pH em H<sub>2</sub>O mostraram-se sempre superiores ao pH em KCl. O horizonte AC é fortemente ácido com pH em água de

5,2, enquanto no horizonte C o pH em água é moderadamente ácido, cujo valor é de 5,5, conforme classificação estabelecida pela EMBRAPA (2018). O pH em KCl manteve-se estável, apresentando o valor de 4,6 para ambos os horizontes AC e C (Tabela 22). Os valores de pH indicam que as cargas predominantes no complexo absorvente são negativas (LIMA *et al.*, 2006).

Tabela 21 - Potencial hidrogeniônico (pH) do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1

Horizontes	Prof. (cm)	pH em KCl	pH em H <sub>2</sub> O	ΔpH	Classes pH (solo/água 1:2,5)
EIXO B - TR1 - NEOSSOLO LITÓLICO					
AC	0-18	4,6	5,2	-0,6	Fortemente ácido
C	18-44	4,6	5,5	-0,9	Moderadamente ácido
R	44+	-	-	-	-

Elaboração: A autora (2021)..

Tabela 22 - Características químicas perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1

Hor	Prof. (cm)	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SB	CTC pH7	ATA	V	MO
EIXO B – TR1 – NEOSSOLO LITÓLICO											
AC	0-18	3,49	0	20,54	3,65	0,06	24,25	27,7 4	169,1	87,41	1,9
C	18-44	2,19	0	20,45	3,73	0,08	24,26	26,4 5	176,3	91,72	1,0
R	44+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação de bases; ATA= atividade da argila

Elaboração: A autora (2021)..

Os valores de pH em água e acidez potencial estão inversamente correlacionados, enquanto o pH em água aumentou em profundidade, a acidez potencial diminuiu (Tabelas 21 e 22). A acidez potencial foi de 3,49 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte AC, e de 2,19 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte C (Tabela 23). Em relação ao alumínio trocável, os horizontes apresentaram valores nulos.

Dentre os elementos químicos de bases trocáveis, o cálcio (Ca<sup>2+</sup>) é predominante com valor de 20,54 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte AC e 20,45 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte C. O magnésio (Mg<sup>2+</sup>) teve um pequeno acréscimo em profundidade sendo 3,65 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte AC e 3,73 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte C. O potássio (K<sup>+</sup>) exibiu os menores valores dentre as bases trocáveis de 0,06 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> e 0,08 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> nos horizontes AC e C, respectivamente (Tabela 22).

Para a soma das bases, os valores foram aproximados, sendo no horizonte AC de 24,25 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> e de 24, 26 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte C. A partir da soma de bases (SB) e da acidez

potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ) foram estabelecidos os valores de CTC. No horizonte AC o valor de CTC foi de 27,74  $cmol_c/kg^{-1}$  e no horizonte C o valor foi de 26,45  $cmol_c/kg^{-1}$  (Tabela 22). Observa-se que à medida que a matéria orgânica diminuiu a CTC também diminuiu.

A matéria orgânica foi maior no horizonte AC (1,9 %) em relação ao horizonte C (1,0 %). Os autores têm explicado o favorecimento da matéria orgânica para a CTC do solo (CANELLAS *et al.*, 2003; FALLEIRO *et al.*, 2003). Teixeira *et al.* (2002) e Có Júnior (2011) demonstra que “A matéria orgânica atua na agregação de partículas, conferindo ao solo condições favoráveis de arejamento e friabilidade” (TEIXEIRA *et al.*, 2002, p.2) e é responsável pela capacidade de troca de cátions, estimada entre 56 e 82 % da CTC de solos sob condições tropicais (RAIJ, 1983) “o que favorece a retenção de cátions e diminui as perdas por lixiviação” (CÓ JÚNIOR, 2011, p.18).

A saturação por bases (V%) também apresentou valores altos, sendo igual a 87,41 % no horizonte AC e 91,72 % no horizonte C, configurando um aumento de 4,93 % em profundidade. Segundo a classificação da EMBRAPA (2018), esses horizontes possuem alta saturação por bases (igual ou superior a 50 %). A atividade da argila foi classificada como de atividade alta (valor igual ou superior a 27  $cmol_c/kg^{-1}$  de argila), respeitando o critério de classificação da EMBRAPA (2018). Os valores encontrados foram de 169,14  $cmol_c/kg^{-1}$  e 176,33  $cmol_c/kg^{-1}$  nos horizontes AC e C, respectivamente.

Os valores de ordem química encontrados para os horizontes do perfil de solo da TR1 da topossequência do eixo B estão em consonância com os resultados encontrados por Alho *et al.* (2007) para o Neossolo Litólico.

Na Tabela 23 estão disponibilizados os valores de óxidos de ferro, alumínio e titânio. Dentre os óxidos, o ferro se sobressaiu com 189  $g.kg^{-1}$ , seguido do alumínio com 90  $g.kg^{-1}$  e por fim o titânio, com 57  $g.kg^{-1}$ . Esses dados caracterizam o perfil com alto teor de ferro, conforme exposto pela EMBRAPA (2018).

Tabela 23 - Valores de Óxidos de ferro, alumínio e titânio do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 1

Horizontes	Prof. (cm)	$g.kg^{-1}$		
		$Al_2O_3$	$TiO_2$	$Fe_2O_3$
EIXO B - TR1 - NEOSSOLO LITÓLICO				
AC	0-18	90	57	189
C	18-44	-	-	-
R	44+	-	-	-

Elaboração: A autora (2021).

#### 4.3.1.3 Classificação do solo

Baseando-se nas características morfológicas, físicas e químicas do solo, foi realizada a classificação do solo da topossequência do eixo B, com base nos parâmetros estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA,2018).

O perfil de solo da TR1 apresentou os horizontes AC, C e R, ocorrendo o contato lítico fragmentário inferior a 50cm a partir da superfície, essa característica possibilita sua classificação até o segundo nível categórico, sendo denominado de Neossolo Litólico. O horizonte superficial apresentou as características de A chernozêmico, classificado como terceiro nível categórico e considerando as características químicas e físicas, bem como respeitando o critério de classificação da EMBRAPA (2018), foi denominado de chernossólico. O quarto nível categórico foi especificado como fragmentário, levando em consideração o contato lítico fragmentário (EMBRAPA, 2018).

Em decorrência das características físicas, químicas e morfológicas do perfil de solo (TR1), permite-se sua classificação em NEOSSOLO LITOLICO Chernossólico, fragmentário, textura siltosa, fase floresta Estacional Semidecidual.

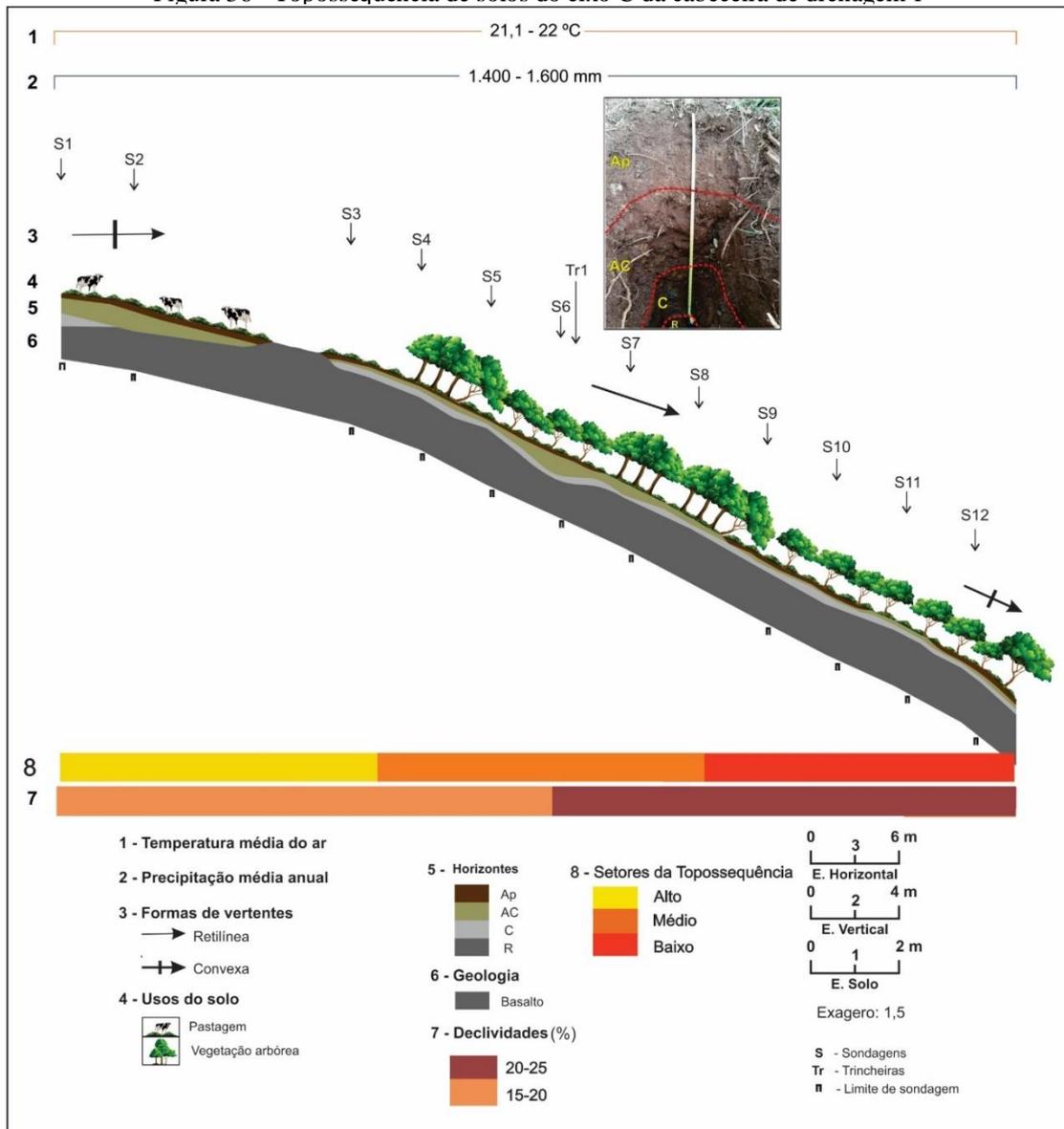
#### 4.3.3 A Topossequência de solos do eixo C

A terceira topossequência desta cabeceira, denominada de eixo C, está localizada entre as coordenadas 7409556,287 m latitude Sul e 425522,067 m (setor alto) longitude Oeste; 7409510,358 m latitude Sul e 425477,367 m (setor baixo) longitude Oeste. Esse eixo possui 65 metros de extensão e 18 metros de desnível topográfico.

No que se refere ao uso da terra, no setor alto da topossequência, a área é destinada a pastagem com a prática de pecuária semi-intensiva, equivalente a 22 m da extensão, já as porções média e baixa estão sob o uso de vegetação arbórea correspondendo a 43 m da extensão do eixo C. Nesse eixo C, o levantamento topográfico demonstrou que o segmento alto possui a forma convexa, passando a ser retílinea na seção média e suavemente convexa na parte baixa da topossequência (Figura 36).

Para o levantamento pedológico preliminar dessa topossequência do eixo C foram realizadas 12 sondagens, nas quais foi identificada a ocorrência dos horizontes Ap, AC, C e R. No setor médio da topossequência abriu-se a trincheira (TR1) para a caracterização morfológica dos horizontes, onde foram delimitados os horizontes Ap, AC, C e R.

Figura 36 - Topossequência de solos do eixo C da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

A síntese das características morfológicas dos horizontes pedológicos ao longo da topossequência pode ser verificada na Tabela 24.

O horizonte Ap pode ser observado em quase toda a extensão da topossequência do eixo C, a exceção ocorre no setor médio da topossequência. No segmento alto do eixo C, a espessura do horizonte Ap varia de 10 a 15 cm, já a parte média teve sua espessura variando de 5 a 3 cm até ocorrer sua descontinuidade (desaparecimento). No setor alto do eixo C a espessura do horizonte Ap varia de 10 a 15 cm. Na divisão média, o horizonte Ap teve sua espessura variando de 5 a 30 cm até ocorrer sua descontinuidade (desaparecimento).

Tabela 24 - Descrição morfológica dos perfis de solo da topossequência de solos do eixo C da cabeceira de drenagem 1

HORIZONTES (cm)	COR	TEXTURA	ESTRUTURA	CONSISTÊNCIA	TRANSIÇÃO	RAÍZES	OBSERVAÇÕES
TR1- NEOSSOLO REGOLÍTICO							
Ap (0-28)	2,5YR 3/6	siltosa	Grau: forte Tamanho: Média Tipo: Granular	Seca: macia Úmida: muito friável Molhada: muito plástica e muito pegajosa	gradual Irregular -	Muito finas; Finas; médias; abundantes	
AC (28-61)	10 YR 4/6	siltosa	Grau: Moderada Tamanho: Pequena a Média Tipo: Granular e Blocos angulares	Seca: solta Úmida: muito friável Molhada: muito plástica e muito pegajosa	clara Ondulada	Muito finas; Finas; médias; comuns	
C (61-80)	10YR 6/6	-	-	-	-	-	Fragmentos de rochas oxidados
R (80+)	-	-	-	-	-	-	Rocha pouco alterada

Elaboração: A autora (2021).

Na porção baixa, o horizonte Ap apresenta 10 cm de espessura ocorrendo novamente uma descontinuidade em seu aparecimento. Percebe-se que o horizonte Ap apresenta interrupções em seu aparecimento principalmente na parte média, sendo que sua espessura é maior na parte alta (Tabela 24).

No setor médio (TR1), o horizonte Ap apresentou 28 cm de espessura, de coloração vermelho-escuro (2,5YR 3/6) e textura siltosa. Sua estrutura é de grau forte, tamanho médio e tipo granular. A consistência quando seca é macia, muito friável quando úmida, muito plástica e muito pegajosa quando molhada. A transição do horizonte Ap para o horizonte AC é de nitidez gradual e forma irregular (Tabela 24).

O horizonte AC está presente em toda a extensão da topossequência, sendo que se apresenta como horizonte subsuperficial (segmentos alto e médio) e superficial (setor baixo). Na parte alta, o horizonte AC encontra-se como horizonte subsuperficial, e tem sua espessura de 35 cm expandindo para 55 cm, ainda no setor alto. É válido destacar que nesse setor quando ocorre o espessamento do horizonte AC, verifica-se o desaparecimento do horizonte C. Portanto, o horizonte AC está diretamente sobrejacente ao horizonte R (Tabela 24).

Em direção à sessão média da topossequência, o horizonte AC desenvolve-se entre 10 e 15 cm de profundidade quando expande sua espessura para 30 cm, emerge em superfície, mas no setor baixo em subsuperfície, o horizonte AC apresenta a espessura entre 10 e 15 cm.

Na trincheira (TR1) aberta para a caracterização morfológica, o horizonte AC varia de 28 a 61 cm, tem cor vermelho (2,5 YR 4/6) e textura siltosa. Sua estrutura é caracterizada por grau moderado, de tamanho pequeno a médio, e tipo granular passando a blocos angulares. A consistência quando seca é solta, muito friável quando úmida, muito plástica quando molhada e apresenta muita pegajosidade. A transição do horizonte AC para o C é de nitidez clara e forma ondulada (Tabela 24).

O horizonte C foi identificado apenas no segmento inicial do setor de topo, entre a profundidade de 45 a 75 cm. Percebe-se que quando ocorre a ruptura da forma da curvatura de convexo para retilíneo, coincidindo com a proximidade do afloramento rochoso da topossequência, o horizonte C sofre uma descontinuidade (desaparecimento). Esse mesmo horizonte aparece no segmento médio da topossequência entre 10 e 30 cm de profundidade, passa a ser encontrado em profundidades maiores a partir de 60 cm, e oscila sua ocorrência de 25 a 35 cm de profundidade. Na parte baixa da topossequência, o horizonte C pode ser observado de 10 a 25 cm de profundidade ao longo deste setor.

Na TR1, no setor médio, entre 61 e 80 cm de profundidade, notou-se a ocorrência do horizonte C com fragmentos de rochas com coloração amarelo-brunado (10YR6/6). A partir de 80cm encontrou-se o contato com a rocha sã (horizonte R) (Tabela 24).

O horizonte R foi identificado a 75 cm de profundidade no setor alto reduzindo em torno de 20 a 35 cm, a partir do segmento médio, onde pode ser observado a mais de 80cm de profundidade e passando a 35 cm de profundidade e reduzindo para 20 cm até a sessão baixa topossequência (Tabela 24).

Em termos gerais, o eixo C é a topossequência em que o afloramento rochoso está presente da forma mais expressiva da cabeceira. Nesse eixo a cobertura pedológica está mais espessa no setor alto, principalmente devido a maior crassidão do horizonte AC nesses locais.

#### 4.3.3.1 Propriedades físicas e hídricas

##### 4.3.3.1.1 Granulometria e argila dispersa em água

Os dados referentes às frações grosseiras (maior que 2 mm) presentes nos horizontes da topossequência do eixo C demonstram a predominância destas em detrimento das frações finas (menores que 2 mm). O horizonte Ap tem 665 g.kg<sup>-1</sup> de sua massa constituída por fragmentos de rochas, o horizonte AC teve 820 g.kg<sup>-1</sup> e o horizonte C, por sua vez, 900 g.kg<sup>-1</sup> (Tabela 25).

Tabela 25 - Proporção de frações grosseiras no perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1

Horizontes	Prof.(cm)	Frações grosseiras (g.kg <sup>-1</sup> )	Frações finas (g.kg <sup>-1</sup> )
EIXO C – TR1 – NEOSSOLO REGOLÍTICO			
Ap	0-28	665	335
AC	28-61	820	180
C	61-80	900	100
R	80+	-	-

Frações grosseiras - fragmentos grosseiros com diâmetro maior que 2mm (cascalhos, calhaus e matacões) Frações finas - frações menores que 2 mm (areia, silte e argila)

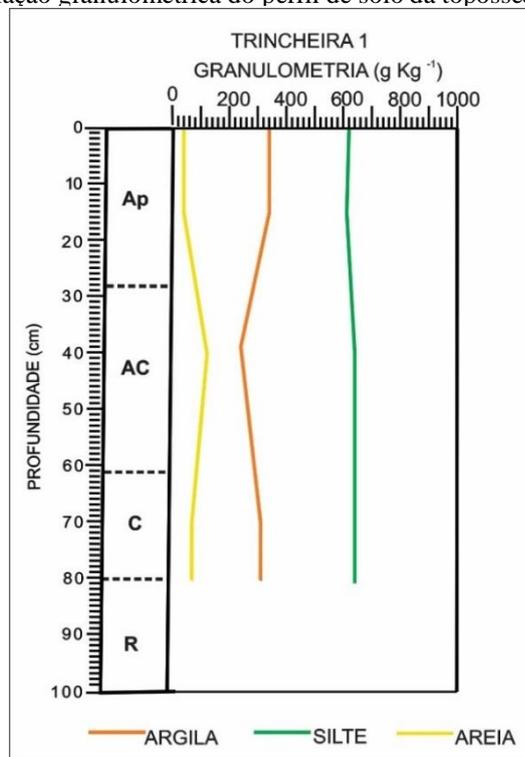
Elaboração: A autora (2021).

Como observado anteriormente nos eixos A e B, as frações grosseiras são predominantes em função do pouco desenvolvimento pedogenéticos destes solos.

Em termos granulométricos das frações finas (Figura 37 e Tabela 26), no horizonte Ap o silte apresentou a proporção de 613 g.kg<sup>-1</sup>, seguida da argila com 340 g.kg<sup>-1</sup>, e conseguinte da

areia com  $47 \text{ g.kg}^{-1}$ . O horizonte AC apresentou os teores de  $623 \text{ g.kg}^{-1}$  de silte, seguida da argila com  $267 \text{ g.kg}^{-1}$ , e do menor teor de areia com  $110 \text{ g.kg}^{-1}$  (Figura 37 e Tabela 26).

Figura 37 - Variação granulométrica do perfil de solo da topossequência do eixo C



Elaboração: A autora (2021).

Tabela 26 - Propriedades granulométricas do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1

Hor.	Prof. (cm)	Argila ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	Silte ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	Areia ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	Textura	Silte/argila	GD (%)	GF (%)	ADA ( $\text{g.kg}^{-1}$ )
EIXO C - TR1 – NEOSSOLO REGOLÍTICO									
Ap	0-28	340	613	47	Siltosa	1,80	38,24	61,76	130
AC	28-61	267	623	110	Siltosa	2,33	76,78	23,22	205
C	61-80	335	629	42	Siltosa	1,87	86,87	13,13	291
R	80+	-	-	-	-	-	-	-	-

GD – Grau de dispersão da argila; GF- grau de flocculação da argila; ADA- argila dispersa em água

Elaboração: A autora (2021).

No horizonte C, os valores encontrados foram de  $629 \text{ g.kg}^{-1}$  de silte, seguida da argila com  $335 \text{ g.kg}^{-1}$ , e  $42 \text{ g.kg}^{-1}$  de areia. Possivelmente os resultados superiores de silte estão relacionados à proximidade com o material rochoso. Na TR1, pode-se observar a distribuição granulométrica da fração fina nos horizontes de acordo com as classes texturais estabelecidas

pela EMBRAPA (2018). Diante do exposto, os horizontes Ap, AC e C (TR1) foram classificados como textura siltosa (Tabela 26).

A relação silte/argila serviu como base para avaliar o grau de intemperismo dos solos. De acordo com esse parâmetro, a relação do silte com a argila demonstrou o baixo grau de desenvolvimento dos horizontes, sendo que os valores encontrados foram 1,80, 2,33, 1,87, para os horizontes Ap, AC e C, respectivamente (Tabela 26). Valores semelhantes foram encontrados por Pedron (2007) para Neossolos Regolíticos no RS, os quais por serem solos mais jovens sofreram menor grau de intemperismo.

O grau de dispersão da argila aumentou verticalmente e substancialmente no perfil. No horizonte Ap, o grau de dispersão foi de 38,24 % e o grau de floculação foi de 61,76 %. No horizonte AC o grau de floculação foi de 23,22 % enquanto o grau de dispersão aumentou para 76,78 %. O horizonte C apresentou o grau de dispersão mais elevado desse perfil, 86,87% e floculação de 13,13 %. Portanto, verifica-se que no horizonte AC houve um aumento de 100,57 % no grau de dispersão em relação ao horizonte Ap. Já em relação ao horizonte AC para o C, o aumento no grau de dispersão foi de 13,25 % (Tabela 26).

Assim, nesse perfil o grau de floculação predominou apenas no horizonte Ap, enquanto nos horizontes AC e C o grau de dispersão foi maior, sugerindo a influência da matéria orgânica no horizonte superficial para a floculação, conforme sugerem Prado e Centurion (2001).

#### 4.3.3.1.2 Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total

Os dados de densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1 podem ser averiguados na Tabela 27.

Tabela 27 - Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1

Horizonte	Profundidade (cm)	Ds (g.cm <sup>-3</sup> )	Ma (%)	Mi (%)	Pt (%)	Proporção da Pt (%)	
						Macro	Micro
<b>EIXO C - TR1- NEOSSOLO REGOLITICO</b>							
Ap	0-28	1,09	6,62	42,36	48,98	13,51	86,48
AC	28-61	1,22	11,10	35,20	46,31	23,96	76,03
C	61-80	-	-	-	-		
R	80+	-	-	-	-		

Ds- Densidade do solo; Ma-Macroporosidade; Mi- Microporosidade; Pt- Porosidade total

Elaboração: A autora (2021).

No que se refere a densidade do solo no horizonte Ap, o valor encontrado foi de 1,09 g.cm<sup>-3</sup>, enquanto no horizonte AC a densidade foi de 1,22 g.cm<sup>-3</sup>, ou seja, houve um aumento na densidade em profundidade de 11,92 %. A densidade menor no horizonte superficial pode estar sendo influenciada pela maior disponibilidade de matéria orgânica, conforme apontam os autores Souza e Alves (2003). Os resultados de densidade estão semelhantes aos encontrados por Kaiser (2006).

Sob os aspectos da porosidade total, no horizonte Ap o valor encontrado foi de 48,98 %, já no AC foi de 46,31 %. A microporosidade no horizonte Ap exibiu 42,36 % e no horizonte AC 35,20 %. Para a macroporosidade, no horizonte Ap foi obtido o valor de 6,62 % enquanto no AC o valor foi de 11,10 %. Em termos proporcionais, a microporosidade correspondeu a 86,48 % do sistema poral do horizonte Ap e o AC a 76,03 %.

Observando o gráfico, de modo geral, houve um aumento de densidade e macroporosidade nesse perfil em profundidade, e uma redução na microporosidade e porosidade total.

A macroporosidade sofreu um aumento do horizonte Ap para o AC, provavelmente decorrente da maior quantidade de frações grosseiras no horizonte AC, a partir do mencionado por Dalbianco (2009).

#### 4.3.3.1.3 Características hídricas

Os resultados de condutividade hidráulica saturada (Kfs), obtidos nos horizontes desta topossequência eixo C (Tabela 28 e Figura 38) foram classificados de acordo com os parâmetros estabelecidos por Beutler *et al.* (2001), de lenta a moderada (20 – 60 mm/h<sup>-1</sup>) no horizonte Ap, sendo 42,56 mm/h<sup>-1</sup> e no horizonte AC 20,03 mm/h<sup>-1</sup>.

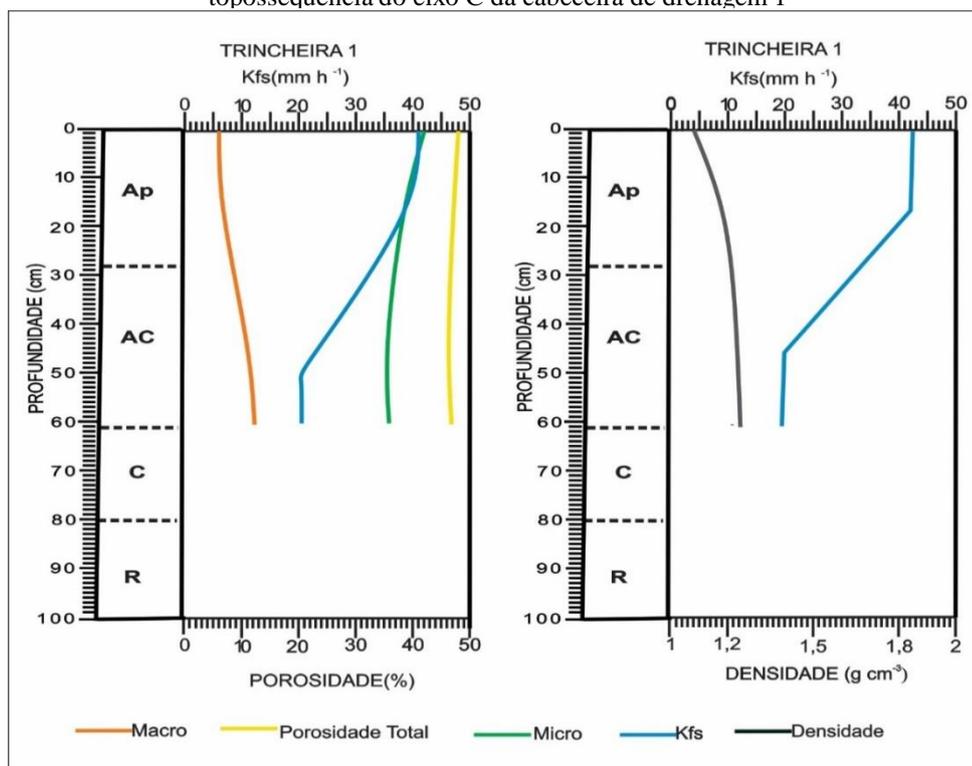
Tabela 28 - Condutividade hidráulica saturada (Kfs) do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1

Horizontes (cm)	Kfs (mm/h <sup>-1</sup> )	Classes de Permeabilidade (mmh <sup>-1</sup> ) *	CV (%)
EIXO C - TR1- NEOSSOLO REGOLÍTICO			
Ap (0-28)	42,56	Lenta a Moderada	50,49
AC (28-61)	20,03	Lenta a Moderada	0,00
C (61-80)	10,01	Lenta	0,00
R (80+)	-	-	-

Kfs – condutividade hidráulica saturada; CV- coeficiente de variação para média de três leituras

Fonte: \* Classificação proposta por Beutler *et al.* (2001), adaptada do *Soil Survey Staff*.

Figura 38 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a porosidade e densidade do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

Para o horizonte C a  $K_{fs}$  foi de  $10,01 \text{ mm/h}^{-1}$ , o que permitiu classificar como lenta ( $5\text{-}20 \text{ mm/h}^{-1}$ ). Observa-se que ocorreu uma redução da condutividade hidráulica saturada em profundidade conforme a aproximação com a rocha (Tabela 28 e Figura 38). Quando comparados os dados de condutividade hidráulica saturada com os dados de porosidade total, observa-se que essas duas propriedades foram diretamente proporcionais (Figura 38), podendo este resultado estar relacionado com o incremento da densidade no horizonte AC.

O coeficiente de variação de condutividade hidráulica para o horizonte Ap foi de 50,49 %, portanto, considerado de variabilidade média (entre 12 e 60 %), segundo Warrick e Nielsen (1980). Nos horizontes AC e C, por sua vez, não ocorreram variações entre as repetições realizadas.

#### 4.3.3.1.4 Estabilidade de agregados

A estabilidade de agregados do solo (DMPa) demonstrou a variação entre os horizontes, sendo de 2,7 mm para o Ap e 2,8 mm para o AC (Tabela 29). De acordo com Tisdall e Oades (1982) solos com diâmetro médio ponderado de agregados (DMPa) abaixo de 0,5 mm são considerados de baixa estabilidade, estando os valores encontrados acima deste limite. Quando

se trata da distribuição das classes de agregados (Figuras 39 e 40), nota-se que houve a predominância da classe entre 8 e 4 mm tanto no horizonte Ap quanto no horizonte AC.

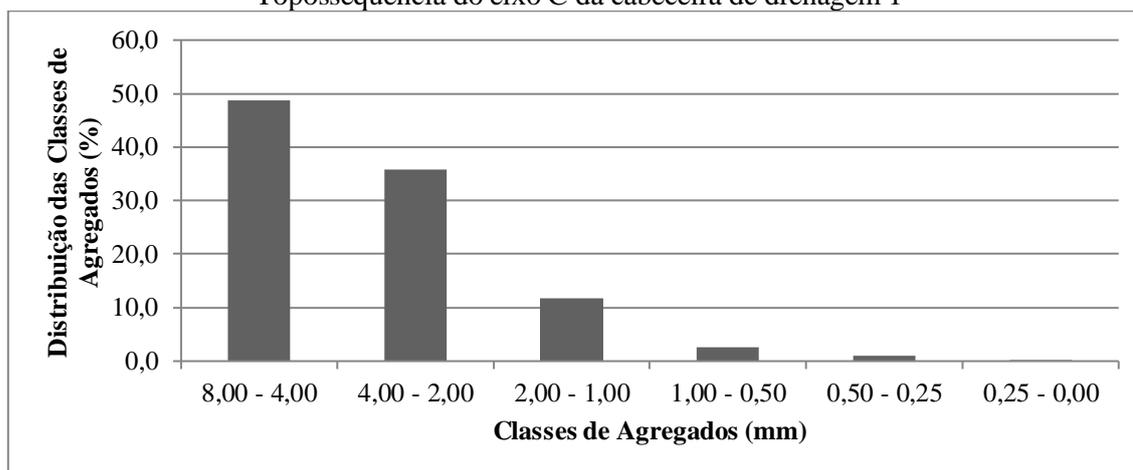
Tabela 29 - Distribuição das classes de agregados dos perfis de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1

Hor	Prof.(cm)	Classes de Agregados (mm)					DMPa (mm)	
		8-4	4-2	2-1	1-0,50	0,50-0,25		0,25-0,00
%								
EIXO C - TR1- NEOSSOLO REGOLÍTICO								
Ap	0-28	48,65	35,82	11,73	2,54	1,05	0,25	2,7
AC	28-61	53,00	31,80	11,03	3,07	0,85	0,26	2,8
C	61-80	-	-	-	-	-	-	-
R	80+	-	-	-	-	-	-	-

DMPa- diâmetro médio ponderado dos agregados

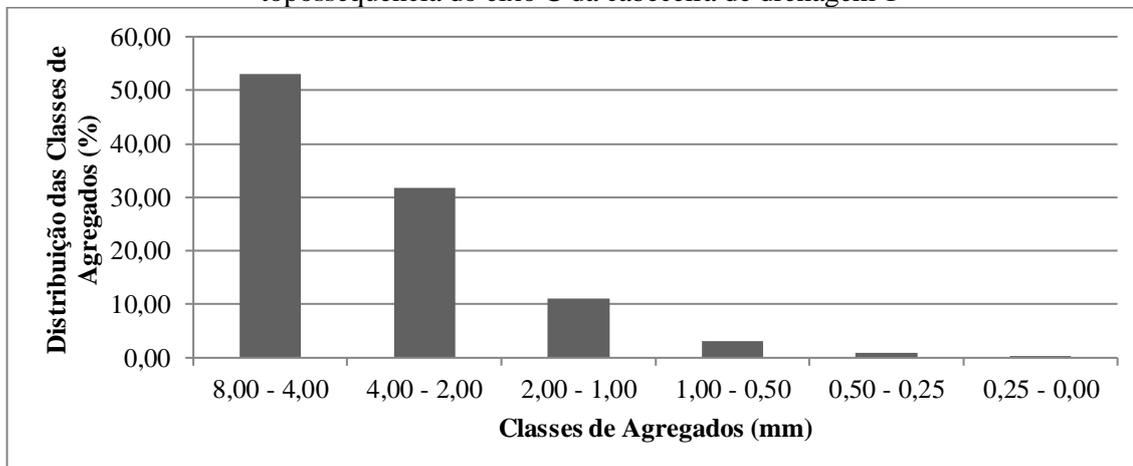
Elaboração: A autora (2021).

Figura 39 - Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados do horizonte Ap da Topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

Figura 40 - Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados do horizonte AC da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

Para esta classe, o horizonte Ap teve 48,65 % de seus agregados retidos nesta peneira, enquanto o horizonte AC obteve 53 %. Ademais, o horizonte Ap obteve valores maiores em termos proporcionais na classe de 4 a 2mm (35,82 %), de 2 a 1 mm (11,73 %), e de 0,50 a 0,25 mm (1,05 %). O horizonte AC demonstrou valores maiores nas classes 1 a 0,50 mm (3,07 %), e 0,25-0,0 mm (0,26 %).

Em relação aos fatores que contribuem para a agregação (Tabela 30), o horizonte Ap apresentou 39,35 g.kg<sup>-1</sup> de carbono orgânico, 61,76 % de argila floculada e 340 g.kg<sup>-1</sup> de argila total.

Tabela 30 - Diâmetro médio ponderado dos agregados, carbono orgânico, argila total, grau de floclação e óxidos dos perfis de solo da topossequência de solos do eixo C da cabeceira de drenagem

Horizontes	Prof. (cm)	DMPa (mm)	CO (g.kg <sup>-1</sup> )	GF (%)	AT (g.kg <sup>-1</sup> )	Al <sub>2</sub> O (g.kg <sup>-1</sup> )	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g.kg <sup>-1</sup> )
Ap	0-28	2,7	39,35	61,7	340	66	209
AC	28-61	2,8	16,35	23,2	267		
C	61-80	-	-	-	-	-	-
R	80+	-	-	-	-	-	-

DMPa- diâmetro médio ponderado de agregados; CO- carbono orgânico; GF- grau de floclação da argila; AT -argila total

Elaboração: A autora (2021).

Em profundidade, no horizonte AC, houve redução do carbono orgânico para 16,35 g.kg<sup>-1</sup>, redução do grau de floclação para 23,2 %, e redução na argila total para 267 g.kg<sup>-1</sup>.

A diferença do resultado de DMPa para os horizontes Ap e AC podem estar relacionados às diferenças estruturais entre os horizontes, além da quantidade de fragmentos rochosos que não se rompem com o ensaio, sobretudo no horizonte AC.

Em relação aos resultados de óxidos, o ferro sobressai com 209 g.kg<sup>-1</sup> seguido do alumínio com 66 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap. Por conseguinte, pode-se considerar que os óxidos de ferro e alumínio atuaram como agentes agregantes, conforme também mencionado por Ferreira *et al.* (2007) e Paes *et al.* (2012).

#### 4.3.3.2 Caracterização Química

Os dados químicos da topossequência de solos do eixo C podem ser consultados nas Tabelas 31 e 32.

Tabela 31 - Potencial hidrogeniônico (pH) do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1

Horizontes	Prof. (cm)	pH em KCl	pH em H <sub>2</sub> O	ΔpH	classes pH (solo/água 1:2,5)
EIXO C - TR1- NEOSSOLO REGOLÍTICO					
Ap	0-28	4,6	5,0	-0,4	Fortemente Ácido
AC	28-61	4,6	5,3	-0,7	Fortemente Ácido
C	61-80	4,7	5,4	-0,7	Moderadamente Ácido
R	80+	-	-	-	-

Elaboração: A autora (2021).

Tabela 32 - Características químicas do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1

Hor.	Prof.	H <sup>+</sup> Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SB	CTC	ATA	V	MO
	(cm)	Cmol <sub>c</sub> <sup>-1</sup>							(%)		
Ap	0-28	5,46	0	18,6	3,48	0,12	22,2	27,66	81,35	80,26	6,8
AC	28-61	2,79	0	18,55	3,43	0,12	22,1	24,89	65,67	88,79	2,8
C-	61-80	2,98	0	19,52	3,44	0,06	23,02	26	76,92	88,53	1,9
R	80+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V% = saturação de bases; MO = matéria orgânica; ATA = atividade da argila

Elaboração: A autora (2021).

Os dados químicos indicam pH em água no horizonte Ap de 5,0, no AC de 5,3 e no horizonte C de 5,4. Portanto, os horizontes Ap e AC são fortemente ácidos, enquanto o horizonte C é considerado moderadamente ácido (EMBRAPA,2018). Os valores expressos de pH em KCl são inferiores aos de pH em água, sendo de 4,6 nos horizontes Ap e AC e 4,7 no horizonte C. Em relação ao ΔpH, todos os horizontes apresentaram valores negativos, sendo de -0,4 para o horizonte Ap e -0,7 para os horizontes AC e C. De acordo com Ferreira (1999, p.11) “o sinal negativo do ΔpH de um solo indica balanço final de cargas negativas deste solo, e que o mesmo apresenta capacidade de troca de cátions”.

A acidez potencial (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>) foi maior no horizonte Ap expressando valores de 5,46 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup>, seguido do horizonte AC 2,79 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> e por último o horizonte C com 2,98 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup>. Os valores de alumínio foram nulos (Al<sup>3+</sup>) em todos os horizontes (Tabela 32). A acidez potencial caracteriza o poder tampão de acidez do solo, e sua estimativa acurada é fundamental para se estimar a capacidade de troca catiônica para pH 7,0 (EMBRAPA, 2017).

O cátion básico predominante foi o cálcio (Ca<sup>2+</sup>), seguido do magnésio (Mg<sup>2+</sup>) e por fim do potássio (K<sup>+</sup>), em todos os horizontes (Tabela 32). O cálcio foi de 18,6 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap, 18,5 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte AC e 19,52 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte C. O magnésio

foi de 3,48  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte Ap, 3,43  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte AC e 3,44  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte C. O potássio teve menor representatividade sendo 0,12  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  nos horizontes Ap e AC e 0,06  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte C. Destarte, observa-se que o cálcio aumentou em profundidade enquanto o magnésio e o potássio diminuíram. Esses valores estão de acordo com resultados químicos comumente encontrados em solos derivados do basalto.

Os valores dos cátions influenciaram nos valores de soma das bases e de CTC. A soma das bases no horizonte Ap foi de 22,2  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ , no horizonte AC de 22,1  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  e no horizonte C de 23,02  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ . A CTC foi de 27,66  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte Ap, 24,89  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte AC e 26  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte C. Aparentemente, a CTC é correspondente aos valores de matéria orgânica, que também são maiores em superfície e diminuem em profundidade sendo de 6,8 %, 2,8 % e 1,9 %, nos horizontes Ap e AC. No horizonte C, nota-se a CTC mais elevada em comparação ao horizonte AC, mesmo tendo matéria orgânica reduzida, possivelmente em função da quantidade e da atividade da argila.

A saturação por bases (V%) é menor em superfície e aumenta em profundidade no horizonte Ap com 80,26 %, passa a 88,79 % no horizonte AC, e volta a diminuir no horizonte C com 88,53 %. De acordo com classificação da EMBRAPA (2018), esses horizontes são classificados com alta saturação por apresentarem valores de saturação de bases superior a 50 %, conferindo-lhes o caráter eutrófico (Tabela 32).

Em relação a atividade da argila (Tabela 32), apresentou-se alta em todos os horizontes, sendo maior no horizonte Ap (81,35  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ), seguido do horizonte AC (65,67  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ), e por último o horizonte C (76,92  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ). Esses valores são considerados de atividade alta (Ta), de acordo com a EMBRAPA (2018).

Na Tabela 33 estão apresentados os valores obtidos para os óxidos de ferro, alumínio e titânio para o horizonte Ap, com valores de 209, 140 e 66  $\text{g.kg}^{-1}$ , respectivamente, caracterizando o alto teor de ferro (acima de 180  $\text{g.kg}^{-1}$ ) conforme a EMBRAPA (2018).

Tabela 33 - Valores de óxidos de ferro, alumínio e titânio do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem I

Horizontes	Prof. (cm)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		g.kg <sup>-1</sup>		
<b>EIXO C – TR1 - NEOSSOLO REGOLÍTICO</b>				
Ap	0-28	140	66	209
AC	28-61	-	-	-
C	61-80	-	-	-
R	80+	-	-	-

Elaboração: A autora (2021).

#### 4.3.3.3 Classificação do solo

Os dados químicos apresentados, associados às características morfológicas, alicerçaram a classificação deste perfil no primeiro nível categórico em Neossolo. Desse modo, levando em consideração que ocorre o contato lítico a uma profundidade maior que 50cm a partir da superfície, e ainda com mais de 5% do volume da sua massa apresentando fragmentos de rocha, atende-se, portanto, aos requisitos para classificá-lo no segundo nível categórico como Neossolo Regolítico, segundo a EMBRAPA (2018).

Para o terceiro nível categórico, considera-se que o horizonte A apresentou saturação de bases maior que 50 % conferindo-lhe o caráter eutrófico. Para o quarto nível categórico, estima-se o contato lítico a uma profundidade maior que 50 cm e menor que 100 cm para enquadrá-lo no subgrupo léptico. Cumprindo todos os requisitos necessários, o perfil de solo da topossequência do eixo C foi classificado como NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico, de textura siltosa e fase floresta estacional semidecidual.

#### 4.3.4 A topossequência de solos do eixo D

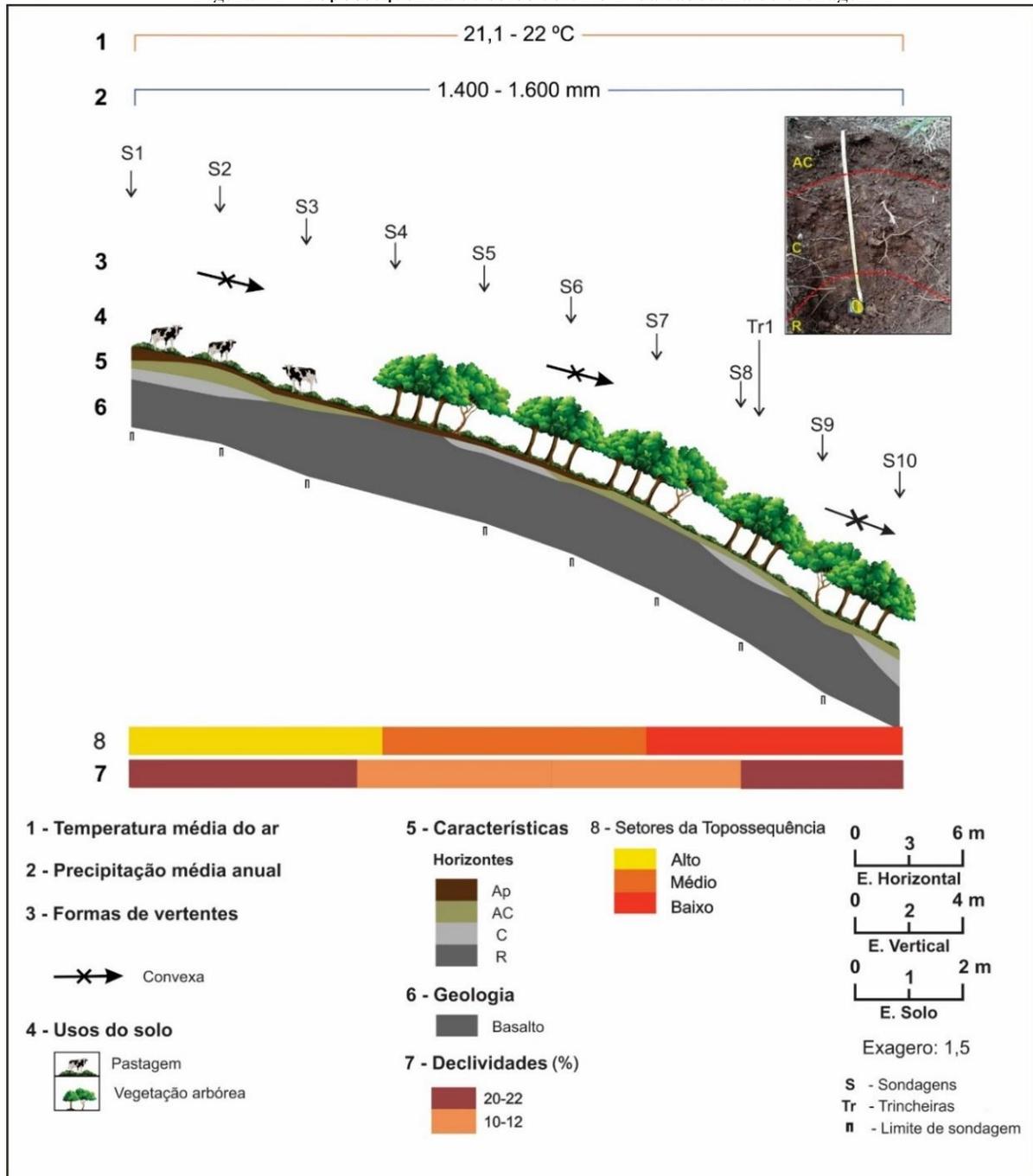
A topossequência do eixo D (Figura 41) está localizada entre as coordenadas 7409574,105 m de latitude Sul e 425493,803 m de longitude Oeste (no setor alto), 7409530,788 m latitude Sul e 425481,207 m longitude Oeste (setor baixo). Este eixo possui 42 metros de extensão e 11 metros de desnível topográfico e a morfologia da topossequência é convexa.

Na topossequência do eixo D, o horizonte Ap foi identificado apenas até o setor médio da topossequência. No segmento alto da topossequência, o horizonte superficial Ap inicia com um espessamento de 25 cm e reduz para 10 cm permanecendo até a divisão média. Observa-se que o horizonte Ap está sobrejacente ao horizonte AC na maior parte desta topossequência, a exceção ocorre no setor médio onde transiciona verticalmente diretamente sobre os horizontes C (Ap, C, R) e R (Ap e R).

O horizonte AC pode ser observado com espessuras variando de 15 a 30 cm nos setores alto e médio da topossequência. No segmento médio ocorre sua descontinuidade (desaparecimento), tornando a desenvolver-se próximo a parte baixa com espessuras de 10 cm quando em subsuperfície e emerge superficialmente não ultrapassando a espessura de 20 cm (Tabela 34). A descrição morfológica do horizonte AC na TR1 localizada no setor baixo da topossequência, indica que este horizonte possui 13 cm de espessura com textura siltosa e cor bruno avermelhada (2,5 YR 4/4). A estrutura é de grau forte, tamanho pequeno e tipo granular.

Possui consistência solta quando seca, muito friável quando úmida e muito plástica e muito pegajosa quando molhada. A transição do horizonte AC para o horizonte C é de nitidez clara e forma ondulada (Tabela 34).

Figura 41 - Topossequência de solos do eixo D da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

Tabela 34 - Descrição morfológica do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1

HORIZONTES (cm)	COR	TEXTURA	ESTRUTURA	CONSISTÊNCIA	TRANSIÇÃO	RAÍZES	OBSERVAÇÕES
TR1- NEOSSOLO LITÓLICO							
AC (0-13)	2,5YR 4/4	Siltosa	Grau: forte Tamanho: Pequena Tipo: Granular	Seca: solta Úmida: muito friável Molhada: muito plástica e muito pegajosa	clara ondulada -	Muito finas; Finas; Médias Comuns	
C (13-46)		-	-	-	-		Presença de rocha alterada
R (46+)	-	-	-	-			Rocha pouco alterada

Elaboração: A autora (2021).

O horizonte C foi identificado no setor alto da topossequência alternando sua espessura de 20 a 12 cm. No segmento médio, é observado de forma alternada até a porção baixa, variando sua espessura de 12 a 50 cm. No setor baixo (TR1), o horizonte C apresentou 33 cm de espessura, pouco afetado por processos pedogenéticos, transicionando para o horizonte R a partir de 46 cm (Tabela 34).

O horizonte R foi encontrado em toda extensão da topossequência, sendo identificado entre 52 e 60 cm de profundidade na parte alta da topossequência. Na sessão média é observado de 10 cm a no máximo 30 cm de profundidade, passando para 50 cm no setor baixo (Tabela 34).

#### 4.3.4.1 Propriedades físicas e hídricas

##### 4.3.4.1.1 Granulometria e argila dispersa

A proporção de frações grosseiras no perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1 pode ser consultada na Tabela 35. Os dados das frações grosseiras (maior que 2 mm), presentes nos horizontes da topossequência do eixo D foram de 870 g.kg<sup>-1</sup> para o horizonte AC e 899 g.kg<sup>-1</sup> para o horizonte C. Percebe-se que a contribuição dos fragmentos grosseiros foi superior no horizonte C devido a maior influência do substrato rochoso.

Tabela 35 - Proporção de frações grosseiras no perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1

Horizontes	Prof.(cm)	Frações grosseiras (g.kg <sup>-1</sup> )	Frações finas (g.kg <sup>-1</sup> )
EIXO D – TR1 – NEOSSOLO LITÓLICO			
AC	0-13	870	130
C	13-46	899	101
R	46+	-	-

Frações grosseiras - fragmentos grosseiros com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões) Frações finas - frações menores que 2 mm (areia, silte e argila)

Elaboração: A autora (2021).

Na análise granulométrica (Tabela 36) das frações finas (menores que 2 mm) foram encontrados no horizonte AC, os valores de silte, de 549 g.kg<sup>-1</sup>, seguida da fração argila 347 g.kg<sup>-1</sup>, e por último da fração areia 104 g.kg<sup>-1</sup> (Figura 42). Para o horizonte C foram encontrados os valores 569 g.kg<sup>-1</sup> para o silte, 317 g.kg<sup>-1</sup> para a argila e 114 g.kg<sup>-1</sup> para a areia.

Na Figura 42 percebe-se que houve pequena variação nos valores granulométricos ao longo do perfil do horizonte AC para o C: a argila diminuiu em 8,64 %, o silte aumentou em 3,64 % e a areia em 9,61 %. Expressa-se, portanto, o aumento do silte e areia em profundidade e redução da argila, decorrendo da reduzida espessura dos horizontes somados ao fato da proximidade com material rochoso (PEDRON, 2007; STÜRMER, 2008).

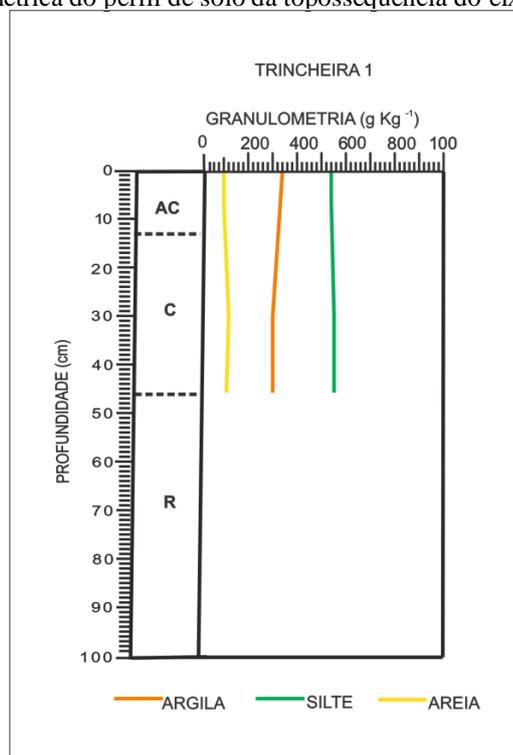
Tabela 36 - Propriedades granulométricas do perfil de solo da topossequência de solos do eixo D da cabeceira de drenagem 1

Prof. (cm)	Hor.	Argila (g.kg <sup>-1</sup> )	Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	Areia (g.kg <sup>-1</sup> )	Textura	Silte/argila	GD (%)	GF (%)	ADA (g.kg <sup>-1</sup> )
EIXO D - TR1- NEOSSOLO LITÓLICO									
0-13	AC	347	549	104	Siltosa	1,58	69,45	30,55	240
13-46	C	317	569	114	Siltosa	1,79	78,86	21,14	250
46+	R	-	-	-	-	-	-	-	-

GD – Grau de dispersão da argila; GF- grau de floculação da argila; ADA- argila dispersa em água

Elaboração: A autora (2021).

Figura 42 - Variação granulométrica do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

Os resultados das análises granulométricas permitiram classificar a textura dos horizontes AC e C da topossequência do eixo D em siltosa, de acordo com EMBRAPA (2018). No que se refere ao resultado da relação do silte com a argila, os horizontes (AC e C) demonstraram baixo grau de desenvolvimento pedogenético, segundo a classificação da EMBRAPA (2018), exibindo valores de 1,58 no horizonte AC e 1,79 para o horizonte C (Tabela 36).

O grau de dispersão foi maior que o grau de floculação nos horizontes. O horizonte AC apresentou 69,45 % de dispersão, enquanto o horizonte C obteve 78,86 %. Houve um aumento de 13,54 % do grau de dispersão em profundidade do horizonte AC para o C (Tabela 36). Em contrapartida, o horizonte superficial AC encontrou-se mais floculado com 30,55 % e o horizonte C com 21,13 %. Resultados semelhantes foram verificados por Fontana (2020, p.115) que ao analisar um perfil de Neossolo Regolítico verificou que o grau de dispersão da argila foi superior a 70 %, “indicando que a fração mais fina do solo apresenta facilidade em ser removida do sistema pedológico”. Também em um perfil de Neossolo Litólico de textura siltosa, no município de Mandaguari, o levantamento de solos do estado do Paraná realizado pela EMBRAPA (1984) identificou apenas 32 % de grau de floculação.

Conforme elucida Lepsch (2011), várias substâncias podem contribuir para a floculação da argila, tais como a matéria orgânica (incluindo exudados de raízes e outros organismos vivos), minerais da argila, compostos de ferro, carbonatos, sílica coloidal etc. Segundo De Paula (2017, p.10) as possíveis causas da dispersão da argila podem se dar em virtude da “textura, mineralogia, teores de cátions, pH, a matéria orgânica, pois, estes fatores são determinantes na espessura da dupla camada difusa, de fundamental influência na dispersão e floculação de partículas”.

#### 4.3.4.1.2 Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total

Os dados sobre densidade e porosidade do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1 estão apresentados na Tabela 37.

O valor de densidade do horizonte AC na topossequência do eixo D foi de 1,14 g.cm<sup>-3</sup>. No que se refere a porosidade total o valor encontrado foi de 51,32%, com a predominância da microporosidade com 32,24 % e a macroporosidade correspondeu a 19,08 %. Proporcionalmente, a microporosidade equipara-se a 62,82 % e a macroporosidade a 37,18 %, do sistema poral do horizonte AC.

Tabela 37 - Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) do perfil de solo da toposequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1

Trincheira Horizonte	Prof. (cm)	Ds (g.cm <sup>-3</sup> )	Ma (%)	Mi (%)	Pt (%)	Proporção da Pt (%)	
						Macro	Micro
EIXO D – TR1 – NEOSSOLO LITÓLICO							
TR1- AC	0-13	1,14	19,08	32,24	51,32	37,18	62,82
TR1 - C	13 – 46	-	-	-	-		
TR1 - R	46+	-	-	-	-		

Ds- Densidade do solo; Ma-Macroporosidade; Mi- Microporosidade; Pt- Porosidade total

Elaboração: A autora (2021).

O resultado da macroporosidade está acima do ideal mencionado em Erickson (1982) e Xu *et al* (1992). Valores semelhantes foram verificados por Fontana (2021) em uma toposequência de solos Belém, localizada no município de Mandaguari (PR) para um Neossolo Regolítico, em área utilizada como pastagem, onde “a densidade média do solo no horizonte Ap é de 1,16 g.cm<sup>-3</sup>, sendo 59 % do volume do solo ocupado por poros, dos quais, 20 % correspondem aos macroporos e 39 % são de microporos”

#### 4.3.4.1.3 Características hídricas

Sob os aspectos das condições hídricas, os resultados estão expostos na Tabela 38 e na Figura 43. A condutividade hidráulica saturada (Kfs) do horizonte AC foi de 140,19 mm/h<sup>-1</sup>, sendo classificada de acordo com Beutler *et al.* (2001) de moderada a rápida. Observa-se que a condutividade hidráulica saturada possivelmente foi favorecida neste horizonte AC pela macroporosidade (19,08 %) e porosidade total (51,32 %).

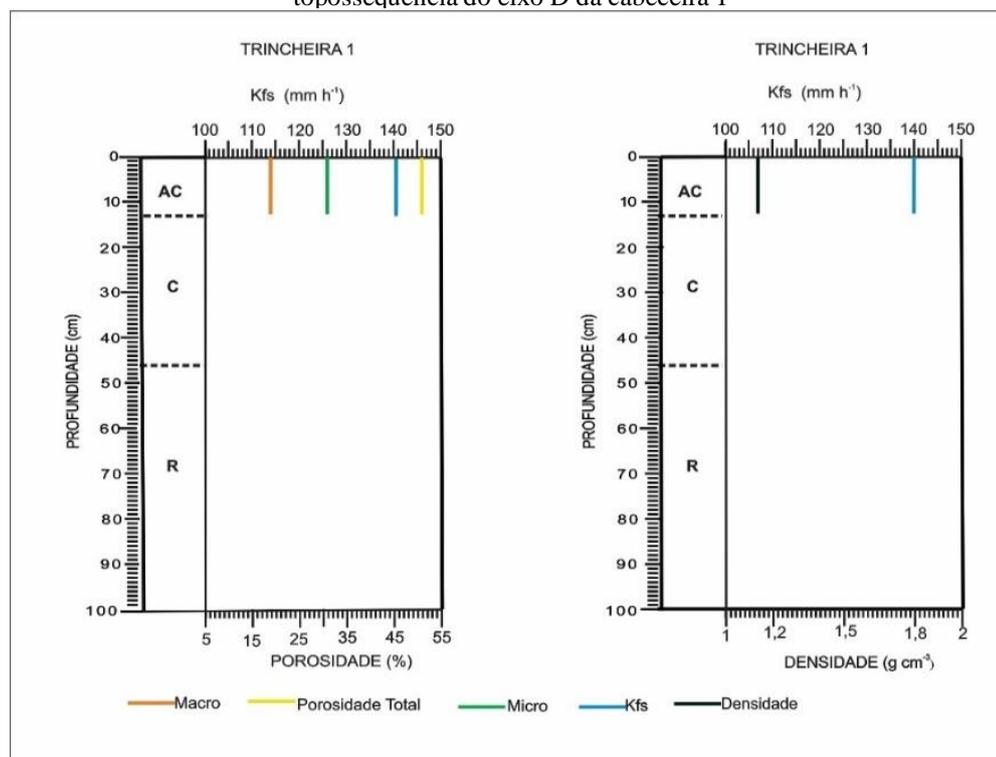
Tabela 38 - Condutividade hidráulica saturada (Kfs) do perfil de solo da toposequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1

Horizontes (cm)	Kfs (mm/h <sup>-1</sup> )	Classes de Permeabilidade (mm/h <sup>-1</sup> ) *	CV (%)
EIXO D - TR1- NEOSSOLO LITÓLICO			
AC (0-13)	140,19	Moderada a Rápida	0,00
C (13-46)	62,31	Lenta a Moderada	0,00
R (46+)	-	-	-

Kfs – condutividade hidráulica saturada; CV- coeficiente de variação para média de três leituras

Fonte: \* Classificação proposta por Beutler *et al.* (2001), adaptada do *Soil Survey Staff*.

Figura 43 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a porosidade e densidade do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira 1



Elaboração: A autora (2021).

A densidade ( $1,14 \text{ g.cm}^{-3}$ ) também apresentou valor baixo corroborando para esse resultado (Figura 43). A partir dos 13cm, no horizonte C, a Kfs reduz para  $62,31 \text{ mm/h}^{-1}$  (lenta a moderada). O perfil da topossequência do eixo D apresentou os maiores valores de macroporosidade e Kfs da cabeceira de drenagem 1. Esse resultado concorda com Ribeiro et al. (2007), que estudando seis classes de solos localizados na região de Lavras (MG), destacaram a correspondência da macroporosidade com a Kfs. Em relação ao coeficiente de variação, não ocorreram variações entre as leituras realizadas nos horizontes dessa topossequência.

#### 4.3.4.1.4 Estabilidade de agregados

Para a avaliação da qualidade estrutural do solo, foi determinado o DMPa e sua distribuição em classes (Tabela 39 e Figura 44). O horizonte AC demonstrou DMPa de 2,5 mm.

A distribuição dos agregados foi maior nas classes de 8 a 4mm com 48,86 % dos agregados retidos nesta peneira. Na classe de 4 a 2mm, o percentual foi de 34,74 % para as classes de 2 a 1 mm, 1 a 0,50 mm, a 0,25 mm e 0,25 a 0,0 mm, os valores permaneceram decrescendo sendo de 11,70 %, 2,80 %, 1,30 % e 0,60 %, respectivamente.

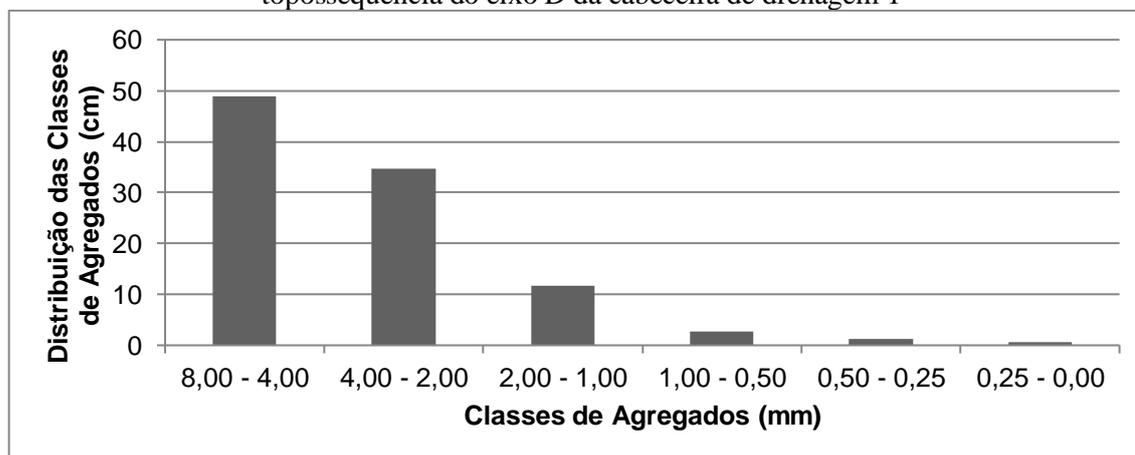
Tabela 39 - Distribuição das classes de agregados dos perfis de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1

Prof	Hor.	Classes de Agregados (mm)						DMPa (mm)
		8-4	4-2	2-1	1-0,50	0,50-0,25	0,25-0,00	
		%						
EIXO D – TR1 – NEOSSOLO LITÓLICO								
0-13	Ap	48,86	34,74	11,70	2,80	1,30	0,60	2,5
13-46	C	-	-	-	-	-	-	-
46+	R	-	-	-	-	-	-	-

DMPa- diâmetro médio ponderado dos agregados

Elaboração: A autora (2021).

Figura 44 - Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados do horizonte AC do perfil 2 da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

No horizonte AC os valores de carbono orgânico e argila total foram de 32,34 g.kg<sup>-1</sup> e 347 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 40). O grau de flocculação foi de 30,55 % indicando que há o predomínio da dispersão da argila, conforme já mencionado anteriormente.

Tabela 40 - Diâmetro médio ponderado dos agregados, carbono orgânico, argila total, grau de flocculação e óxidos de ferro dos perfis de solo da topossequência do eixo D da cabeceira 1

Horizontes	Prof (cm)	DMPa (mm)	CO (g.kg <sup>-1</sup> )	GF (%)	AT (g.kg <sup>-1</sup> )	Al <sub>2</sub> O (g.kg <sup>-1</sup> )	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g.kg <sup>-1</sup> )
EIXO D - TR1 - NEOSSOLO LITÓLICO							
AC	0-13	2,5	32,34	30,55	347	152	252
C	13-46	-	-	-	-	-	-
R	46+	-	-	-	-	-	-

DMPa- diâmetro médio ponderado de agregados; CO- carbono orgânico; GF- grau de flocculação da argila; AT -argila total.

Elaboração: A autora (2021).

A localização topográfica do perfil analisado nessa topossequência, juntamente com as observações em campo, evidenciam o escoamento superficial em função da declividade acentuada, além da deterioração da vegetação. Pode-se ainda considerar o fato da predominância da fração silte em que as partículas são pequenas, sem atividade coloidal, tornando os solos siltosos mais suscetíveis à desagregação e ao carreamento das partículas pelo processo erosivo causado pela ação dos agentes erosivos água e vento (DYONÍSIO, 2010).

#### 4.3.4.2 Caracterização Química

A caracterização química do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira 1 pode ser consultada nas Tabelas 41 e 42. Em relação às propriedades químicas e ao pH em água, os valores encontrados foram de 5,2 para o horizonte AC e 5,1 para o horizonte C.

Tabela 41 - Potencial hidrogeniônico (pH) do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1

Horizontes	Prof. (cm)	pH em KCl	pH em H <sub>2</sub> O	$\Delta$ pH	Classes pH (solo/água 1: 2,5)
EIXO D – TR1 – NEOSSOLO LITÓLICO					
AC-	0-13	4,8	5,2	-0,4	Fortemente ácido
C	13-46	4,8	5,1	-0,4	Fortemente ácido
R	46+	-	-	-	

Elaboração: A autora (2021).

Tabela 42 - Características químicas do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1

Hor.	Prof. (cm)	H <sup>+</sup> Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SB	CTC pH7	ATA	V	MO	
		C <sub>mol/</sub> <sup>-1</sup>									(%)	
EIXO D – TR1 – NEOSSOLO LITÓLICO												
AC	0-13	4,61	0	16,69	3,2	1,51	21,4	26,01	74,96	82,27	5,6	
C-	13-46	3,03	0	17,03	3,2	0,07	20,03	23,33	73,06	87,01	3,4	
R	46+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação de bases; ATA= atividade da argila

Elaboração: A autora (2021).

Assim, conforme estabelecido pela EMBRAPA (1997), o horizonte AC e C são fortemente ácidos (pH em água entre 4,3 e 5,3). No pH em KCl, os valores foram de 4,8 para ambos os horizontes (AC e C). Os valores de  $\Delta$ pH são negativos e indicam o predomínio de

carga superficial líquida negativa nos horizontes AC e C da topossequência. A acidez potencial diminuiu em profundidade de 4,61 no horizonte AC para 3,03 no horizonte C (Tabela 42).

Dentre os cátions básicos (Tabela 42), o cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) é predominante nos horizontes AC (16,69  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ) e C (17,03  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ), seguido do magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) que expressou o mesmo valor para ambos os horizontes (3,2  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ), e por último o potássio ( $\text{K}^+$ ) com valores de 1,51  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  para o horizonte AC e 0,07  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  para o horizonte C. Verifica-se que o cálcio aumentou 2,03 % em profundidade, o magnésio permaneceu estável e o potássio teve redução de 95,36 %. Os horizontes apresentaram alta saturação de bases, segundo os critérios da EMBRAPA (2018), sendo de 82,27 % no horizonte AC e 87,01 % no horizonte C.

A soma das bases (SB) (Tabela 42) não exprimiu variações significativas entre os horizontes sendo de 21,4  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte AC e 20,03  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no C, havendo, portanto, uma redução em profundidade e em função, principalmente do potássio. A capacidade de troca de cátions (CTC) demonstrou valores de 26,01  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte AC e 23,33  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte C (Tabela 42). Quanto maior a CTC no solo a tendência é haver maior retenção de cátions (CÓ JUNIOR, 2011). Houve relação direta da CTC com a matéria orgânica, que também apresentou valores maiores em superfície 5,6 % (AC) em comparação a subsuperfície, a qual foi de 3,4 %, isto indica que a matéria orgânica está contribuindo para o aumento da CTC do solo (RONQUIM, 2010).

Outro parâmetro que expressa relação direta com a CTC é a atividade de argila, que foi alta em ambos os horizontes e reduziu em profundidade, segundo parâmetros estabelecidos pela EMBRAPA (2018). No horizonte AC, a atividade da argila foi de 74,96  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  e no horizonte C foi de 73,06  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  (Tabela 42). Para a classe dos Neossolos Litólicos este é um parâmetro utilizado para sua classificação no terceiro nível categórico.

Em relação a análise de óxidos por ataque sulfúrico, foram encontrados os valores 252  $\text{g.kg}^{-1}$ , 152  $\text{g.kg}^{-1}$  e 80  $\text{g.kg}^{-1}$  para os óxidos de ferro, alumínio e titânio, respectivamente, no horizonte Ap (Tabela 43). Esse resultado indica o alto teor de ferro deste solo, segundo a EMBRAPA (2018).

Tabela 43 - Óxidos de ferro, alumínio e titânio do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1

Horizontes	Prof. (cm)	$\text{g.kg}^{-1}$		
		$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
EIXO D – TR1 – NEOSSOLO LITÓLICO				
AC	0-13	152	80	252
C	13-46	-	-	-
R	46+	-	-	-

Elaboração: A autora (2021).

Os dados químicos encontrados para este perfil estão de acordo com os resultados obtidos pela EMBRAPA (1984) em Neossolos Litólicos de mesma formação geológica.

#### 4.3.4.3 Classificação do solo

Diante das propriedades químicas retratadas e ainda considerando as características morfológicas, foi realizada a classificação deste perfil quanto ao primeiro nível categórico em Neossolo. Dessa forma, de acordo com a EMBRAPA (2018), levando em consideração ter apresentado o contato lítico fragmentário inferior a 50 cm a partir da superfície, no setor baixo da topossequência evidencia-se sua classificação em segundo nível categórico como Neossolo Litólico.

Para o terceiro nível categórico, ainda com base em critérios definidos pela EMBRAPA (2018), em que apresenta mais de 50 % de saturação de bases, lhe foi conferido o caráter eutrófico. O contato lítico fragmentário possibilita o enquadramento no quarto nível categórico como fragmentário. Diante do exposto, as características químicas e morfológicas deste solo permitiram classificá-lo em NEOSSOLO LITOLICO Eutrófico fragmentário, textura siltosa, fase floresta Estacional Semidecidual.

#### 4.3.5 A Topossequência de solos do eixo E

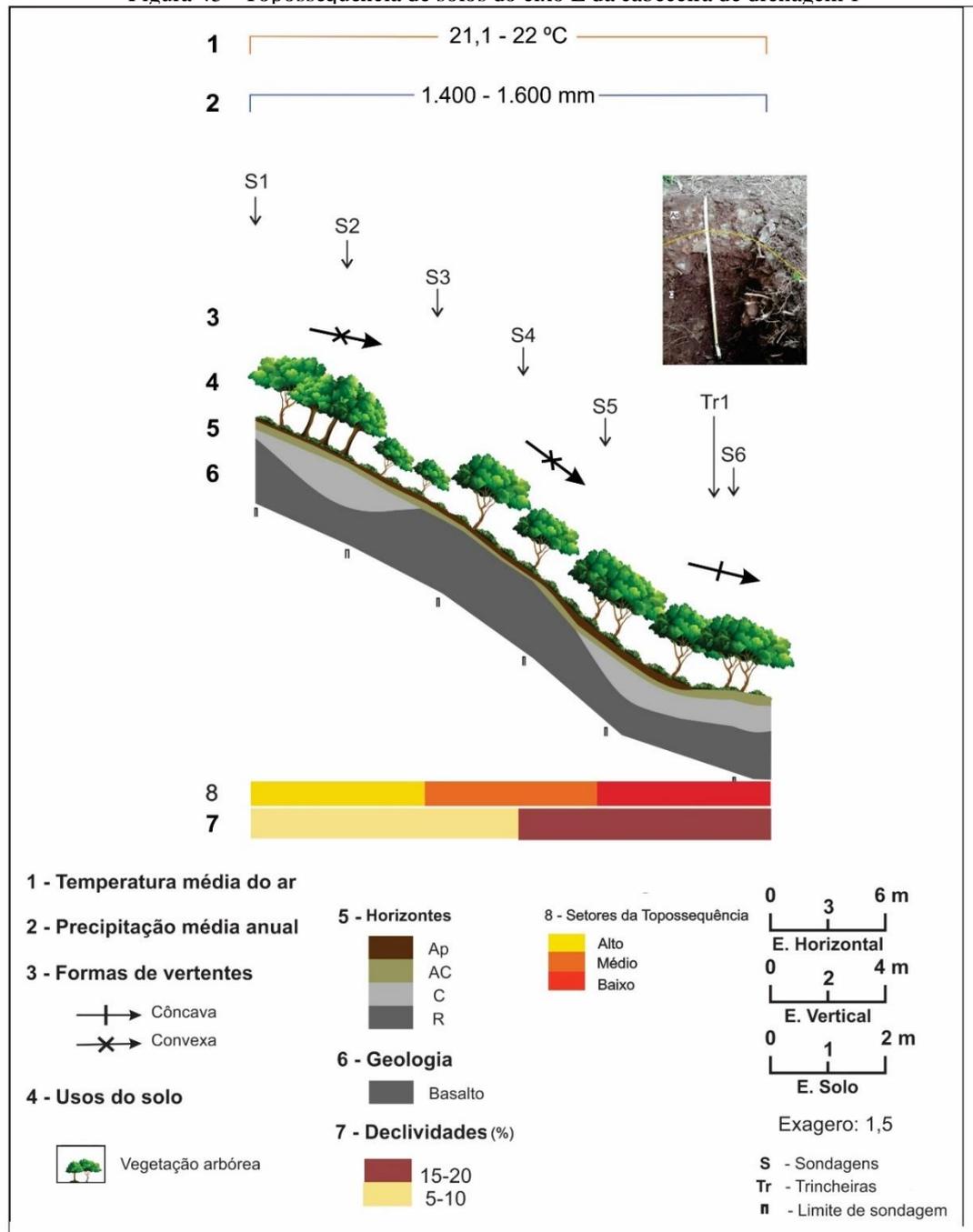
A quinta topossequência da cabeceira de drenagem 1 foi denominada de Eixo E (Figura 45). A topossequência do eixo E encontra-se entre as coordenadas de 7409554,290 m latitude Sul, 425464,464 m longitude Oeste (setor de topo) e 7409529,866 m latitude Sul e 425479,825 m longitude Oeste (setor baixo). Possui 27 metros de extensão e um desnível de 9 metros, caracterizando a menor topossequência desta cabeceira, e está sob o uso de vegetação arbórea. Para a descrição morfológica dos horizontes foi aberta a trincheira (TR1) no setor baixo, onde foram descritos os horizontes AC, C e R (Tabela 44).

Neste eixo E, o levantamento topográfico demonstrou que a forma topográfica é convexa nos setores alto e médio, passando a ser côncava na porção baixa da topossequência. Para o levantamento pedológico preliminar desta topossequência do eixo E foram realizadas 6 sondagens, nas quais também foram identificadas a ocorrência da classe dos Neossolos Litólicos com a presença dos horizontes Ap, AC, C e R.

O horizonte Ap pode ser observado do setor alto da topossequência do eixo E até o segmento médio. Inicialmente, na parte alta, o horizonte Ap apresentou 5 cm de espessura. Na

divisão média, o horizonte Ap aumenta seu espessamento entre 10 e 15 cm, onde gradativamente torna a reduzir, ocorrendo portanto, seu desaparecimento (Tabela 44). Subjacente ao horizonte Ap, encontra-se o horizonte AC, desde o segmento alto até o médio, apresentando nesta extensão um espessamento entre 10 e 15 cm. Na porção baixa da topossequência com a abertura da trincheira, foi possível caracterizar morfologicamente este horizonte.

Figura 45 - Topossequência de solos do eixo E da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

Tabela 44 - Descrição morfológica da trincheira da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1

HORIZONTES (cm)	COR	TEXTURA	ESTRUTURA	CONSISTÊNCIA	TRANSIÇÃO	OBSERVAÇÕES
TR1 – NEOSSOLO LITÓLICO						
AC (0-12)	2,5YR 5/4	siltosa	Grau: forte Tamanho: Pequena a média Tipo: Granular a blocos angulares	Seca: solta Úmida: muito friável Molhada: plástica e pegajosa	clara ondulada -	
C (12-70)		10YR5/3; 10YR7/8; 10 YR6/6	-	-	-	Presença de fragmentos de rocha muito resistentes
R (70+)		-	-	-	-	-

Elaboração: A autora (2021).

Nesse sentido, o horizonte AC (TR1), exprimiu 12 cm de espessura, coloração bruno-avermelhada-escura (2,5YR5/4) e textura siltosa. A sua estrutura é de grau forte, tamanho de pequeno a médio e tipo granular, passando a blocos angulares. A consistência é solta quando seca, muito friável quando úmida, plástica e pegajosa quando molhada. A transição para o horizonte C é de nitidez clara e forma ondulada (Tabela 44).

O setor alto o horizonte C inicia exprimindo 15cm de espessura, ampliando para 60 cm até a parte média. Na divisão baixa, o horizonte C descrito no perfil da TR1 ocorre entre as profundidades de 12 a 70 cm e é constituído pela presença de fragmentos de rocha muito resistentes. As cores dos fragmentos de rocha variam de bruno (10YR5/3), amarelo (10YR7/8) e amarelo-brunado (10YR6/6). Esse horizonte teve 90 % de seu volume constituído por

fragmentos grosseiros com diâmetro maior que 2mm (cascalhos, calhaus e matacões). A partir de 70 cm foi encontrada a rocha sã (Tabela 44).

O horizonte R variou no setor alto a partir dos 35 cm de profundidade, passando para 85 cm. Na divisão média, o horizonte R foi observado inicialmente a 20 cm de profundidade, aprofundando para 80 cm e diminuindo para 70 cm, como demonstra o perfil da TR1.

Dessa forma, constata-se que o espessamento desta cobertura pedológica é maior na parte alta da topossequência. Foi observado que à medida que ocorre o aumento gradativo da declividade, a espessura dos horizontes reduz. No segmento baixo, ocorre uma modificação na forma da curvatura de convexa para côncava coincidindo com o aumento da espessura do horizonte C.

#### 4.3.5.1 Propriedades físicas e hídricas

##### 4.3.5.1.1 Granulometria e argila dispersa

A separação das frações grosseiras dos horizontes do eixo E, demonstram a superioridade dos fragmentos maiores que 2 mm. O horizonte AC apresentou 820 g.kg<sup>-1</sup> e o horizonte C, 930 g.kg<sup>-1</sup> (Tabela 45).

As propriedades granulométricas das frações finas no horizonte AC foram de 685 g.kg<sup>-1</sup> de silte, seguida da fração argila com 205 g.kg<sup>-1</sup>, e por fim da fração areia com 110 g.kg<sup>-1</sup>. Para o horizonte C, os valores obtidos foram: 739 g.kg<sup>-1</sup> para o silte, 155 g.kg<sup>-1</sup> para a argila e 106 g.kg<sup>-1</sup> para a areia (Tabela 46 e Figura 46).

Tabela 45 - Proporção de frações grosseiras no perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1

Horizontes	Prof.(cm)	Frações grosseiras(g.kg <sup>-1</sup> )	Frações finas(g.kg <sup>-1</sup> )
EIXO E – TR1- NEOSSOLO LITÓLICO			
AC	0-12	820	180
C	12-70	930	70
R	70+	-	-

Frações grosseiras - fragmentos grosseiros com diâmetro maior que 2mm (cascalhos, calhaus e matacões); Frações finas - frações menores que 2mm (areia, silte e argila)

Elaboração: A autora (2021).

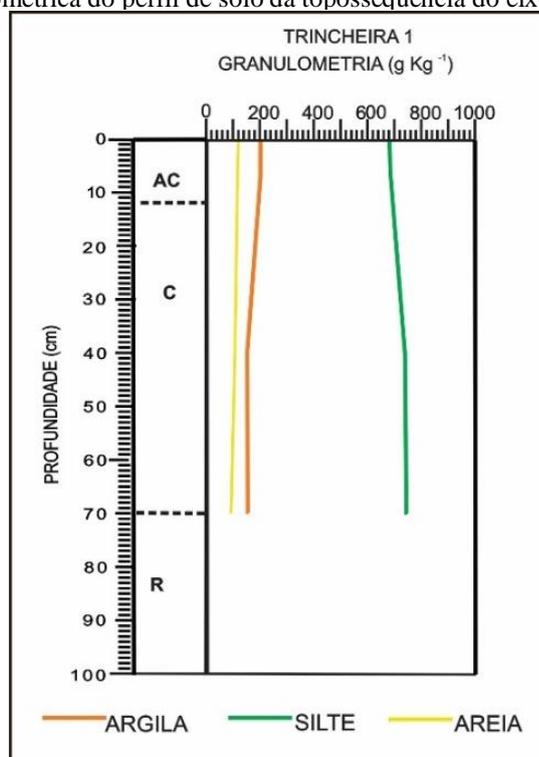
Tabela 46 - Propriedades granulométricas do perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1

Hor	Prof.(cm)	Argila (g.kg <sup>-1</sup> )	Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	Areia (g.kg <sup>-1</sup> )	Textura	Silte/ argila	GD (%)	GF (%)	ADA (g.kg <sup>-1</sup> )
EIXO E - TR1 – NEOSSOLO LITÓLICO									
AC	0-12	205	685	110	Siltosa	3,35	53,66	46,34	110
C	12-70+	155	739	106	Siltosa	4,77	42,58	57,42	66,0
R	70+	-	-	-	-	-	-	-	-

GD – Grau de dispersão da argila; GF- grau de floculação da argila; ADA- argila dispersa em água

Elaboração: A autora (2021).

Figura 46 - Variação granulométrica do perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

Nota-se que houve um aumento no teor de silte em profundidade de 7,88 %. A argila, por sua vez, teve uma redução de 24,39 % e o teor de areia apresentou uma redução de 3,63 % do horizonte AC para o horizonte C (Figura 46). Esses resultados configuram a influência da proximidade com o material rochoso, como já mencionado para as outras topossequências.

Com base nos resultados da análise granulométrica, foi possível classificar a textura dos horizontes AC e C como siltosa, conforme os parâmetros estabelecidos pela EMBRAPA (2018), (Tabela 46). A relação do silte com a argila foi de 3,35 no horizonte AC e 4,77 para o horizonte C, evidenciando o pouco desenvolvimento deste solo (Tabela 46), de acordo com a EMBRAPA (2018).

O grau de dispersão foi de 53,66 % no horizonte AC e 42,58 % no horizonte C. Assim, o grau de dispersão foi maior no horizonte AC, enquanto o grau de floculação foi maior no horizonte C (Tabela 46). Esse resultado indica a propensão da argila para mobilidade.

#### 4.3.5.1.2 Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total

Os valores de densidade e porosidade da topossequência de solos do eixo E da cabeceira podem ser visualizados na Tabela 47.

Tabela 47 - Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) do perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem

Trincheira Horizonte	Prof. (cm)	Ds (g.cm <sup>-3</sup> )	Ma (%)	Mi (%)	Pt (%)	Proporção da Pt (%)	
						Macro	Micro
<b>EIXO E - TR1- NEOSSOLO LITÓLICO</b>							
AC	0-12	1,19	5,89	36,15	42,04	14,02	85,98
C	12-70	-	-	-	-		
R	70+	-	-	-	-		

Ds- Densidade do solo; Ma-Macroporosidade; Mi- Microporosidade Pt- Porosidade total

Elaboração: A autora (2021).

O horizonte AC apresentou o valor de densidade de 1,19 g.cm<sup>-3</sup>. Em relação a propriedade física da porosidade total do solo no horizonte AC, seu valor foi 42,04 %. Predominou os microporos com 36,15 % e a macroporosidade teve o valor expresso de 5,89 %. Em termos proporcionais, a microporosidade corresponde a 85,98% do sistema poral desse horizonte e a macroporosidade a 14,02 %.

Valores baixos de macroporosidade têm sido atrelados ao uso e manejo do solo (MATIAS *et al.*, 2009; TORMENA *et al.*, 2002; BRUM *et al.*, 2018) e também às suas condições texturais e/ou estruturais (STÜRMER, 2008; BRUM *et al.*, 2018).

#### 4.3.5.1.3 Características hídricas

Os dados sobre as características hídricas do perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1 podem ser observados na Tabela 48 e na Figura 47.

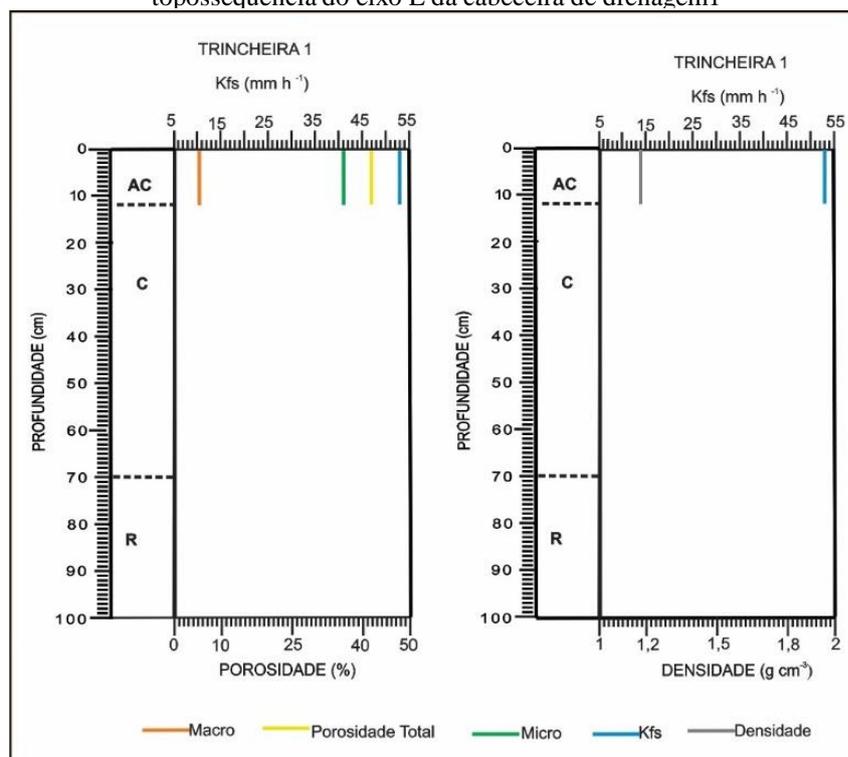
Tabela 48 - Condutividade hidráulica saturada (Kfs) do perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1

Horizontes (cm)	Kfs (mm/h <sup>-1</sup> )	Classes de permeabilidade	CV (%)
EIXO E – TR1 – NEOSSOLO LITÓLICO			
AC (0-12)	53,4	Lenta a Moderada	26,52
C (12-70)	50,06	Lenta a Moderada	28,28
R (70+)	-	-	-

Kfs- condutividade hidráulica saturada; CV- coeficiente de variação para média de três leituras

Fonte: \* Classificação proposta por Beutler *et al.* (2001), adaptada do *Soil Survey Staff*.

Figura 47 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a porosidade e densidade do perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

A condutividade hidráulica no horizonte AC foi de 53,4 mm/h<sup>-1</sup>, reduzindo para 50,06 mm/h<sup>-1</sup> no horizonte C, correspondendo, segundo Beutler *et al.* (2001), à classe lenta a moderada (63,5-20 mm/h<sup>-1</sup>). Ao que tudo indica, observa-se na Figura 47 que o valor de macroporosidade (5,89 %) e o valor da densidade (1,19 g.cm<sup>-3</sup>) não apresentaram impedimentos

para a circulação hídrica nesse perfil, embora seja possível que a proximidade com a rocha tenha limitado a permeabilidade (PEDRON *et al.*, 2011).

A variabilidade da Kfs foi média (entre 12 e 60 %), de acordo com Warrick e Nielsen (1980), sendo de 26,52 % para o horizonte AC e 28,28 % para o horizonte C, (Tabela 48).

#### 4.3.5.1.4 Estabilidade de agregados

Para a avaliação da agregação dos horizontes da topossequência do eixo E foi determinado o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa), identificando o valor de 2,5mm para o horizonte AC (Tabela 49 e Figura 48).

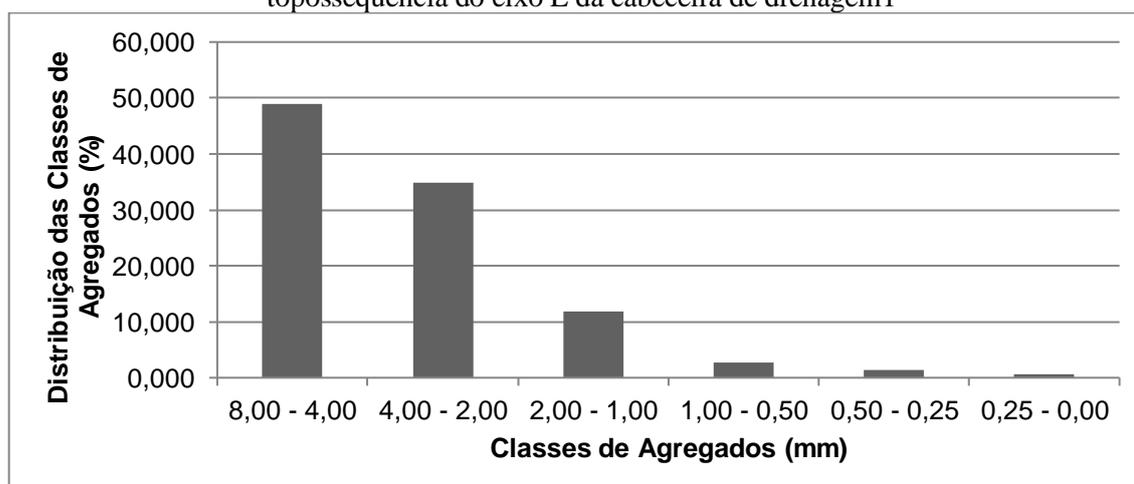
Tabela 49 - Distribuição das classes de agregados dos perfis de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1

Hor	Prof. (cm)	Classes de Agregados (mm)					DMPa (mm)	
		8-4	4-2	2-1	1-0,50	0,50-0,25		0,25-0,00
%								
EIXO E – TR1 – NEOSSOLO LITÓLICO								
Ap	0-12	48,88	34,78	11,78	2,71	1,28	0,56	2,5
C	12-70							
R	70+							

DMPa- diâmetro médio ponderado dos agregados

Elaboração: A autora (2021).

Figura 48 - Distribuição do diâmetro médio ponderado dos agregados do horizonte AC da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

A distribuição dos agregados foi maior nas classes de 8 a 4 mm com 48,88 % dos agregados retidos nesta peneira. Na classe de 4 a 2 mm, o percentual foi de 34,78 % para as classes de 2 a 1 mm, 1 a 0,50 mm, a 0,25 mm e ,25 a 0,0 mm, os valores permaneceram

decrecendo até 11,78 %, 2,71 %, 1,28 % e 0,56 %, respectivamente (Figura 48). Dentre as variáveis que contribuem para a agregação do solo (Tabela 50), o valor de carbono (CO) orgânico nesse perfil foi de 34,28 g.kg<sup>-1</sup> e o grau de floculação de 46,34 %. O grau de floculação ficou abaixo de 50 % sugerindo a facilidade de mobilidade da argila (DE PAULA, 2017).

Tabela 50 - Diâmetro médio ponderado dos agregados, carbono orgânico, argila total, grau de floculação e óxidos dos perfis de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1

Horizonte	Prof. (cm)	DMPa (mm)	CO (g.kg <sup>-3</sup> )	GF (%)	AT (g.kg <sup>-1</sup> )	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
EIXO E – TR1 – NEOSSOLO LITÓLICO							
AC	0-12	2,5	34,28	46,34	205	141	256
C	12-70	-	-	-	-	-	-
R	70+	-	-	-	-	-	-

DMPa- diâmetro médio ponderado de agregados; CO- carbono orgânico; GF- grau de floculação da argila; AT -argila total

Elaboração a autora (2021).

Resultados semelhantes de DMPa foram relatados por Stürmer (2008), sendo de 2,3 a 4,0 mm. Para o autor, valores mais baixos indicam quantidades menores de argila exercendo cimentação entre partículas, ou a menor interação das partículas minerais com a matéria orgânica. Os autores têm associado os efeitos positivos do CO, (LIMA *et al.*, 2003; PINHEIRO, *et al.*, 2004) da argila (DUFRANC, 2004) e dos óxidos para a estabilização de agregados (RHOTON; DUIKER, 2008).

#### 4.3.5.2 Caracterização Química

A caracterização química do perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira 1 pode ser observada nas Tabelas 51 e 52.

Tabela 51 - Potencial hidrogeniônico (pH) do perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1

Horizontes	Prof. (cm)	pH em KCl	pH em H <sub>2</sub> O	ΔpH	classes pH (solo/água 1:2,5)
AC	0-12	4,7	5,2	-0,5	fortemente ácido
C	12-70	4,8	5,7	-1,0	moderadamente ácido
R	70+	-	-	-	-

Elaboração: A autora (2021).

Tabela 52 - Características químicas do perfil de solo da topossequência do eixo E da cabeceira de drenagem 1

Hor.	Prof.	H <sup>+</sup> Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SB	CTC <sub>ph7</sub>	ATA	V	MO
(cm)		Cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>							(%)	(%)	
EIXO E – TR1 – NEOSSOLO LITÓLICO											
AC	0-12	4,28	0	18,27	3,52	0,59	22,38	26,66	130,05	83,94	5,90
C-	12-70	3,26	0	19,25	3,44	0,13	22,82	26,08	168,26	87,50	2,90
R	70+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação de bases; ATA = atividade da argila

Elaboração: A autora (2021).

Os parâmetros químicos de pH demonstraram que os valores de pH em água (H<sub>2</sub>O) foram superiores ao pH em cloreto de potássio (KCl). No horizonte AC, o pH em água foi 5,2 e no horizonte C ocorreu a redução da acidez para 5,7.

Com base nos pressupostos de classificação da EMBRAPA (2018), considerando o pH em água, o horizonte AC é fortemente ácido e o horizonte C é moderadamente ácido. O pH em KCl teve resultados maiores no horizonte C, sendo de 4,8 e 4,7 no horizonte AC. O ΔpH foi negativo para ambos os horizontes e expressou o domínio de carga superficial líquida negativa (LIMA *et al.*, 2006).

A acidez potencial diminuiu em profundidade de 4,28 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte AC para 3,26 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte C (Tabela 52). Em relação aos cátions, predomina o cálcio (Ca<sup>2+</sup>) com 18,27 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte AC e 19,25 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte C. O magnésio (Mg<sup>2+</sup>) apresentou valores de 3,52 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte AC e 3,44 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte C. O potássio (K<sup>+</sup>) expressou valores de 0,59 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> para o horizonte AC e 0,13 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> para o horizonte C.

Os valores das somas das bases e da CTC não tiveram significativa variação entre os horizontes (Tabela 52). A soma das bases (SB) no horizonte AC foi de 22,38 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> e no horizonte C, 22,8 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup>. A CTC foi maior no horizonte AC, sendo de 26,66 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> e 26,08 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte C. A redução da matéria orgânica foi pouco representativa nos horizontes AC e C, e os valores de CTC pouco se alteraram em profundidade. Isso pode estar relacionado a outros fatores, como a maior valor atividade de argila no horizonte C, assim como a quantidade de argila total. A matéria orgânica expressou valores de 5,9 %, e 2,90 % nos horizontes AC e C, respectivamente.

A saturação por bases foi alta, sendo de 83,94 % no horizonte AC e 87,5 % no horizonte C (Tabela 52). Segundo a classificação da EMBRAPA (2018), solos com saturação de bases

igual ou superior a 50 % são considerados de alta saturação. Em relação a atividade da argila, o valor encontrado no horizonte C foi de 168,26  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  e 130,05  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte AC, sendo portanto, considerados de alta atividade (Ta) (Tabela 52).

Na Tabela 53 visualiza-se que o horizonte AC apresentou 256  $\text{g.kg}^{-1}$  de óxido de ferro, seguido dos óxidos de alumínio e titânio, com valores de 141 e 90  $\text{g.kg}^{-1}$ , respectivamente. Esses resultados caracterizam o solo com alto teor de ferro, segundo a EMBRAPA (2018).

Os resultados químicos estão de acordo com as propriedades mineralógicas derivadas do material de origem, como em Alho *et al.* (2007) e EMBRAPA (1984), para Neossolos Litólicos derivados de basalto.

Tabela 53 - Óxidos de ferro, alumínio e titânio do perfil de solo da topossequência do eixo D da cabeceira de drenagem 1

Horizontes	Prof. (cm)	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
		g.kg <sup>-1</sup>		
EIXO E – TR1 – NEOSSOLO LITÓLICO				
AC	0-12	141	90	256
C	12-70	-	-	-
R	70+	-	-	-

Elaboração: A autora (2021).

#### 4.3.5.3 Classificação do solo

Com base nas características morfológicas e químicas deste perfil foi determinada a sua classificação. O perfil de solo da topossequência do eixo E, localizado em relevo montanhoso, apresentou o horizonte AC assentado diretamente sobre um horizonte C com mais de 90 % de sua massa constituída por fragmentos grosseiros com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões), cumprindo assim, os requisitos para enquadrá-lo no segundo nível categórico como Neossolo Litólico, segundo a EMBRAPA (2018).

No que concerne aos seus atributos químicos, referentes a saturação por bases, no qual corresponde a valores maiores de 50 %, estabelecidos pela EMBRAPA (2018) como sendo requisitos para a classificação do terceiro nível categórico, com o enquadramento dentro do grande grupo Eutrófico. Levando em consideração ainda, os parâmetros da EMBRAPA (2018), para a classificação do quarto nível categórico, tendo este Neossolo expressado contato lítico fragmentário, foi lhe conferido o subgrupo fragmentário. Com base no exposto, determina-se a classificação do perfil de solo da TR1 da topossequência do eixo E em NEOSSOLO LITÓLICO

Eutrófico fragmentário, textura siltosa, fase floresta Estacional Semidecidual, relevo montanhoso.

#### 4.4 ORGANIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA CABECEIRA DE DRENAGEM 1

##### 4.4.1 Síntese morfológica e caracterização tridimensional da cobertura pedológica

Na cobertura pedológica da cabeceira de drenagem 1, os solos apresentaram-se constituídos por volumes pedogeneticamente pouco desenvolvidos confirmadas nos altos índices da relação silte/argila (acima de 0,6) e quantidade de frações grosseiras em sua constituição. Consonante as características morfológicas e químicas analisadas e atendendo aos critérios da EMBRAPA (2018) todos os perfis da cabeceira de drenagem 1 foram classificados como sendo de Neossolos, conforme apresentado na Tabela 54.

Tabela 54 - Classificação e características gerais da cabeceira de drenagem 1

Perfis	Prof. (cm)	Volumes	FG (g.kg <sup>-1</sup> )	Uso da Terra
EIXO A - NEOSSOLO LITÓLICO Chernossólico típico (TR1)				
P1	0-27	Ap	645	Pastagem
P1	27+	R	-	
EIXO A- NEOSSOLO LITÓLICO Chernossólico Fragmentário (TR2)				
P2	0-10	Ap	670	Vegetação arbórea
P2	10-39	AC	810	
P2	39-49	C	900	
P2	49-70	Cr	920	
P2	70+	R	-	
EIXO B - NEOSSOLOS LITÓLICO Chernossólico fragmentário (TR1)				
P3	0-18	AC	710	Vegetação arbórea
P3	18-44	C	900	
P3	44 +	R	-	
EIXO C- NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico (TR1)				
P4	0-28	Ap	665	Vegetação arbórea
P4	28-61	AC	820	
P4	61-80	C	900	
P4	80+	R	-	
EIXO D- NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico fragmentário (TR1)				
P5	0-13	AC	870	Vegetação arbórea
P5	13-46	C	900	
P5	46+	R	-	
EIXO E – NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico fragmentário (TR1)				
P6	0-12	AC	820	Vegetação arbórea
P6	12-70	C	930	
P6	70+	R	-	

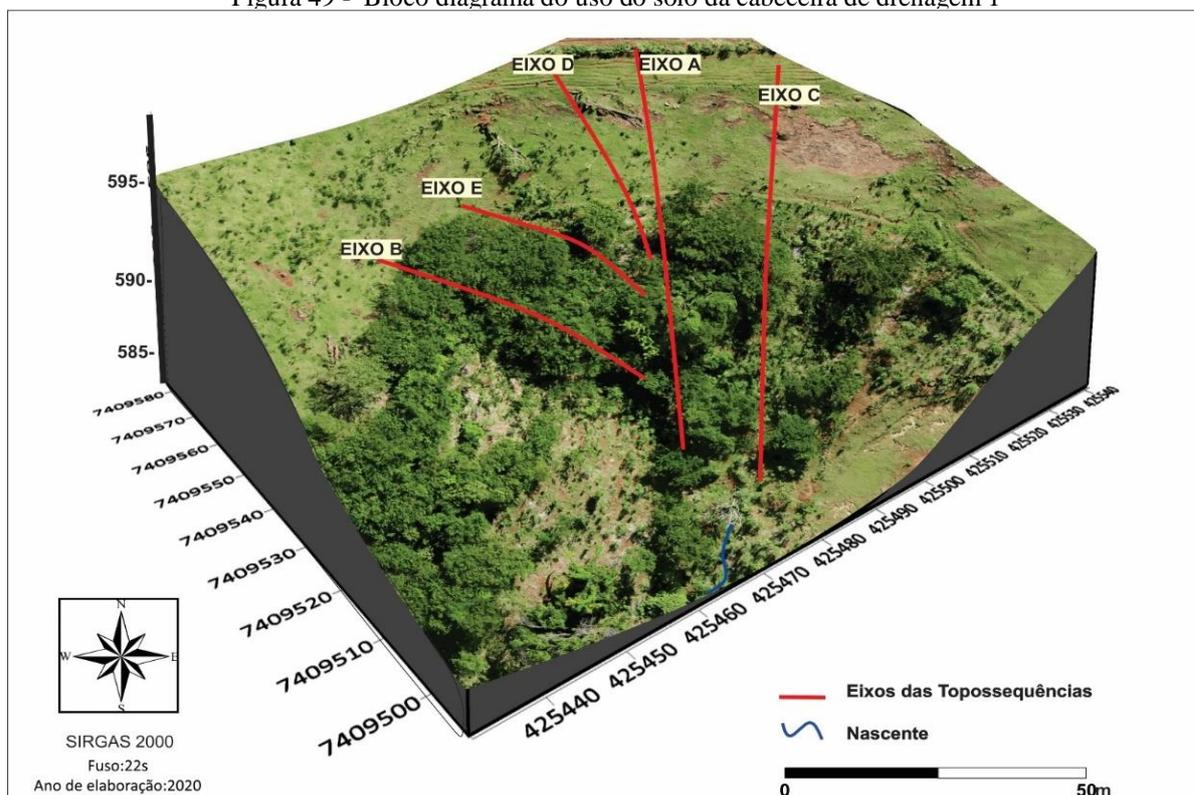
FG: Frações grosseiras - fragmentos grosseiros com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões)

Elaboração: A autora (2021).

Atualmente a área da cabeceira destina-se ao uso de pastagem e vegetação arbórea (Figura 49). Para a compreensão da organização espacial dos volumes na cabeceira, foi realizado o mapeamento tridimensional da cobertura pedológica (Figura 50) elaborado conforme Boulet *et al.* (1982), Ruellan e Dosso (1993), que permite a verificação detalhada dos dados obtidos no levantamento das topossequências (Eixos), por intermédio das sondagens e das trincheiras. Foram utilizadas curvas de isodiferenciação que indicam o aparecimento ou desaparecimento dos volumes identificados anteriormente, assim como suas transformações e variações, caso ocorram. As curvas foram selecionadas de acordo com as especificidades da área de estudo e os objetivos da pesquisa, pois segundo Calegari (2000), não existe critério definido.

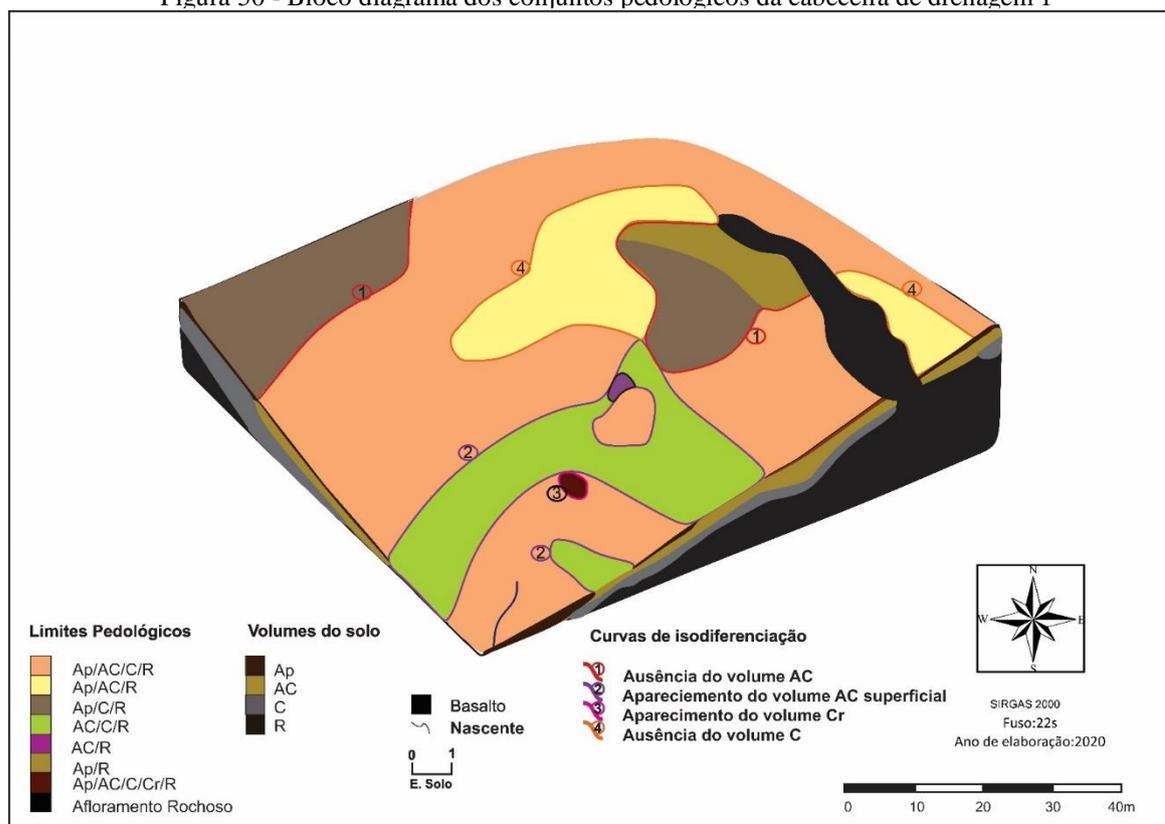
As características morfológicas visualizadas possibilitaram identificar diferenciações dos horizontes pedogenéticos, definindo-se metodologicamente, para esse trabalho, como volume pedológico. Para fins de representação, baseando-se nos trabalhos de Fernandes Barros (1986), Boulet *et al.* (1982), Werlang *et al.* (2013), definiu-se que o horizonte Ap constitui o volume Ap; o horizonte AC está representado como volume AC; o horizonte C convencionou-se de volume C, e ainda se tem a representação da profundidade com a rocha que foi denominado de volume (R).

Figura 49 - Bloco diagrama do uso do solo da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

Figura 50 - Bloco diagrama dos conjuntos pedológicos da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

O mapeamento tridimensional representou os limites pedológicos de aparecimento e desaparecimento dos volumes Ap, AC, C, Cr e horizonte R, além das respectivas espessuras. As curvas foram utilizadas, ainda, para a espacialização tridimensional de isovalores das quantidades das frações argila e silte na cabeceira. Na Figura 50, a curva 1 indica onde não foi identificado o volume AC na cabeceira. A curva 2 corresponde a emersão superficial do volume AC. A curva 3 representa o aparecimento do volume Cr na cabeceira. A curva 4 corresponde aos locais da cabeira que não foi identificado o volume C.

A Figura 50 demonstra que o conjunto dos volumes Ap, AC, C e R é predominante na cabeceira e de maneira geral, está relacionada as maiores profundidades da cobertura pedológica, onde o contato com a rocha é superior a 60 cm. O segundo conjunto de volumes pedológicos trata-se do Ap, AC e R, que pode ser observado em setores de topo e médio com profundidades entre 10 e 75 cm. O conjunto de volumes Ap, C e R pode ser observado na porção nordeste e no oeste-noroeste da cabeceira

A cobertura pedológica apresenta contato com a rocha de 70 a 75 cm de profundidade, e na área central em profundidades menores, em torno de 20 cm. Os volumes AC, C e R podem ser verificados no terço inferior da cabeceira, associadas ao contato com o volume R, em torno de 20 a 35 cm.

O conjunto pedológico AC sobreposto diretamente sobre a rocha (R) poder ser visualizado no centro da cabeceira, onde o contato lítico é verificado a partir de 20 cm. O volume Ap diretamente sobre a rocha pode ser observado nas porções altas da cabeceira, a partir de 15 cm de profundidade. No terço central da cabeceira foi encontrada a sequência de volumes Ap, AC, C, Cr e R onde o contato com o volume R foi de 70 a 100 cm. Pela análise tridimensional da organização pedológica dos volumes, observa-se que o comportamento das curvas que indicam os conjuntos dos volumes pedológicos é influenciado pela declividade conforme constatado também por Calegari (2000).

De modo geral, o volume Ap está presente em 80,34 % da área da cabeceira, ocorre no topo até o terço médio da cabeceira interrompemente. A espessura do volume Ap variou de 0 a 27 cm na cabeceira, sendo observadas as maiores espessuras em setores altos, diminuindo de espessura conforme aumenta a declividade. Suas variações espaciais podem estar relacionadas a processos erosivos superficiais e de acumulação no terço inferior da cabeceira, próxima a nascente. Observação semelhante foi efetuada por Cunha (2002), que relacionou as variações de espessura do volume Ap à incidência de processos erosivos superficiais (laminares).

A estruturação do volume Ap (P1, P2 e P4) apresentou grau de desenvolvimento moderado a forte (P1) e forte (P2 e P4). Em relação ao tamanho dos agregados, os volumes apresentaram tamanhos pequenos a médios (P2) e médios (P1 e P4). No volume Ap da cabeceira, o tipo da estrutura variou de granular a bloco subangular (P1) e granular (P2 e P4). O volume Ap também apresentou coloração mais escura (vermelho-muito-escuro-acinzentado; bruno avermelhado escuro e vermelho-escuro) possivelmente influenciadas pela concentração de matéria orgânica. Marques *et al.* (2007) encontraram a estrutura de grau moderado, tamanho pequeno a médio e granular a blocos subangulares em um Neossolo Litólico eutrófico fragmentário, Chernossólico de textura argilosa no substrato basáltico, os autores atribuíram o resultado à ação cimentante da matéria orgânica.

O volume AC apresenta-se em aproximadamente 72 % da área da cabeceira. Para este volume foi verificado seu aparecimento superficial no terço médio da cabeceira e sua ausência nos setores alto e médio da cabeceira. A variação da espessura deste volume oscilou de 5 a 55 cm na cabeceira. Nota-se que o volume AC começa a surgir superficialmente a partir da área central da cabeceira reduzindo sua espessura entre 5 a 10 até 15 a 20 cm, respectivamente. As maiores espessuras deste volume foram verificadas no setor leste do topo da cabeceira. A estruturação deste volume é granular (P5), granular a blocos angulares (P3, P4 e P6) e blocos subangulares (P2).

O grau de estrutura deste volume foi de fraca a moderada (P2), moderada (P4) e forte (P3, P5 e P6). A coloração do volume AC variou entre vermelho-escuro, bruno-avermelhada e bruno-avermelhado-escuro na cabeceira. Observa-se, assim, que os volumes subsuperficiais obtiveram coloração mais clara, possivelmente devido a redução da influência da matéria orgânica e presença de alterações da rocha matriz.

Para o volume C, existente em aproximadamente 74 % da área da cabeceira, apresentou maior ampliação e variação de espessura, com valores entre 5 e 65 cm, observando espessamento maior na área central e a oeste da cabeceira (55 a 65 cm). O volume C corresponde ao material inconsolidado, relativamente pouco afetado por processos pedogenéticos (EMBRAPA, 2018), mas que não apresenta resistência significativa quando escavado. Como este volume contém características do material de origem e é pouco afetado por processos pedogenéticos acredita-se que esta variação de espessura esteja relacionada, além da declividade, a intemperização que ocorre de forma irregular devido as diferentes resistências da rocha na cabeceira de drenagem.

O volume C apresentou grande quantidade (em média de 90 %) de frações grosseiras (maior que 2 mm) na separação granulométrica total (Figuras 51 e 53).

Figura 51 - Cascalho do volume C (P2)



Fonte: A autora (2021).

Figura 52 - Amostra do volume C (P3)



Fonte: A autora (2021).

Esses fragmentos de rocha alterada apresentaram intrusões de solo, locais onde o intemperismo atuou de forma mais eficiente. Os fragmentos de rocha encontrados nos perfis no volume C apresentaram coloração em tons de vermelho, cinza, bruno-avermelhado e manchas amareladas. Essa coloração é provavelmente decorrente do material de origem que possui minerais ferromagnesianos em sua composição. Ainda, pode-se observar que a coloração foi irregular na cabeceira provavelmente pelo fato de que as alterações na rocha não se dão em igual intensidade, conforme já mencionado. Observação semelhante foi realizada por Medeiros

(2010) que atribuiu as cores variadas encontradas no volume C à presença de materiais em diferentes estágios de alteração, que segundo a autora são comuns em volumes pouco desenvolvidos.

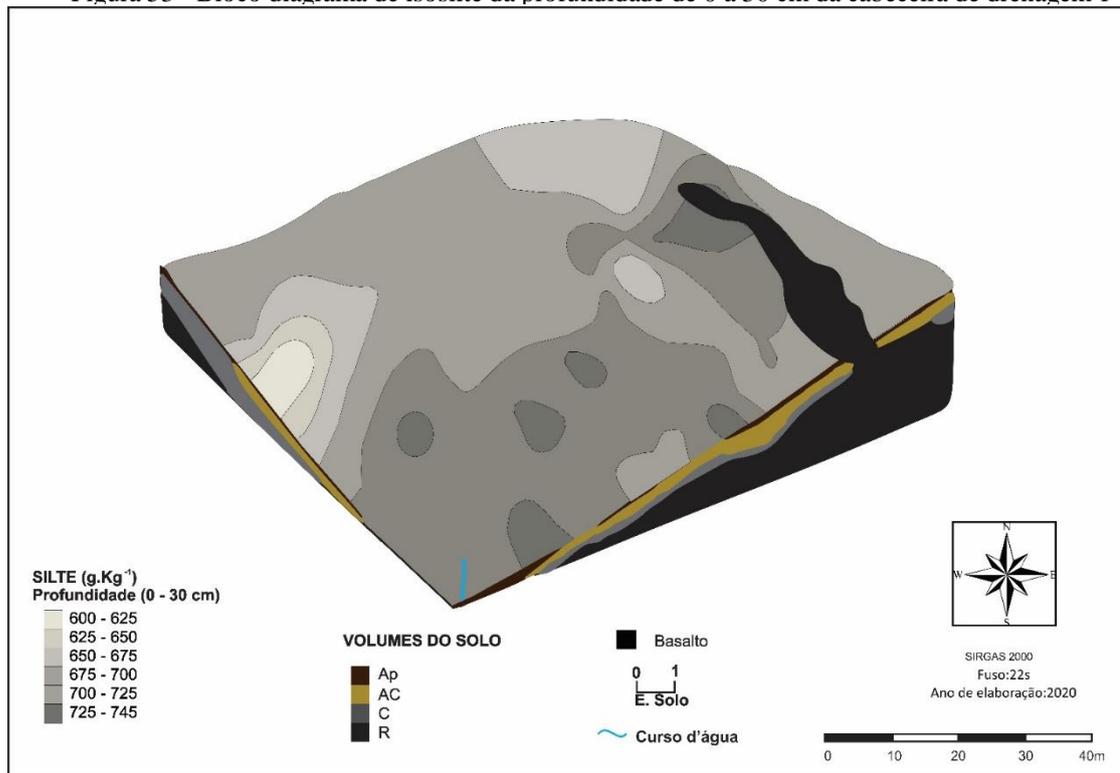
No que se refere a textura dos volumes da cabeceira, verificou-se a predominância da textura siltosa, demonstrada pela análise granulométrica das sondagens realizados com o trado. Observa-se nas Figura 53 e 54, referente aos valores de silte encontrados na cabeceira, que variaram de  $600 \text{ g.kg}^{-1}$  a  $745 \text{ g.kg}^{-1}$ , sendo que a quantidade predominante foi entre  $675$  e  $700 \text{ g.kg}^{-1}$ .

De maneira geral, os maiores valores de silte podem ser verificados no terço médio da cabeceira, em consonância com o aumento da declividade e redução da espessura dos volumes. Destaca-se que a ausência de silte exemplificados nas Figuras 53 e 54 referem-se as áreas onde não foi possível a coleta para a análise granulométrica em função do aparecimento da formação rochosa. Nesse sentido, os valores superiores de silte se justificam em função da proximidade com o material de origem.

O oposto ocorre em relação aos valores argila, que podem ser visualizados nas Figuras 55, onde a argila apresentou uma variação de  $160$  a  $318 \text{ g.kg}^{-1}$  na cabeceira, sendo que os maiores valores (de  $275$  a  $318 \text{ g.kg}^{-1}$ ) podem ser observados no setor alto, onde os volumes são mais desenvolvidos pedogeneticamente. Desse modo, observa-se a perda progressiva da argila em direção a nascente, estando abaixo de  $200 \text{ g.kg}^{-1}$ , associado ao menor grau de desenvolvimento dos solos. Na Figura 56 observa-se que em profundidades superiores a  $30 \text{ cm}$ , no setor central do topo, principalmente, a argila tende a ter valores de  $350$  a  $395 \text{ g.kg}^{-1}$ . É possível verificar, portanto, os locais da cabeceira onde está ocorrendo o aumento da argila em profundidade.

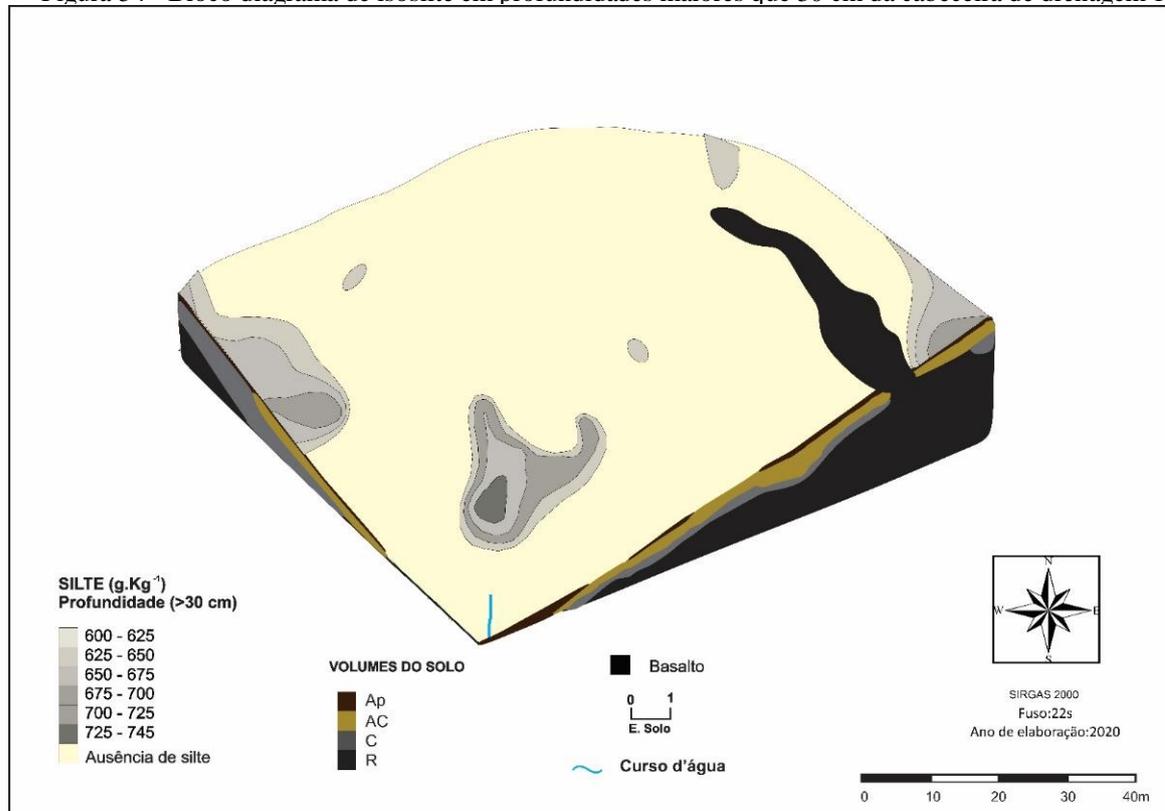
O aumento ocorre principalmente em setores de onde a cobertura pedológica apresentou-se mais espessa (maior que  $60 \text{ cm}$ ) indicando que o processo de pedogênese é mais atuante. De modo geral, outra observação possível é que os isovalores de argila também acompanham o aparecimento e desaparecimento do volume  $A_p$ , indicando a atuação erosiva superficial e exposição do volume  $AC$ . Nazar e Rodrigues (2020) elaboraram curvas granulométricas de três vertentes representativas do Chapadão do Diamante, na Serra da Canastra (MG). Segundo os autores, os estudos permitiram uma diferenciação entre as três vertentes analisadas, verificando que uma das vertentes apresentou maior evolução intempérica, relacionado a maiores proporções da fração argila, principalmente na área de alta e baixa vertente. Segundo os autores, isto indica que mesmo em materiais incipientes, a atividade pedogenética está presente.

Figura 53 - Bloco diagrama de isosilte da profundidade de 0 a 30 cm da cabeceira de drenagem 1



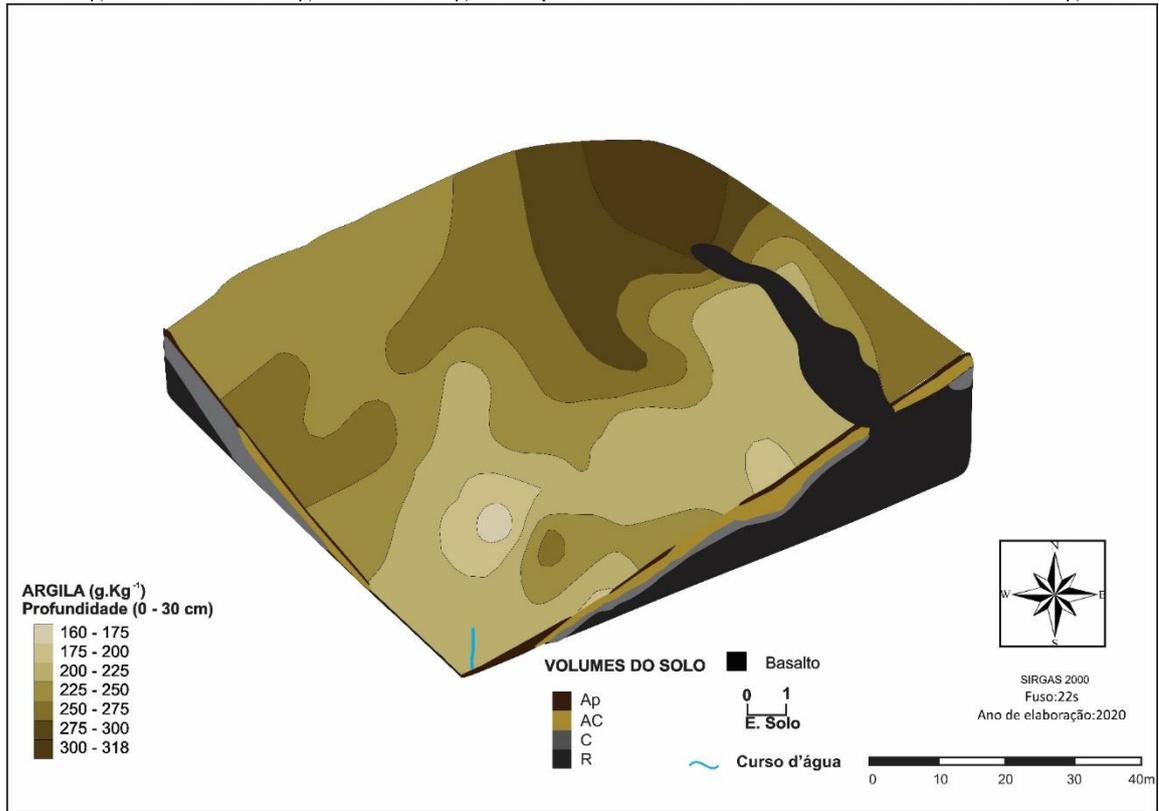
Elaboração: A autora (2021).

Figura 54 - Bloco diagrama de isosilte em profundidades maiores que 30 cm da cabeceira de drenagem 1



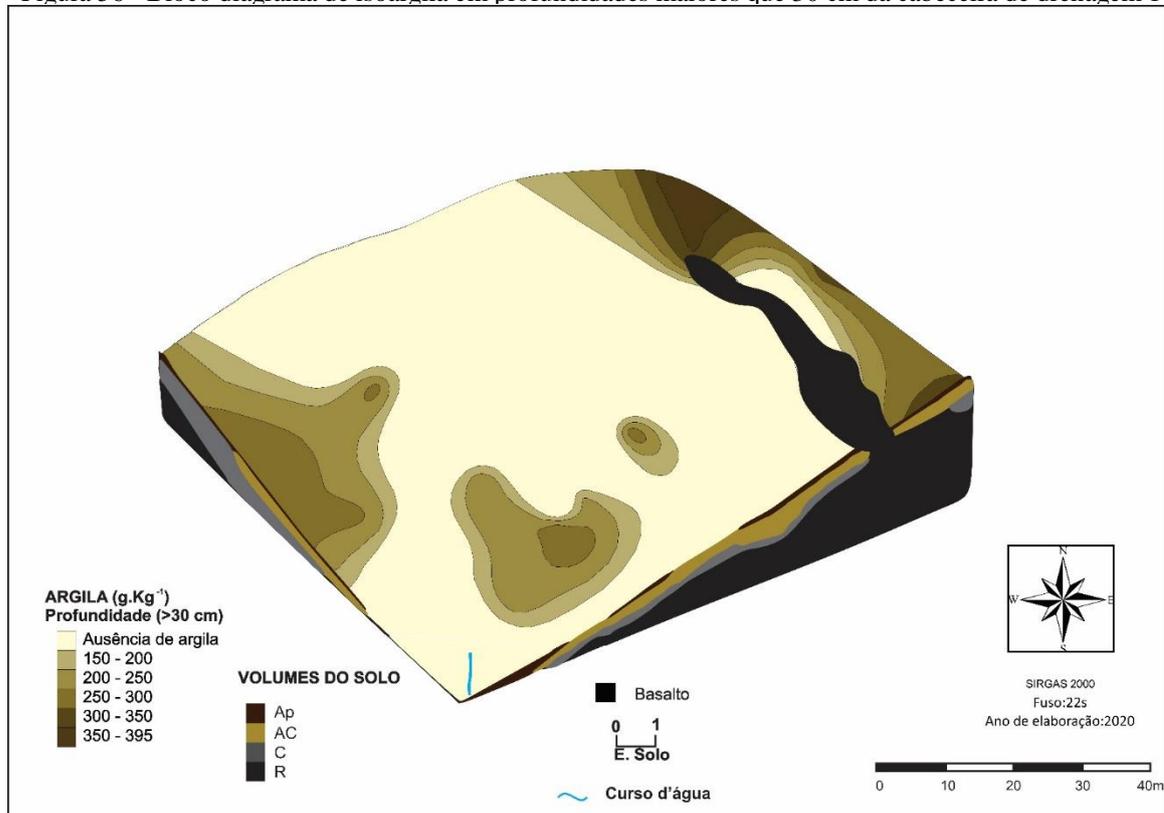
Elaboração: A autora (2021).

Figura 55 - Bloco diagrama de isoargila em profundidade de 0 a 30 cm da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021)..

Figura 56 - Bloco diagrama de isoargila em profundidades maiores que 30 cm da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

No que se refere ao grau ou nitidez de transição entre os volumes Ap, AC, C e R, há um predomínio da transição clara, exceto no volume Ap (P4), que teve uma transição gradual. A topografia de transição dos volumes mostrou predomínio da forma ondulada, sendo observada a plana nos volumes Ap (P1) e AC (P2). A forma irregular foi observada somente no volume Ap do P4. Resultados semelhantes foram encontrados por Pedron (2007) em Neossolos, que conferiu os resultados a ação dos diferentes microambientes na decomposição dos materiais.

A consistência apresentou poucas variações entre os volumes analisados, sendo solta e macia quando seca, muito friável quando úmida, plástica e muito plástica quando molhada. A pegajosidade foi classificada como pegajosa e muito pegajosa. Conforme as observações morfológicas realizadas, as diferenciações mais significativas verticalmente e lateralmente foram as variações das cores, o surgimento progressivo superficial do volume AC, e os diferentes estágios de alteração do material de origem.

Em relação a disponibilidade espacial dos Neossolos Litólicos e Regolíticos na cabeceira, observa-se que o setor alto está próximo a área de cultivo temporário, o que indica que o solo é mais profundo, propiciando este uso. Dessa forma, fica evidente que a lavoura não avançou para a área da cabeceira devido a limitação pedológica. Esta situação pode indicar também que pode haver uma transição para solos mais desenvolvidos, conforme demonstram trabalhos de relação solo e relevo, efetuados por Karling (2000), Cunha (2002), em áreas de arenito, e Rocha (2016), Magalhães (2013) em áreas de basalto.

A respeito das curvas de isodiferenciação, é necessário ressaltar conforme Barros (1986, p.83), que “não deve cometer o erro de considerar a superfície compreendida entre duas curvas de isodiferenciação como homogênea”. Segundo o autor, pode se considerar que entre as curvas ocorram variações das características pedológicas como por exemplo, o espessamento dos volumes.

A análise tridimensional da cobertura pedológica permitiu uma percepção visual detalhada da inter-relação da declividade/topografia com o processo de pedogênese. A cabeceira apresentou um sistema pedológico organizado no setor de topo por volumes mais espessos onde o contato lítico foi encontrado, em média, a partir de 60 cm de profundidade. Lateralmente, a partir do setor médio, os volumes pedológicos tornam-se menos espessos, voltando a se espessar próximo a nascente. Para o aprofundamento da discussão e análise da intensidade do processo de pedogênese atuante na cabeceira, buscou-se interpretar a sua dinâmica hídrica a partir das propriedades físicas e hídricas da cobertura pedológica e seu contexto geomorfológico.

## 4.4.2 Interpretação da dinâmica física e hídrica da cabeceira de drenagem 1

### 4.4.2.1 Comportamento físico e hídrico da cobertura pedológica da cabeceira de drenagem 1

A permeabilidade da cobertura pedológica pode ser mensurada através da condutividade hidráulica saturada (Kfs), parâmetro que representa a capacidade de solo em percolar a água (MESQUITA; MORAES, 2004), tornando-se assim, fundamental para a análise da intensidade do deslocamento da água no solo (MARQUES *et al.*, 2008).

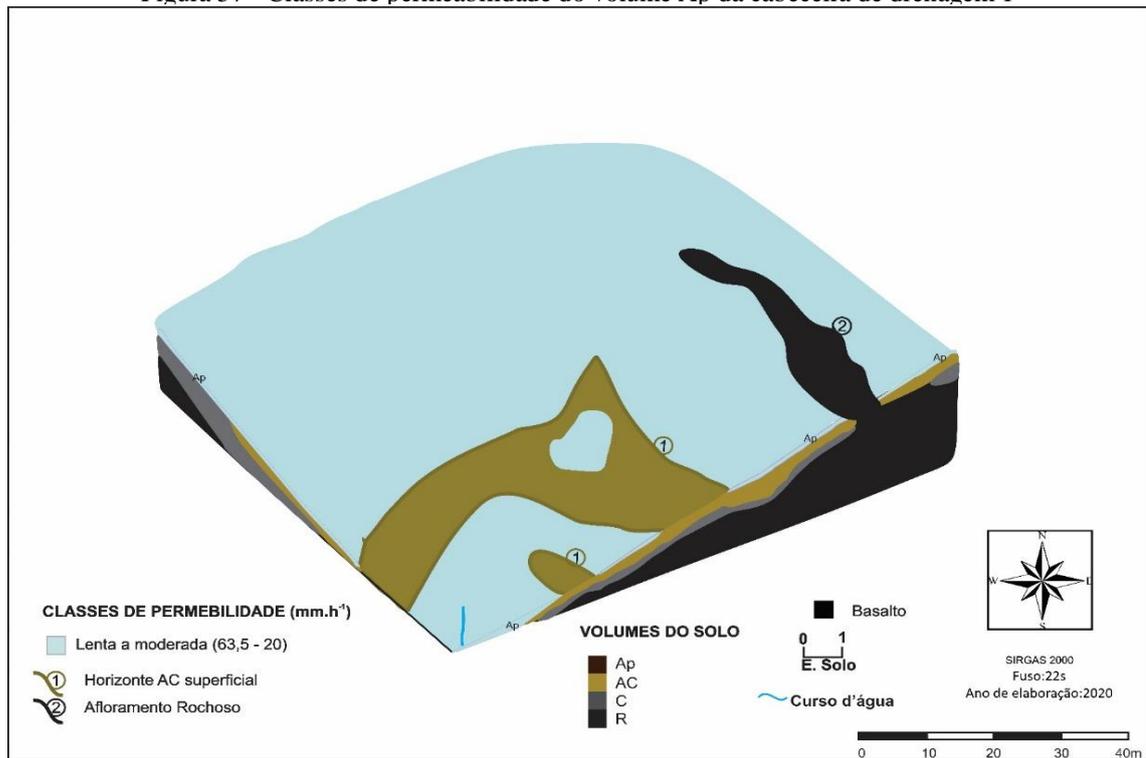
Avaliando a condutividade hidráulica saturada da cabeceira 1, verifica-se na Figura 57 que no volume Ap prevaleceu a classe lenta a moderada ( $63,5 - 20 \text{ mm/h}^{-1}$ ) por toda a cabeceira. Na Figura 58, quando se observa as Kfs do volume AC (superficial e subsuperficial), nota-se que no setor leste da cabeceira ainda há predominância da classe lenta a moderada, no entanto, no setor oeste, verifica-se a expansão das classes moderada ( $127 - 63,5 \text{ mm/h}^{-1}$ ) e moderada a rápida ( $254 - 127 \text{ mm/h}^{-1}$ ). No volume C (Figura 59) houve a redução das Kfs entre as classes lenta a moderada ( $63,5 - 20 \text{ mm/h}^{-1}$ ) e lenta ( $20 - 5 \text{ mm/h}^{-1}$ ).

Observa-se nas Figuras 57, 58 e 59 que os dados de Kfs mais elevados foram obtidos no volume AC e os mais baixos para o volume C. Esses dados de Kfs indicaram que nos volumes superficiais há uma maior facilidade de infiltração vertical, sobretudo no volume AC. A velocidade da infiltração tende a diminuir quando atinge o volume C, podendo proporcionar um comportamento de fluxo lateral subsuperficial da água na cabeceira.

Nesse caso, a água infiltrou rapidamente o volume superficial (Ap ou AC) e sofreu redução na velocidade de infiltração no volume C. Resultados similares foram encontrados por Pedron *et al.* (2011) em Neossolos no Rio Grande do Sul. Nesse contexto é possível supor que a atuação dos fluxos hídricos, em subsuperfície, atuam de forma mais intensa entre o volume AC e o C, indicando ser esses os setores com maior probabilidade de fragilidade erosiva.

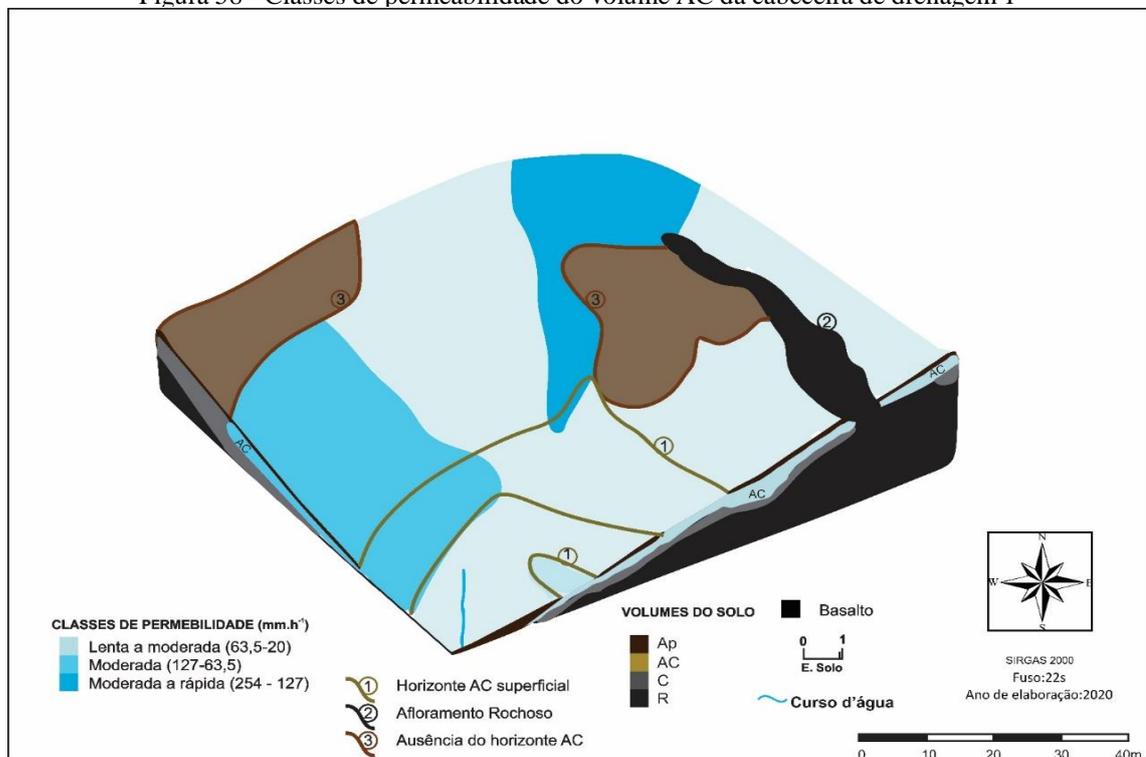
Para compreender os resultados de Kfs obtidos para essa cabeceira, analisou-se juntamente com outros indicadores que influenciam e são influenciados em uma relação de interdependência no solo (Lima *et al.* 2006). Nessa perspectiva, deve-se considerar fatores intrínsecos à cobertura pedológica que contribuem para a compreensão da dinâmica hídrica da cabeceira. Diante disso, os autores têm demonstrado a eficiência de análises estatísticas para correlacionar as propriedades físicas e hídricas em diversas classes de solos (PAIVA *et al.*, 2000; GHIDIN *et al.*, 2006; HICKMANN; COSTA, 2012; SANTOS *et al.*, 2012; DEOBALD, 2013).

Figura 57 - Classes de permeabilidade do volume Ap da cabeceira de drenagem 1



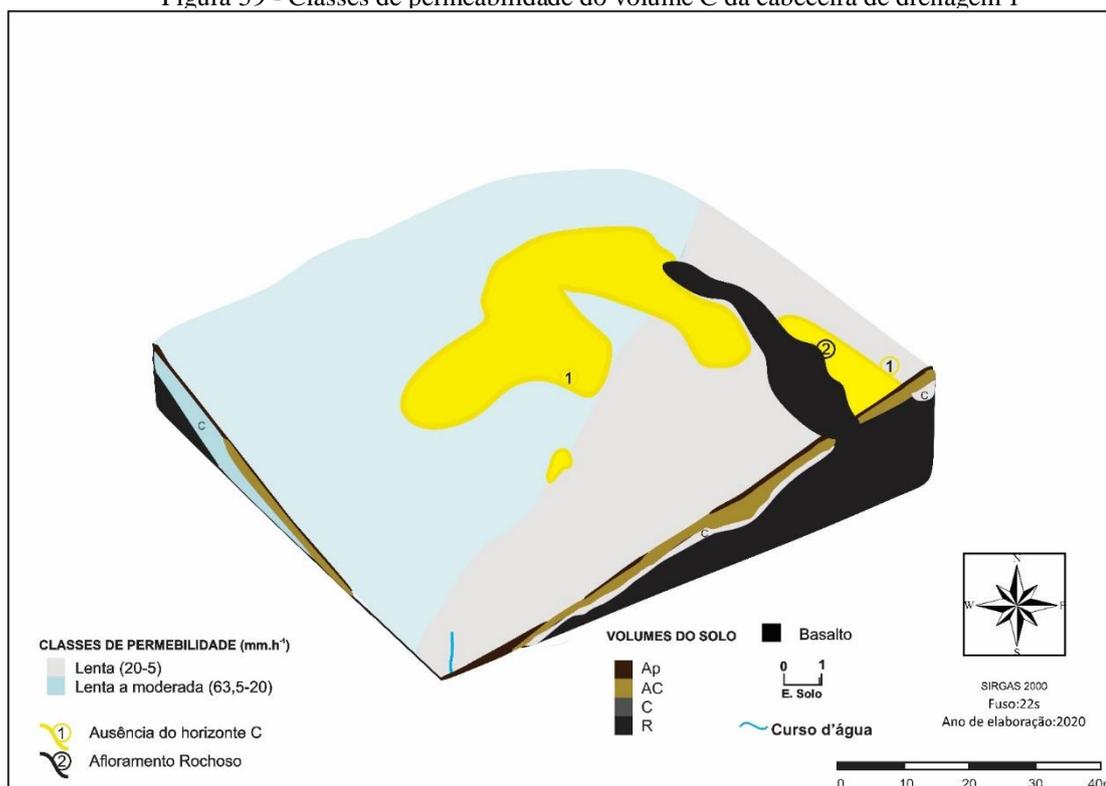
Fonte: Beutler *et al.* (2001), adaptada da *Soil Survey Staff*.  
Elaboração: A autora (2021).

Figura 58 - Classes de permeabilidade do volume AC da cabeceira de drenagem 1



Fonte: Beutler *et al.* (2001), adaptada da *Soil Survey Staff*.  
Elaboração: A autora (2021).

Figura 59 - Classes de permeabilidade do volume C da cabeceira de drenagem 1



Fonte: Beutler *et al.* (2001), adaptada da *Soil Survey Staff*.

Elaboração: A autora (2021).

Com base nesses pressupostos para a correlação das propriedades físicas, hídras e químicas (carbono orgânico) da cobertura pedológica da cabeceira de drenagem 1, considerou-se os seguintes atributos: diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa), argila total (AT), grau de flocculação da argila (GF), silte (S), frações grosseiras (FG), condutividade hidráulica saturada (Kfs), densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e carbono orgânico (CO).

Deobald (2013) e Silva (2014) constataram que os resultados de correlação se demonstram mais coerentes quando realizados com amostras da mesma classe de solo ou de volumes. Por conseguinte, para obter maior detalhamento dos atributos físicos e hídras da cobertura pedológica da cabeceira de drenagem 1, foi realizada a análise de correlação simples para os volumes Ap e AC.

O volume AC é encontrado tanto na superfície como em subsuperfície, dessa forma, considerou-se relacionar as variáveis de forma integrada (AC superficial e subsuperficial). Não foi possível estabelecer a correlação apenas do volume AC subsuperficial, em função do número insuficiente de dados para a aplicação estatística. O volume C também não pôde ter a correlação das suas variáveis analisadas devido a impossibilidade de coleta, gerada por suas características morfológicas que apresentam, em sua maioria, fragmentos de rocha.

Os resultados de correlação que estão descritos na Tabela 55 demonstram que no volume Ap o DMPa apresentou correlação positiva com a Kfs (0,989) e com a macroporosidade (0,839), confirmando a importância da estruturação do solo para a permeabilidade. Para as outras propriedades, o DMPa apresentou correlação positiva muito forte com o carbono orgânico (0,936) e com a argila total (0,941), indicando que quanto maior a quantidade de argila e carbono orgânico maior o tamanho dos agregados. Sua relação negativa se deu de forma muito forte com o silte (-0,875), forte com as frações grosseiras (-0,655) e a densidade (-0,773), de forma muito fraca com a porosidade total (-0,078), fraca com o grau de flocculação (-0,151) e moderada com a microporosidade (-0,400), como mostra a Tabela 55.

Pode-se observar que o elemento que menos se correlacionou ao DMPa no volume Ap foi o silte. Dessa forma, o silte não demonstrou tendência para contribuir com agregação do volume Ap. Esse resultado foi verificado também por Silva (2014), demonstrando que o silte se correlacionou negativamente com o DMP tanto em via seca quanto em úmida, no horizonte A, para o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distroférrico, Cambissolo Háplico Tb Eutrófico, Cambissolo Háplico Tb Eutrófico Latossólico e Vertissolo Háplico Órtico.

A relação negativa do DMPa com as frações grosseiras também foi verificada em outras classes de solo como em Suzuki *et al.* (2014). Segundo os autores, o aumento do teor de cascalho reduz o DMPa por ser uma fração de baixa atividade e de grande diâmetro, sua presença pode dificultar a formação de agregados estáveis. O carbono orgânico apresentou correlação positiva com as Kfs (0,875).

Esse resultado pode estar relacionado ao fato de o carbono orgânico influenciar de forma positiva na agregação do solo (0,936) no volume Ap, que por sua vez contribui para aumentar os valores de Kfs, conforme já mencionado. Além das Kfs, o carbono orgânico teve correlação positiva muito forte com a argila total (1,000) e com a macroporosidade (0,977).

A correlação do carbono orgânico foi negativa muito forte com o silte (-0,989) e com as frações grosseiras (-0,878), forte com a microporosidade (-0,696) e moderada com o grau de flocculação (-0,488), com a densidade (-0,501) e a porosidade total (-0,423), exposto na Tabela 55. Para o carbono orgânico (CO) destaca-se, ainda, a relação negativa com a densidade e o silte, indicando que são inversamente proporcionais. Esse resultado é similar ao encontrado por Broch (2016), em que a densidade do solo diminuiu conforme o silte e a matéria orgânica aumentaram. O CO, nesse caso, contribuiu para amenizar o adensamento do solo na cabeceira. Ademais, concorda com os trabalhos de Dias Júnior e Miranda (2000), Braidá *et al.* (2006) e Santos *et al.* (2012).

Tabela 55 - Coeficiente de correlação de *Pearson* dos dados físicos, hídricos e carbono orgânico do Volume Ap da cabeceira de drenagem 1

Propriedades	DMPa (mm)	CO (g.kg <sup>-1</sup> )	AT (g.kg <sup>-1</sup> )	GF (%)	Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	FG (g.kg <sup>-1</sup> )	Kfs (mm/h <sup>-1</sup> )	Ds (g.cm <sup>-3</sup> )	Ma (%)	Mi (%)
CO (g.kg <sup>-1</sup> )	0,936	1,000								
AT (g.kg <sup>-1</sup> )	0,941*	1,000	1,000							
GF (%)	-0,151	-0,488	-0,478*	1,000						
Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	-0,875*	-0,989*	-0,988*	0,610*	1,000					
FG (g.kg <sup>-1</sup> )	-0,655*	-0,878*	-0,872*	0,846*	0,938	1,000				
Kfs (mm/h <sup>-1</sup> )	0,989	0,875	0,880*	-0,004*	-0,795*	-0,536	1,000			
Ds (g.cm <sup>-3</sup> )	-0,773	-0,501	-0,512*	-0,510*	0,370*	0,027	-0,858	1,000		
Ma (%)	0,839	0,977	0,974*	-0,664	-0,998*	-0,960*	0,750	-0,304	1,000	
Mi (%)	-0,400	-0,696	-0,687*	0,967	0,793*	0,955*	-0,260	-0,273	-0,834	1,000
Pt (%)	-0,078	-0,423	-0,412*	0,997	0,550*	0,805*	0,070	-0,572	-0,607	0,945

Diâmetro médio ponderados dos agregados (DMPa), carbono orgânico (CO), argila total (AT), grau de floculação (GF), frações grosseiras (FG), condutividade hidráulica saturada (Kfs), densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt). Intensidade de correlação :  $0 \leq |R| < 0,2$  (muito fraca);  $0,2 \leq |R| < 0,4$  (fraca);  $0,4 \leq |R| < 0,6$  ;(moderada);  $0,6 \leq |R| < 0,8$  (forte) e  $0,8 \leq |R| \leq 1$  (muito forte). \* Correlações significativas ( $p < 0,05$ )

\*Classificação da intensidade de correlação proposta por Zou *et al.* (2003), adaptada de Santos *et al.* (2012).

Para as propriedades granulométricas da argila total e do silte, o volume Ap teve relação positiva forte com as Kfs (0,880), bem como negativa forte (-0,795), (Tabela 55). Esse resultado já era esperado, visto que quanto maior a proporção de silte menor a de argila. A classe textural do solo da cabeceira foi predominante de textura siltosa, indicando material com menos de 350 g.kg<sup>-1</sup> de argila e menos de 150 g.kg<sup>-1</sup> de areia (EMBRAPA, 2018).

Pedron *et al.* (2011) constataram que elevados teores de areia fina e silte na granulometria dos volumes superficiais (A) podem contribuir para a deposição desse material nos macroporos, reduzindo seu volume e sua continuidade. Resende *et al.* (2002) afirmam que a fração silte, pelo tamanho diminuto da partícula, tem grande potencialidade para a obstrução de poros. Esse entendimento também pode ser verificado para os resultados de correlação entre a macroporosidade e as frações silte e argila. A macroporosidade teve correlação muito forte (positiva) com a argila (0,974) e muito forte (negativa) com o silte (-0,998).

Para as outras propriedades no volume Ap, a argila apresentou correlação negativa muito forte com as frações grosseiras (-0,878). O grau de floculação (-0,478), a densidade (-0,512) e a porosidade total (-0,412) apresentaram relação negativa moderada com a argila. Com a microporosidade (-0,687) a relação foi negativa forte. O grau de floculação teve relação muito forte positiva com as frações grosseiras (0,846), com a microporosidade (0,967) e com a porosidade total (0,997), e forte positiva com o silte (0,610). A relação foi forte negativa com a macroporosidade (-0,664), moderada negativa com a densidade (-0,510) e fraca negativa com as Kfs (-0,004) (Tabela 55).

Já em relação às correlações obtidas para o silte, no volume Ap, foram de forma positiva muito forte com as frações grosseiras (0,938), de forma forte com a microporosidade (0,793), moderada com a porosidade total (0,550) e fraca com a densidade (0,370) (Tabela 55). O grau de floculação não apresentou correlação significativa com as Kfs para o volume Ap (-0,004). Observa-se que o grau de floculação demonstrou maior correlação positiva com a microporosidade (0,967) e porosidade total (0,997) (Tabela 55). Esperava-se maior correlação dessa variável com a argila e com o CO.

De acordo com Oliveira *et al.* (2012):

o Ca<sup>2+</sup> no complexo de troca e na solução do solo, quando hidratado, forma complexos de esfera interna com raio de hidratação pequeno ocasionando compressão da dupla camada difusa e aproximação das argilas, assim como o processo de floculação. Os autores colocam que relações onde o Ca<sup>2+</sup> é superior ao Mg<sup>2+</sup> favorecem o processo de floculação uma vez que o Mg<sup>2+</sup> tem seu raio de hidratação maior que o Ca<sup>2+</sup>. (OLIVEIRA *et al.*, 2012, p. 343).

Lepsch (2011) elucidada que:

as partículas do solo se juntam, formando agregados de vários tamanhos e formatos ocasionadas por vários fatores, que podem ser visualizados em três etapas: “(a) ajuntamento ou floculação das partículas do solo; (b) cimentação desses flocos pelo húmus, argilas ou compostos de ferro, cálcio ou silício; (c) aparecimento de fendas que separam as unidades estruturais (LEPSCH, 2011, p.194)

Desse modo, suponha-se que para a cabeceira de drenagem um, os possíveis fatores influenciadores da floculação sejam mais relacionados à ordem química e mineralógica. Para as frações grosseiras no volume Ap, as relações negativas foram moderadas para as Kfs (-0,536) e muito forte para a macroporosidade (-0,960). Assim sendo, percebe-se que para esse volume (Ap) as frações grosseiras interferiram de forma negativa na permeabilidade. Por outro lado, nas outras propriedades a relação foi positiva muito forte com a porosidade total (0,805) e microporosidade (0,955), e positiva muito fraca com a densidade (0,027) (Tabela 55).

As Kfs tiveram interação positiva forte com a macroporosidade (0,750), muito fraca com a porosidade total (0,070), e relação negativa muito forte com a densidade (-0,858). A macroporosidade (-0,304) e a microporosidade (-0,273) estabeleceram relação negativa fraca com a densidade, já com a porosidade total (-0,572) foi negativa moderada (Tabela 55). Percebe-se que a interação entre Kfs e macroporosidade foi maior, enquanto com a densidade foi menor. A relação inversamente proporcional da densidade com as propriedades porais do solo foram explicadas por autores tais como Magalhães (2013) e Rocha (2016), segundo os quais, o aumento da densidade reduz os macroporos e reflete na porosidade total, conseqüentemente refletindo na permeabilidade do solo.

Para o volume AC, identificado na cabeceira, os dados se mostraram heterogêneos quando comparados ao volume Ap, com uma alternância mais acentuada entre os valores, tendo maior número de resultados para a classe moderada (positiva e negativa), conforme se observa nas Tabelas 56 e 57. Percebe-se que o comportamento hídrico do volume AC é modificado quando esse aparece como volume superficial ou subsuperficial. Isso pode ser melhor compreendido comparando os dados obtidos de correlação simples entre as Tabelas 56 e 57.

Na Tabela 56, quando considerado o volume AC, observa-se as correlações forte positiva entre o DMPa e a argila (0,639) e negativa moderada (-0,505) com o silte. O volume AC apresentou uma correlação negativa forte das Kfs (-0,757) com o DMPa. Ainda na Tabela 56, é possível averiguar que as Kfs apresentam correlação fraca negativa com a densidade (-0,226) e muito fraca positiva com as frações grosseiras (0,151). Já a macroporosidade teve correlação forte positiva com as frações grosseiras (0,795). A densidade, Tabela 56, teve relação moderada negativa com a macroporosidade (-0,511) e com a porosidade total (-0,430) e correlação forte positiva com a microporosidade (0,640).

Tabela 56 - Coeficiente de correlação de *Pearson* dos dados físicos, hídricos e carbono orgânico do Volume AC da cabeceira de drenagem 1

Propriedades	DMPa (mm)	CO (g.kg <sup>-1</sup> )	AT (g.kg <sup>-1</sup> )	GF (%)	Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	FG (g.kg <sup>-1</sup> )	Kfs (mm/h <sup>-1</sup> )	Ds (g.cm <sup>-3</sup> )	Ma (%)	Mi (%)
CO (g.kg <sup>-1</sup> )	-0,423	1,000								
AT (g.kg <sup>-1</sup> )	0,639*	0,136*	1,000							
GF (%)	0,366*	-0,888*	-0,363*	1,000						
Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	-0,505	-0,105	-0,961	0,341	1,000					
FG (g.kg <sup>-1</sup> )	0,151*	0,764*	0,738*	-0,841*	-0,671*	1,000				
Kfs (mm/h <sup>-1</sup> )	-0,757	0,379	-0,049*	-0,591	-0,125*	0,191*	1,000			
Ds (g.cm <sup>-3</sup> )	-0,226	-0,774	-0,613*	0,675	0,527*	-0,923*	0,079	1,000		
Ma (%)	0,160	0,395	0,800*	-0,739	-0,767*	0,795*	0,424	-0,511	1,000	
Mi (%)	-0,138	-0,544	-0,762*	0,825	0,691*	-0,880*	-0,357	0,640	-0,976	1,000
Pt (%)	0,170	0,304	0,805*	-0,676	-0,795*	0,733*	0,452	-0,430	0,993	-0,944

Diâmetro médio ponderados dos agregados (DMPa), carbono Orgânico (CO), argila total (AT), grau de flocculação (GF), frações grosseiras (FG), condutividade hidráulica saturada (Kfs), Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt). Intensidade de correlação linear:  $0 \leq |R| < 0,2$  (muito fraca);  $0,2 \leq |R| < 0,4$  (fraca);  $0,4 \leq |R| < 0,6$  (moderada);  $0,6 \leq |R| < 0,8$  (forte) e  $0,8 \leq |R| \leq 1$  (muito forte). \* Correlações significativas ( $p < 0,05$ )

Classificação da intensidade de correlação proposta por Zou *et al.* (2003), adaptada de Santos *et al.* (2012).

Tabela 57 - Coeficiente de correlação de *Pearson* dos dados físicos, hídricos e carbono orgânico do Volume AC (superficial) da cabeceira de drenagem

Propriedades	DMPa (mm)	CO (g.kg <sup>-1</sup> )	AT (g.kg <sup>-1</sup> )	GF (%)	Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	FG (g.kg <sup>-1</sup> )	Kfs (mm/h <sup>-1</sup> )	Ds (g.cm <sup>-3</sup> )	Ma (%)	Mi (%)
CO (g.kg <sup>-1</sup> )	0,433	1,000								
AT (g.kg <sup>-1</sup> )	0,976*	0,616*	1,000							
GF (%)	-0,816	-0,875	-0,920	1,000						
Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	-0,998*	-0,493*	-0,989*	0,853*	1,000					
FG (g.kg <sup>-1</sup> )	0,740*	0,926*	0,867*	-0,993*	-0,784	1,000				
Kfs (mm/h <sup>-1</sup> )	0,945	0,115	0,853	-0,582	-0,921*	0,480*	1,000			
Ds (g.cm <sup>-3</sup> )	-0,436	-1	-0,618*	0,876	0,495*	-0,927*	-0,118	1,000		
Ma (%)	0,995	0,515	0,992*	-0,866	-1*	0,799*	0,910	-0,518	1,000	
Mi (%)	-0,957	-0,678	-0,9967*	0,9491	0,974*	-0,9043*	-0,809	0,6797	-0,979	1,000
Pt (%)	0,9999	0,4193	0,9734*	-0,807	-0,997*	0,7298*	0,950	-0,422	0,9941	-0,952

Diâmetro médio ponderados dos agregados (DMPa), carbono Orgânico (CO), argila total (AT), grau de floclulação (GF), frações grosseiras (FG), condutividade hidráulica saturada (Kfs), Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt). Intensidade de correlação:  $0 \leq |R| < 0,2$  (muito fraca);  $0,2 \leq |R| < 0,4$  (fraca);  $0,4 \leq |R| < 0,6$  (moderada);  $0,6 \leq |R| < 0,8$  (forte) e  $0,8 \leq |R| \leq 1$  (muito forte). \* Correlações significativas ( $p < 0,05$ )

\*Classificação da intensidade de correlação proposta por Zou *et al.* (2003), adaptada de Santos *et al.* (2012).

Sobre os aspectos da correlação das Kfs com as características porais do solo, a Tabela 56 demonstra que as Kfs tiveram correlação moderada positiva com a macroporosidade (0,424) e com a porosidade total (0,452), e fraca negativa com a microporosidade (-0,357).

Quando se correlaciona os dados apenas no que se refere ao volume AC superficial, como na Tabela 57, observa-se modificações nesse comportamento. O volume AC apresentou uma correlação positiva muito forte do DMPa com as Kfs (0,945). Isso ocorreu, de modo geral, em função de que neste volume encontram-se obtidos os maiores valores de DMPa (2,7 e 2,8 mm) em subsuperfície. O mesmo não ocorre para os valores de DMPa do volume AC em superfície que foram menores (2,5 mm). Reitera-se que os maiores valores de Kfs para a cabeceira 1 foram obtidos no volume AC (82,89 e 140,19 mm/h<sup>-1</sup>) em superfície.

Ainda, na Tabela 57, as Kfs apresentam relação muito forte positiva com a macroporosidade (0,910) e com a porosidade total (0,950) e muito forte negativa com a microporosidade (-0,809). Verifica-se que quando o volume AC é avaliado apenas em superfície há aumento da influência da macroporosidade e porosidade total nas Kfs. Nesse sentido, é necessário também identificar, os fatores que influenciaram não somente nas Kfs, mas na macroporosidade do solo também. Conforme a Tabela 57 mostra, as Kfs tiveram correlação fraca negativa com a densidade (-0,118), porém com as frações grosseiras houve correlação moderada (0,480).

A macroporosidade manteve a correlação positiva forte com as frações grosseiras (0,799). Em relação ao comportamento do volume AC em superfície referente ao DMPa, se estabeleceu a correlação positiva muito forte com a argila (0,976) e negativa muito forte com o silte (-0,998). Nota-se que a macroporosidade estabeleceu relação positiva muito fraca com o DMPa (0,160) e teve sua correlação aumentada significativamente com DMPa (0,995) para positiva muito forte no volume AC superficial (Tabela 57).

O estudo estatístico demonstrou que a interferência maior do DMPa na macroporosidade, alterou a correspondência com as Kfs. A análise estatística não demonstrou interferência significativa da densidade com as Kfs, sendo de muito fraca (0,079) na Tabela 56 e negativa muito fraca (-0,118) na Tabela 57. De acordo com a correlação estatística apresentada, compreende-se que as frações grosseiras contribuíram para os resultados de aumento da condutividade hidráulica saturada principalmente no volume AC superficial (Tabela 57). Esses resultados concordam com Kaiser (2006), Stürmer (2008) e Dalbianco (2009), que apontam a interferência das frações grosseiras do solo nos dados de permeabilidade, em que as frações grosseiras reduziram a capacidade de armazenamento de água no solo, como também observaram que alta pedregosidade na superfície do solo facilitou a infiltração da água, elevando os valores de infiltração.

Em vista disso, possivelmente a presença de cascalhos no solo contribuiu para os resultados de Kfs, sem contudo, interferir no resultado de macroporosidade, visto que a correlação forte entre as duas variáveis foi mantida em ambas as análises (Tabelas 56 e 57). Fato semelhante foi observado por Medeiros (2010), que atribuiu valores expressivos de condutividade à presença da fração cascalho, principalmente nos volumes superficiais. Segundo a autora, pode ter sido criado megaporos através de caminhos preferenciais condicionados pelo cascalho. Mesquita e Moraes (2004), em estudo verificando a dependência das Kfs com os atributos físicos do solo, constataram que a presença de megaporos nos solos aumentou em muito as Kfs; exercendo, porém, pouca influência nos valores de macroporosidade. Desse modo, é possível supor que as diferenças estruturais do volume em superfície (estrutura predominante do tipo granular) ou subsuperfície (estrutura em blocos) influenciaram o distinto comportamento hídrico como apontado em Reichardt (1996).

Com relação aos maiores valores de DMPa que o volume AC demonstrou em subsuperfície na cabeceira 1, percebe-se que também podem estar relacionados ao aumento da argila em profundidade, e conseqüentemente, menor silte, causando maior estabilização aos agregados (BRAIDA *et al.*, 2006; BROCH, 2016) ou ainda a quantidade de frações grosseiras que não se dissipam com o tamisamento durante a agitação do ensaio. Assim, reitera-se a contribuição da fração argila para a agregação mesmo quando o volume do solo apresenta em sua massa uma quantidade significativa de frações grosseiras.

Nesse sentido, destaca-se ainda que a correlação do DMPa com o carbono orgânico do volume AC, apenas em superfície, foi positiva moderada (0,433), como exposto na Tabela 57. Em comparação com quando considerados juntamente aos valores em subsuperfície, mostrados na Tabela 56, foi moderada negativa (-0,423), evidenciando a contribuição de CO em superfície para a agregação do solo (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990; CASTRO FILHO *et al.*, 1998; CRUZ *et al.*, 2003; WENDLING *et al.*, 2005; FERREIRA *et al.*, 2007; SALTON *et al.*, 2008). Percebeu-se a interação negativa do carbono e Kfs de maneira mais acentuada no volume AC em relação ao volume Ap, enfatizando que os possíveis fatores reguladores da flocculação podem ser de ordem química e mineralógica, como já mencionado.

Na Tabela 57 averigua-se que a densidade obteve valores negativos moderados para a macroporosidade (-0,518) e porosidade total (-0,422), bem como moderada positiva com a microporosidade (0,679). Isso indica que a densidade foi inversamente proporcional a macroporosidade e porosidade total no volume AC. O aumento das Ds em subsuperfície nessa cabeceira pode estar relacionado à redução da matéria orgânica, uma vez que o CO foi inversamente proporcional à densidade (-1), no volume AC superficial (Tabela 57), corroborando para que o

aporte da matéria orgânica contribuiu para a redução da densidade. Além disso, o CO contribuiu para a porosidade do solo (0,419) e também estabeleceu relação positiva com a argila (0,616), o que não havia sido observado anteriormente nos resultados da Tabela 56. Outra possibilidade ao aumento das Ds do solo em profundidade se deve ao adensamento proveniente da própria estrutura do solo. Resultado semelhante foi verificado por Oliveira (2014).

A análise de correlação simples realizada permitiu o entendimento de quais atributos do solo afetam sobremaneira as Kfs de forma positiva ou negativa. Destarte, pode-se comparar os resultados na avaliação entre a correlação por volume, observando o aumento e a redução nos valores de correspondência entre as propriedades do solo. Diante do exposto, as propriedades que mais afetaram a permeabilidade para o volume Ap foram: a macroporosidade, a porosidade total, o DMPa, o CO e a argila total. Para o volume AC (considerando superfície e subsuperfície) foram: a macroporosidade e a porosidade total. Quando analisados apenas os dados do volume AC superficial, têm-se: a porosidade total, a macroporosidade, o DMPa, a argila e a quantidade de frações grosseiras.

Assim, os dados físicos e hídricos demonstraram a heterogeneidade desses solos, mesmo sendo todos pertencentes à classe dos Neossolos em uma mesma cabeceira de drenagem, na qual a distância entre os perfis foi de apenas alguns metros. Stürmer (2008, p.74) avaliando cinco Neossolos no Rio Grande do Sul encontrou grandes disparidades no comportamento físico-hídrico,

não puderam ser estabelecidas relações entre a infiltração e a macroporosidade, porosidade total, composição granulométrica e estabilidade de agregados. Como os Neossolos são solos pedogeneticamente jovens, geralmente localizados em terrenos declivosos, onde ocorre grande perda de solo e água por escoamento superficial, sua gênese está intimamente relacionada com estes fatores. É de se esperar, portanto, que este tipo de solo apresente grandes variações nos seus atributos químicos, físicos e morfológicos, refletindo principalmente no seu comportamento hídrico (STÜRMER, 2008, p. 74).

A correlação dos dados das propriedades físicas da cobertura pedológica da cabeceira de drenagem 1, representativa do subcompartimento basáltico da bacia hidrográfica do rio Pirapó, serviu de subsídio para o entendimento do seu comportamento hídrico. Considerando a necessidade de compreensão da dinâmica da água nas coberturas pedológicas para melhor entendimento dos processos morfopedogenéticos, será apresentado a seguir o item sobre o funcionamento hidrogeomorfológico da cabeceira de drenagem 1.

#### 4.4.2.2 Funcionamento hidrogeomorfológico e morfopedogenético da cabeceira de drenagem 1

Morfologicamente, a cabeceira 1 apresentou curvatura vertical convexa no setor alto, transacionando para curvaturas retilíneas no terço médio, e em direção à jusante próxima a nascente, assumiu uma forma suavemente côncava. Os limites de transição são marcados por rupturas de declive que acompanharam a mudança das curvaturas. Em relação à curvatura horizontal (convergente, divergente, planar), estabelecida pelo formato geométrico, de como as curvas de nível se configuram, indica-se que na cabeceira 1 os fluxos hídricos são concentrados (convergente).

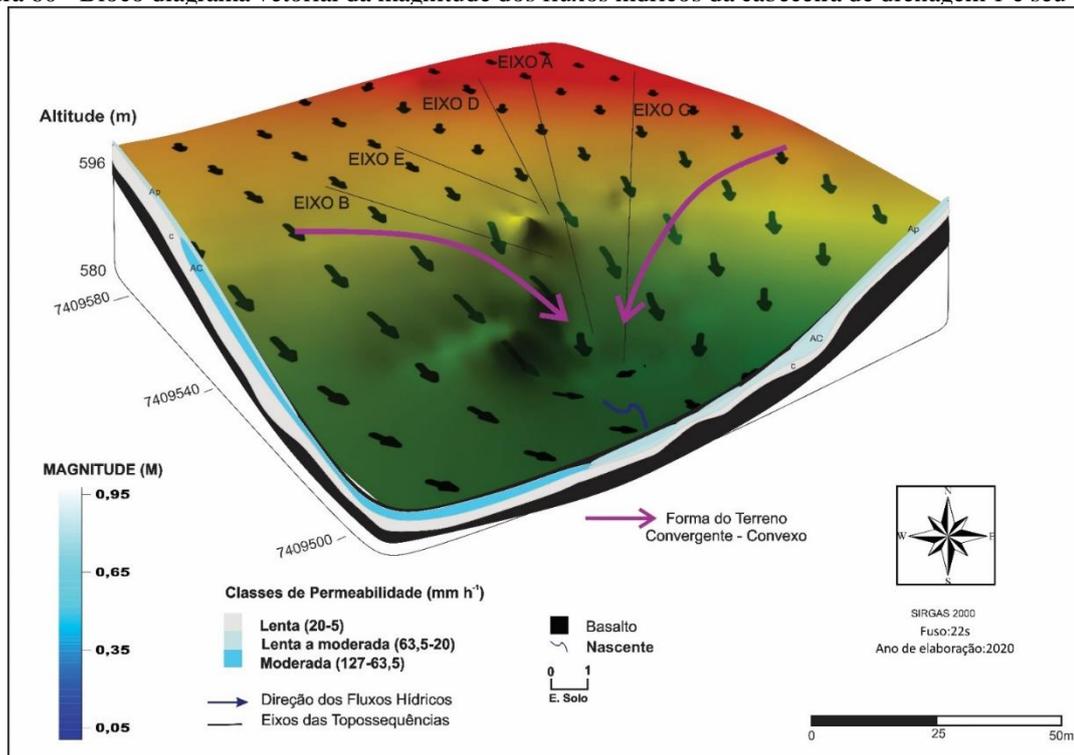
Desse modo, apoiando-se na literatura sobre esses aspectos da morfologia das vertentes, determinou-se a forma do terreno para a cabeceira de drenagem 1, como convergente-convexa em que possuem a tendência de acelerar o fluxo em direção às partes mais baixas do relevo em forma de fluxo superficial (VALERIANO; CARVALHO JÚNIOR, 2003; WERLANG, 2004; VALERIANO, 2008; SILVA NETO, 2013; GUARESCHI, 2018; CARVALHO *et al.*, 2019).

O mapa vetorial da Figura 60 mostra a direção e a magnitude dos fluxos hídricos da cabeceira de drenagem 1. As setas indicam a direção que água percorre (de alta elevação para baixa elevação), enquanto a magnitude é indicada pelo comprimento da seta, logo, quanto maior a declividade mais longas são as setas, e maior é a velocidade do escoamento superficial. Dessa forma, o comprimento das setas indica (0,05 a 0,2 m) que no setor alto, a velocidade do escoamento superficial é menor quando comparado ao terço médio (0,65 a 0,95 m). Nota-se que conforme há aproximação da nascente, o escoamento superficial tende a reduzir novamente (menor que 0,35 m).

Na área de topo da cabeceira foi possível averiguar a maior espessura dos volumes da cobertura litólica por meio do mapeamento tridimensional. Quando se confronta a espessura da cobertura pedológica com os aspectos hidrogeomorfológicos da cabeceira, percebe-se que no setor alto a circulação vertical é favorecida pela declividade, além disso, esse setor está sob influência sazonal do lençol freático (Figura 61). Outro ponto a ser destacado nesse setor alto, é a presença de um afloramento rochoso de basalto de estrutura maciça (embora seja também visível em outros locais da cabeceira de forma esparsa), de cor escura, compostas de minerais que são relativamente ricos em ferro e magnésio (MINEROPAR, 2001) (Figura 61).

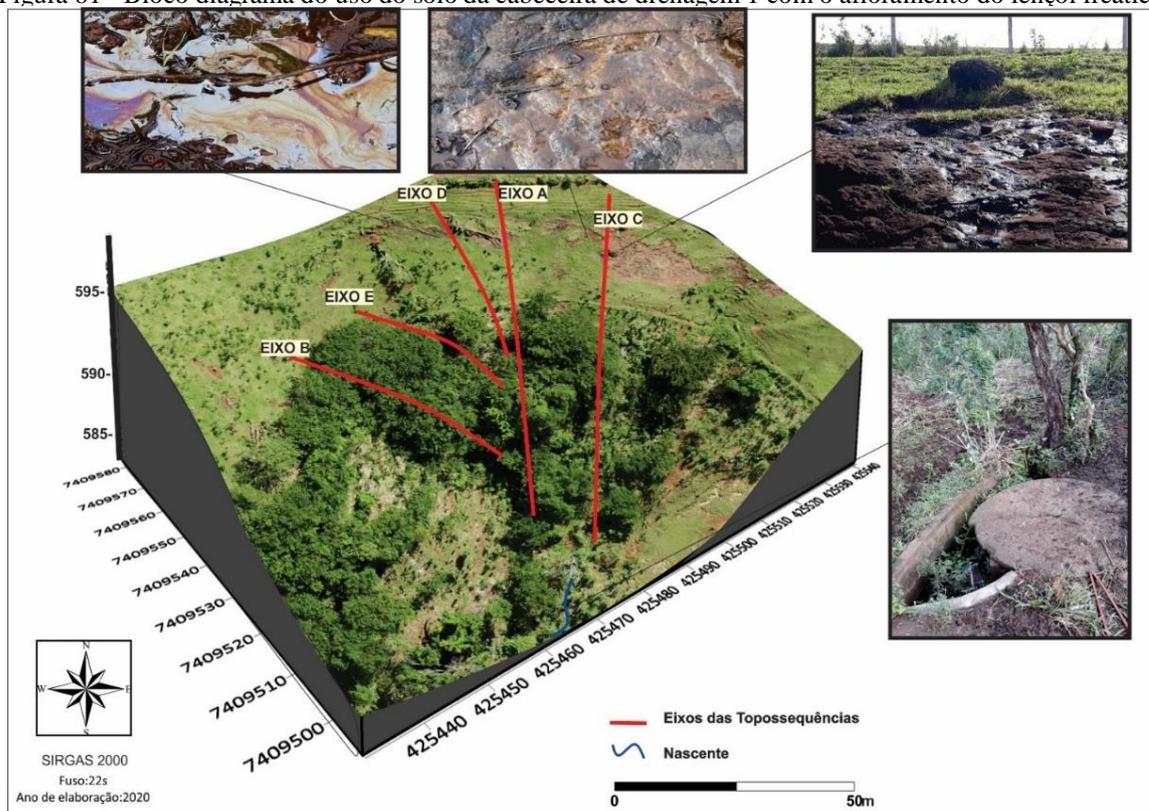
No setor alto da cabeceira tem-se, portanto, o predomínio da atuação de fluxos hídricos formados após eventos de precipitação. Os fluxos subsuperficiais são decorrentes principalmente da oscilação do lençol freático.

Figura 60 - Bloco diagrama vetorial da magnitude dos fluxos hídricos da cabeceira de drenagem 1 e seu entorno



Elaboração: A autora (2021)..

Figura 61 - Bloco diagrama do uso do solo da cabeceira de drenagem 1 com o afloramento do lençol freático



Elaboração: A autora (2021).

Dessa forma, a geologia é um fator importante para o processo de pedogênese, pois oferece resistência em maior ou menor grau aos processos de intemperismo, influenciando na forma das vertentes. Levando em consideração que a cabeceira possui uma rocha maciça exposta, a pedogênese atuará nos interstícios das fraturas da rocha.

Resultado semelhante foi verificado por Silva (2019) em um estudo desenvolvido em sete nascentes e suas cabeceiras no Chapadão Diamante, na Serra da Canastra (MG). O autor verificou que a litologia tem grande contribuição para a dinâmica hidrogeomorfológica das nascentes pesquisadas. Segundo os resultados obtidos, os afloramentos rochosos se tornam resistentes barreiras ao transporte dos sedimentos, favorecendo os bolsões de deposição e infiltração de água. Segundo Silva (2019), os episódios chuvosos favorecem a infiltração em detrimento do escoamento superficial, por esta razão, estoca-se água e favorece-se a frente de intemperismo subsuperficial. Com isso, promove-se a pedogênese sob o quartzito, ampliando a evolução vertical do solo, originando uma funcionalidade cíclica. Dessa forma, quanto mais água é acumulada maiores são as possibilidades de ampliação do perfil intempérico.

Por conseguinte, a água desloca-se lateralmente e em profundidade, onde o fluxo subsuperficial é alicerçado pelo contato solo-rocha que propicia maior condição de aprisionamento de água, que passa a atuar quimicamente promovendo a alteração sobre o material parental.

No setor do terço médio central da cabeceira, não foi observada elevação do nível freático para a superfície, levando a supor que esse encontra-se em maior profundidade. Nesses setores, aparentemente há o predomínio dos fluxos horizontais e paralelos sobrevivendo da impermeabilidade constituída pela rocha que força o movimento lateral da água, comprovados pelos dados de Kfs que reduzem em direção ao contato lítico. Foi nesse setor central que a cobertura litólica apresentou as menores espessuras, possivelmente em função da ação erosiva desencadeada pela declividade em detrimento do processo de pedogênese. Isso pode ser verificado pelo desaparecimento e/ou remoção do volume superficial Ap. A partir dos dados de Kfs, ainda foi possível averiguar que no setor oeste e sudoeste a circulação hídrica é mais rápida em subsuperfície (volume AC) em comparação aos setores leste e nordeste, supostamente em função da declividade.

Pode-se observar ainda, no setor de topo da cabeceira, o processo de mobilização de elementos supostamente ferromagnesianos. Isso ocorre em pontos de exfiltração da água, em função das discontinuidades físicas da rocha basáltica por meio de juntas, falhas geológicas e superfícies interderrames que são características do aquífero Serra Geral, do tipo fissural, no

qual a área de estudo está inserida (ROSA FILHO *et al.*, 2006). A exfiltração, nesse caso, será desencadeada pelo regime pluviométrico, surgindo pelo afloramento do substrato rochoso.

É válido destacar que no setor oeste da cabeceira, foi verificado o menor valor de matéria orgânica, coincidindo com as maiores declividades e maior incidência erosiva. Os dados granulométricos de argila dispersa dos perfis de solo localizados neste setor indicaram que a argila possui maior propensão para o transporte.

No setor baixo próximo à nascente, observa-se por meio das topossequências que nessa localidade da cabeceira os volumes apresentam-se mais espessos assim como ocorre no setor alto. Foi analisado ao longo do ano, por meio das medições do nível do lençol que próximo à nascente, a umidade é mantida em média a partir de 40cm de profundidade. Desse modo, a presença do nível freático contíguo à superfície do solo pode estar atuando como uma barreira para a infiltração. Nesses locais a tendência da água da chuva é infiltrar em pequenas profundidades até encontrar o nível freático quando passa a escoar em subsuperfície, seguindo a tendência do fluxo do nível freático.

Souza Neto explicita que,

quando o perfil do solo está úmido por chuvas antecedentes, o nível do lençol reage rapidamente após uma chuva, diminuindo logo depois. No período sem chuva o lençol já não tem mais variações bruscas, pois ele passa a ser abastecido apenas pela água que desce lentamente de suas partes mais altas ao longo das encostas. Quando a chuva para, devido à proximidade da nascente, a água é rapidamente drenada por ela. Nova chuva volta a elevar o nível do lençol e o ciclo se repete. As faixas em torno das nascentes são mantidas úmidas, portanto, pelos armazenamentos feitos nos locais mais altos, durante o período de chuvas. Se esses armazenamentos não existissem, as faixas em torno das nascentes não seriam capazes de garantir suprimento de água suficiente para boas vazões nos períodos de seca (SOUZA NETO, 2010, p.6).

Portanto, a dinâmica hidrogeomorfológica na configuração da cabeceira é corroborada especialmente pela forte correlação entre a espessura do solo e a declividade (SANTOS, 2009). Destarte, verifica-se que a cobertura pedológica e as diferenças de espessura dos volumes pedológicos determinam mudanças significativas na dinâmica retenção e transferência hídrica, conforme aponta Curcio (2006).

Vidal-Torrado *et al.* (2005, p. 177) afirmam “que a topografia condiciona a direção e a intensidade dos fluxos hídricos, impulsionando os processos de pedogênese e de morfogênese” (VIDAL-TORRADO *et al.*, 2005, p. 177). Segundo Magalhães (2013, p.28), em áreas com “relevo dissecado grande parte das águas de chuva é perdida por escoamentos superficiais, favorecendo a erosão e retardando a pedogênese, resultando em solos menos desenvolvidos” (MAGALHÃES, 2013, p.28). Por conseguinte, as áreas com declividade acentuada tendem a apresentar solos rasos e escoamento superficial com maior velocidade.

Em suma, os afloramentos rochosos na cabeceira onde a nascente está inserida aliada a presença de solos rasos (Neossolos Litólicos e Regolíticos) condicionam a ocorrência de fluxos subterrâneos rasos, elevando o nível freático que, no entanto, não é mantido durante longo período por ter menor capacidade de armazenamento devido a sua espessura que facilita a circulação muito rápida da água no ambiente, sobretudo em subsuperfície. Nessa perspectiva, observou-se que a circulação e infiltração dos fluxos hídricos em superfície e subsuperfície influenciam sobremaneira a organização lateral e vertical dos volumes condicionando a existência de Neossolos Litólicos e Regolíticos nessa cabeceira.

#### 4.5 CABECEIRA DE DRENAGEM DOIS: MORFOLOGIA DAS VERTENTES, SISTEMAS PEDOLÓGICOS E SUAS PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS, FÍSICAS, HÍDRICAS E QUÍMICAS

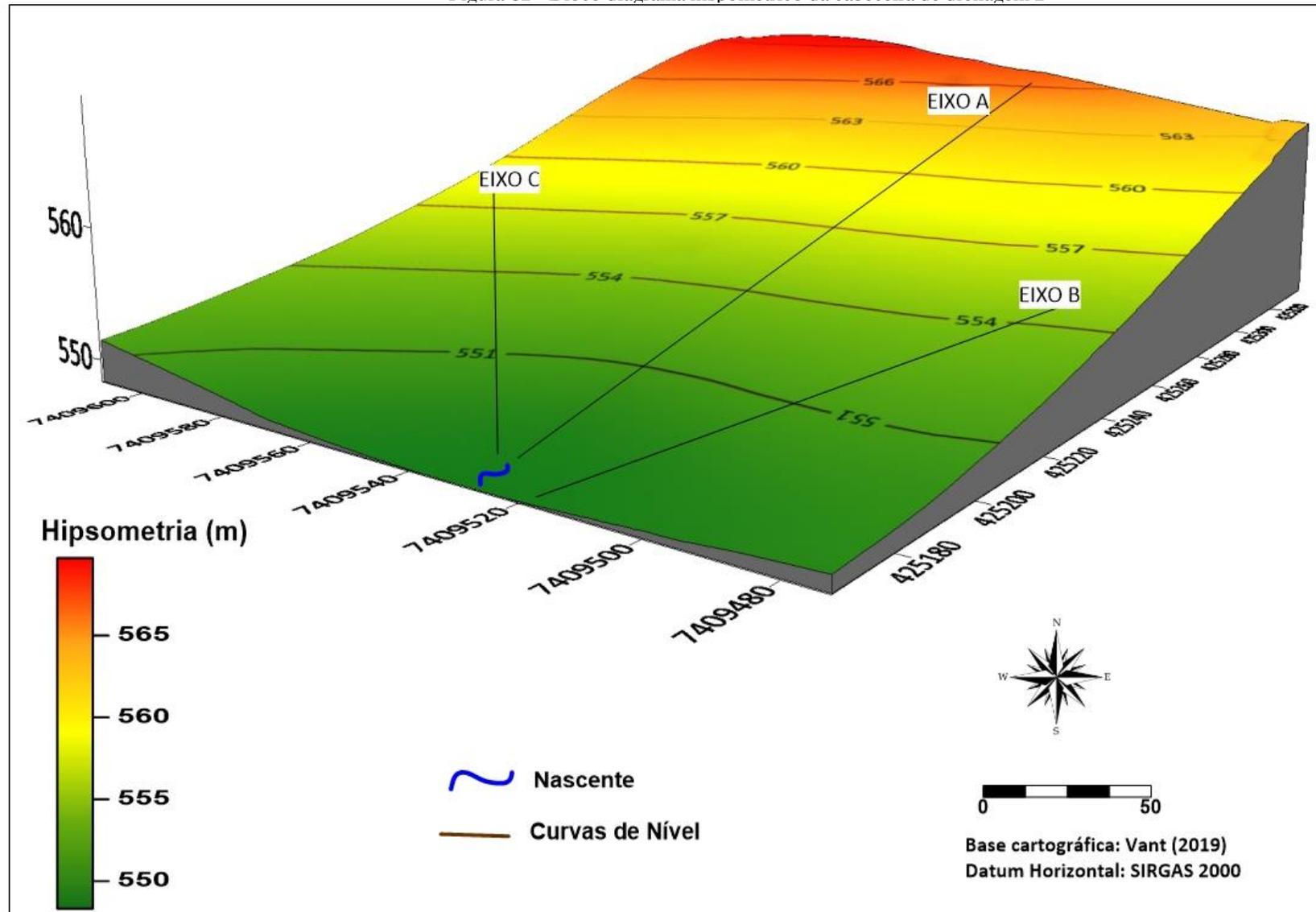
A cabeceira de drenagem 2, possui uma área de 21.600 m<sup>2</sup> e está localizada entre as cotas altimétricas de 547 a 570 m de altitude (Figura 62) com uso de pastagem.

Assim como na primeira cabeceira de drenagem analisada, nessa segunda área de estudo para a locação das topossequências considerou-se a posição em relação a nascente, de modo que foram traçadas ao todo três topossequências que foram denominadas de eixos A, B e C.

Igualmente nessa cabeceira, o eixo A está localizado no alinhamento central em relação à nascente. O eixo B está localizado à oeste da nascente e o eixo C está localizado à leste da nascente (Figura 63). Diferentemente da primeira cabeceira, nessa foram identificadas três classes de solos: Neossolo Litólico, Plintossolo e Chernossolo (somente no eixo B).

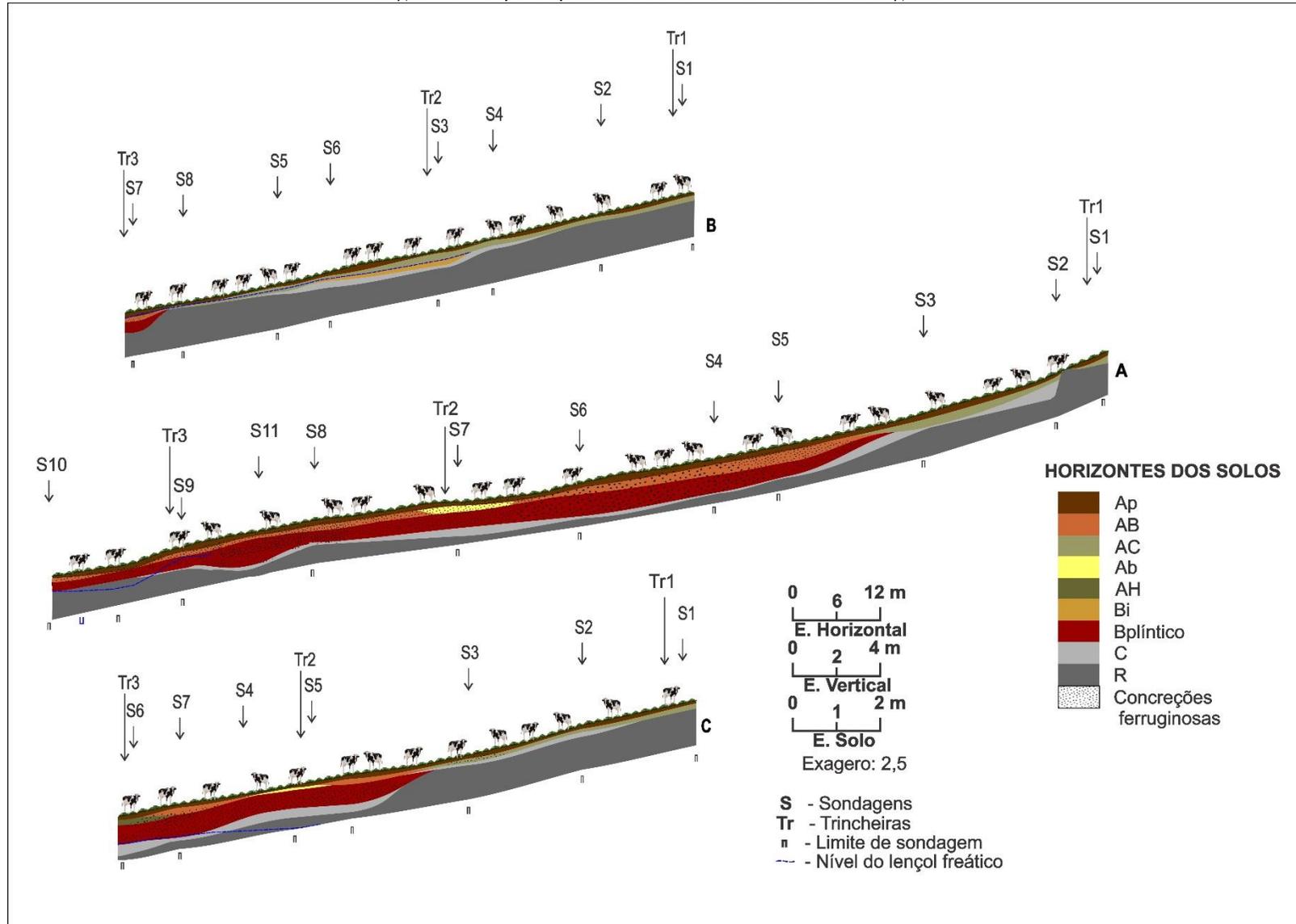
As características das topossequências estão apresentadas separadamente, iniciando pela organização e morfologia dos horizontes pedológicos ao longo dos eixos em consonância com a forma das topossequências (Figura 63). Também como realizado para a cabeceira 1, nessa segunda cabeceira efetuou-se o detalhamento dos limites dos horizontes que compõem a cobertura pedológica das topossequências, de acordo com a setorização em: alto, médio e baixo. Em seguida, são apresentadas as propriedades granulométricas, os dados de densidade, de porosidade, o diâmetro médio ponderado de agregados (DMPa), a condutividade hidráulica saturada (Kfs) e a caracterização química dos perfis de solo da cobertura pedológica para cada eixo de topossequência.

Figura 62 - Bloco diagrama hipsométrico da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Figura 63 - Topossequências de solos da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

#### 4.5.1 A topossequência de solos do eixo A

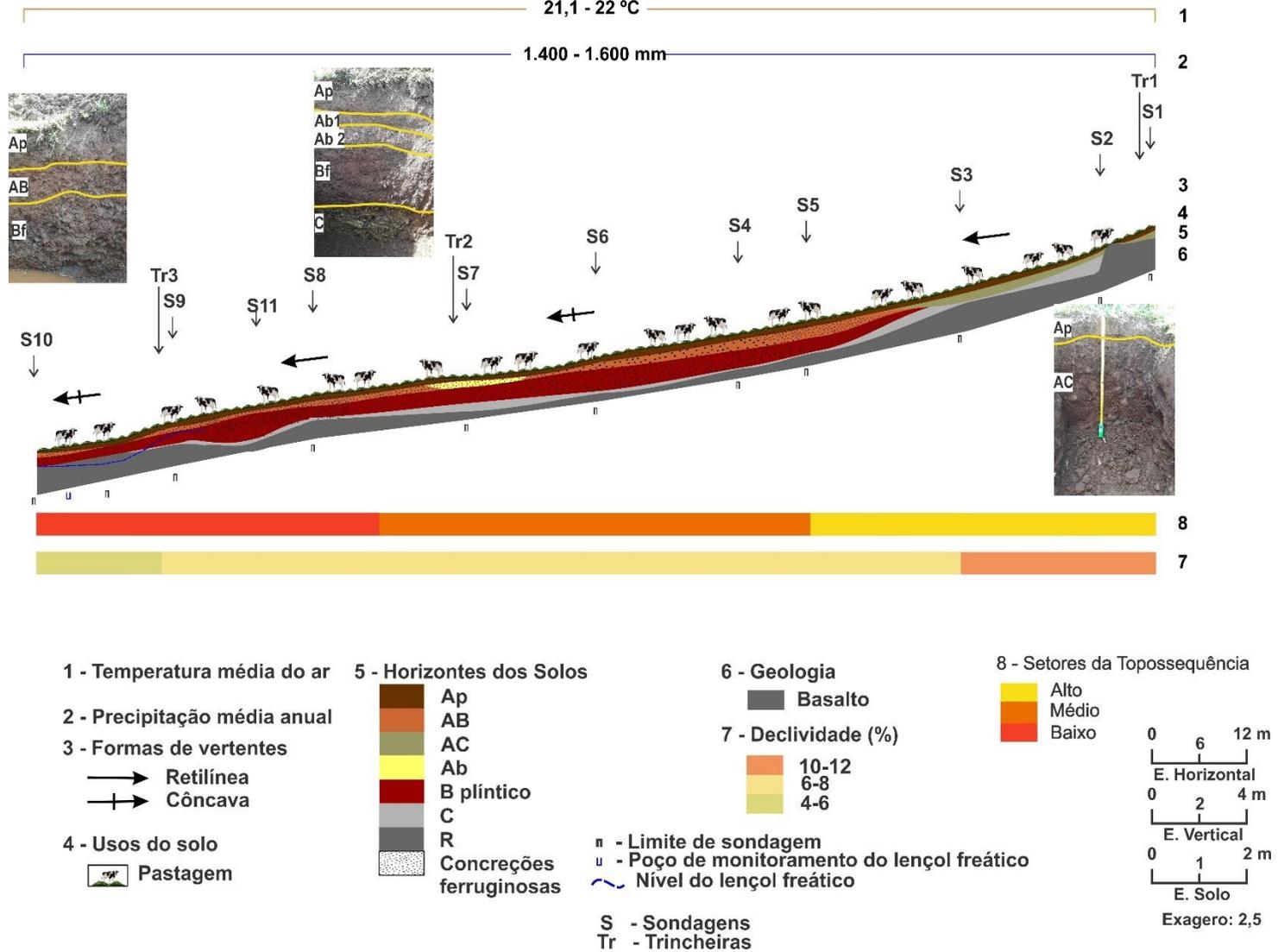
A topossequência denominada de eixo A (Figura 64), da segunda cabeceira, possui uma extensão de 140 m, e encontra-se entre as coordenadas de 7409570,572 m latitude Sul e 425317,653 m de longitude Oeste (no setor de topo), e 7409530,096 m de latitude Sul e 4209530,096 m de longitude Oeste (no setor baixo). A morfologia da topossequência é retilínea no setor de topo passando a suavemente côncava no terço no médio e tornando a ser retilínea entre as porções média e baixa até assumir a forma côncava a jusante. Encontra-se entre as cotas altimétricas de 547 a 570 m de altitude um desnível topográfico de 19 metros, sendo utilizado para pastagem com a prática da pecuária semi-intensiva por toda sua extensão.

Nessa topossequência, no setor alto, tem-se a ocorrência de Neossolo Litólico até o setor médio onde encontra-se a classe do Plintossolo seguindo até a jusante. A cobertura pedológica da topossequência do eixo A é constituída pelos horizontes Ap, AB, AC, Ab, Bf, C e horizonte R (Figura 64). Na Tabela 58 é apresentada a síntese das características morfológicas dos horizontes pedológicos ao longo da topossequência, associando-as sempre que necessário aos perfis onde foram descritos.

Na TR1, no setor alto, o horizonte Ap apresentou de 0-9 cm de espessura aumentando sua espessura gradativamente até 20cm no setor médio (TR2) da topossequência. No setor baixo, sua espessura é levemente reduzida para 19 cm (TR3). A textura do horizonte Ap variou de siltosa no setor de topo (TR1), passando a argilosa no setor médio (TR2) até o setor baixo (TR3) da topossequência. No que se refere a coloração, na TR1, o horizonte Ap exibe cores que variam entre bruno-avermelhado-escuro (2,5YR2,5/4), passando no setor médio para a coloração vermelho-acinzentado (2,5YR4/2) e no setor baixo apresentou a coloração 2,5YR3/2 (vermelho-escuro-acinzentado). A estrutura do horizonte Ap é de grau forte e tipo granular, e de tamanho e médio (TR1 e TR2) passando de pequenos a médios (TR3).

A consistência do horizonte Ap ao longo da topossequência é macia quando o solo está seco e muito friável (TR1) e friável (TR2 e TR3) quando úmido, porém, quando molhada é plástica e pegajosa na TR1, muito plástica e muito pegajosa na TR2, e de plástica a muito plástica bem como de pegajosa a muito pegajosa na TR3. Nesse horizonte superficial foram encontradas raízes muito finas, finas e fasciculadas (TR1 e TR3), finas e médias (TR2). A transição vertical do horizonte Ap ocorre de forma gradual e ondulada para o horizonte AC no setor alto (TR1), clara e ondulada para o Ab1 no médio (TR2) e gradual e ondulada para o horizonte AB no segmento baixo (TR3).

Figura 64 - Topossequência de solos do eixo A da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Tabela 58 - Descrição morfológica dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2

(Continua)

HORIZONTES (cm)	COR	TEXTURA	ESTRUTURA	CONSISTÊNCIA	TRANSIÇÃO	RAÍZES	OBSERVAÇÕES
EIXO A - TR1- NEOSSOLO LITÓLICO							
Ap (0-9)	2,5YR 2,5/4	Siltosa	Grau: forte Tamanho: média Tipo: granular	Seca: macia Úmida: muito friável Molhada: plástica e pegajosa	gradual ondulada	Muito finas e fasciculadas/ abundantes/ grande atividade biológica	
AC (9-38)	2,5YR 3/4	Siltosa	Grau: forte Tamanho: Pequena a média Tipo: Granular	Seca: solta /macia Úmida: muito friável Molhada: muito plástica e muito pegajosa	clara ondulada	Finas e fasciculadas	Fragmentos alterados de basalto
R (38+)	-	-	-	-	-	-	
EIXO A - TR2- PLINTOSSOLO							
Ap (0-20)	2,5YR4/2	Argilosa	Grau: forte Tamanho: média Tipo: granular	Seca: macia Úmida: friável Molhada: muito plástica e muito pegajosa	clara ondulada	Finas e médias	
Ab 1 (20-28)	2,5YR4/2	Argilosa	Grau: forte Tamanho: média Tipo: granular	Seca: macia Úmida: muito friável Molhada: muito plástica e muito pegajosa	clara ondulada	Finas e médias	Fragmentos de rocha alterada
Ab 2 (28-50)	10YR3/2	Argilosa	Grau: forte Tamanho: média a grande Tipo: blocos angulares e subangulares	Seca: ligeiramente dura Úmida: firme Molhada: muito plástica e muito pegajosa	gradual ondulada	Poucas raízes/ Finas	Concreções ferruginosas/ manchas/ mosqueamentos

							(Conclusão)
HORIZONTES (cm)	COR	TEXTURA	ESTRUTURA	CONSISTÊNCIA	TRANSIÇÃO	Raízes	
Bf (50-124)	10YR4/4	Muito argilosa	Grau: forte Tamanho: média a grande Tipo: blocos angulares e prismáticos	Seca: macia Úmida: friável Molhada: muito plástica e muito pegajosa	clara ondulada	Pouca e finas	Cerosidade forte e abundante/ concreções ferruginosas e plintitas
C (124-160)	10 YR 8/8	-	-	-	difusa ondulada	-	
R (160+)	-	-	-	-	-	-	
EIXO A - TR3 -PLINTOSSOLO							
Ap (0-19)	2,5YR3/2	Argilosa	Grau: forte Tamanho: Pequena á média Tipo: granular	Seca: macia Úmida: friável Molhada: plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa	gradual ondulada	raízes finas e fasciculadas	
AB (19-30)	2,5YR3/4	Argilosa	Grau: forte Tamanho: pequena a média Tipo: granular passando a blocos angulares	Seca: macia Úmida: muito friável Molhada: muito plástica e muito pegajosa	clara ondulada	Muitas raízes finas e fasciculadas	Concreções ferruginosas, manchas, mosqueados
Bf (30-52)	10YR 4/4	Argilosa	Grau: forte Tamanho: grande Tipo: granular passando a blocos angulares	Seca: ligeiramente dura Úmida: firme Molhada: muito plástica e muito pegajosa	difusa ondulada	Raízes finas e médias	Concreções ferruginosas, plintitas, manchas, mosqueados
C(52-60)	-	-	-	-	-	-	
R (60+)	-	-	-	-	-	-	

Elaboração :A autora (2021).

No setor alto (entremado às sondagens 1 e 5) ocorre o horizonte de transição denominado de AC. O horizonte AC aparece no setor alto (TR1) com espessura de 29 cm (TR1) diretamente sobre o horizonte R, estendendo-se em direção ao setor médio da topossequência, onde sofre uma leve redução para aproximadamente 25cm de espessura (entre as sondagens 2 e 3). Sua caracterização morfológica na TR1 expressa cor bruno-avermelhada (2,5YR3/4) e textura siltosa. A estruturação do horizonte AC (TR1) é forte, tamanho pequena a média e tipo granular. A consistência do horizonte AC é de solta a macia quando seca, muito friável quando úmida, e muito plástica e muito pegajosa, quando molhada. Nesse horizonte, evidencia-se fragmentos de rocha alterada. Também ocorre a presença de raízes finas e fasciculadas. A transição em profundidade do horizonte para o horizonte R é clara e ondulada.

O horizonte de transição AC (TR1) passa lateralmente para o horizonte Ab1 no setor médio da topossequência (TR2), subjacente ao horizonte Ap. O horizonte Ab1 apresenta de 20 a 28 cm de espessura, apresenta características macromorfológicas semelhantes ao horizonte Ap, diferindo-se apenas por apresentar maiores quantidades de fragmentos de rocha alterada, os quais estima-se que sejam devido a eventos de transporte e deposição de material externo.

Em profundidade, subjacente ao horizonte Ab1 entre 28 e 50 cm encontra-se o horizonte Ab2 de cor bruno-acinzentado-muito-escuro (10YR3/2), de textura argilosa. Sua estrutura é de grau forte, de tamanho médio a grande, de blocos angulares e subangulares. A consistência é ligeiramente dura (seco), firme (úmido), muito plástica e muito pegajosa (molhado). Foram observadas raízes finas e concreções ferruginosas nesse horizonte, além de manchas e mosqueados. Lateralmente os horizontes Ab1 e Ab (TR2) transicionam para o horizonte AB. O horizonte AB (TR3) possui entre 19 e 30 cm de espessura, texturalmente é argiloso, a estrutura é de grau forte, de tamanho pequeno a médio, de forma granular passando a blocos angulares. A coloração é bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR3/4) e a consistência do horizonte AB é macia quando seca, muito friável quando úmida, muito plástica e muito pegajosa quando molhada. Foi identificada a presença de raízes finas fasciculadas, concreções ferruginosas, manchas e mosqueados. Em profundidade tem-se a transição clara e ondulada do horizonte AB para o horizonte B plíntico

Em direção ao setor médio da topossequência (entre as sondagens 3 e 5) forma-se o horizonte B plíntico, iniciando sua espessura em torno de 65 cm aumentado para 80 a 100cm e tornando a reduzir para 74 cm na TR2 e 22 cm no setor baixo na TR3. Esse horizonte apresentou quantidade superior a 15 % de plintita dentro dos 2m de profundidade, tanto na TR2 quanto na TR3, no qual foi observado o afloramento de água a um metro de profundidade com tendência ao aumento do nível da água nos períodos mais chuvosos.

Com relação à textura, o horizonte plíntico apresentou gradiente muito argiloso no setor médio (TR2) e argiloso no setor baixo (TR3). A coloração do horizonte Bf nos setores médio (TR2) e baixo (TR3) é bruno-amarelada-escura (10YR4/4). No setor médio da topossequência (TR2), o horizonte Bf possui estrutura de grau forte, tamanho de médio a grande, tipo de blocos angulares e prismáticos, e no setor baixo (TR3) mantém-se com estrutura de grau forte diferindo-se em relação ao tamanho que passa a ser grande, assim como em relação ao tipo granular passando a blocos angulares. A consistência do horizonte Bf é macia (TR2) e ligeiramente dura (TR3) quando seca, friável (TR2) e firme (TR3) quando úmida, e muito plástica e muito pegajosa quando molhada (TR2 e TR3). No setor médio é evidenciada cerosidade de grau forte e quantidade abundante, além da presença de plintitas, manchas e mosqueados. A transição do horizonte Bf para o horizonte C é clara e ondulada (TR2) e difusa e ondulada (TR3).

A partir do setor médio da topossequência, o horizonte C foi identificado com 25cm de espessura reduzindo entre 5 e 10 cm (TR2) quando torna a aumentar sua espessura para 36cm, apresentando coloração amarela (10YR8/8), constituído por presença de rocha semialterada. O horizonte R foi identificado no setor de topo da topossequência (TR1) a partir de 38 cm (TR1) de profundidade passando a ser observado em profundidades maiores em direção ao setor médio da topossequência, a qual foi constatada a partir de 160 cm de profundidade (TR2). O setor baixo da topossequência (TR3) passa a estar mais próximo à superfície a partir de 60cm de profundidade.

Diante do exposto, essa topossequência apresentou a cobertura pedológica organizada da seguinte forma: Neossolo Litólico no setor alto (TR1), Plintossolo no setor médio (TR2) e baixo (TR3) da topossequência.

#### 4.5.1.1 Propriedades físicas e hídricas

##### *4.5.1.1.1 Granulometria e argila dispersa*

Os valores de granulometria total da topossequência de solos do eixo A da cabeceira de drenagem 2 com base na massa seca podem ser visualizados na Tabela 59.

No setor alto, na cobertura do Neossolo Litólico (TR1), o horizonte Ap apresentou maior quantidade de frações grosseiras, sendo de 522 g.kg<sup>-1</sup>, enquanto no horizonte AC o valor foi de 415 g.kg<sup>-1</sup>. No Plintossolo, no setor médio (TR2) houve o predomínio de frações finas em todos

os horizontes, com o maior valor encontrado no horizonte B plântico com 799 g.kg<sup>-1</sup> e o menor resultado no horizonte Ap com 644 g.kg<sup>-1</sup>.

Tabela 59 - Proporção de frações grosseiras nos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2

Horizontes	prof. (cm)	Frações grosseiras (g.kg <sup>-1</sup> )	Frações Finas (g.kg <sup>-1</sup> )
EIXO A – TR1- NEOSSOLO LITÓLICO			
Ap	0-9	522	478
AC	9-38	415	585
R	38+	-	-
EIXO A-TR2 - PLINTOSSOLO			
Ap	0-20	356	644
Ab1	20-28	257	743
Ab2	28-50	203	797
B f	50-124	201	799
C	124-160	-	-
R	160+	-	-
EIXO A-TR3- PLINTOSSOLO			
Ap	0-19	204	796
AB	19-30	324	676
Bf	30-52	316	684
C	52- 60	-	-
R	60+	-	-

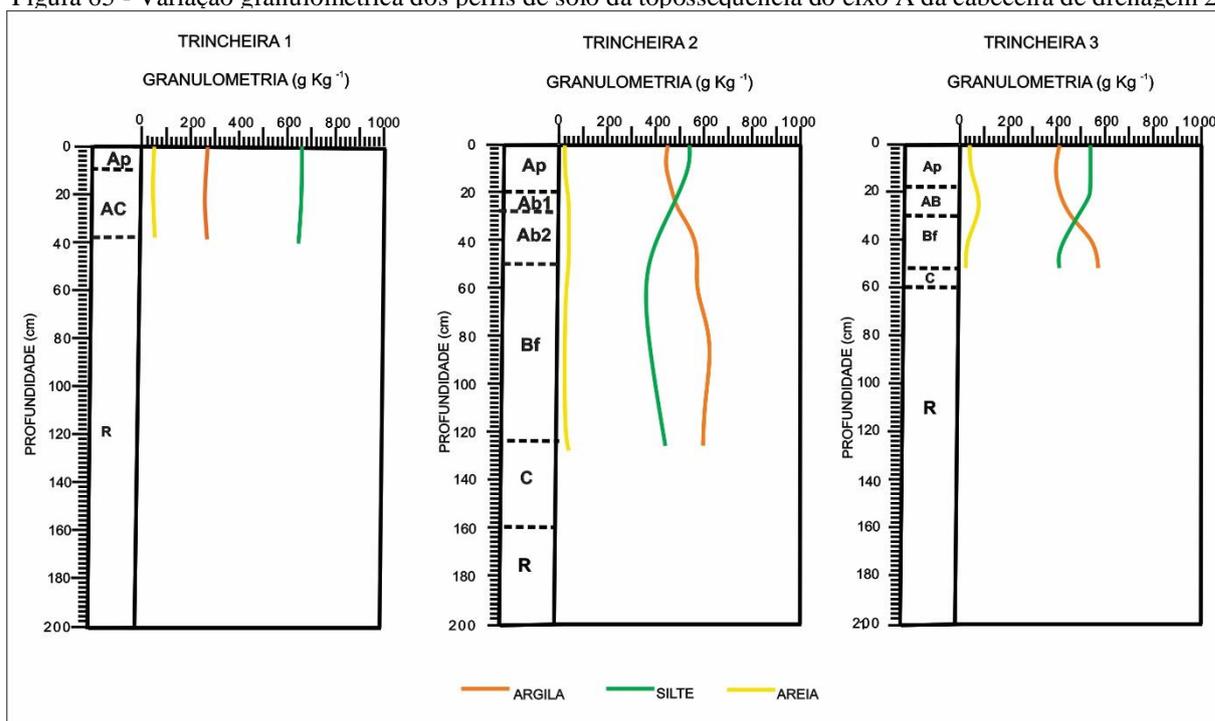
Frações grosseiras - fragmentos grosseiros com diâmetro maior que 2mm (cascalhos, calhaus e matacões)  
frações finas - frações menores que 2mm (areia, silte e argila)

Elaboração A autora (2021).

No setor baixo da topossequência (TR3), na cobertura do Plintossolo, também houve o predomínio das frações finas, no qual o maior valor foi encontrado no horizonte Ap com 796 g.kg<sup>-1</sup> e o menor no horizonte AB com 676 g.kg<sup>-1</sup>. O que colaborou para os resultados de frações grosseiras superiores nos horizontes superficiais da TR1 e TR2 foi a presença de fragmentos de rocha incorporados à matriz do solo. No caso da TR3 foi observado uma quantidade mais significativa de plintitas de tamanho maiores (em torno de 2 cm) em relação à TR2.

No que se refere à granulometria das frações finas (Figura 65 e Tabela 60), os horizontes da cobertura do Neossolo Litólico no setor de topo (TR1) apresentou quantidades superiores de silte, chegando a 679 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap e 670 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte AC. A fração argila aumentou em profundidade de 267 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap para 275g.kg<sup>-1</sup> no horizonte AC. A fração areia teve participação inferior na composição granulométrica dos horizontes Ap e AC, com 54 g.kg<sup>-1</sup> e 55 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente. A participação superior da fração silte na constituição granulométrica dos horizontes da TR1 pode ser explicada pela proximidade do material de origem, concordando com o trabalho de Fontana (2020) para solos pouco desenvolvidos.

Figura 65 - Variação granulométrica dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Tabela 60 - Características granulométricas dos perfis de solo da topossequência do eixo A

Hor.	Prof. (cm)	Argila (g.kg <sup>-1</sup> )	Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	Areia (g.kg <sup>-1</sup> )	Textura	Silte/argila	GD (%)	GF (%)	ADA (g.kg <sup>-1</sup> )
<b>EIXO A – TR1- NEOSSOLO LITÓLICO</b>									
Ap	0-9	267	679	54	Siltosa	2,54	72	28	192
AC	9-38	275	670	55	Siltosa	2,43	65	35	178
R	38+	-	-	-					
<b>EIXO A-TR2 - PLINTOSSOLO</b>									
Ap	0-20	456	531	13	Argilosa	1,16	77	23	350
Ab1	20-28	462	498	40	Argilosa	1,07	63	37	292
Ab2	28-50	559	387	54	Argilosa	0,69	89	11	495
Bf	50-124	626	364	10	Muito Argilosa	0,58	70	30	440
C	124-160	-	-	-					
R	160+	-	-	-					
<b>EIXO A-TR3- PLINTOSSOLO</b>									
Ap	0-19	411	541	48	Argilosa	1,31	44	56	180
AB	19-30	453	433	114	Argilosa	0,95	70	30	318
Bf	30-52	560	424	16	Argilosa	0,75	72	28	403
C	52-60	-	-	-					
R	60+								

GD – Grau de dispersão da argila; GF- grau de floculação da argila; ADA- argila dispersa em água

Elaboração: A autora (2021).

Na cobertura plintossólica presente (TR2 e TR3), a fração predominante foi a argila. Observando sua distribuição no perfil da TR2, verifica-se que o horizonte superficial Ap apresentou  $456 \text{ g.kg}^{-1}$  conforme avançou em profundidade no horizonte Ab1 passou a ser de  $462 \text{ g.kg}^{-1}$ , aumentando no horizonte Ab2 para  $559 \text{ g.kg}^{-1}$  e no horizonte B plíntico com  $626 \text{ g.kg}^{-1}$ . Em relação à distribuição do silte, constata-se maior valor no horizonte Ap com  $531 \text{ g.kg}^{-1}$  e menor valor no horizonte B plíntico, com  $364 \text{ g.kg}^{-1}$ . Já para a areia, embora de pouca expressividade em termos gerais, são encontradas em maior quantidade no horizonte Ab2, sendo de  $54 \text{ g.kg}^{-1}$  e em menor quantidade no horizonte B plíntico com  $10 \text{ g.kg}^{-1}$ .

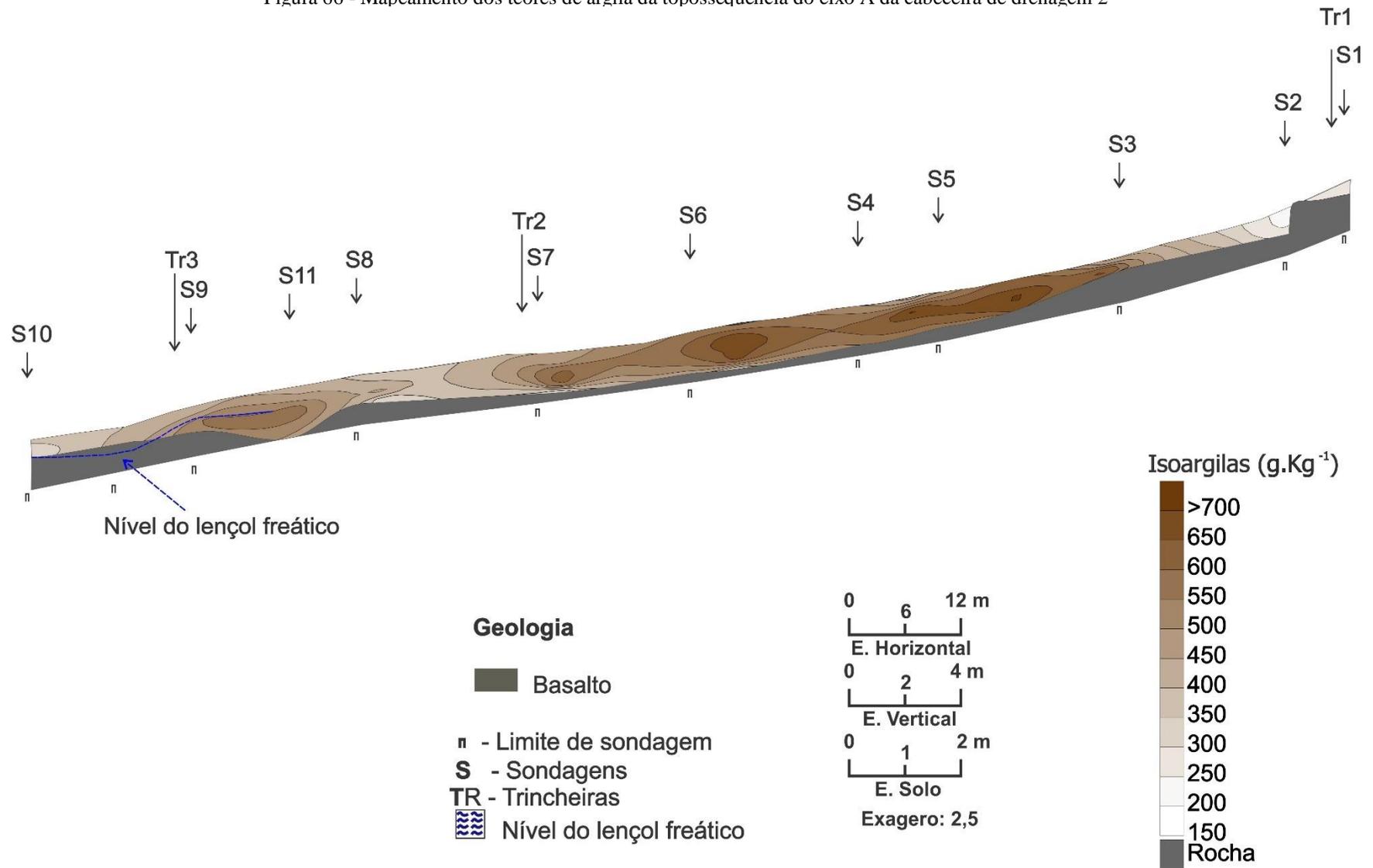
À medida que se avança na topossequência em direção ao setor do Plintossolo (TR3), por localizar-se em posição mais rebaixada a cabeceira sofre influência do lençol freático. De acordo com os resultados da análise granulométrica, observou-se maior predominância da fração argila em todo o perfil, variando de  $411 \text{ g.kg}^{-1}$  (horizonte Ap),  $453 \text{ g.kg}^{-1}$  (horizonte AB) a  $560 \text{ g.kg}^{-1}$  (horizonte B plíntico). A fração silte exibiu valores de  $541 \text{ g.kg}^{-1}$  (horizonte Ap),  $433 \text{ g.kg}^{-1}$  (horizonte AB) e  $424 \text{ g.kg}^{-1}$  (horizonte B plíntico). O teor de areia foi mais expressivo no horizonte AB ( $114 \text{ g.kg}^{-1}$ ).

Valores granulométricos semelhantes em Plintossolos podem ser observados no trabalho de Moura (2015), em perfis representativos da planície do Rio Araguaia no Estado de Goiás, com textura variando de argilosa a muito argilosa.

A distribuição espacial da fração argila na topossequência do eixo A pode ser observada na Figura 66. Percebe-se que os teores de argila variaram de  $150$  a  $> 700 \text{ g.kg}^{-1}$ . No setor alto, os teores de argila variaram de  $150$  a  $300 \text{ g.kg}^{-1}$ , os menores na topossequência, possivelmente em função do contato lítico próximo à superfície evidenciando o pouco desenvolvimento pedogenético do solo. A partir do setor médio da topossequência esses teores são alterados, passando a apresentar teores de  $450$  a  $500 \text{ g.kg}^{-1}$  em superfície e de  $650$  a  $700 \text{ g.kg}^{-1}$  em profundidade. Nesse setor (entre as sondagens 3 e 4) pode ser observado os maiores teores de argila da topossequência entre os  $50$  e  $70 \text{ cm}$  com valores superiores a  $700 \text{ g.kg}^{-1}$  marcando o espessamento da cobertura pedológica.

Em direção ao setor baixo da topossequência ocorre uma redução progressiva da argila em superfície (entre  $351$  a  $400 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e em profundidade (entre  $301$  a  $350 \text{ g.kg}^{-1}$ ). Essa redução da argila pode estar relacionada ao fato de que o material de origem está mais próximo da superfície quando comparado ao setor médio, fazendo com que os teores de silte aumentem e, conseqüentemente, os teores de argila diminuam.

Figura 66 - Mapeamento dos teores de argila da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

A partir da relação do silte com argila, expostos na Tabela 60, evidenciou-se os diferentes estágios de desenvolvimento dos solos da topossequência. Os horizontes do Neossolo Litólico (TR1) apresentaram os maiores valores da relação do silte com a argila que foi de 2,54 no horizonte Ap e 2,43 para o horizonte AC. O menor valor foi observado no horizonte B plíntico (TR2), sendo de 0,58.

Em termos texturais, os horizontes Ap e AC (TR1) foram classificados como siltosos, pois apresentaram menos de 350 g.kg<sup>-1</sup> de argila e menos de 150 g.kg<sup>-1</sup> de areia. Os horizontes Ap, Ab1 e Ab2 da TR2, assim como os horizontes Ap, AB e B plíntico da TR3 foram classificados com textura argilosa em função do conteúdo de argila entre 350 g.kg<sup>-1</sup> e 600 g.kg<sup>-1</sup>. O horizonte B plíntico descrito na TR2 é texturalmente muito argiloso, devido ao conteúdo de argila superior a 600 g.kg<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 2018).

Em relação aos dados da dispersão da argila e grau de flocculação, apresentados na Tabela 60, verifica-se o predomínio da dispersão ao longo da topossequência. Entre os horizontes com maior grau de flocculação, destaca-se o Ap (56 %) da TR3, enquanto o menor resultado foi do Ab2 (11 %) da TR2. Coringa *et al.* (2012) associaram valores baixos de flocculação (< 50 %) em Plintossolos do Pantanal Norte Matogrossense ao efeito dos argilominerais 2:1 no aumento das cargas negativas do solo, que promovem a dispersão. Silva (2018), estudando Planossolos com caráter plíntico no Rio Grande do Sul (RS), que ocorrem nas regiões fisiográficas do Litoral, Depressão Central e Serra do Sudeste, atribuiu para os solos estudados como uma das possíveis causas para o baixo grau de flocculação a dissociação das argilas silicatadas pela redução dos óxidos de ferro em ambiente hidromórfico. Nesse sentido, os resultados para os valores de dispersão e flocculação da argila encontrados nessa topossequência poderiam estar relacionados aos processos geoquímicos que ocorrem na cabeceira.

Observa-se ainda, que no Neossolo Litólico da TR1 e no Plintossolo da TR2 a argila está mais flocculada nos horizontes AC e Ab1 respectivamente, enquanto na TR3 a flocculação é maior no horizonte superficial Ap. A condição de elevados valores de grau de dispersão demonstram que grande parte da argila em condição de campo pode ser facilmente mobilizada. De Paula (2017) salienta que a determinação dos teores de dispersão da argila tem elevada importância na predição de riscos de erosão hídrica nos solos, principalmente quando relacionados a tipos de manejo que comprometem a estrutura do solo.

## 4.5.1.1.2 Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total

Os dados da densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e da porosidade total (Pt) dos horizontes pedológicos encontrados ao longo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2 estão apresentados na Tabela 61.

Tabela 61 - Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) dos perfis de solos da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2

Horizontes	Prof.(cm)	Micro (%)	Macro (%)	P t (%)	Ds (g.cm <sup>-3</sup> )	Proporção de Pt (%)	
						Ma	Mi
EIXO A - TR1-NEOSSOLO LITÓLICO							
Ap	0-9	50,18	6,75	56,93	1,14	11,85	88,14
AC	9-38	47,90	9,45	57,35	1,19	16,47	83,52
EIXO A - TR2- PLINTOSSOLO							
Ap	0-20	58,51	6,81	65,32	0,95	10,42	89,57
Ab1	20-28	47,74	7,16	54,90	1,21	13,041	86,95
Ab2	28-50	47,68	8,4	56,08	1,13	14,97	85,02
Bf	50-124	50,78	6,15	56,93	1,20	10,80	89,19
EIXO A - TR3 - PLINTOSSOLO							
Ap	0-19	51,61	12,53	64,14	1,06	19,53	80,46
AB	19-30	60,33	5,32	65,65	1,07	8,10	91,89
Bf	30-52	56,50	11,54	68,04	0,95	16,96	83,03

Ds – Densidade do solo; Ma – macroporosidade; Mi – microporosidade; Pt – porosidade total

Elaboração: A autora (2021).

No setor de topo, na cobertura do Neossolo Litólico (TR1), o horizonte superficial Ap demonstrou valores de densidade de 1,14 g.cm<sup>-3</sup>, aumentando em profundidade para 1,19 g.cm<sup>-3</sup> no horizonte AC. Em direção ao setor médio, na cobertura do Plintossolo (TR2), a densidade também foi menor em superfície e aumentou em profundidade com valores de 0,95 g.cm<sup>-3</sup> (Ap), 1,21 g.cm<sup>-3</sup> (Ab1), 1,13 g.cm<sup>-3</sup> (Ab) e 1,20 g.cm<sup>-3</sup> (Bf). No setor baixo da topossequência (TR3), os valores de densidade foram menores quando comparado aos demais perfis destacando a redução em profundidade, sendo de 1,06 (Ap), 1,07 (AB) e 0,95 g.cm<sup>-3</sup> (Bf).

Observa-se que a variação vertical e lateral dos dados de densidade do solo (Tabela 61) evidenciam um adensamento maior nos horizontes subsuperficiais da cobertura no setor de topo (TR1) e médio (TR2) da topossequência. No setor baixo da topossequência (TR3), a densidade é menor em profundidade na TR3. Aparentemente os menores valores de densidade em superfície ocorreram em função da contribuição do aporte de matéria orgânica originada pelas gramíneas. Luciano *et al* (2012), no Planalto Sul do Estado de Santa Catarina, relataram correspondência entre a redução da densidade máxima do solo com a matéria orgânica em horizonte A de dois Nitossolos, dois Neossolos Litólicos e dois Cambissolos.

Em relação macroporosidade, na cobertura do Neossolo Litólico (TR1), no setor de topo,

houve o aumento em profundidade variando ao longo do perfil entre os valores de 6,75 % (Ap) e 9,45 % (AC). Na cobertura plintossólica da TR2, os dados da macroporosidade apresentaram oscilação ao longo do perfil com o maior valor obtido no horizonte Ab2 (8,4 %) e o menor valor no horizonte B plíntico (6,15 %). Para a cobertura pedológica do Plintossolo (TR3), foram encontrados os maiores volumes de macroporos para o horizonte Ap de 12,53 %, diminuindo para 5,32% no horizonte AB, e tornado a aumentar para 11,54 % no horizonte Bf.

Assim, percebe-se que a macroporosidade aumentou do topo em direção à nascente, tendo como referência o horizonte Ap, assim como no caso do Bf (TR2) para o Bf (TR3). Em geral, os valores de macroporosidade estão abaixo dos valores de referência de limite crítico, que são os 10% citados por Erickson (1982) e Xu *et al* (1992), com exceção dos horizontes Ap e Bf da TR3. Os autores mencionam valores baixos de macroporosidade com a atividade pecuária em diferentes classes de solos (COLLARES, 2005; LANZANOVA *et al*, 2007; MARTINI *et al.*, 2014; RAUBER, 2020).

No âmbito da microporosidade, a cobertura do Neossolo Litólico, no setor de topo (TR1), teve correspondência inversamente proporcional com a macroporosidade, reduzindo em profundidade, passando de 50,18 % no horizonte Ap, para 47,90 % no horizonte AC. No que se refere à cobertura de Plintossolo (TR2), nota-se a redução em profundidade da microporosidade até os 50 cm a partir da superfície, com valores de 58,51 % (Ap), 47,74 % (Ab1) e 47,68 % (Ab2), ocorrendo um pequeno aumento no horizonte B plíntico (50,78 %). No setor baixo da topossequência (TR3), o maior valor de microporosidade foi obtido no horizonte AB (60,33 %), seguido do horizonte Bf (56,50 %) e o menor valor no horizonte superficial Ap (50,18 %).

Como mostram os dados da Tabela 61, a relação da macro e microporosidade nessa topossequência domina os microporos, a qual representa a média assinalando-se à variação de 83,03 % no horizonte Bf, chegando a 91,89 % no horizonte AB, ambos na TR3. A porosidade textural, portanto, favorece a retenção da água.

Em relação à porosidade total, os valores foram acima de 50 % em todos os horizontes da topossequência. A cobertura do Neossolo Litólico, no setor de topo (TR1), no horizonte Ap para porosidade total foi de 56,93 % reduzindo para 57,35 % no horizonte AC (TR1). A cobertura do Plintossolo (TR2), no horizonte Ap apresentou o maior valor de porosidade total 65,32 %, reduzindo para 54,90 % no horizonte Ab1, tornando a aumentar no horizonte Ab2 para 56,08 % e 56,93 % para o B plíntico. No setor baixo da topossequência, no Plintossolo (TR3), foram encontrados os valores de 64,14 % (Ap), 65,65 % (AB) e 68,04 % (Bf).

O comportamento da porosidade total na topossequência evidencia um aumento vertical de 0,73 % na TR1 e 6,08 % na TR3, bem como uma redução de 12,84 % na TR2, contudo, observa-se seu aumento lateral de 12,66 % do setor alto (TR1) para o setor de baixo da topossequência (TR3) quando considerado o horizonte Ap. Pode-se notar que avaliando conjuntamente os dados de densidade, de macroporosidade, de microporosidade e de porosidade total na topossequência, há diferenças entre as distintas coberturas pedológicas.

Na cobertura litólica (TR1), no setor de topo, não foi observada correspondência entre essas propriedades, pois à medida que houve o aumento da densidade em profundidade (do horizonte Ap para o AC) também ocorreu o aumento da macroporosidade e porosidade total. Esse resultado pode ser justificado pelo aumento das frações grosseiras do horizonte AC, conforme apontado por Dalbianco (2009). Na cobertura plintossólica (TR2 e TR3), percebe-se os efeitos inversamente proporcionais da densidade com as propriedades porais do solo, sobretudo com a porosidade total. De modo geral, os dados indicam que conforme a porosidade total aumentou a densidade reduziu.

Destarte, para a interpretação dos resultados deve-se considerar o teor de argila, o aporte de matéria orgânica em consonância ao uso e manejo do solo. Carvalho Filho *et al.* (2009) consideraram, ainda, para a avaliação das propriedades físicas de um Latossolo Vermelho oriundo do basalto os altos teores de óxidos de ferro e alumínio, que justificaram valores de porosidade acima de 50 %.

#### 4.5.1.1.3 Características hídricas

Os resultados da percolação da água no solo determinada por meio da condutividade hidráulica saturada (Kfs), podem ser visualizados na Tabela 62 e Figuras 67 e 68.

A classificação dos dados de Kfs foi estabelecida de acordo com a proposta de Beutler *et al.* (2001), adaptada do *Soil Survey Staff*. Na TR1, na cobertura do Neossolo Litólico, as Kfs do horizonte Ap são iguais a 27,48 mm/h<sup>-1</sup> reduzindo para 25,42 mm/h<sup>-1</sup> no horizonte AC, sendo que ambos foram classificados como de permeabilidade lenta a moderada (63,5 a 20 mm/h<sup>-1</sup>). Na cobertura plíntica, na TR2 houve uma redução da permeabilidade em profundidade de 36,72 mm/h<sup>-1</sup> no horizonte Ap para 3,73 mm/h<sup>-1</sup> no horizonte plíntico, variando, portanto, de uma permeabilidade de lenta a moderada para muito lenta. Na TR3, também em cobertura plíntica, a redução da permeabilidade em profundidade se manteve, variando de 37,48 mm/h<sup>-1</sup> no horizonte Ap para 0,81 mm/h<sup>-1</sup> no horizonte plíntico.

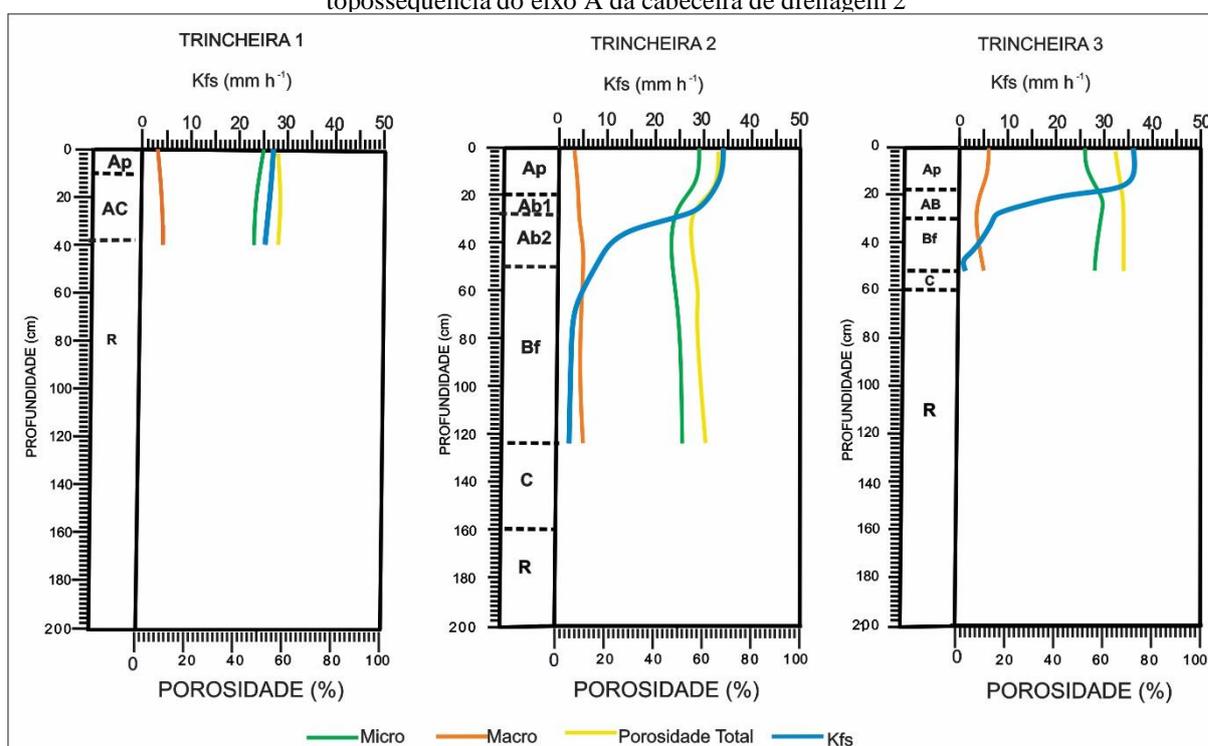
Tabela 62 - Condutividade hidráulica saturada (Kfs) do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2

Horizontes	Prof. (cm)	Kfs (mm/h <sup>-1</sup> )	CV (%)	Classes de Permeabilidade (mm/h <sup>-1</sup> )
<b>EIXO A - TR1-NEOSSOLO LITÓLICO</b>				
Ap	0-9	27,48	41,65	Lenta a Moderada
AC	9-38	25,42	44,57	Lenta a moderada
R	38 +	-	-	-
<b>EIXO A - TR2 - PLINTOSSOLO</b>				
Ap	0-20	36,72	57,85	Lenta a moderada
Ab1	20-28	29,98	53,03	Lenta a moderada
Ab2	28-50	10,62	137,26	Lenta
B plíntico	50-124	3,73	42,42	Muito lenta
C	124-160	-	-	-
R	160+	-	-	-
<b>EIXO A - TR3- PLINTOSSOLO</b>				
Ap	0-19	37,48	0	Lenta a moderada
AB	19-30	6,28	0	Lenta
B plíntico	30-52	0,81	0	Muito lenta
C	52-60	-	-	-
R	60+	-	-	-

Kfs – Condutividade hidráulica saturada; CV- Coeficiente de variação para média de três leituras

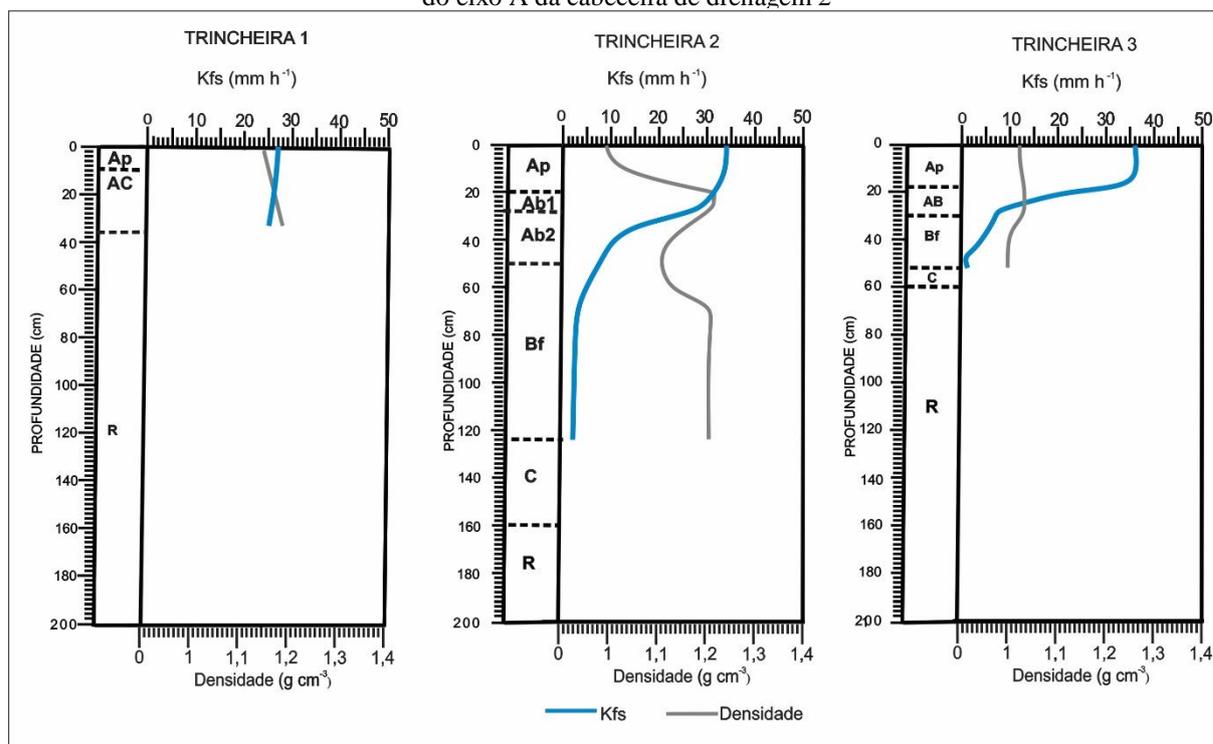
Fonte: \* Classificação proposta por Beutler *et al.* (2001), adaptada do *Soil Survey Staff*.

Figura 67 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a porosidade dos perfis de solos da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Figura 68 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a densidade dos perfis de solos da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2



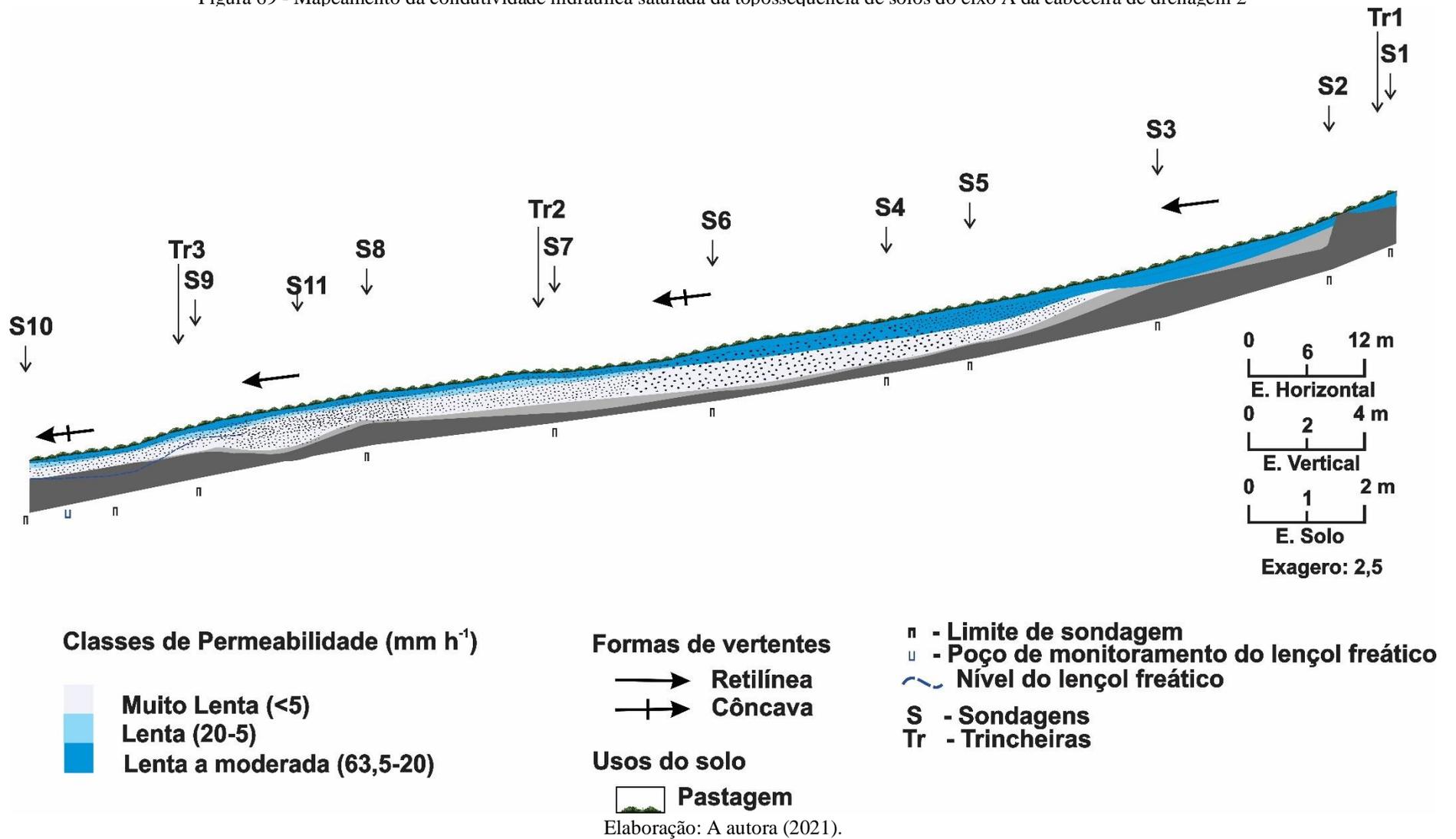
Elaboração: A autora (2021).

De acordo com a Figura 67, observa-se que confrontando os dados de Kfs com as propriedades porais do solo, as Kfs reduziram conforme o aumento dos valores de argila. Na Figura 68, que demonstra a relação das Kfs com a densidade, fica evidente que esta foi inversamente proporcional, ou seja, enquanto a densidade aumentou em profundidade as Kfs reduziram.

A Figura 69 demonstra a circulação hídrica da topossequência do eixo A, podendo ser verificada a drenagem preferencialmente vertical nos horizontes superficiais, possivelmente em função da baixa densidade. Nota-se que a redução da velocidade de infiltração ocorre sobretudo no horizonte plúntico (TR2 e TR3). Essa condição de condutividade hidráulica saturada pode ocasionar, além da redução dos fluxos verticais a ocorrência de fluxos hídricos laterais suspensos entre a transição dos nos horizontes Ab/AB e B plúntico, nos setores baixo e médio da topossequência.

Dessa forma, a água infiltra com maior facilidade no horizonte Ap encontra uma espécie de barreira no horizonte plúntico, fazendo com que ocorra uma reorientação marcando a formação dos fluxos hídricos laterais.

Figura 69 - Mapeamento da condutividade hidráulica saturada da topossequência de solos do eixo A da cabeceira de drenagem 2



No setor baixo da topossequência, próximo à nascente, foi identificado o processo de hidromorfia na caracterização macromorfológica, no qual observou-se variações das cores em tons acinzentados, indicando a permanência da água por mais tempo. Observa-se que neste setor pode estar ocorrendo a reorientação do fluxo vertical entre o horizonte AB (30 cm) e B plúntico.

No que se refere ao coeficiente de variação (CV), houve variação entre 0 e 137,26 % a menor variabilidade foi encontrada na TR3, em que todos os horizontes apresentaram 0 % de CV. Seguindo a classificação de Warriek e Nielsen (1980) para os dados de Kfs, a variabilidade foi baixa (menor que 12 %) para os horizontes do Plintossolo da TR3, média (entre 12 e 60 %) para os horizontes Ap e AC da TR1, bem como para Ap, Ab1 e Bf da TR2, e alta (maior que 60 %) somente para o horizonte Ab2 da TR2. A alta variabilidade nos dados de Kfs foi identificada nos trabalhos de Scherpinski et al. (2010), Moreti *et al.* (2006) e Abreu *et al.* (2003), segundo os quais está relacionada às propriedades físicas do solo.

#### 4.5.1.1.4 Estabilidade de Agregados

Os resultados da distribuição dos agregados do ensaio para a obtenção do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa) em via seca, da topossequência de solos do eixo A, estão apresentados na Tabela 63, na qual foi possível constatar que os horizontes tenderam a uma concentração de agregados de tamanhos entre 8 e 4 mm em todos os horizontes. A maior concentração da classe entre 8 e 4 mm se deu nos horizontes AC (51,9 %), Ap da TR2 (50 %) e TR3 (51,91 %). Na Tabela 64 são apresentados os resultados das propriedades que influenciam na agregação do solo e, conseqüentemente, na distribuição do tamanho dos agregados. Para a classe entre 4 e 2mm, o maior resultado foi encontrado no horizonte Bf da TR3 (40,01 %) e o menor resultado no horizonte Ap, também da TR3 (36,3 %). Para a classe entre 1 e 0,50 mm o horizonte Ap da TR1 teve a maior concentração de agregados com 3,5 % e para as classes inferiores a 0,50mm o horizonte Ab1 apresentou a maior concentração de 2,1 e 1,09 %.

Na Figura 70 consta a distribuição espacial dos agregados por classes de tamanho ao longo da topossequência. Observa-se na Figura 70 que o horizonte Ap apresentou diâmetro médio de 2,88 mm do setor alto (TR1) a 3,0 mm em direção ao setor médio (TR2). No setor baixo da topossequência, os agregados aumentaram de diâmetro, sendo esse de 3,03 mm. O aumento foi acompanhado pelo incremento de óxidos de ferro e de alumínio. O óxido de ferro

teve um aumento de 0,89 % no horizonte Ap do setor alto para o baixo da topossequência e o óxido de alumínio o aumento foi de 36,44 %.

Tabela 63 - Distribuição das classes de agregados dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2

Hor.	Prof. (cm)	Classes de Agregados (mm)					DMPa (mm)	
		8-4	4-2	2-1	1-0,50	0,50-0,25		0,25-0,00
%								
EIXO A - TR1- NEOSSOLO								
Ap	0-9	45,4	36,7	12,1	3,5	0,85	0,17	2,88
AC	9-38	51,9	37,4	9,33	2,0	0,46	0,12	3,11
R	38+	-	-	-	-	-	-	-
EIXO A- TR2 – PLINTOSSOLO								
Ap	0-20	50,0	38,0	9,0	2,00	0,6	0,4	3,00
Ab1	20-28	48,19	38,5	7,10	3,10	2,1	1,09	3,58
Ab2	28-50	48,48	39,0	9,95	1,96	0,42	0,12	3,14
Bf	50-124	48,19	38,7	10,2	2,22	0,50	0,12	3,07
C	124-160	-	-	-	-	-	-	-
R	160+	-	-	-	-	-	-	-
EIXO A- TR3- PLINTOSSOLO								
Ap	0-19	51,91	36,3	9,15	2,04	0,46	0,12	3,03
AB	19-30	50,46	37,4	9,50	2,00	0,45	0,1	3,37
Bf	30-52	46,8	40,1	10,2	2,17	0,51	0,15	2,95
C	52-60	-	-	-	-	-	-	-
R	60+	-	-	-	-	-	-	-

DMPa- diâmetro médio ponderado dos agregados

Elaboração: A autora (2021).

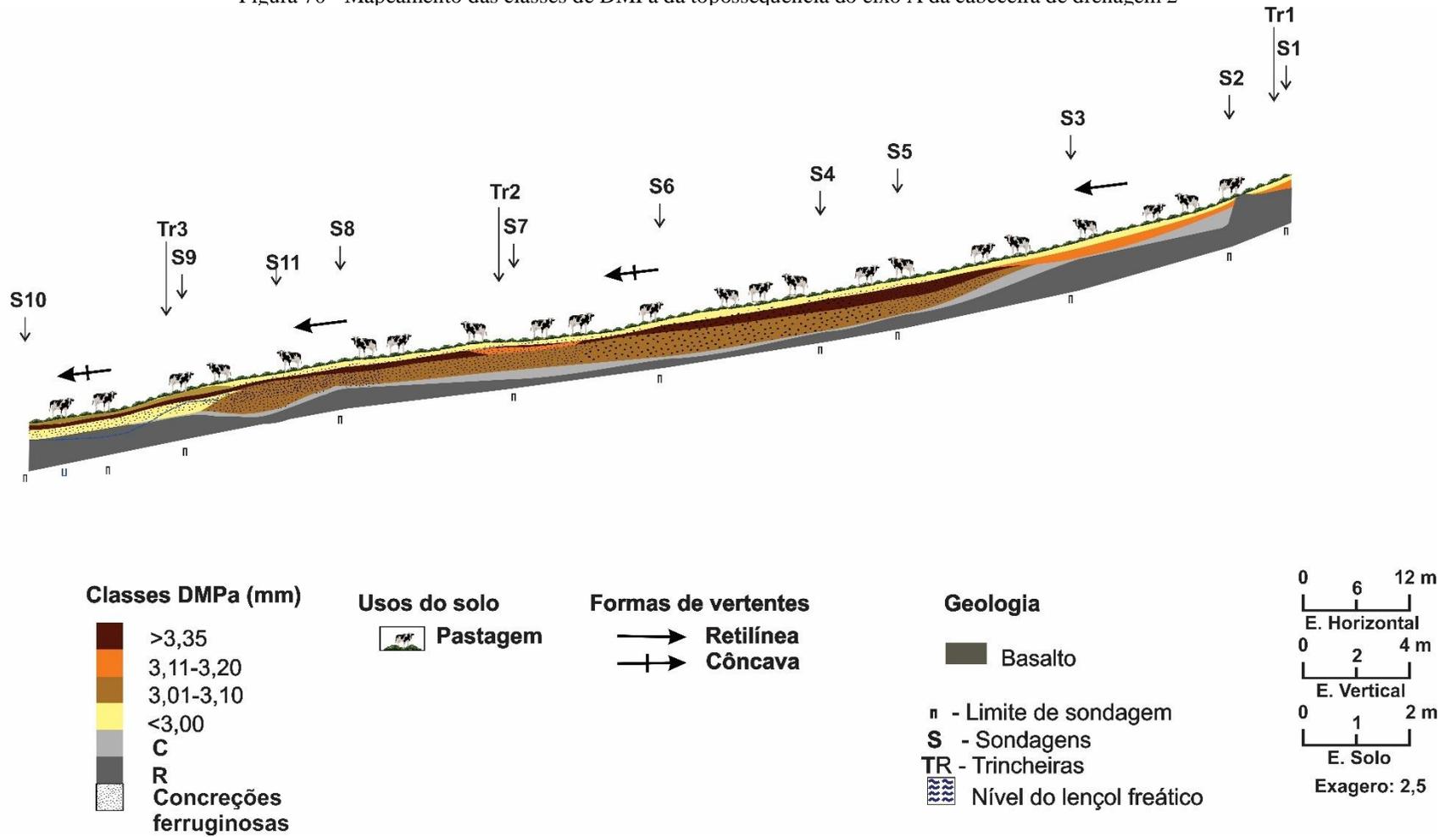
Tabela 64 - Correlação do diâmetro médio ponderado dos agregados com o carbono orgânico, grau de floculação, argila total e óxidos do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2

Hor.	Prof.(cm)	DMPa(mm)	CO (g. kg <sup>-1</sup> )	GF(%)	AT(g.kg <sup>-1</sup> )	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g.kg <sup>-1</sup> )	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g.kg <sup>-1</sup> )
EIXO A- TR1- NEOSSOLO LITÓLICO							
Ap	0-9	2,88	44	28	267	118	223
AC	9-38	3,11	15	34	275	125	251
R	38+	-	-	-	-	-	-
Correlação (DMPa)			-1	1	1	1	1
EIXO A- TR2 – PLINTOSSOLO							
Ap	0-20	3,00	49	23	456	126	209
Ab1	20-28	3,58	16	35	462	111,4	188,9
Ab2	28-50	3,14	13	11	559	152,3	256,4
Bf	50-124	3,07	4	30	626	133	242
C	124-160	-	-	-	-	-	-
R	160+	-	-	-	-	-	-
Correlação (DMPa)			-0,312	0,853	0,394	-0,600	-0,607
EIXO A- TR3- PLINTOSSOLO							
Ap	0-19	3,03	27	56	411	161	225
AB	19-30	3,37	18	28	453	121	247
Bf	30-52	2,95	6	29	560	162,4	226,6
C	52-60	-	-	-	-	-	-
R	60+	-	-	-	-	-	-
Correlação (DMPa)			0,259	-0,366	-0,414	-0,989	0,969

DMPa- diâmetro médio ponderado de agregados; CO- carbono orgânico; GF- grau de floculação da argila; AT -argila total

Elaboração: A autora (2021).

Figura 70 - Mapeamento das classes de DMPa da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

A cobertura litólica (TR1) teve um aumento da DMPa em profundidade de 2,88 mm (Ap) para 3,11 mm (AC). Observando as propriedades que possivelmente influenciam na estabilidade de agregados do solo, verifica-se na Tabela 64 que na TR1, o aumento do DMPa em profundidade foi acompanhado pelo aumento do grau de floculação pela argila total e pelos óxidos de ferro e alumínio.

Na cobertura do Plintossolo (TR2), o DMPa dos agregados variou entre 3,00mm no horizonte Ap e 3,58mm no horizonte Ab1. Já no Plintossolo identificado na TR3, o DMPa foi de 2,95 mm no horizonte plíntico, chegando a 3,37 mm no horizonte AB e de 3,03 mm no horizonte Ap. Conforme mostra a Tabela 64, na TR2 presume-se que o DMPa obteve maior influência do grau de floculação (0,853) enquanto na TR3 a correlação foi maior como os óxidos de alumínio (0,989).

Hanke (2012) avaliou a estabilidade dos agregados de quatro solos em distintos estágios de evolução pedogenética sobre basalto, localizados no município de Londrina (PR) e Cândido Mota (SP). Os solos estudados por Hanke (2012) foram o Latossolo Vermelho Acriférrico típico, Latossolo Vermelho Eutroférrico típico, Nitossolo Vermelho Eutroférrico típico e Chernossolo Argilúvico Férrico típico. Segundo o autor, em solos menos intemperizados a matéria orgânica tem sido citada como o principal agente agregante, enquanto nos solos mais desenvolvidos há o efeito mais pronunciado da cimentação dos óxidos de ferro e alumínio. Para o referido autor, “dentro de uma sequência de evolução pedogenética haverá alteração nos níveis de estabilidade para os solos e classes de agregados, assim como diferentes mecanismos de formação e estabilização dos agregados nos solos e nas classes de agregação” (HANKE, 2012, p.3).

Observa-se que os horizontes de transição (AC, Ab1, Ab2, AB) apresentaram o maior diâmetro de agregados ao longo da topossequência. Esse resultado pode estar relacionado ao uso e manejo, considerando que o efeito das pastagens na agregação pode ser conferido ao crescimento e à atividade do sistema radicular das gramíneas como apontado por Silva *et al.* (1998); Silva e Mielniczuk (1998) e Liu *et al.* (2005). Pode-se afirmar também que os valores de DMPa estão acima do limite de 0,5mm, considerados de baixa estabilidade por Tisdall e Oades (1982).

#### **4.5.1.2 Caracterização química**

Os dados da caracterização química e aqueles referentes ao pH da topossequência do eixo A podem ser consultados nas Tabelas 65 e 66. Os valores de pH em água demonstram que

a reação do solo é predominantemente moderadamente ácida (EMBRAPA, 2018) ao longo da topossequência, variando de 5,3 no horizonte Ab1 da TR2 para 6,1 no horizonte AC da TR1. No horizonte Ab1 da TR2 ocorre aumento na acidez do pH em H<sub>2</sub>O no qual se apresenta fortemente ácido.

Tabela 65 - Potencial hidrogeniônico (pH) do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2

Horizontes	Prof.(cm)	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	ΔpH	Classes pH (solo/água 1:2,5)
ERIXO A - TR1-NEOSSOLO LITÓLICO					
Ap	0-9	5,0	6,0	-1	Moderadamente ácido
AC	9-38	4,9	6,1	-1,2	Moderadamente ácido
R	38+	-	-	-	-
EIXO A- TR2- PLINTOSSOLO					
Ap	0-20	4,9	5,8	-0,9	Moderadamente ácido
Ab1	20-28	4,8	5,3	-0,5	Fortemente ácido
Ab2	28-50	5,0	6,0	-1,0	Moderadamente ácido
B f	50-124	4,7	6,0	-1,3	Moderadamente ácido
C	124-160	-	-	-	-
R	160+	-	-	-	-
EIXO A- TR3- PLINTOSSOLO					
Ap	0-19	5,1	6,0	-0,9	Moderadamente ácido
AB	19-30	4,9	5,9	-1,0	Moderadamente ácido
B f	30-52	4,8	6,0	-1,2	Moderadamente ácido
C	52-60				-
R	60+				-

Elaboração: A autora (2021).

Tabela 66 - Características químicas dos perfis de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2

Hor.	Prof. (cm)	H <sup>+</sup> Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SB	CTC ph7	ATA	MO	V
		Cmol <sub>c</sub> /kg <sup>-1</sup>									(%)
EIXO A – TR1-NEOSSOLO LITÓLICO											
Ap	0-9	7,1	0,1	26,3	8,0	1,41	35,71	42,81	160,3	7,6	83,42
AC-	9-38	5,3	0,1	12,8	4,0	0,69	17,49	22,79	82,9	2,6	76,74
R	38+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EIXO A- TR2- PLINTOSSOLO											
Ap	0-20	8,8	0,2	34,5	8,9	2,03	45,43	54,23	118,9	8,5	83,77
Ab1	20-28	10,3	0,5	17,9	5,0	1,60	24,5	34,8	75,3	2,7	70,40
Ab2	28-50	7,8	0,2	19,0	6,3	0,39	25,69	33,49	59,9	2,3	76,71
Bf	50-124	6,1	0,1	24,3	7,4	1,27	32,97	39,07	62,4	3,1	84,39
C	124-160										
R	160+										
EIXO A – TR3 – PLINTOSSOLO											
Ap	0-19	3,9	0,1	32,9	10,9	0,28	44,08	47,98	116,7	4,7	91,87
AB	19-30	7,1	0,1	24,3	7,5	0,14	31,94	39,04	86,2	1,0	81,81
B f	30-52	4,5	0,1	30,8	11,2	0,12	42,12	46,62	83,3	0,7	90,35
C	52-60										
R	60+										

MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação de bases; ATA= atividade da argila

Elaboração: A autora (2021).

Segundo Ronquin (2010),

a reação do solo depende da concentração de íons hidrogênio na solução do solo (acidez momentânea) e da concentração de íons  $H^+$  adsorvidos em substâncias de troca (acidez potencial). O pH tende a ser ácido quando os íons de  $H^+$  estão substituindo os íons cálcio ( $Ca^{2+}$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ) e potássio ( $K^+$ ) adsorvidos em seu complexo coloidal de troca (RONQUIN, 2010, p.10).

Nesse sentido, quando se observa a Tabela 66 o horizonte Ab1 da TR2 apresenta o maior valor de acidez potencial ( $10,3 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ).

Em relação aos valores do pH em solução de KCl, os resultados foram inferiores ao valor do pH em  $H_2O$ , variando de 4,7 no horizonte B plúntico da TR2 até 5,1 no horizonte Ap da TR3. Os valores de pH em KCl inferiores aos valores de pH em  $H_2O$  resultaram em  $\Delta\text{pH}$  negativo, indicando o predomínio de carga superficial líquida negativa e dominância de capacidade de troca de cátions sobre a troca de ânions (MEURER, 2010).

De modo geral, o pH em  $H_2O$  tendeu a ser menos ácido nos horizontes superficiais no Neossolo Litólico na TR1 (6,0 a 6,1) e no Plintossolo da TR2 (5,8 a 6,0), provavelmente em função do aumento da matéria orgânica em subsuperfície. Já no Plintossolo da TR3 (5,9 a 6,0) praticamente não apresentou variação no seu perfil.

Em que se refere aos Plintossolos, eles geralmente são ácidos, com valores inferiores a 5,0 de pH. Nesse caso, a constituição geológica e as condições ambientais que levam ao incremento do pH e à limitações na decomposição da matéria orgânica podem explicar os valores moderadamente ácidos de pH em  $H_2O$  (LIMA, 2001). Garcia (2008), em Plintossolos na Amazônia, observou a reação do solo com valores de pH variando entre 4,3 e 5,7. Outros estudos em Plintossolos, como em Coelho e Vidal-Torrado (2003) e Dos Anjos *et al.* (2007), em condição de encharcamento periódicos, mostraram comportamento similar para o pH em água.

Os valores referentes à acidez potencial ( $H^+ + Al^{+3}$ ) dispostos na Tabela 66, oscilaram entre  $3,9 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  (horizonte Ap da TR3) e  $10,3 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  (no horizonte Ab1 da TR2). Os valores de  $Al^{+3}$  foram baixos (de 0,1 a  $0,5 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ) o que indica que a maior contribuição da acidez potencial foi proveniente do  $H^+$ .

Quanto aos cátions trocáveis ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ ) observa-se a predominância do  $Ca^{2+}$ , seguido  $Mg^{2+}$ , e por fim o  $K^+$ . Os valores de cálcio foram de  $12,8 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte AC da TR1 a  $34,5 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte Ap da TR2. Para o magnésio encontrou-se valores de  $11,2 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte Bf da TR3 a  $4,0 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte AC da TR1. No que se refere aos valores de potássio, eles ficaram entre  $0,12 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte B plúntico da TR3 a  $2,03 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  do horizonte Ap da TR2.

Resultados mais elevados em superfície de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  caracterizam solos de alta fertilidade natural provenientes do material de origem. Evidencia-se a redução em profundidade ao longo da topossequência, provavelmente em função de lixiviação e intemperização. Além disso, observa-se que o  $\text{K}^+$  foi prioritariamente lixiviado em função da sua carga monovalente, em detrimento dos outros cátions.

Os perfis apresentaram altos valores de CTC, variando entre 22,79  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte AC da TR1 a 54,23  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte Ap da TR2, acompanhando a variação da soma de bases de 17,49 a 45,43  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ , respectivamente. Foi observada também alta saturação por bases nos horizontes, sendo verificados valores acima de 70 % atingindo 91,87 % no horizonte Ap da TR3.

Segundo Lepsch (2016), em um solo com alta saturação por bases (geralmente acima de 50%), a maior parte do complexo de troca estará ocupada pelos cátions básicos  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , impedindo que esse mesmo complexo seja uma fonte potencial de acidez ao longo do tempo. De modo geral, todos os perfis refletiram alta porcentagem de saturação por bases, caracterizando os solos estudados como eutróficos, segundo critério da EMBRAPA (2018), enquanto, no entanto, foram observados valores relativamente superiores (acima de 90%) nos resultados do Plintossolo da TR3 (Tabela 66). Supõe-se que os altos teores de saturação de bases podem estar associados ao tipo de material de origem bem como os teores de matéria orgânica presentes. Além disso, é possível que a influência do relevo plano a suave ondulado da cabeceira favorece o acúmulo e permanência de bases no solo.

Nota-se que os teores de matéria orgânica (MO) apresentaram nos horizontes valores que variaram de 0,7 % no horizonte B plúntico da TR3 a 8,5 % no horizonte Ap da TR2. Os valores de MO foram superiores nos horizontes superficiais, possivelmente devido à cobertura vegetal de gramíneas que contribuem para a quantidade de biomassa existente nos horizontes superficiais desses solos. Observa-se que associados aos valores de MO estão os valores de CTC, que podem estar contribuindo para o pequeno aumento da CTC. A relação da matéria orgânica com a CTC foi retratada em diferentes classes de solos, como em Verdade (1956), Canellas (2000) e FALLEIRO *et al* (2003).

Em relação a atividade da argila, os valores foram superiores a 27  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  em todos os horizontes, sendo o maior no horizonte Ap da TR1 (160,3  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ) e o menor no horizonte Ab2 da TR2 (59,9  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ). Percebe-se que a atividade da argila foi superior nos horizontes superficiais supostamente em função da CTC e da matéria orgânica.

A composição química da TFSA, determinada pelo ataque sulfúrico, encontra-se na Tabela 67.

Tabela 67 - Valores de óxidos de ferro, alumínio e titânio do perfil de solo da topossequência do eixo A da cabeceira de drenagem 2

Horizontes	Prof. (cm)	g.kg <sup>-1</sup>		
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>ERIXO A -TR1-NEOSSOLO LITÓLICO</b>				
Ap	0-9	118	81	223
AC	9-38	125	74	251
R	38+	-	-	-
<b>EIXO A- TR2- PLINTOSSOLO</b>				
Ap	0-20	126	70	209
Ab1	20-28	111,4	76,3	188,9
Ab2	28-50	152,3	80,6	256,4
Bf	50-124	133	86	242
C	124-160	-	-	-
R	160+	-	-	-
<b>EIXO A- TR3- PLINTOSSOLO</b>				
Ap	0-19	161	48	225
AB	19-30	121	95	247
Bf	30-52	162,4	56,8	226,6
C	52-60			
R	60+			

Elaboração: A autora (2021).

Em geral, os horizontes apresentaram teores de óxidos de ferro superiores a 180 g.kg<sup>-1</sup>, refletindo o material de origem, o basalto, rico em minerais ferromagnesianos e, portanto, sendo classificado com alto teor de ferro (EMBRAPA, 2018). O maior valor foi encontrado no horizonte Ab2 da TR2 sendo de 256,4 g.kg<sup>-1</sup>, e o menor valor no horizonte Ab1, também da TR2 sendo de 188,9 g.kg<sup>-1</sup>. Constata-se que os óxidos de ferro tendem a aumentar em subsuperfície na TR1, e apresentarem oscilações nos perfis da TR2 e TR3, comportamento que pode estar relacionado ao incremento no teor de argila e redução do silte e/ou areia, em relação aos horizontes de superfície (SANTOS,2015). Os valores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> variaram de 111,4 g.kg<sup>-1</sup> (Ab1 da TR2) até 162,4 g.kg<sup>-1</sup> (Bf da TR3). Em relação ao TiO<sub>2</sub> encontrou-se valores de 48 g.kg<sup>-1</sup> (Ap da TR3) até 95 g.kg<sup>-1</sup> (AB da TR3). Resultados semelhantes para o ataque sulfúrico foram encontrados em solos argilosos desenvolvidos do basalto por Nakashima (2013).

#### 4.5.1.3 Classificação do solo

A partir das características morfológicas e químicas obtidas para os horizontes da topossequência do eixo A foi realizada a classificação da cobertura pedológica dos perfis de solo das trincheiras 1, 2 e 3, conforme os parâmetros estabelecidos pela EMBRAPA (2018).

No perfil de solo da trincheira 1, no setor alto, foram identificados os horizontes Ap, AC e R, caracterizando, portanto, a classe dos Neossolos. Tendo esse perfil apresentado contato

lítico a 38cm a partir da superfície, é possível enquadrá-lo no segundo nível categórico como Neossolo Litólico. Para o terceiro nível categórico, foi-lhe atribuído a classificação de chernossólico, pois apresentou as características químicas e físicas de A chernozêmico. O quarto nível categórico foi classificado como típico, visto que não se enquadrou como fragmentário.

Nos setores médio (TR2) e baixo da topossequência (TR3), os perfis de solo apresentaram os horizontes Ap, Ab1, Ab2, Bf, C e R e Ap, AB, Bf, C e R, respectivamente. Nesse sentido, para o primeiro nível categórico (ordem), de acordo com a morfologia observada em campo, verificou-se a presença de horizontes plínticos. Assim, ambos os perfis foram classificados como Plintossolos, apresentando horizonte plíntico com mais de 15 % de plintita, iniciando dentro de 200cm de profundidade no perfil da TR2 e dentro de 40cm no perfil da TR3. Para o segundo nível categórico, foram classificados como Háplicos por não se enquadrarem nas classes de pétrico e argilúvico.

O terceiro nível categórico os perfis da TR2 e TR3 foram classificados como eutróficos, pois apresentaram saturação por bases superiores a 50 %. Para o quarto nível categórico o perfil da TR2 foi classificado como típico, uma vez que não apresentou atributos possíveis para enquadrá-lo em outras classes, enquanto o perfil da TR3, foi classificado como leptofragmentário, por apresentar contato lítico em uma profundidade maior que 50cm e menor ou igual a 100cm a partir da superfície do solo.

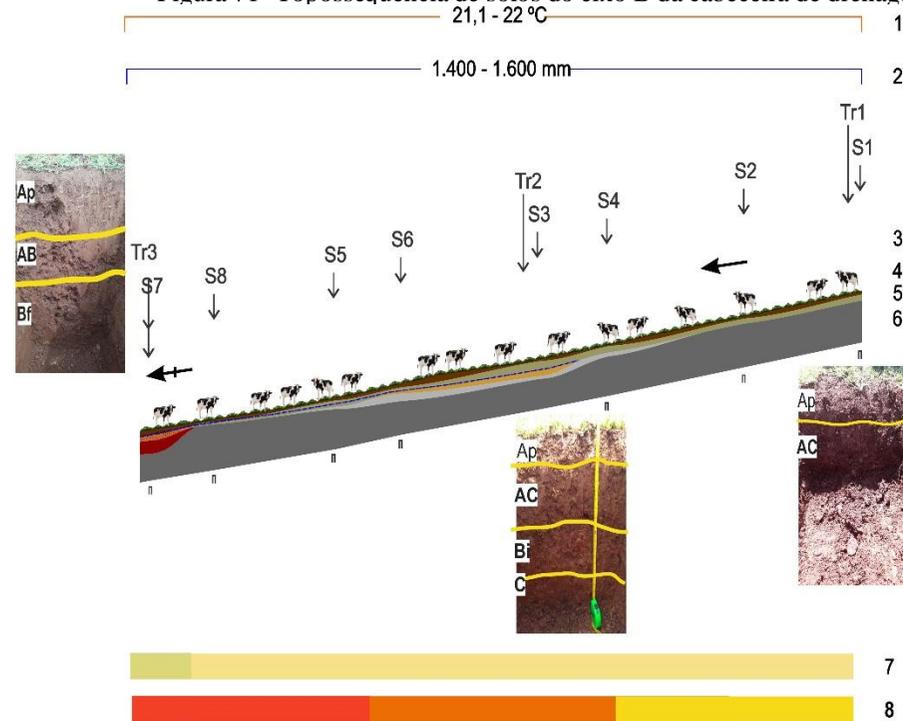
Desse modo tem-se:

- Perfil 1 (TR1): NEOSSOLO LITÓLICO Chernossólico típico, textura siltosa, fase floresta semidecidual.
- Perfil 2 (TR2): PLINTOSSOLOS HÁPLICO Eutrófico típico, textura muito argilosa, fase floresta semidecidual.
- Perfil 3 (TR3): PLINTOSSOLOS HÁPLICO Eutrófico leptofragmentário, textura argilosa, fase floresta semidecidual.

#### **4.5.2 A topossequência de solos do eixo B**

A topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2 (Figura 71) está localizada entre as coordenadas de 74095519,344 m de latitude Sul e 425262,277 m de longitude Oeste (setor alto), e 7409516,272 m latitude Sul e 425188,161 m longitude Oeste (setor baixo da topossequência).

Figura 71- Toposequência de solos do eixo B da cabeceira de drenagem 2

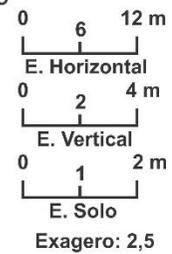


- 1 - Temperatura média do ar
- 2 - Precipitação média anual
- 3 - Formas de vertentes
  - Retilínea
  - ↘ Côncava
- 4 - Usos do solo
  - Pastagem

- 5 - Horizontes dos Solos
  - Ap
  - AB
  - AC
  - Bi
  - Bplíntico
  - C
  - R
  - Concreções ferruginosas

- 6 - Geologia
  - Basalto
- 7 - Declividade (%)
  - 11-12
  - 10-11
- 8 - Setores da Toposequência
  - Alto
  - Médio
  - Baixo

- n - Limite de sondagem
- Nível do lençol freático
- S - Sondagens
- Tr - Trincheiras



Elaboração: A autora (2021).

Possui 76 metros de extensão com um desnível de 7 metros, sendo utilizada para pastagem com a prática da pecuária semi-intensiva por toda sua extensão. O perfil topográfico demonstra a forma retilínea da topossequência nos setores de topo e médio, tendendo a forma suavemente côncava no setor baixo.

Na topossequência do eixo B, foram realizadas ao todo oito sondagens e identificados sete horizontes, sendo o Ap, AC, AB, Bi, Bf, C e R. A síntese das características morfológicas dos horizontes pedológicos ao longo da topossequência do eixo B está apresentada na Tabela 68.

O horizonte superficial Ap ocorre ao longo de toda a topossequência, apresentando 11cm de espessura no setor alto (TR 1) reduzindo para 10cm de espessura no setor médio (TR2), e se espessa para 22cm no setor baixo (TR3) da topossequência. A textura do horizonte Ap apresentou-se siltosa no setor alto (TR1) e argilosa nos setores médio (TR2) e baixo da topossequência (TR3). Na TR1 (alto), o horizonte Ap exhibe a coloração vermelho-muito-escuro-acinzentado (2,5YR2,5/2) passando a vermelho-escuro-acinzentado (2,5YR3/2) no setor médio (TR2), e bruno-avermelhado (2,5YR4/4) no segmento baixo (TR3) da topossequência. A estrutura do horizonte Ap variou de grau forte (TR1 e TR2) a moderado (TR3). Em relação ao tamanho, a variação foi de pequeno a médio (TR1), pequeno (TR2) e médio (TR3) e tipo granular (TR1, R2) e granular passando a blocos subangulares (TR3).

A consistência do Ap quando seca é solta a macia no setor alto (TR1), solta na porção média (TR2) e macia no segmento baixo da topossequência (TR3). Quando úmida, a consistência do horizonte Ap apresentou-se muito friável (TR1, TR2 e TR3). No que se refere a consistência quando molhada, nos setores alto e médio ela é plástica e pegajosa (TR1 e TR2) e muito plástica e muito pegajosa no setor baixo da topossequência (TR3). O horizonte Ap apresentou raízes abundantes muito finas, finas e fasciculadas. A transição vertical para o horizonte subjacente AC é clara e ondulada (TR1 e TR2) e para o horizonte AB é gradual e plana (TR3).

O horizonte de transição AC pode ser visualizado nos setores alto e médio da topossequência com espessura variando entre 24 cm (TR1) e 21 cm (TR2), reduzindo seu espessamento para 10cm e transacionando lateralmente para o horizonte AB, no setor baixo da topossequência (TR3). No setor alto, o horizonte AC exprimiu a cor bruno-avermelhada-escuro (2,5YR3/4) variando progressivamente para bruno-avermelhada (5YR3/2) no setor médio (TR2). Quanto à textura, foi determinada como siltosa no setor alto (TR1) e argilosa no setor médio da topossequência (TR2).

Tabela 68 - Descrição morfológica dos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2

(Continua)							
HORIZONTES (cm)	COR	TEXTURA	ESTRUTURA	CONSISTÊNCIA	TRANSIÇÃO	RAÍZES	OBSERVAÇÕES
EIXO B - TR1- NEOSSOLO LITÓLICO							
Ap (0-11)	2,5YR 2,5/2	Siltosa	Grau: forte Tamanho: pequena á média Tipo: granular	Seca: solta a macia Úmida: muito friável Molhada: plástica e pegajosa	clara ondulada	abundantes	
AC (11-35)	2,5YR 3/4	Siltosa	Grau: fraca Tamanho: Pequena a média Tipo: Granular	Seca: macia Úmida: muito friável Molhada: plástica e pegajosa	clara ondulada	Finas e fasciculadas	Fragmentos alterados de rocha
R (35+)		-	-	-	-	-	
EIXO B - TR2 - CHERNOSSOLO							
Ap (0-10)	2,5YR3 /2	Argilosa	Grau: forte Tamanho: pequena Tipo: granular	Seca: solta Úmida: muito friável Molhada: plástica e pegajosa	gradual ondulada	Muito finas e fasciculadas	
AC (10-31)	5YR3/2	Argilosa	Grau: fraca Tamanho: pequena Tipo: granular	Seca: solta Úmida: muito friável Molhada: plástica e pegajosa	clara ondulada	Muito finas e fasciculadas	Fragmentos alterados de rocha
Bi (31-59)	2,5YR3 /6	Argilosa	Grau: forte Tamanho: média Tipo: blocos angulares	Seca: solta Úmida: muito friável Molhada: muito plástica e muito pegajosa	clara ondulada	Quantidade média, finas e fasciculadas	
C (59+70)	10YR4/ 4	-	-	-	-	-	-
R (70+)	-	-	-	-	-	-	-

							(Conclusão)
HORIZONTES (cm)	COR	TEXTURA	ESTRUTURA	CONSISTÊNCIA	TRANSIÇÃO	RAÍZES	
EIXO B - TR3- PLINTOSSOLO							
Ap (0-22)	2,5YR4 /4	Argilosa	Grau: moderada Tamanho: média Tipo: granular passando a blocos subangulares	Seca: macia Úmida: muito friável Molhada: muito plástica e muito pegajosa	gradual plana	Muitas finas e fasciculadas	-
AB (22-43)	10YR3/ 3	Muito argilosa	Grau: forte Tamanho: média a grande Tipo: blocos angulares prismáticos	Seca: ligeiramente dura Úmida: friável Molhada: muito plástica e muito pegajosa	difusa plana	pouquíssimas finas e fasciculadas	Concreções ferruginosas/ manchas/ mosqueados
Bf (43-95)	10YR3/ 4	Muito argilosa	Grau: forte Tamanho: média á grande Tipo: blocos angulares e subangulares passando a prismáticos	Seca: dura/firme Úmida: friável Molhada: muito plástica e muito pegajosa	clara ondulada	finas e médias	Cerosidade moderada e comum/ Concreções ferruginosas/ manchas negras acinzentadas/ mosqueados
R (95+)	-	-	-	-	-	-	-

Elaboração: A autora (2021).

O horizonte AC apresentou grau fraco e tamanho pequeno a médio (TR1) e pequeno (TR2). A consistência variou de macia (TR1) a solta (TR2) quando seca, muito friável quando úmida, plástica e pegajosa quando molhada (TR1 e TR2). Foram observadas raízes muito finas, finas e fasciculadas nesse horizonte, além de abundantes fragmentos de basalto semialterado (Figura 72).

Figura 72 - Fragmentos de rocha no horizonte AC (TR1) da topossequência de solos do eixo B da cabeceira de drenagem 2



Fonte: A autora (2019).

Em profundidade, no setor médio da topossequência (TR2), o horizonte AC transiciona de forma ondulada e clara para horizonte Bi, no qual a cobertura do Neossolo Litólico cede lugar à cobertura do Chernossolo lateralmente. A espessura do horizonte Bi é de 28 cm (TR2) reduzindo gradativamente para 15 cm em direção ao setor baixo da topossequência (entre as sondagens 5 e 6).

Na TR2, o horizonte Bi apresentou cor vermelho-escuro (2,5YR3/6) e textura argilosa. A estrutura é de grau forte, tamanho médio e blocos angulares. A consistência é solta quando seca, muito friável quando úmida, e muito plástica e muito pegajosa quando molhada. No horizonte Bi foram encontradas raízes em quantidade médias, finas e fasciculadas. Em profundidade, a transição do horizonte Bi para o horizonte C ocorre de forma ondulada e clara. Nesta trincheira foi possível observar duas frentes de saída da água, entre os contatos do horizonte Bi (AC e C).

Lateralmente, o horizonte AC transiciona para um horizonte mais argiloso localizado no setor baixo da topossequência (TR3). Esse horizonte de transição denominado AB apresentou 22 cm de espessura, textura muito argilosa e coloração bruno-escuro (10YR3/3). A

estrutura do horizonte AB é de grau forte, tamanho médio a grande e tipo de blocos angulares e prismáticos. Quando seca, possui consistência ligeiramente dura, friável quando úmida, muito plástica e muito pegajosa quando molhada. Encontram-se, nesse horizonte, pouquíssimas raízes muito finas. Em profundidade, ocorre a transição plana e difusa para o horizonte B plíntico.

Ainda no setor baixo da topossequência, o horizonte B plíntico (TR3) foi identificado de 43 cm a 95 cm de profundidade. No horizonte Bf, a cor é bruno-amarelada-escura 10YR3/4 e a textura é muito argilosa. A estrutura é de grau forte, tamanho de médio a grande, e tipo de blocos angulares e subangulares passando a prismáticos. A consistência predominante é de dura a firme quando seca, friável quando úmida, muito plástica e muito pegajosa quando molhada. Verificou-se, ainda, superfícies reluzentes representando a cerosidade moderada e comum. Destaca-se que foi observado nesse horizonte muitas concreções ferruginosas denominadas de plintitas (mais de 15 % do volume do solo) além de manchas e mosqueados.

O horizonte C foi identificado do setor alto ao setor baixo (sondagem 8) da topossequência, subjacente aos horizontes AC e Bi. Seu espessamento variou de 10 a 15cm no setor de topo, passando a 30 cm no setor médio (TR2) o qual apresentou estágio avançado de alteração com coloração amarelada.

O horizonte R foi identificado em diferentes profundidades ao longo da topossequência. No setor alto está localizado a partir de 35 cm de profundidade (TR1), aumentando para 70cm no setor médio (TR2). A partir do setor médio torna a ficar mais próximo da superfície, entre 20 e 35 cm e no setor baixo tende a ocorrer em profundidade superior a 95 cm (TR3).

A partir da identificação dos horizontes foi possível reconhecer três coberturas pedológicas na topossequência: no setor alto, com a sequência dos horizontes Ap, AC e R caracterizando um Neossolo Litólico (TR1). No setor médio da topossequência outra cobertura foi identificada com a sequência de horizontes Ap, AC, Bi, C e R, com o desenvolvimento de um Chernossolo (TR2). No setor baixo da topossequência, na qual ocorre o espessamento da cobertura pedológica com a sequência de horizontes Ap, AB e Bf e R, formando um Plintossolo (TR3).

#### 4.5.2.1 Propriedades físicas e hídricas

##### 4.5.2.1.1 *Granulometria e argila dispersa em água*

Os dados da granulometria total dos perfis da topossequência (Tabela 69) indicam predominância das frações finas na maior parte dos perfis, com exceção do horizonte AC (TR1), que apresentou 318 g.kg<sup>-1</sup>, em função de sua proximidade com a rocha e pouco desenvolvimento pedogenético.

Tabela 69 - Proporção de frações grosseiras dos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2

Horizontes	Prof. (cm)	Frações grosseiras (g.kg <sup>-1</sup> )	Frações Finas (g.kg <sup>-1</sup> )
<b>EIXO B – TR1- NEOSSOLO LITÓLICO</b>			
Ap	0-11	464	536
AC	11-35	682	318
R	35+	-	-
<b>EIXO B-TR2 – CHERNOSSOLO</b>			
Ap	0-10	335	665
AC	10-31	490	510
Bi	31-59	275	725
C	59-70	-	-
R	70+	-	-
<b>EIXO B-TR3-PLINTOSSOLO</b>			
Ap	0-22	385	615
AB	22-43	327	673
B plíntico	43-95	220	780
R	95+	-	-

Frações grosseiras - fragmentos grosseiros com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões)  
 Frações finas - frações menores que 2 mm (areia, silte e argila)

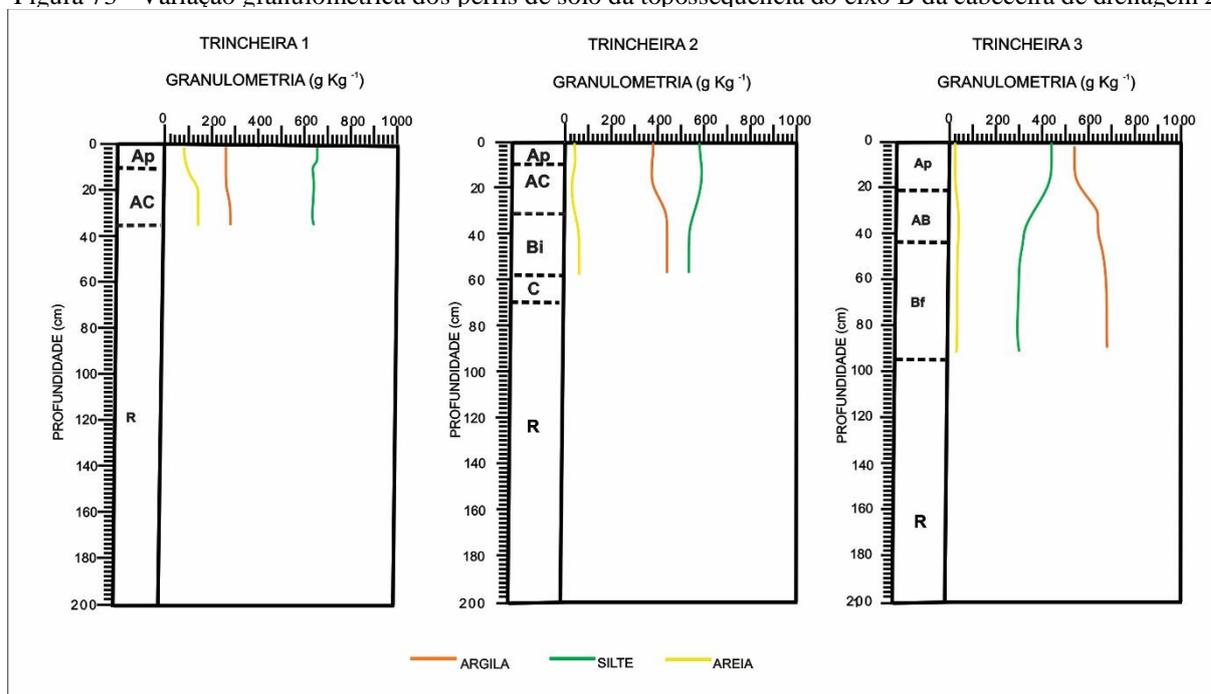
Elaboração: A autora (2021).

As frações grosseiras variaram de 220 g.kg<sup>-1</sup> (horizonte B plíntico na TR3) a 682 g.kg<sup>-1</sup> (horizonte AC na TR1), enquanto as frações finas variaram de 318 g.kg<sup>-1</sup> (horizonte AC na TR1) a 780 g.kg<sup>-1</sup> (horizonte B plíntico na TR3). Observa-se diferenças no incremento de material lítico incorporados à matriz de seus horizontes em direção a rocha em sentido vertical e, paralelamente, em sentido lateral (setor alto em direção ao setor baixo), ocorrendo redução à medida que o relevo tende a aplanar e a cobertura pedológica espessar.

A Figura 73 e Tabela 70 representam os dados de granulometria das frações finas, nos perfis da topossequência do eixo B. No perfil da trincheira 1, no qual consta a cobertura do Neossolo Litólico, verificou-se o predomínio da fração silte, sendo de 647 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap e 587 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte AC. A fração argila apresentou leve aumento em profundidade de 267 g.kg<sup>-1</sup> para 269 g.kg<sup>-1</sup>, em detrimento da fração areia que aumentou de 86 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap para 144 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte AC. Resultados semelhantes foram verificados por Carvalho Filho *et al* (2010) em Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos na região do

Quadrilátero Ferrífero, em Minas gerais.

Figura 73 - Variação granulométrica dos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Tabela 70 - Características granulométricas dos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2

Prof. (cm)	Hor.	Argila (g.kg <sup>-1</sup> )	Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	Areia (g.kg <sup>-1</sup> )	Textura	Silte/argila	GD (%)	GF (%)	ADA (g.kg <sup>-1</sup> )
<b>EIXO B – TR1- NEOSSOLO LITÓLICO</b>									
0-11	Ap	267	647	86	Siltosa	2,42	49,8	50,1	133
11-35	AC	269	587	144	Siltosa	2,18	73,2	26,7	197
35+	R	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>EIXO B-TR2 - CHERNOSSOLO</b>									
0-10	Ap	395	582	23	Argilosa	1,47	32,1	67,8	127
10-31	AC	394	587	19	Argilosa	1,48	45,6	54,3	180
31-59	Bi	423	537	40	Argilosa	1,26	77,0	22,9	326
59-70	C	-	-	-	-	-	-	-	-
70+	R	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>EIXO B-TR3- PLINTOSSOLO</b>									
0-22	Ap	547	429	24	Argilosa	0,78	67,6	32,3	370
22-43	AB	651	310	39	Muito Argilosa	0,47	68,3	31,6	445
43-95	B plúntico	674	301	25	Muito argilosa	0,44	64,0	35,9	432
95+	R	-	-	-	-	-	-	-	-

GD – Grau de dispersão da argila; GF- grau de floculação da argila; ADA- argila dispersa em água

Elaboração: A autora (2021).

Na TR2, na qual foi identificado o perfil do Chernossolo, constatou-se o aumento da argila em profundidade sendo de 395 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap, 394 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte AC e 423 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Bi. A fração silte teve maior valor no horizonte AC com 587 g.kg<sup>-1</sup>, seguido do horizonte Ap com 582 g.kg<sup>-1</sup> e por fim, o horizonte Bi com 537 g.kg<sup>-1</sup>. Quando se refere à fração areia, seu comportamento foi oscilatório, com valor de 23 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap, 19 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte AC e 40 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Bi. Resultado semelhante foi encontrado em um perfil com B incipiente de textura argilosa por Marques *et al.* (2007), com valores de argila de 340 g.kg<sup>-1</sup> (A), 416 g.kg<sup>-1</sup> (AB) e 355 g.kg<sup>-1</sup> (Bi).

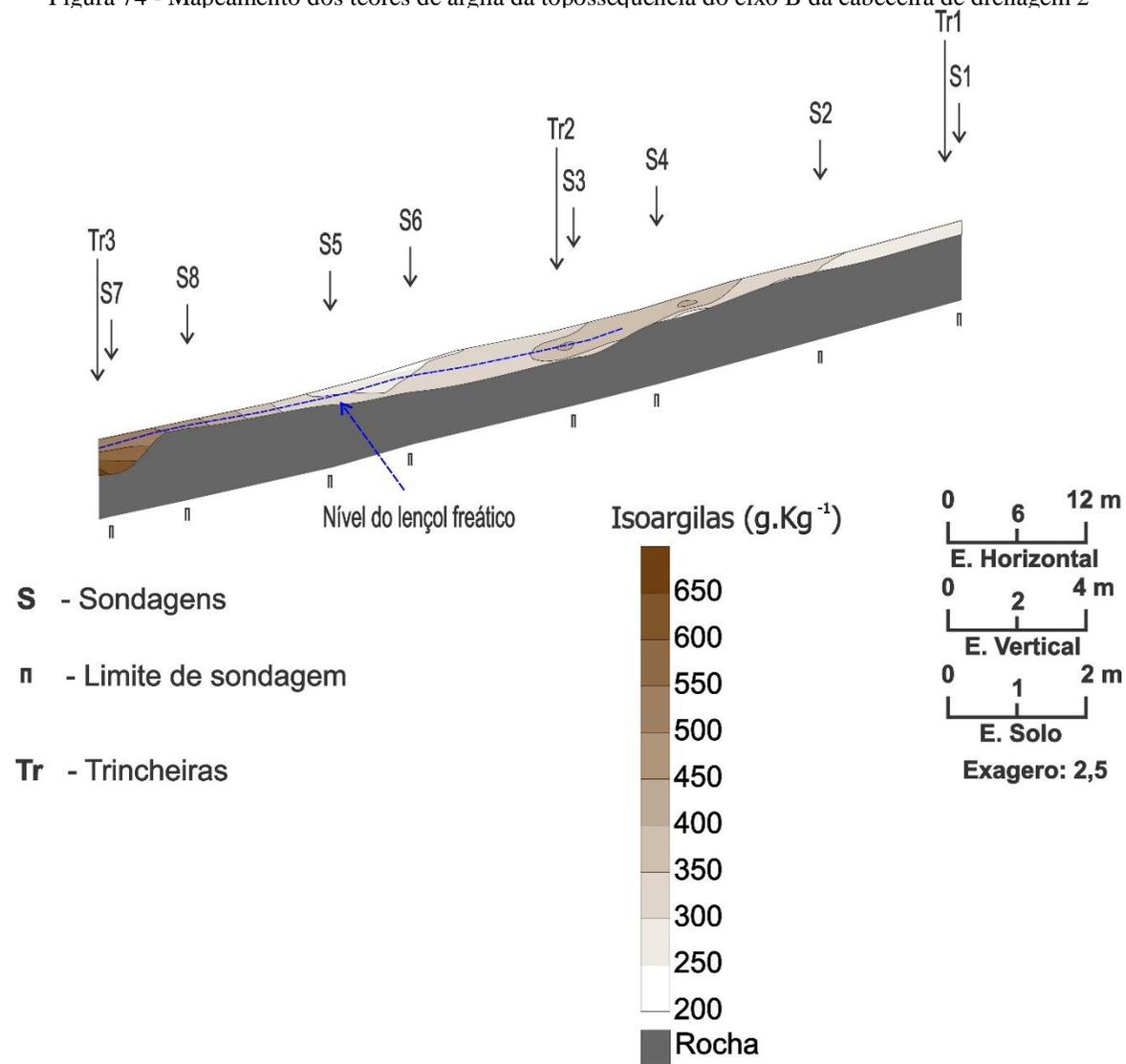
Tratando-se da distribuição granulométrica do perfil da TR3, na cobertura do Plintossolo, pôde-se observar que a fração de argila é mais representativa nos horizontes AB e B plíntico, e o silte no horizonte Ap. O teor de argila foi de 547 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap, 651 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte AB e 674 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte B plíntico. Já a fração silte, apresenta quantidades de 429 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap, 310 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte AB e 301 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte B plíntico. A fração areia apresenta-se em menor quantidade ao longo perfil variando entre 24 g.kg<sup>-1</sup> (horizonte Ap) e 39 g.kg<sup>-1</sup> (horizonte AB). Resultados semelhantes foram observados por Bernini (2010) em Plintossolos, mostrando que houve aumento do teor de argila em profundidade variando de 404 g.kg<sup>-1</sup> (A) a 506 g.kg<sup>-1</sup> (Bf).

O comportamento da fração argila na topossequência do eixo B pode ser visualizado na Figura 74. Verifica-se concordância da distribuição da argila em relação ao posicionamento espacial dos sistemas pedológicos anteriormente definidos. O teor de argila apresentou gradativo aumento do setor alto em direção à jusante. No setor alto estão os menores teores de argila encontrados na topossequência, variando de 251 a 300 g.kg<sup>-1</sup>. Esses valores refletem a proximidade com o material de origem, no qual a fração silte é superior.

No segmento alto, em direção ao setor médio da topossequência (entre as sondagens 2 e 4) em superfície, verifica-se o aumento gradativo dos teores de argila de 301 g.kg<sup>-1</sup> a 350 g.kg<sup>-1</sup> passando de 351 g.kg<sup>-1</sup> para 400 g.kg<sup>-1</sup> e de 401 g.kg<sup>-1</sup> para 450 g.kg<sup>-1</sup> no setor médio da topossequência, na qual também ocorre o espessamento da cobertura pedológica.

Em direção ao setor baixo da topossequência (entremeadas a sondagens 5 e 8) os teores de argila tornam a reduzir em superfície e em profundidade com valores entre 301 g.kg<sup>-1</sup> e 350 g.kg<sup>-1</sup> justificados pelo fato de o material de origem tornar a ser encontrado próximo à superfície. No setor baixo da topossequência estão os valores mais elevados dos teores da argila da topossequência, oscilando de 500 g.kg<sup>-1</sup> a 550 g.kg<sup>-1</sup> em superfície e de 650 g.kg<sup>-1</sup> a 700 g.kg<sup>-1</sup> em subsuperfície, marcando o aprofundamento da cobertura pedológica e o desenvolvimento pedogenético mais evidente, coincidindo com o horizonte Bf.

Figura 74 - Mapeamento dos teores de argila da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Com base na constituição granulométrica dos horizontes, foi realizada a classificação textural de acordo com a EMBRAPA (2018), assim, os horizontes Ap e AC (TR1) são texturalmente siltosos, os horizontes Ap, AC, Bi (TR2) e Ap (TR3) foram classificados com textura argilosa e os horizontes AB e B plíntico da TR3 são texturalmente muito argilosos.

A relação do silte com a argila demonstra o pouco desenvolvimento pedogenético dos horizontes que compõem a cobertura litólica (TR1) no setor de topo da topossequência, variando de 2,18 (horizonte AC) a 2,42 (horizonte Ap). O menor valor pode ser constatado no horizonte B plíntico (TR3) com 0,44 indicando solos mais intemperizados.

De modo geral, os valores do grau de dispersão da argila foram superiores ao grau de flocculação. A exceção ocorreu no horizonte Ap (50,1) do Neossolo na TR2 e no Ap (67,8 %) e AC (54,3 %) do Chernossolo da TR2, provavelmente pela maior quantidade de matéria orgânica nos horizontes superficiais. Almeida (2013), estudando a influência do material de origem nas propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas de solos da transição Mata Norte e Agreste de Pernambuco, observou em um Chernossolo que o horizonte Bt apresentou grau de flocculação de 14 % enquanto nos horizontes superficiais chegou a 51 %. Para a autora, o que acontece no Chernossolo e no horizonte B pode ser um indicativo de que os possíveis fatores reguladores da flocculação sejam de ordem química e mineralógica, pois esse é um perfil pouco desenvolvido que apresenta uma quantidade considerável de minerais primários.

Já os maiores valores de dispersão foram encontrados no horizonte AC do Neossolo da TR1 e no Plintossolo da TR3. Na TR3, o valor encontrado foi de 67,6 % no horizonte Ap, 68,3 % no horizonte AB e 64,0 % no horizonte B plíntico. Coringa *et al.* (2012) indicaram que a dispersão tem dado indicações de uma mineralogia 2:1.

#### 4.5.2.1.2 Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total

Os dados referentes à densidade e à porosidade da topossequência de solos do eixo B podem ser observados na Tabela 71.

No setor de topo (TR1) na cobertura de Neossolo Litólico, a densidade é menor no horizonte superficial Ap exprimindo o valor de 1,05 g.cm<sup>-3</sup>, seguida do horizonte AC com 1,23 g.cm<sup>-3</sup>. Na cobertura do Chernossolo (TR2), a densidade aumenta em profundidade passando de 1,05 g.cm<sup>-3</sup> no horizonte Ap, para 1,17 g.cm<sup>-3</sup> no horizonte AC e 1,20 g.cm<sup>-3</sup> no horizonte B incipiente. Na cobertura do Plintossolo (TR3), foram encontrados os valores de 1,17 g.cm<sup>-3</sup> para o horizonte Ap, 1,15 g.cm<sup>-3</sup> para o horizonte AB e 1,18 g.cm<sup>-3</sup> para o horizonte B plíntico.

Tabela 71 - Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) dos perfis de solos da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2

Horizontes	Prof.(cm)	Mi (%)	Ma (%)	Pt (%)	Ds (g.cm <sup>-3</sup> )	Proporção da porosidade (%)	
						macro	micro
<b>EIXO B - TR1- NEOSSOLO LITÓLICO</b>							
Ap	0-11	52,12	8,28	60,40	1,05	13,70	86,29
AC	11-35	46,17	8,96	55,14	1,23	16,24	83,75
R	35 +	-	-	-	-	-	-
<b>EIXO B - TR2- CHERNOSSOLO</b>							
Ap	0-10	53,39	6,65	60,05	1,05	11,07	88,92
AC	10-31	48,65	7,77	56,42	1,17	13,77	86,22
Bi	31-59	49,78	4,64	54,42	1,20	8,52	91,47
C	59-70	-	-	-	-	-	-
R	70+	-	-	-	-	-	-
<b>EIXO B - TR3 – PLINTOSSOLO</b>							
Ap	0-22	47,07	9,32	56,39	1,17	16,52	83,47
AB	22-43	47,56	7,82	55,38	1,15	14,12	85,87
B f	43-95	49,03	5,55	54,58	1,18	10,16	89,83
R	95+	-	-	-	-	-	-

Ds – Densidade do solo; Ma – macroporosidade; Mi – microporosidade; Pt – porosidade total

Elaboração: A autora (2021).

Verifica-se que a densidade do solo é, em geral, mais elevada nos horizontes subsuperficiais, a exceção ocorreu no setor baixo da topossequência (perfil da TR3), nos quais os horizontes apresentaram diferenças pouco pronunciadas de densidade. Os resultados de densidade obtidos para essa topossequência possivelmente estão relacionados à quantidade de matéria orgânica e ao aumento do teor de argila em profundidade e, conseqüentemente à redução do silte.

Diferenças mais significativas podem ser verificadas nos dados de macroporosidade e microporosidade. Na cobertura do Neossolo Litólico no setor de topo (TR1), a macroporosidade no horizonte Ap foi de 8,28 %, tendo um aumento pouco significativo para o horizonte AC de 8,96 %. A cobertura do Chernossolo (TR2) apresentou valores de 6,65 % de macroporosidade no horizonte Ap, 7,77 % no horizonte AC e 4,64 % no horizonte B incipiente. A cobertura do Plintossolo, (TR3), apresentou os valores de 9,32% para o horizonte Ap, 7,82 % para o horizonte AB e o 5,55 % para o B plíntico. Assim, percebe-se redução da macroporosidade em profundidade, sendo essas, consideradas abaixo do ideal, segundo Erickson (1982) e Xu *et al* (1992), que preconizam o mínimo de 10% de macroporosidade para uma boa aeração do solo.

Quanto aos valores de microporosidade na cobertura do Neossolo Litólico, no setor de topo (TR1), o horizonte Ap apresentou 52,12 % de poros menores, reduzindo para 46,17 % no horizonte AC. Na cobertura do Chernossolo (TR3), a microporosidade foi superior no horizonte Ap com 53,39 %, reduzindo para 48,65 % no horizonte AC e tornando a apresentar ínfimo

aumento no horizonte Bi para 49,78 %. Na cobertura do Plintossolo (TR3), a microporosidade no horizonte Ap foi de 47,07 %, 47,56 % no horizonte AB e 49,03 % no horizonte B plântico.

Os valores de proporção da macro e microporosidade demonstram a predominância da microporosidade em todas as coberturas pedológicas, ficando evidente a tendência de retenção de água. Dessa forma, os valores variaram de 83,47 % (Ap da TR3) a 91,47 % (Bi da TR2) para a proporção de microporos.

Com relação à porosidade total, na cobertura do Neossolo Litólico (TR1) no setor de topo, o horizonte Ap apresentou 60,40 % enquanto o horizonte AC expressou o valor de 55,14 %. Para o setor médio da topossequência (TR2), na cobertura chernossólica, a porosidade total foi de 60,05 % para o horizonte Ap, 56,42 % para o horizonte AC e 54,42 % para o horizonte B incipiente. Na cobertura plintossólica (TR3), obteve-se para o horizonte Ap o valor de 56,39 %, 55,38 % para o horizonte AB e o horizonte B plântico 54,58 % de porosidade total.

Como pode ser visualizado na Tabela 71, de modo geral, os valores de densidade atingidos foram menores no horizonte superficial Ap em todas as coberturas pedológicas da topossequência, de modo que a porosidade total foi superior nesse mesmo horizonte, indicando que conforme a densidade aumentou a porosidade total reduziu. A maior porosidade total e menor densidade no horizonte superficial Ap podem estar relacionadas ao aporte da matéria orgânica que interfere no comportamento físico do solo sob efeito da agregação e consistência do solo, na distribuição do tamanho de poros e na redução da densidade (BRAIDA *et al.*, 2011).

Os baixos valores de macroporosidade demonstraram que essa propriedade possivelmente sofreu maior influência da prática de pecuária semi-intensiva. Sob estes aspectos, Lanzasova *et al.* (2007) afirmam que o manejo de pastagem causou alterações na distribuição do diâmetro de poros, principalmente reduzindo a macroporosidade. Segundo Castilho (2004, p.65), a macroporosidade pode ser reduzida, principalmente em profundidade, em função das “reduções nos teores de matéria orgânica, o incremento na quantidade de argila e nas modificações da estrutura do solo” (CASTILHO, 2004, p.65).

#### 4.5.2.1.3 Características hídricas

Os valores de condutividade hidráulica saturada ao longo da topossequência estão descritos na Tabela 72. Nas Figuras 75 e 76 é possível relacionar os dados de permeabilidade com as Kfs.

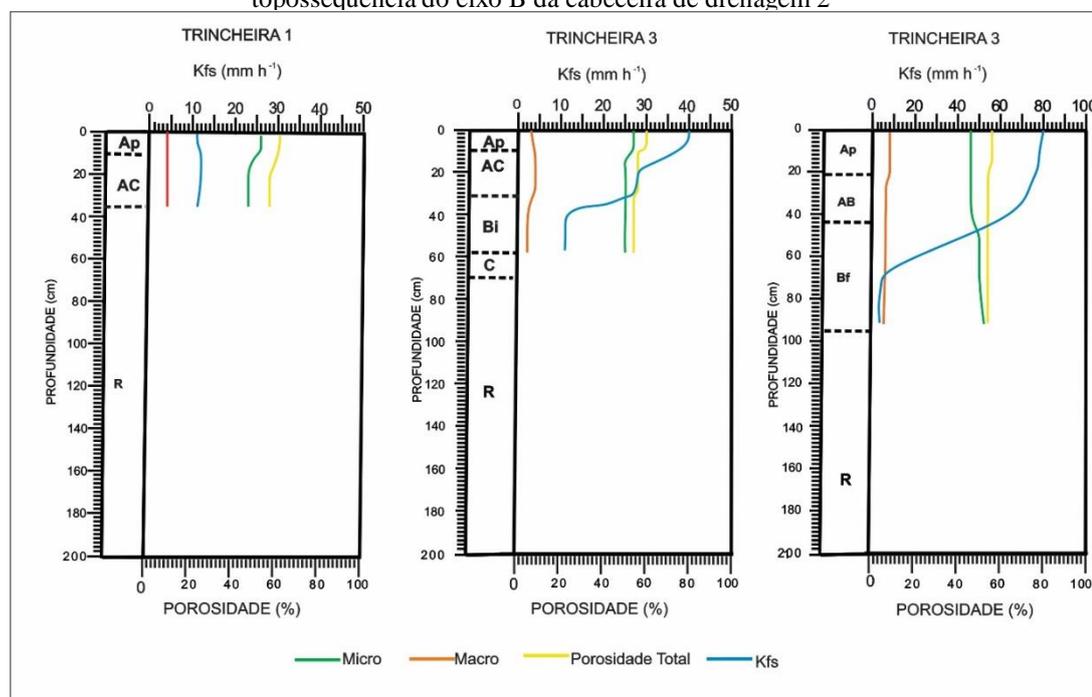
Tabela 72 - Condutividade hidráulica saturada (Kfs) do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2

Horizontes	Prof.(cm)	Kfs (mm/h <sup>-1</sup> )	CV (%)	Classes de permeabilidade (mm/h <sup>-1</sup> )
<b>EIXO B - TR1- NEOSSOLO LITÓLICO</b>				
Ap	0-11	11,68	65,46	Lenta
AC	11-35	12,15	100,34	Lenta
<b>EIXO B - TR2- CHERNOSSOLO</b>				
Ap	0-10	40,05	43,30	Lenta a Moderada
AC	10-31	27,48	0	Lenta a moderada
Bi	31-59	11,24	88,19	Lenta
<b>EIXO B - TR3- PLINTOSSOLO</b>				
Ap	0-22	80,11	33,07	Moderada
AB	22-43	37,47	0	Lenta a moderada
B f	43-95	3,12	0	Muito lenta

Kfs – Condutividade hidráulica saturada; CV- Coeficiente de variação para média de três leituras

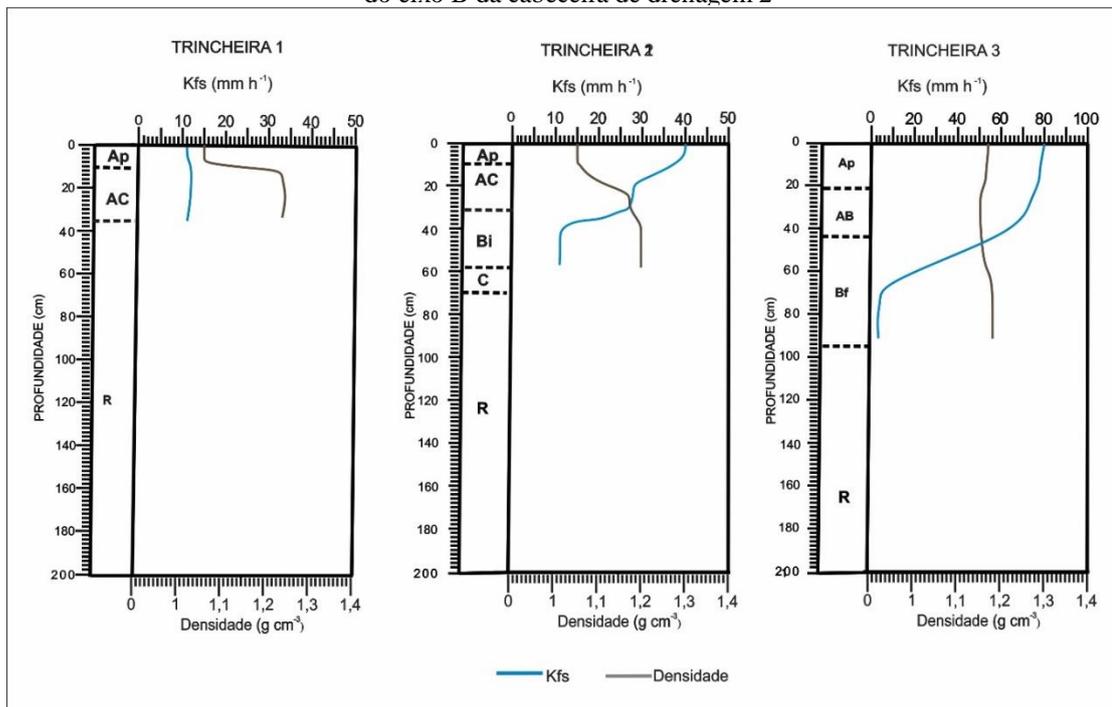
Fonte: \* Classificação proposta por Beutler *et al.* (2001), adaptada do *Soil Survey Staff*.

Figura 75 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a porosidade dos perfis de solos da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Figura 76 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a densidade dos perfis de solos da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2



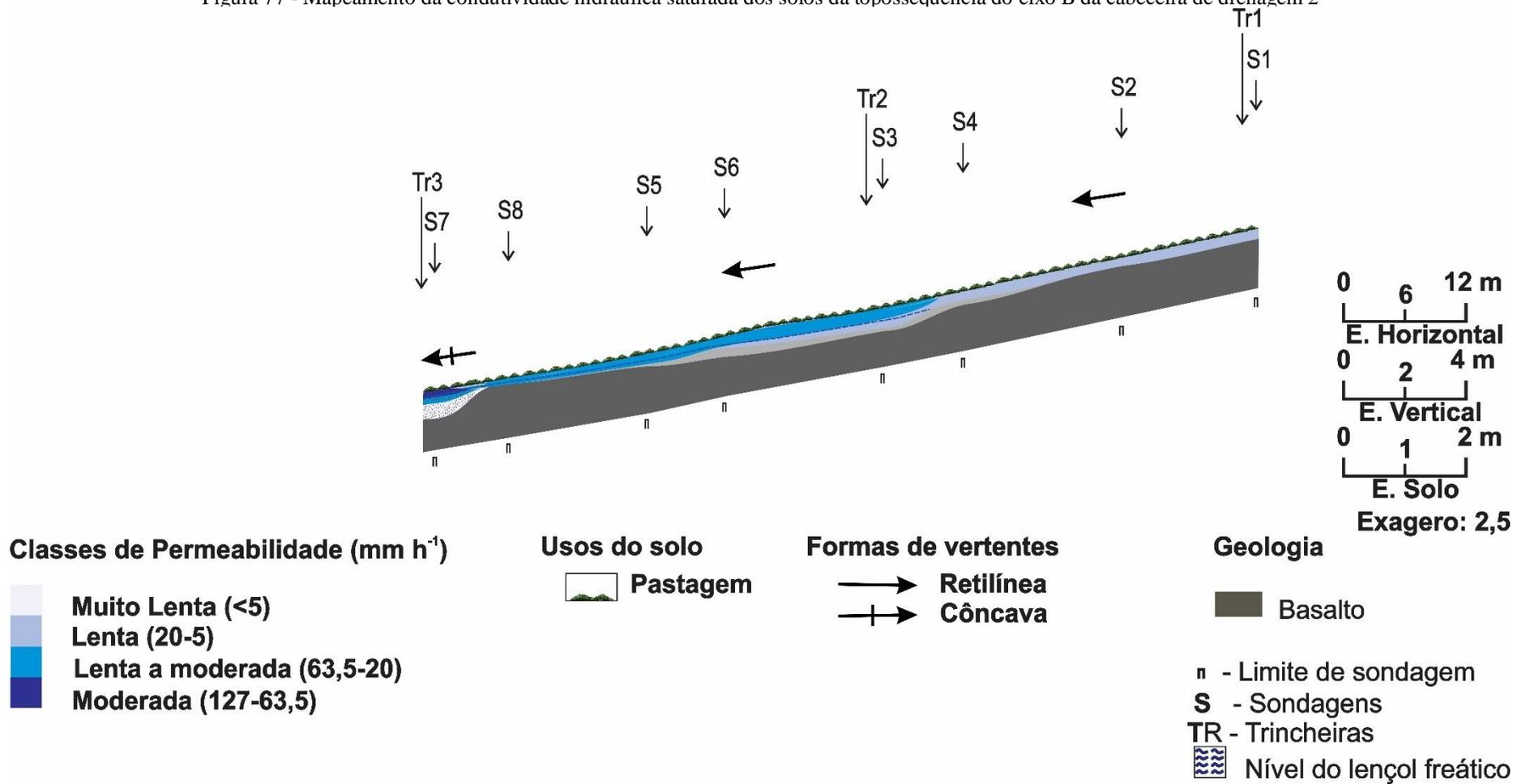
Elaboração: A autora (2021).

Os dados de condutividade hidráulica indicam uma circulação predominantemente muito lenta, lenta e de lenta a moderada ao longo da topossequência, conforme mostra a Figura 77. No setor alto, na cobertura do Neossolo Litólico (TR1), houve um aumento 4,02 % das Kfs do horizonte Ap (11,68 mm/h<sup>-1</sup>) para o horizonte AC (12,15 mm/h<sup>-1</sup>), sendo que ambos foram classificados com permeabilidade lenta (20 a 5 mm/h<sup>-1</sup>). Esse resultado pode estar associado aos valores de macroporosidade encontrados, nos quais também ocorreu um pequeno aumento (8,21 %) em profundidade de 8,28 % para o horizonte Ap, e 8,96 % para o horizonte AC (Figura 77)

No Chernossolo (TR2) houve redução da permeabilidade em profundidade, variando de lenta a moderada com valor de 40,05 mm/h<sup>-1</sup> no horizonte Ap e para lenta no horizonte Bi, expressando valor de 11,24 mm/h<sup>-1</sup>. Esses resultados corroboram com a redução da macroporosidade em 30,22 % e com o aumento da densidade em 14,28 % no perfil desta cobertura.

Na cobertura do Plintossolo (TR3) também houve redução das Kfs em profundidade, cujo valor foi de 80,11 mm/h<sup>-1</sup> no horizonte Ap, configurando uma permeabilidade moderada. O horizonte AB apresentou Kfs de lentas a moderadas (de 37,47 mm/h<sup>-1</sup>), e o horizonte B plíntico teve as Kfs muito lentas de 3,12 mm/h<sup>-1</sup>. Esses resultados justificam-se pela redução da macroporosidade em profundidade (40,45 %), além do incremento da fração argila.

Figura 77 - Mapeamento da condutividade hidráulica saturada dos solos da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Nota-se ainda, que o horizonte Ap da cobertura plintossólica apresentou o maior valor de Kfs dentre os horizontes analisados da topossequência, assim como a maior macroporosidade.

Lateralmente, pode-se observar que ocorre o aumento da permeabilidade em direção ao setor baixo da topossequência no horizonte superficial (Ap). Conforme os resultados, averigua-se que a permeabilidade apresentou um aumento substancial quando analisado o horizonte Ap, acompanhando o aumento de 12,56 % da macroporosidade do setor alto em direção ao setor baixo da topossequência. A relação da macroporosidade com a permeabilidade do solo também foi observado por Mesquita (2001) e Ferreira (2008).

Em relação ao coeficiente de variação (CV), representado na Tabela 72, os resultados obtidos foram muito distintos, com valores variando entre 0 e 100,34 %. A menor variabilidade dos dados foi obtida na cobertura do Plintossolo (entre 0 e 33,7 %) e a maior na cobertura do Neossolo Litólico (65,46 e 100,34 %). A variabilidade dos dados de Kfs é justificado por Scherpinski *et al.* (2010) e Abreu *et al.* (2003) em função das características físicas e morfológicas dos solos.

#### 4.5.2.1.4 Estabilidade de agregados

Os valores sintetizados por meio do cálculo do DMPa relacionados à distribuição dos agregados do solo podem ser visualizados na Tabela 73.

De modo geral, comparando a distribuição das classes dos agregados por tamanho entre os horizontes, observa-se uma maior concentração na classe de 8 a 4 mm na topossequência, com exceção dos horizontes Ap (36,3%) e AC (33,3 %) da TR2. O maior valor foi encontrado no horizonte Bi com 64,2 %. O horizonte Ap da TR2 apresentou a maior retenção nas classes entre 2 e 1 mm, 1 e 0,50 mm, 0,50 e 0,25 mm e abaixo de 0,25 mm, com valores de 15,5 %, 4,8 %, 1,80 % e 0,4 % respectivamente. Em contrapartida, o horizonte Bi teve a menor retenção nas classes 4 e 2 mm, 2 e 1 mm, 1 e 0,50 mm, 0,50 e 0,25 mm, com percentuais de 29,0 %, 5,6 %, 1,0 % e 0,2 %, respectivamente.

Na Tabela 74 estão apresentados os parâmetros que podem influenciar e explicar a distribuição do tamanho dos agregados para a obtenção do DMPa, e a Figura 78 demonstra a organização espacial do DMPa da topossequência do eixo B da cabeceira 2. Examinou-se que os agregados estáveis de maior diâmetro foram encontrados em maior proporção em profundidade.

Tabela 73 - Distribuição das classes de agregados dos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2

Hor.	Classes de Agregados (mm)						DMPa (mm)
	8-4	4-2	2-1	1-0,50	0,50-0,25	0,25-0,00	
							%
<b>EIXO B – TR1 - NEOSSOLO LITÓLICO</b>							
Ap	41,9	40,6	12,2	4,28	1,22	0,23	2,5
AC	53,9	34,9	8,2	1,8	0,4	0,1	3,19
R	-	-	-	-	-	-	-
<b>EIXO B - TR2 - CHERNOSSOLO</b>							
Ap	36,3	40,7	15,5	4,8	1,8	0,4	2,26
AC	33,3	47,5	14,5	4,2	1,1	0,3	2,40
Bi	64,2	29,0	5,6	1,0	0,2	0,1	3,75
C	-	-	-	-	-	-	-
R	-	-	-	-	-	-	-
<b>EIXO B – TR3 - PLINTOSSOLO</b>							
Ap	52,4	35,2	8,8	1,9	0,4	0,1	3,22
AB	58,3	29,7	9,4	2,2	0,5	0,1	3,23
B f	57,6	31,4	8,6	2,2	0,5	0,1	3,33
R	-	-	-	-	-	-	-

DMPa- diâmetro médio ponderado dos agregados

Elaboração: A autora (2021).

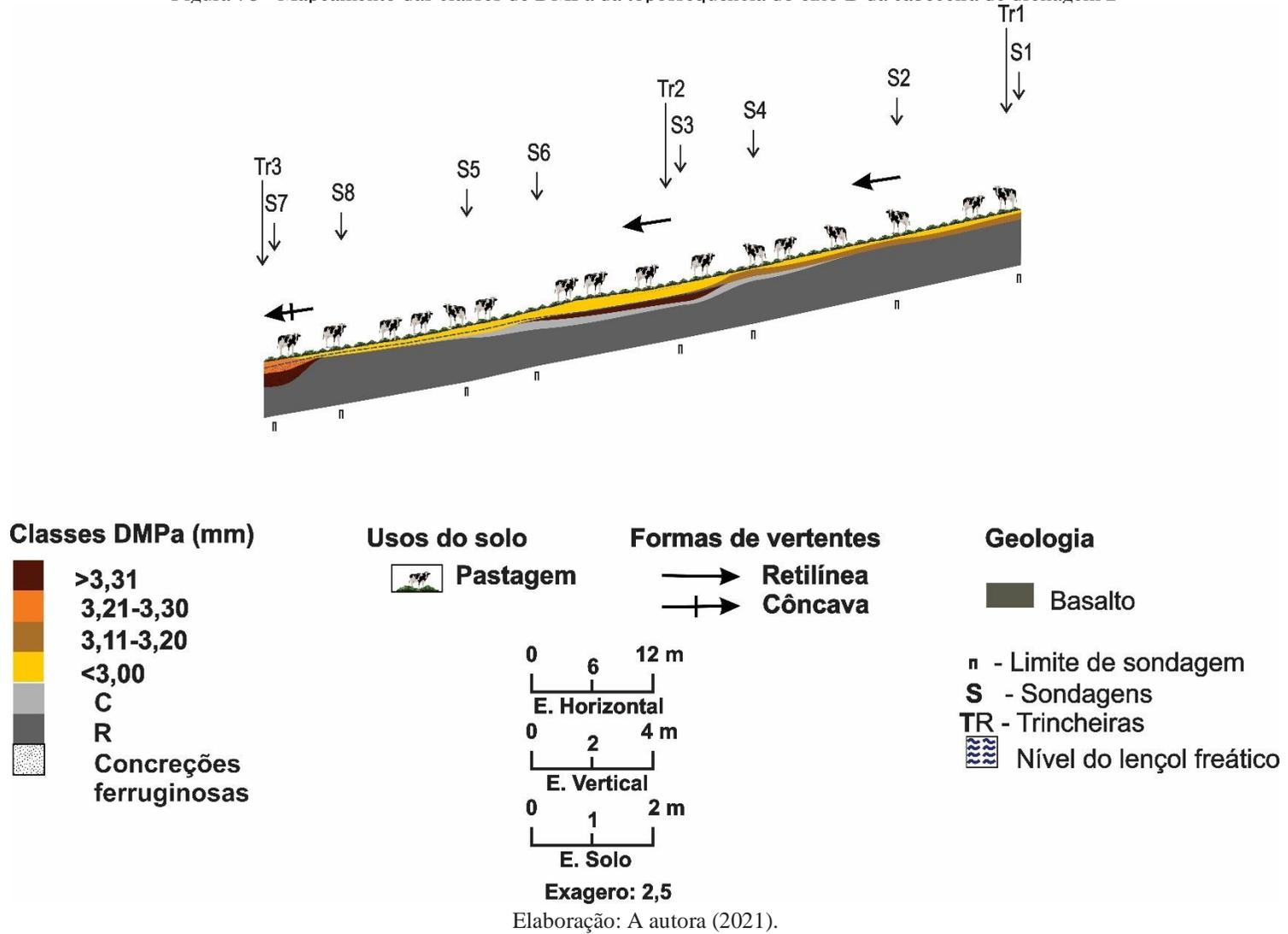
Tabela 74 - Correlação do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa) com o carbono orgânico (CO), grau de floculação (GF), argila total (AT) e óxidos do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2

Horizontes	Prof.(cm)	DMPa (mm)	Argila (g.kg <sup>-1</sup> )	CO (g.kg <sup>-1</sup> )	GF (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>EIXO B - TR1- NEOSSOLO LITÓLICO</b>							
Ap	0-11	2,55	267	16	50	246	136
AC	11-35	3,19	269	37	26	196	100
Correlação (DMPa)			1	1	-1	-1	-1
<b>EIXO B - TR2- CHERNOSSOLO</b>							
Ap	0-10	2,26	395	19	67	205	111
AC	10-31	2,40	394	38	54	205	117
Bi	31-59	3,75	423	19	26	210	126
Correlação (DMPa)			0,993	-0,424	-0,973	0,996	0,948
<b>EIXO B - TR3 -PLINTOSSOLO</b>							
Ap	0-22	3,27	425	26	31	222	152
AB	22-43	3,23	547	10	23	249	130
B f	43-95	3,33	653	10	35	239	168
Correlação (DMPa)			0,563	-0,114	0,953	-0,257	0,9788

DMPa- diâmetro médio ponderado de agregados; CO- carbono orgânico; GF- grau de floculação da argila; AT -argila total

Elaboração: A autora (2021).

Figura 78 - Mapeamento das classes de DMPa da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2



Na cobertura do Neossolo Litólico, no setor de topo (TR1), o valor de DMPa encontrado para os horizontes foi de 2,5 mm no Ap e 3,19 mm no AC. Por meio dos dados da Tabela 74, verifica-se que na cobertura do Neossolo Litólico (TR1), o DMPa acompanhou o aumento da argila de 267 g.kg<sup>-1</sup> para 269 g.kg<sup>-1</sup> e também do CO de 16 g.kg<sup>-1</sup> para 37 g.kg<sup>-1</sup>, nos horizontes Ap e AC respectivamente. No Chernossolo (TR2), os valores de DMPa foram maiores no horizonte Bi com 3,75 mm, em sequência o horizonte AC apresentando 2,40 mm e por último o horizonte Ap com 2,26 mm (Tabela 45 e Figura 78).

Estima-se que no horizonte Bi, a maior participação de 64,2 % foi das classes de agregados entre 8 e 4 mm para a formação do DMPa, como já mencionado. Já os horizontes Ap e AC obtiveram maior participação das classes entre 4 e 2 mm, com 40,7 % e 47,5 %, respectivamente. Esse resultado de aumento do DMPa em profundidade no Chernossolo (TR2) coincidiu com o aumento da fração argila, indicando a importância de participação dessa fração na estabilidade do solo, além da modificação da organização estrutural do horizonte Bi ser em blocos em relação aos horizontes Ap e AC, que apresentaram estrutura granular. Outro fator que pode ter influenciado nos resultados de DMPa na cobertura do Chernossolo foram os óxidos de ferro e de alumínio que passaram de 205 g.kg<sup>-1</sup> e 111 g.kg<sup>-1</sup> em superfície, para 210 e 126 g.kg<sup>-1</sup> em subsuperfície, respectivamente (Tabela 74).

No que se refere à distribuição dos agregados na cobertura do Plintossolo (TR3), todos os horizontes apresentaram percentual superior nas classes entre 4mm e 8mm, apresentando valores de 52,4 % no horizonte Ap, 58,3 % no horizonte AB e 57,6% no horizonte B plíntico. O DMPa foi de 3,22 mm no horizonte Ap, 3,23 mm no horizonte AB e 3,33 mm no horizonte B plíntico.

Nesse perfil de Plintossolo (TR3), o aumento no diâmetro dos agregados pode estar relacionado ao acréscimo de argila, que foi de 425 g.kg<sup>-1</sup> em superfície, para 653 g.kg<sup>-1</sup> em profundidade (Tabela 74 e Figura 78). Houve ainda uma mudança na organização estrutural em termos de tamanho, grau e tipo dos horizontes. O horizonte Ap difere-se por apresentar estrutura de grau moderado, tamanho médio e tipo granular, enquanto nos horizontes AB e B plíntico a estrutura é moderada a forte, de tamanho médio a grande e tipo em blocos. A correlação positiva com os óxidos de alumínio (0,9788), evidenciada na Tabela 74, também aponta a participação desse elemento na agregação do solo. Segundo Reichert *et al.* (1993), os óxidos de alumínio formam interestratificações com minerais de argila e agem como material cimentantes, agregando as partículas do solo.

De modo geral, observa-se que dentre as propriedades avaliadas em relação a correlação com o DMPa, os teores de argila estabeleceram correlação positiva em todas as

coberturas pedológicas da topossequência. Esse resultado concorda com autores Castro Filho *et al* (1998); Dufranc (2004); Villa e França Júnior (2017) e Salton *et al.* (2008) que correlacionam a contribuição dos teores de argila com a agregação do solo.

#### 4.5.2.2 Caracterização química

Os resultados do pH em água (Tabela 75) dos solos estudados ao longo da topossequência, variaram dentro da faixa de 6,0 a 6,5, indicando reação moderadamente ácida (EMBRAPA,2018). Houve tendência de redução da acidez do pH em água em subsuperfície na cobertura do Neossolo Litólico (TR1) e no Chernossolo (TR2) e aumento da acidez em profundidade no Plintossolo (TR3). O pH em KCl apresentou valores menores em relação ao pH em água, oscilando de 4,7 a 5,3 resultando em  $\Delta$ pH negativo, sugerindo o predomínio de carga negativa na superfície das partículas (MEURER, 2010)

Tabela 75 - Potencial hidrogeniônico (pH) do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2

Horizontes	Prof.	pH KCl	pH H <sub>2</sub> O	$\Delta$ pH	Classes pH
ERIXO A - TR1-NEOSSOLO LITÓLICO					
Ap	0-11	5,1	6,0	-0,9	Moderadamente ácido
AC	11-35	5,3	6,3	-1	Moderadamente ácido
R	35+				-
EIXO A- TR2- CHERNOSSOLO					
Ap	0-10	5,3	6,2	-0,9	Moderadamente ácido
AC	10-31	4,7	6,0	-1,3	Moderadamente ácido
Bi	31-59	5	6,3	-1,3	Moderadamente ácido
C	59-70	-	-	-	
R	70+	-	-	-	
EIXO A- TR3- PLINTOSSOLO					
Ap	0-22	5,1	6,5	-1,4	Moderadamente ácido
AB	22-43	4,7	6,0	-1,3	Moderadamente ácido
B plíntico	43-95	5	6,3	-1,3	Moderadamente ácido
R	95+	-	-	-	

Elaboração: A autora (2021).

Os cátions básicos dominantes foram o Ca<sup>2+</sup> e o Mg<sup>2+</sup> (Tabela 76). Os valores de Ca<sup>2+</sup> variaram de 31,0 (AC) a 31,7 (Ap) cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> na cobertura do Neossolo (TR1); de 26,3 (Ap) a 33,8 (AC) cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no Chernossolo (TR2) e de 17,9 (Bf) a 40 (Ap) cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no Plintossolo (TR3). Já os valores de Mg<sup>2+</sup> oscilaram de 8,6 (Ap) a 12,7 (AC) cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no Neossolo Litólico (TR1), 9,4 (Ap) a 11,8 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> (AC) no Chernossolo (TR2) e de 14,2 (Ap) a 7,7 (Bf) cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no Plintossolo (TR3).

Tabela 76 - Características químicas dos perfis de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2

Hor.	Prof. (cm)	H <sup>+</sup> Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SB	CTC	ATA	MO	V
		Cmol <sub>c</sub> / kg <sup>-1</sup>							(%)		
EIXO B – TR1-NEOSSOLO LITÓLICO											
Ap	0-11	4,8	0,1	31,7	8,6	0,26	40,56	45,36	169,88	2,7	89,42
AC-	11-35	5,0	0,1	31,0	12,7	3,63	47,33	52,33	194,53	6,5	90,45
R	35+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EIXO B- TR2- CHERNOSSOLO											
Ap	0-10	3,9	0,1	26,3	9,4	2,06	37,76	41,66	105,46	3,3	90,64
AC	10-31	8,6	0,1	33,8	11,8	1,2	46,8	55,4	140,60	6,5	84,48
Bi	31-59	4,9	0,1	32,4	11,0	6,6	50	54,9	129,78	3,2	91,07
C	59-70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R	70+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EIXO B – TR3 – PLINTOSSOLO											
Ap	0-22	3,6	0,1	40	14,2	2,7	56,9	60,5	110,60	4,5	94,05
AB	22-43	7,0	0,1	23,2	8,7	5,5	37,4	44,4	68,20	1,7	84,23
B f	43-95	4,9	0,1	17,9	7,7	2,3	27,9	32,8	48,66	1,8	85,06
R	95+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação de bases; ATA = atividade da argila

Elaboração: A autora (2021).

Portanto, dentre os cátions básicos trocáveis,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , o cálcio foi o principal contribuinte para a soma de bases trocáveis (SB), seguido pelo magnésio. A predominância desses dois elementos confirma a influência do material de origem constituído de minerais ferromagnesianos como também foi observado em Neossolos Litólicos e Chernossolos em áreas de basalto por Fontana (2021).

Os teores de potássio variaram de 0,26 (horizonte Ap da TR1) a 6,6  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  (horizonte Bi da TR2) ao longo da topossequência e foi o que expressou os menores valores dentre os cátions, indicando sua solubilização preferencial. O teor de alumínio não ultrapassou 1,0  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  de solo em todos os horizontes. Teores baixos de alumínio provenientes de basalto foram caracterizados por autores como Magalhães (2013) e Rocha (2016). A solubilidade do alumínio no solo é influenciada por vários fatores, incluindo o pH, o tipo de argila predominante, a concentração de sais na solução e o teor de matéria orgânica do solo (Silva, 1997). A redução da taxa de crescimento radicular de plantas sensíveis tem sido considerado o principal efeito de níveis tóxicos de alumínio que afeta o alongamento e a divisão celular (FERREIRA *et al.* 2006).

Em relação a acidez potencial ( $\text{H}^+ \text{Al}^{+3}$ ), sua variação foi de 4,8 (Ap) a 5,0 (AC)  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  de solo na TR1, de 3,9 (Ap) a 8,6  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  (AC) na TR2, e 3,6 (Ap) a 7,0  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  (AB) na TR3, nos quais predominou o hidrogênio extraível.

No Neossolo Litólico descrito na TR1, a CTC foi de 45,36  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte Ap para 52,33  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte AC. Já no Chernossolo (TR2), os valores passaram de 41,66 para 55,4 e 54,9  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  nos horizontes Ap, AC e Bi, respectivamente. No Plintossolo (TR3), os valores foram de 60,5  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte Ap para 44,4  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte AB e reduziram para 32,8  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  no horizonte B plíntico. Os valores de CTC dessa topossequência possivelmente estão relacionados à classe textural do solo e ao teor de matéria orgânica.

Todos os horizontes apresentaram saturação por bases (V%) maior que 50 %, caracterizando-os como solos eutróficos, sendo de 84,23 % no horizonte AB a 94,05 % no horizonte Ap, ambos do Plintossolo (TR3). Além disso, a atividade da fração argila foi classificada como alta (maior que 27  $\text{cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ) influenciado pelos valores altos de CTC encontrados ao longo da topossequência.

Os valores de matéria orgânica variaram entre 1,7 (horizonte Ap da TR3) e 6,5 % (horizonte AC da TR2), sendo mais representativos nos horizontes de transição na TR1 e TR2 ao longo da topossequência. Constatação semelhante foi averiguada por Silva (2018), em um Luvisolo Crômico Pálico Cambissólico no horizonte da BA. Segundo o autor, a bioturbação

promovida por organismos tende a homogeneizar as primeiras camadas do solo e favorecer a translocação de matéria orgânica. Tognon *et al.* (1998) explicam que as gramíneas são mais homogêneas e apresentam sistema radicular fasciculado que penetram em profundidade, criando condições de maior acúmulo de matéria orgânica.

Os resultados de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  obtidos por extrações de ataque sulfúrico da terra fina seca ao ar (TFSA) estão apresentados na Tabela 77. Observa-se o predomínio dos óxidos de ferro seguido dos óxidos de alumínio. Os valores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  variaram de  $100 \text{ g.kg}^{-1}$  (AC da TR1) a  $168 \text{ g.kg}^{-1}$  (B plíntico da TR3) ao longo da topossequência, enquanto os valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  foram de  $196 \text{ g.kg}^{-1}$  (AC da TR1) a  $249 \text{ g.kg}^{-1}$  (AB da TR3), sendo, portanto, evidenciado o alto teor de óxidos de ferro (de  $180 \text{ g.kg}^{-1}$  a  $< 360 \text{ g.kg}^{-1}$ ) de acordo com a EMBRAPA (2018). Os valores relativamente superiores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  devem estar associados à natureza do material de origem, relativo à Formação Serra Geral. Os teores de  $\text{TiO}_2$  tiveram seu valor mais expressivo no horizonte AB do Plintossolo, sendo de  $107 \text{ g.kg}^{-1}$  e a menor quantidade no horizonte AC do Neossolo sendo de  $71 \text{ g.kg}^{-1}$ .

Tabela 77 - Valores de óxidos de ferro, alumínio e titânio do perfil de solo da topossequência do eixo B da cabeceira de drenagem 2

Horizontes	Prof. (cm)	$\text{g.kg}^{-1}$		
		$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
<b>EIXO B -TR1-NEOSSOLO LITÓLICO</b>				
Ap	0-11	136	96	246
AC	11-35	100	71	196
R	35+			
<b>EIXO B- TR2 – CHERNOSSOLO</b>				
Ap	0-10	111	70	205
AC	10-31	117	84	205
Bi	31-59	126	83	210
C	59-70			
R	70+			
<b>EIXO B- TR3- PLINTOSSOLO</b>				
Ap	0-22	152	80	222
AB	22-43	130	107	249
B f	43-95	168	83	239
R	95+			

Elaboração: A autora (2021).

#### 4.5.2.3 Classificação do solo

Pode-se observar que todos os perfis foram classificados conforme os parâmetros estabelecidos pela EMBRAPA (2018). O perfil descrito na TR1, no primeiro nível categórico (ordem), foi classificado como Neossolo. Quanto ao segundo nível categórico (subordem), o

perfil da TR1, por satisfazer o critério de contato lítico inferior a 50cm da superfície do solo, foi classificado como Litólico. O terceiro nível categórico (grande grupo) foi determinado por preencher os requisitos de A chernozêmico, sendo assim denominado chernossólico. No quarto nível categórico (subgrupo), o perfil da TR1 foi classificado como típico em virtude da rocha sã estar a menos de 50 cm da superfície.

O perfil da TR2 foi classificado como Chernossolo no primeiro nível categórico (ordem), por satisfazer os critérios de horizonte A chernozêmico. Quanto ao segundo nível categórico (subordem), o perfil foi classificado como Háplico, pois não se enquadrou nas classes de Rêndzico, Ebânico ou Argilúvico. No terceiro nível categórico (grande grupo), foi considerado o teor de  $F_eO_3$  maior que  $180 \text{ g.kg}^{-1}$  constituindo o caráter férrico. No quarto nível categórico (subgrupo), o perfil da TR2 foi classificado como típico por não possuir características que preencham os requisitos para outras classes.

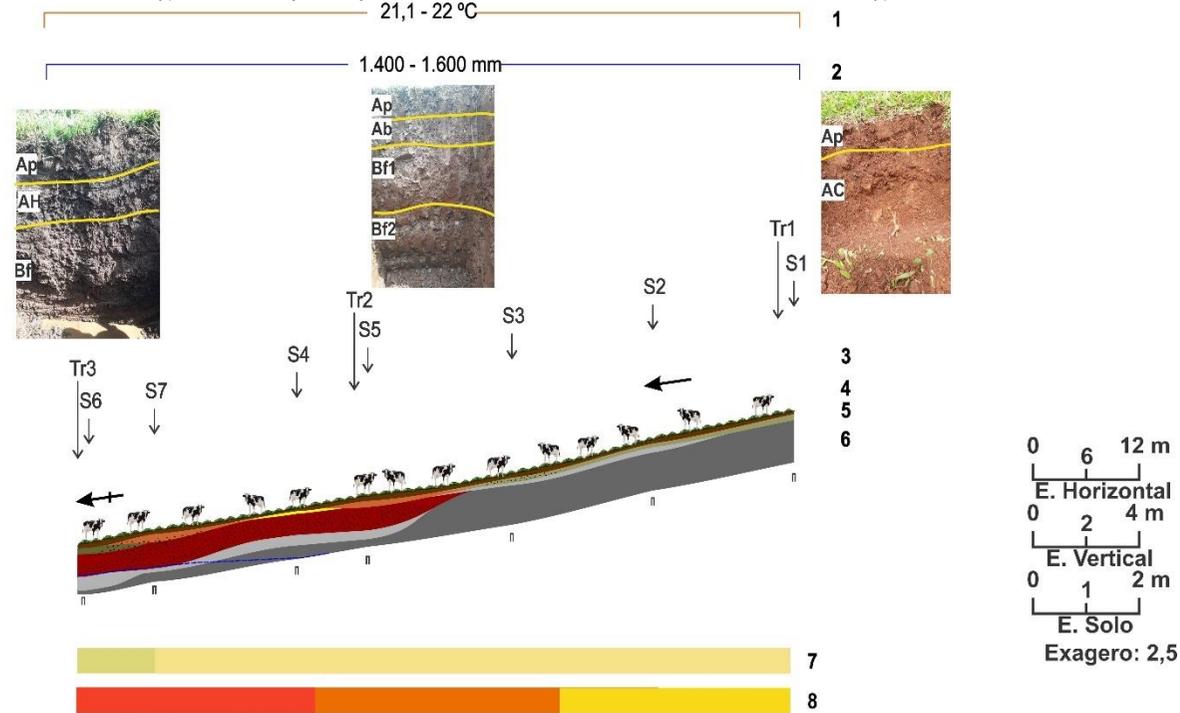
No setor baixo da topossequência, o perfil da TR3 foi classificado no primeiro nível categórico (ordem) como Plintossolo apresentando horizonte plíntico, com mais de 15% de plintita, dentro de 200cm de profundidade. Para o segundo nível categórico foram classificados como Háplico por não se enquadrar nas classes de Pétrico e Argilúvico. No terceiro nível categórico (grande grupo), o perfil da TR3 se apresentou com saturação por bases  $\geq 50 \%$  na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte, sendo portanto, de caráter eutrófico. No quarto nível categórico (subgrupo), o perfil da TR2 foi classificado como leptofragmentário, pois apresentou contato lítico fragmentário a uma profundidade maior que 50 cm e menor ou igual a 100 cm a partir da superfície do solo. Assim, a classificação dos perfis de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solo SiBCS (EMBRAPA, 2018), foi:

- Perfil 1 (TR1): NEOSSOLO LITÓLICO Chernossólico típico, textura siltosa, fase floresta semidecidual.
- Perfil 2 (TR2): CHERNOSSOLO HÁPLICO Férrico típico, textura argilosa, fase floresta semidecidual.
- Perfil 3 (TR3): PLINTOSSOLO HÁPLICO Eutrófico leptofragmentário, textura muito argilosa, fase floresta semidecidual.

#### 4.5.3 A Topossequência de solos do eixo C

Na Figura 79 pode ser visualizada a topossequência de solos do eixo C da cabeceira de drenagem 2.

Figura 79 - Topossequência de solos do eixo C da cabeceira de drenagem 2



- 1 - Temperatura média do ar**
- 2 - Precipitação média anual**
- 3 - Formas de vertentes**
  - Retilínea
  - +→ Côncava
- 4 - Usos do solo**
  - Pastagem

- 5 - Horizontes dos Solos**
  - Ap
  - AB
  - AC
  - Ab
  - AH
  - Bf
  - C
  - R
  - Concreções ferruginosas

- 6 - Geologia**
  - Basalto
- 7 - Declividades (%)**
  - 11-12
  - 10-11
- ▭ - Limite de sondagem
- ~ - Nível do lençol freático
- S - Sondagens
- Tr - Trincheiras

- 8 - Setores da Topossequência**
  - Alto
  - Médio
  - Baixo

Elaboração: A autora (2021).

A topossequência denominada de eixo C está localizada entre as coordenadas 7409590, 541 m de latitude Sul e 425231,056 m de longitude Oeste (setor alto), e 7409533,188 m latitude Sul e 4209533,188 m longitude Oeste (setor baixo), sendo utilizada para a pastagem com a prática da pecuária semi-intensiva. A topossequência do eixo C (Figura 79) estendeu-se por 78 metros de extensão e apresentou 7 metros de desnível topográfico, conferindo uma forma retilínea nos setores de topo, além de médio e suavemente côncava na porção baixa em toda sua extensão.

Nessa topossequência foram realizadas sete sondagens, nas quais pôde-se encontrar os horizontes Ap, AB, Ab, AH, AC, Bf, C e R. Para a descrição morfológica dos horizontes foram abertas três trincheiras ao longo da topossequência que está sintetizada na Tabela 78.

O horizonte Ap se desenvolve ao longo de toda a topossequência sendo que no setor alto (TR1) apresenta 9 cm de espessura, aumentando gradativamente para 20 cm, e tornando a reduzir para 12 cm no setor médio da topossequência (TR2). No setor baixo da topossequência Ap voltou a se espessar, apresentando 17 cm (TR3). Na TR1, o horizonte Ap exibe coloração bruno-avermelhada-escura (2,5YR3/4) e vermelha-escura-acinzentada (2,5YR3/2) no setor médio da topossequência (TR2). O setor baixo da topossequência apresenta cor vermelha-escura-acinzentada (2,5YR2,5/2). As características texturais do horizonte Ap modificam-se de acordo com a posição da topossequência. A textura do horizonte Ap no setor de topo (TR1) é siltosa, associada à cobertura do Neossolo Litólico, passando gradativamente a argilosa em direção aos setores médio (TR2) e baixo (TR3) da topossequência, conforme ocorre o espessamento da cobertura pedológica e sua transição para o Plintossolo.

A condição estrutural do horizonte Ap é de grau forte a moderado na TR1 e forte na TR2 e TR3, e tipo granular ao longo da topossequência do eixo C. Em relação ao tamanho da estrutura, é de pequeno a médio (TR1 e TR2), passando ao tamanho médio no setor baixo da topossequência (TR3). A consistência manteve-se do setor alto até a jusante, sendo macia quando seca, friável quando úmida, plástica e pegajosa quando molhada. Foi observado no horizonte Ap muitas raízes, de características muito finas, finas e médias e fasciculadas. Em profundidade, a transição do horizonte Ap para o horizonte AC (TR1) ocorre de forma ondulada e nitidez clara e para os horizontes Ab (TR2) e AH (TR3) é gradual e plana.

O horizonte de transição AC ocorre no setor alto (TR1) expressando 24 cm de espessura, com 15 a 20 cm de espessura entre os setores de topo e médio da topossequência. O horizonte AC exibiu cor vermelha-escura (2,5YR3/6) e textura siltosa.

Tabela 78 - Descrição morfológica dos perfis de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2

(Continua)

HORIZONTES (cm)	COR	TEXTURA	ESTRUTURA	CONSISTÊNCIA	TRANSIÇÃO	RAÍZES	OBSERVAÇÕES
EIXO C - TR1 - NEOSSOLO LITÓLICO							
Ap (0-9)	2,5YR 3/4	Siltosa	Grau: forte a moderado Tamanho: pequena a média Tipo: Granular	Seca: macia Úmida: friável Molhada: plástica e pegajosa	clara ondulada	Muitas finas	Presença de muitos fragmentos semialterados e resistentes de basalto
AC (9-33)	2,5YR 3/6	Siltosa	Grau: fraca a moderada Tamanho: Pequena a média Tipo: Granular	Seca: macia Úmida: friável a muito friável Molhada: plástica e pegajosa	-	finas	
R (33+)	-	-	-	-	-	-	
EIXO C - TR2 - PLINTOSSOLO							
Ap (0-12)	2,5YR3/2	Argilosa	Grau: forte Tamanho: pequena a média Tipo: granular	Seca: macia Úmida: friável Molhada: plástica e pegajosa	plana gradual	Muito finas e finas e abundantes	
Ab (12-23)	2,5YR3/4	Argilosa	Grau: moderada Tamanho: pequena a média Tipo: blocos angulares e subangulares	Seca: ligeiramente dura Úmida: firme Molhada: plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa	ondulada clara	Abundantes médias e finas; poucas muito finas	
Bf 1 (23-47)	2,5 YR 3/4 a 3/6	Muito Argilosa	Grau: forte Tamanho: grande Tipo: blocos angulares e prismáticos	Seca: ligeiramente dura Úmida: firme Molhada: muito plástica e muito pegajosa	plana difusa	Raízes moderadas e finas	Cerosidade fraca e comum/ concreções ferruginosas/ plintitas/ manchas e mosqueados

							(Conclusão)
HORIZONTES (CM)	COR	TEXTURA	ESTRUTURA	CONSISTÊNCIA	TRANSIÇÃO	RAÍZES	
Bf 2 (47-105)	10YR 3/3	Muito argilosa	Grau: forte Tamanho: grande Tipo: blocos angulares e prismáticos	Seca: ligeiramente dura Úmida: firme Molhada: muito plástica e muito pegajosa	plana gradual	Poucas raízes	Cerosidade forte abundante/ maior quantidade de concreções/ plintitas
C (105-147)	5YR 5/8	-	-	-	plana gradual	-	
R (147 +)	-	-	-	-	-	-	
EIXO C - TR3 - PLINTOSSOLO							
Ap (0-17)	2,5YR 2,5/2	Argilosa	Grau: forte Tamanho: média Tipo: granular	Seca: macia Úmida: friável Molhada: plástica e pegajosa	plana gradual	Muitas finas e fasciculadas	
AH (17-41)	10YR2/1	Argilosa	Grau: moderado Tamanho: pequena á média Tipo: blocos angulares e subangulares	Seca: ligeiramente duro Úmida: firme Molhada: muito plástica e muito pegajosa	ondulada clara	Abundantes, médias e finas e poucas muito finas	
Bf (41-130)	10YR3/4	Muito argilosa	Grau: forte Tamanho: média Tipo: blocos angulares passando a prismáticos	Seca: dura/firme Úmida: friável Molhada: muito plástica e muito pegajosa	Plana clara	finas e médias	Cerosidade fraca e comum/ manchas (10 YR3/1)/ concreções ferruginosas/ plintitas
C (130-165)					Plana clara		Fragmentos pequenos e alterados
R (165+)	-	-	-	-	-	-	

Elaboração: A autora (2021).

A estrutura do horizonte AC é de resistência fraca a moderada, de tamanho pequeno a médio e do tipo granular. A consistência é macia quando seca, friável a muito friável quando úmida, plástica e pegajosa quando molhada. Foram observadas a presença de muitos fragmentos semialterados e resistentes de basalto (Figura 80).

Figura 80 - Fragmentos de rocha do horizonte AC (TR1) da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2



Fonte: A autora (2021).

Lateralmente, o horizonte AC transiciona para o horizonte Ab (entre as sondagens 3 e 5) no setor médio da topossequência. O horizonte Ab apresentou 11cm de espessura e sua coloração é bruno-avermelhada-escura (2,5YR3/4), de textura argilosa. A estrutura é de grau moderado, tamanho de pequeno a médio e tipo de blocos angulares a subangulares. Sua consistência é ligeiramente dura quando seca, firme quando úmida, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa quando molhada. Foi observado quantidade abundante de raízes de tamanho médio e fino, e poucas raízes muito finas. Apresenta presença aparente de fragmentos de rochas.

Em profundidade, o horizonte Ab transiciona para o horizonte B plíntico de forma ondulada e com nitidez clara. O horizonte Bf se desenvolve nos setores médio (TR2) e baixo da topossequência (TR3). Na TR2, o horizonte Bf foi subdividido em B plíntico 1 e 2, devido à diferença de coloração e cerosidade. A transição do B plíntico 1 para B plíntico 2 ocorre de forma difusa e com nitidez plana tendo 24 e 58 cm de espessura, respectivamente.

No setor médio (TR2), a coloração no B plíntico 1 é bruno-avermelhada-escura a vermelho-escura (2,5YR3/4 a 2,5YR3/6) e bruno-escuro (10YR3/3) no B plíntico 2. A estrutura é de grau forte, apresentado tamanho grande com blocos angulares e prismáticos (TR2). Na TR2, no B plíntico 1 e 2, a consistência é ligeiramente dura quando seca, firme quando úmida, muito plástica e muito pegajosa quando molhada. Foram observadas

quantidade moderada de raízes finas e médias no Bf 1 e poucas raízes muito finas no Bf 2 (TR2). A transição do horizonte Bf2 para o horizonte C é plana e gradual.

O horizonte de transição AH foi observado no setor baixo da topossequência (TR3) com espessura de 33 cm, apresentando a coloração preta (10YR2/1) e a textura argilosa. Sua estrutura é caracterizada por grau moderado, pequena a média, blocos angulares e subangulares. A consistência é ligeiramente dura quando seca, firme quando úmida, muito plástica e muito pegajosa quando molhada. Foram observadas raízes abundantes médias e finas, bem como poucas muito finas. A transição para o horizonte Bf na TR3 é clara e ondulada.

Na TR3, o horizonte Bf se espessa para 89cm, apresentando a cor bruno-amarelada escura (10YR3/4) com manchas de matiz cinzento muito escuro (10YR3/1) e textura muito argilosa. No setor baixo da topossequência (TR3), a organização estrutural do Bf é de grau forte, tamanho médio e tipos de blocos angulares passando a prismáticos. A consistência quando molhada é muito plástica e muito pegajosa, quando seca é dura e firme e úmida é friável. Verificou-se superfícies reluzentes, representando a cerosidade fraca e comum no Bf1, forte e abundante no Bf2 da TR2, e fraca e comum na TR3, além de quantidade significativa de “plintitas igual ou superior a 15% por volume e espessura de pelo menos 15cm, suficiente para identificá-lo como de B plíntico” (EMBRAPA, 2018, p.85).

O horizonte C foi identificado na topossequência entre os setores alto e médio mais próximos a superfície, a partir de 20 a 35 cm, apresentando 20 cm de espessura adensando para 42cm, o qual foi encontrado em profundidade superior a 105 cm (TR2), caracterizado por coloração vermelho-amarelada (5YR5/8). Na TR3 o horizonte C está subjacente ao horizonte Bf a partir de 130 cm de profundidade, mostrando fragmentos de rochas pequenos e muito alterados.

O horizonte R no setor alto, foi identificado a partir de 33 cm de profundidade (TR1) e à medida em que transcorre a topossequência, no setor médio (TR2), passa a ser encontrado a partir de 147 cm até a jusante, na qual pode ser detectado a partir de 165 cm de profundidade.

A cobertura pedológica da topossequência do eixo C é constituída, portanto, de Neossolo Litólico no setor alto (TR1) e Plintossolo no setor médio (TR2) estendendo-se até o setor baixo da topossequência (TR3).

#### 4.5.3.1 Propriedades físicas e hídricas

##### 4.5.3.1.1 Granulometria e argila dispersa em água

Os resultados da análise granulométrica total da topossequência do eixo C está apresentada na Tabela 79. Os dados referentes à granulometria da fração total mostram que a fração grosseira (> 2 mm) aumenta em direção à rocha na cobertura litólica no setor do topo, e é reduzida na média e baixa vertente.

Tabela 79 - Proporção de frações grosseiras dos perfis de solo da topossequência de solos do eixo C da cabeceira de drenagem 2

Horizontes	prof. (cm)	Frações grosseiras (g.kg <sup>-1</sup> )	Frações Finas (g.kg <sup>-1</sup> )
<b>EIXO C – TR1- NEOSSOLO LITÓLICO</b>			
Ap	0-9	320	680
AC	9-33	581	419
R	-	-	-
<b>EIXO C-TR2 - PLINTOSSOLO</b>			
Ap	0-12	213	787
Ab	12-23	211	789
Bf 1	23-47	330	670
Bf 2	47-105	310	690
C	105-147	-	-
R	147+	-	-
<b>EIXO C-TR3-PLINTOSSOLO</b>			
Ap	0-17	296	704
AH	17-41	291	709
Bf	41-130	241	759
C	130-165	-	-
R	165+	-	-

Frações grosseiras - fragmentos grosseiros com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões)

Frações finas - frações menores que 2 mm (areia, silte e argila)

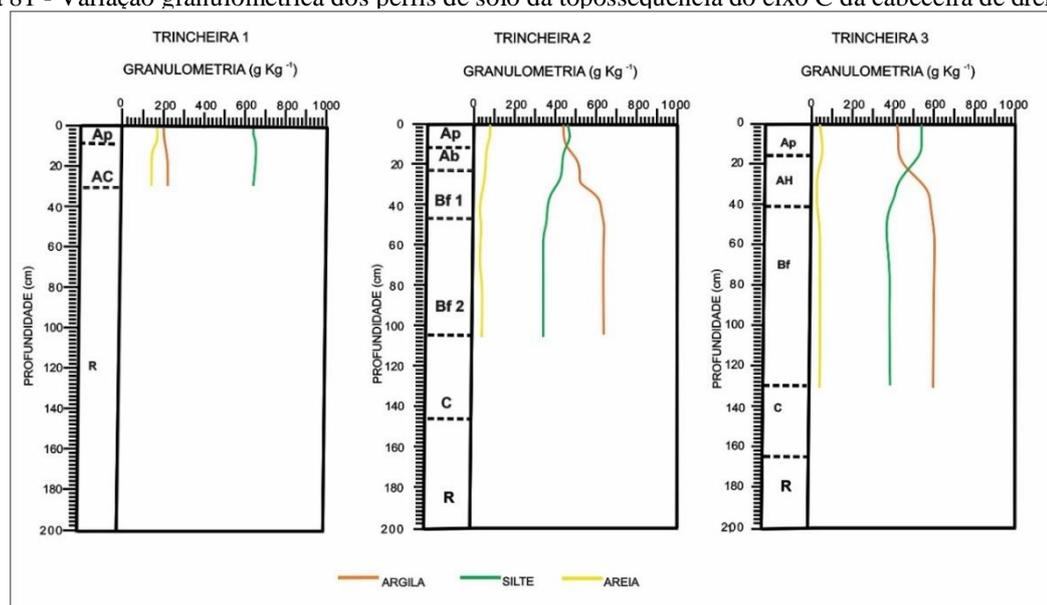
Elaboração: A autora (2021).

O horizonte Ab (TR2) apresentou a menor proporção de frações grosseiras com um total 211 g.kg<sup>-1</sup>, e a maior proporção foi encontrada no horizonte AC (TR1) com 581 g.kg<sup>-1</sup>. Percebe-se também que a contribuição dos fragmentos grosseiros foi maior na TR1 em decorrência da proximidade com o material parental e a presença de fragmentos em processo de intemperização. Supõe-se que a quantidade de plintitas encontradas na TR2 e TR3 tenham corroborado para os resultados de frações grosseiras nos horizontes Bf. Resultado semelhante foi verificado por Santos *et al.* (2002) que atribuiu diferenças marcantes quanto às frações grosseiras em três perfis de solo, sendo em dois perfis de Argissolo Amarelo e um de Planossolo, na bacia hidrográfica do médio São Francisco em Petrolina, Pernambuco,

verificando que as quantidades de cascalhos são constituídas especialmente por nódulos concrecionários de ferro.

Na Figura 81 e Tabela 80 constam os dados referentes a granulometria da TFSA da topossequência de solos do eixo C da cabeceira de drenagem 2.

Figura 81 - Variação granulométrica dos perfis de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Tabela 80 - Características granulométricas dos perfis de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2

Prof. (cm)	Hor.	Argila (g.kg <sup>-1</sup> )	Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	Areia (g.kg <sup>-1</sup> )	Textura	Silte/argila	GD (%)	GF (%)	ADA (g.kg <sup>-1</sup> )
<b>EIXO C – TR1- NEOSSOLO LITÓLICO</b>									
0-9	Ap	200	634	166	Siltosa	3,17	66,5	33,5	133
9-33	AC	206	647	147	Siltosa	3,14	83,0	17,0	171
33+	R	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>EIXO C-TR2 - PLINTOSSOLO</b>									
0-12	Ap	431	479	90	Argilosa	1,11	48,5	51,5	209
12-23	Ab	512	418	70	Argilosa	0,81	73,2	26,8	375
23-47	B f 1	609	370	52	Muito Argilosa	0,60	73,1	26,9	445
47-105	B f 2	611	337	21	Muito Argilosa	0,55	69,1	30,9	422
105-147	C	-	-	-	-	-	-	-	-
147+	R	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>EIXO C-TR3- PLINTOSSOLO</b>									
0-17	Ap	432	542	26	Argilosa	1,25	60,2	39,8	260
17-41	AH	585	404	11	Argilosa	0,69	68,4	31,6	400
41-130	Bf	600	380	20	Muito Argilosa	0,63	70	30	420
130-165	C	-	-	-	-	-	-	-	-
165+	R	-	-	-	-	-	-	-	-

GD - grau de dispersão da argila; GF- grau de floculação da argila; ADA- argila dispersa em água

Elaboração: A autora (2021).

Em relação aos teores das frações finas de argila (Figura 81 e Tabela 80), o perfil descrito no setor de topo (TR1) apresentou os valores mais baixos, de 200 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap e 206 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte AC. A fração silte foi predominantemente aumentando em profundidade, variando de 634 g.kg<sup>-1</sup> a 647 g.kg<sup>-1</sup>. Em contrapartida, houve decréscimo na fração areia de 166 g.kg<sup>-1</sup> para 147 g.kg<sup>-1</sup>.

No Plintossolo da TR2, verificou-se um aumento da argila em profundidade, variando de 431 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap para 611 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte B plíntico 2. O aumento do teor de argila em profundidade resultou em uma redução simultânea do teor do silte, com variação de 479 (Ap) para 337 g.kg<sup>-1</sup> (B plíntico 2), e do teor de areia de 90 para 21 g.kg<sup>-1</sup> (Figura 81 e Tabela 80).

Na TR3, onde foi identificado outro perfil de Plintossolo, o comportamento granulométrico foi semelhante a TR2 em que verificou um aumento da argila em profundidade, variando de 432 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap, para 600 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte B plíntico, paralelamente, houve a redução do silte de 542 para 380 g.kg<sup>-1</sup>.

A fração areia apresentou o maior valor no horizonte superficial (26 g.kg<sup>-1</sup>). Resultados similares foram descritos por Moura (2015) em Plintossolos, em que a quantidade de argila variou de 390 a acima de 700 g.kg<sup>-1</sup> nos horizontes plínticos (Figura 81 e Tabela 80).

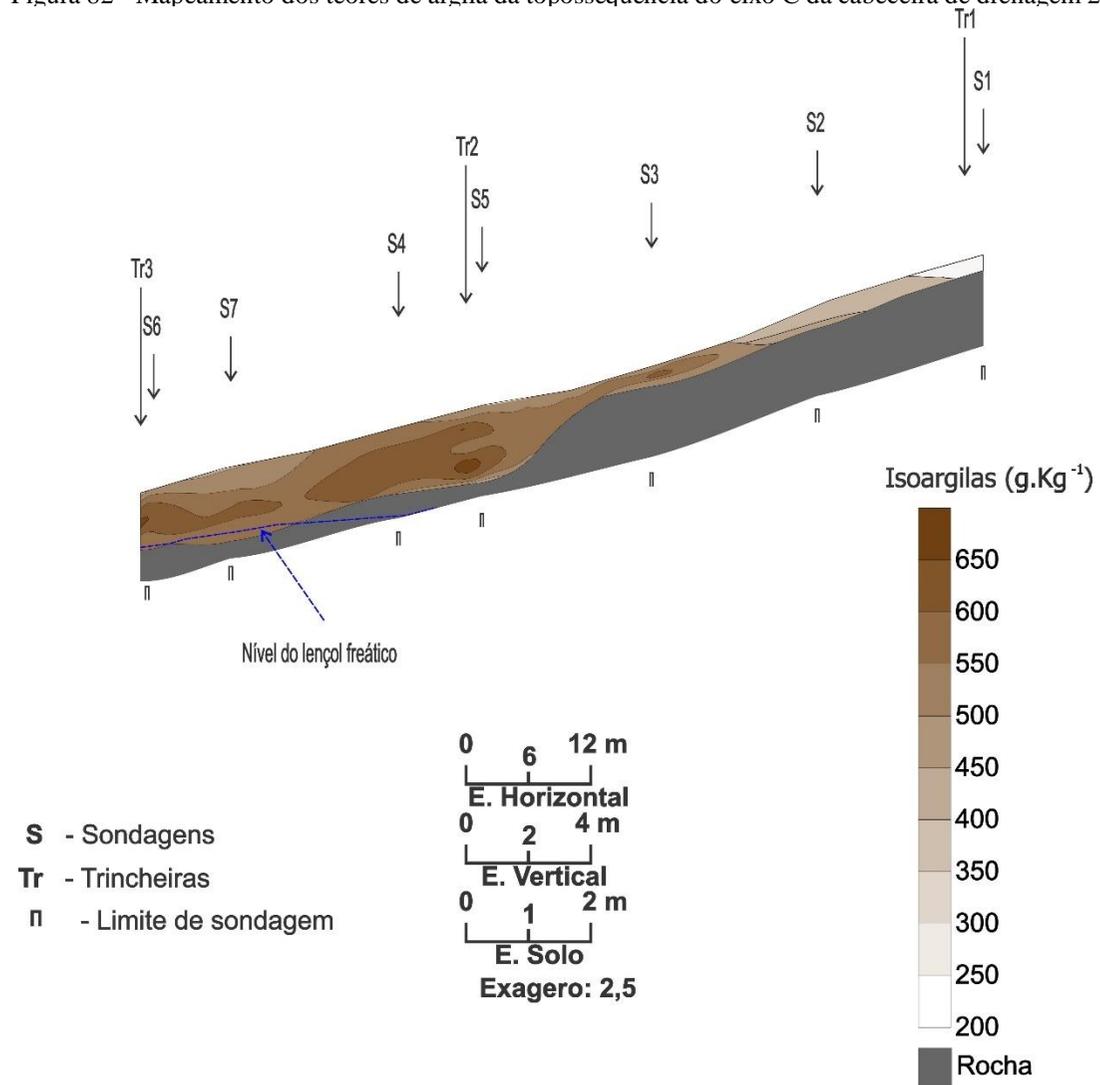
Na Figura 82, está apresentado os isovalores da fração argila na topossequência demonstrando que os valores oscilaram de 200 a > 650 g.kg<sup>-1</sup>. Os dados mostram que os resultados mais baixos ocorrem no setor de topo associados à cobertura do Neossolo Litólico, variando entre 200 e 300 g.kg<sup>-1</sup>. Em direção ao setor médio (sondagem 2), os teores de argila aumentam lateralmente de 400 g.kg<sup>-1</sup> a 450 g.kg<sup>-1</sup> em superfície, e em profundidade de 550 g.kg<sup>-1</sup> a 650g.kg<sup>-1</sup> marcando a transição para a cobertura do Plintossolo e mantendo-se até a jusante.

De modo geral, os valores aumentam de modo gradual do topo em direção à jusante, acompanhando o espessamento da cobertura pedológica para o Plintossolo.

A partir dos resultados da granulometria fina (Tabela 80) pode-se efetuar a classificação textural dos horizontes de acordo com a EMBRAPA (2018). Desse modo, os horizontes Ap e AC (TR1) foram classificados como siltosos, os horizontes Ap, Ab (TR2), Ap e AH (TR3) foram classificados como de textura argilosa, e os horizontes B plíntico 1 e 2 (TR2) e B plíntico (TR3) são texturalmente muito argilosos.

Os resultados granulométricos das frações finas também influenciaram diretamente os valores da relação silte/argila utilizados como referência para avaliação do estágio de intemperismo dos solos (Tabela 80).

Figura 82 - Mapeamento dos teores de argila da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021)

Considerando todos os valores encontrados na topossequência, houve variação de 0,55 (B plíntico 2 da TR2) a 3,17 (Ap da TR1) (expressando o baixo grau de desenvolvimento no setor de topo na TR1, e estágio mais avançado de intemperização nos setores médio (TR2) e baixo (TR3).

Com relação ao grau de flocculação da argila apresentados na Tabela 80, verifica-se que os valores foram reduzidos com 17 % no AC da TR1 a 51,5 % no Ap da TR2. Os valores de flocculação encontrados nos horizontes superficiais possivelmente têm a influência da matéria orgânica. Paralelamente, tem-se a predominância do grau de dispersão chegando a 83 % no horizonte AC da TR1.

#### 4.5.3.1.2 Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total

Os dados de densidade do solo (Ds), de macroporosidade (Ma), de microporosidade (Mi) e de porosidade total (Pt) dos horizontes, encontrados ao longo da topossequência do eixo C constam na Tabela 81.

Tabela 81 - Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) dos perfis de solos da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2

Horizontes	Prof.(cm)	Mi (%)	Ma (%)	Pt (%)	Ds (g.cm <sup>-3</sup> )	Proporção da porosidade (%)	
						Mi	Ma
<b>EIXO C - TR1- NEOSSOLO LITÓLICO</b>							
Ap	0-9	50,97	11,11	62,07	1,08	82,1	17,8
AC	9-33	39,84	15,88	55,71	1,19	71,5	28,4
R	33 +	-	-	-	-	-	-
<b>EIXO C - TR2 – PLINTOSSOLO</b>							
Ap	0-12	54,11	5,27	59,38	1,09	91,12	8,88
Ab	12-23	48,91	6,77	55,68	1,24	87,84	12,16
Bf 1	23-47	44,96	8,90	53,86	1,20	83,47	16,53
Bf 2	47-105	48,31	6,29	54,60	1,19	88,49	11,51
C	105-147	-	-	-	-	-	-
R	147+	-	-	-	-	-	-
<b>EIXO C - TR3 – PLINTOSSOLO</b>							
Ap	0-17	63,84	5,82	69,66	0,90	91,64	8,36
AH	17-41	61,05	4,04	65,09	1,00	93,79	6,21
Bf	41-130	54,52	4,70	59,22	1,17	92,07	7,93
C	130-165	-	-	-	-	-	-
R	165+	-	-	-	-	-	-

Ds – Densidade do solo; Ma – macroporosidade; Mi – microporosidade; Pt – porosidade total

Elaboração: A autora (2021).

Na cobertura litólica (TR1), os valores variaram de 1,08 g.cm<sup>-3</sup> no horizonte Ap a 1,19 g.cm<sup>-3</sup> no horizonte AC. Korchagin (2014), no município de Pinto Bandeira, região Serrana do

Rio Grande do Sul, em um perfil de Neossolo Regolítico, também verificou aumento da densidade em profundidade. O autor encontrou valores de Ds em superfície (0-10 cm) de 1,12 e 1,17 g.cm<sup>-3</sup> para o solo sob videira e mata, aumentando para 1,29 e 1,28 g.cm<sup>-3</sup> (0-50 cm), respectivamente, e associou o resultado ao uso e aos teores de argila.

Na cobertura do Plintossolo (TR2), o horizonte Ap apresentou densidade de 1,09 g.cm<sup>-3</sup> e, no horizonte Ab foi obtido o valor de 1,24 g.cm<sup>-3</sup>. Nos horizontes B plíntico 1 e 2, os valores foram de 1,20 g.cm<sup>-3</sup> e 1,19 g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente.

Na cobertura do Plintossolo (TR3), por sua vez, no horizonte Ap, a densidade foi de 0,90 g.cm<sup>-3</sup>, o horizonte subsuperficial de transição AH, apresentou 1,0 g.cm<sup>-3</sup> para o horizonte Bf a densidade foi 1,17 g.cm<sup>-3</sup>. O horizonte superficial Ap apresenta valores de densidade inferiores aos demais. Esse resultado pode ter sido influenciado pelo fato de a superfície receber maior aporte de matéria orgânica derivada da pastagem e maior teor de silte, conforme sugere Broch (2016).

Os resultados estão próximos aos valores mensurados por Moura (2015), que encontrou valores de densidade do solo que variaram de 1,1 a 1,5 g.cm<sup>-3</sup>, denotando um pequeno aumento da densidade nos horizontes plínticos. Klein *et al.* (2014), na Universidade Oeste de Santa Catarina, no município de São José do Cedro, quantificaram as propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho e encontraram valores médios superficiais de densidade de 1,05 mg m<sup>-3</sup>, aumentando em profundidade para 1,26 mg m<sup>-3</sup>. Para os autores, o provável acúmulo de matéria orgânica na camada superficial altera consideravelmente a densidade de sólidos do solo em função do seu baixo valor, por esse motivo elas não apresentaram indícios de compactação.

Em relação aos valores de macroporosidade, a cobertura do Neossolo Litólico (TR1), no setor de topo, o horizonte Ap apresentou os valores de 11,10 % aumentando para 15,88 % no horizonte AC. No perfil da TR2, a macroporosidade foi de 5,27 % no horizonte Ap, no Ab foi de 6,77 %, no B plíntico1 de 8,90% e no B plíntico2 foi de 6,29 %. Na TR3, a macroporosidade foi reduzida lateralmente e em profundidade, na qual o valor no Ap foi de 5,82 %, no horizonte AH foi de 4,04 % e para horizonte B plíntico foi obtido o valor de 4,70%.

Os valores de macroporosidade foram maiores no setor de topo, podendo ser decorrente das características granulométricas com maior quantidade de fragmentos de rocha encontrados em função do pouco desenvolvimento pedogenético do solo, conforme sugerido por Kaiser (2006). A macroporosidade reduziu em 47,61 % do setor de topo em direção à jusante, no horizonte Ap, sendo considerados abaixo do ideal segundo Erickson (1982) e Xu *et al* (1992), que preconizam o mínimo de 10 % de macroporosidade para a aeração do solo. Valores baixos

de macroporosidade podem estar relacionados com a atividade pecuária praticada na cabeceira (COLLARES, 2005; LANZANOVA, *et al* 2007).

Em relação à microporosidade para os horizontes da TR1 foram obtidos os valores de 50,97% no horizonte Ap e 39,84 % para o AC. No perfil de Plintossolo na TR2, a microporosidade foi de 54,11 % no Ap, 48,91 % para o horizonte Ab e para o horizonte Bf1 foi obtido o valor de 44,96 %, bem como o de 48,31% para o Bf 2. No setor baixo, no Plintossolo (TR3), a microporosidade exibiu valores de 63,84 % no Ap, 61,05 % para o horizonte AH, e o horizonte Bf apresentou o valor de 54,52 % de microporos.

Como mostram os dados da Tabela 81, proporcionalmente, nessa cobertura pedológica predomina a microporosidade, a qual representa entre 71,5 % no setor de topo no horizonte AC da TR1, e chegando, contudo, a 93,79 %, no horizonte Bf 1 na TR2. A porosidade textural é, portanto, dominante, favorecendo a retenção da água na topossequência.

No que se refere à porosidade total, no perfil da TR1, no horizonte Ap foi de 62,07 % e no horizonte de transição AC foi de 55,71 %. No Plintossolo na TR2, a porosidade total no horizonte Ap foi de 59,38 %, no Ab de 55,68 %, e no horizonte B plíntico foram obtidos os valores de 53,86 % (Bf 1) e 54,60 % (Bf 2). No setor da TR3, o Plintossolo apresentou valores de 69,66 %, 65,09 % e 59,22 %, para os horizontes Ap, AH, e Bf, respectivamente.

De modo geral, no horizonte Ap houve um aumento de 12,22 % do setor montante em direção à jusante da topossequência nos dados de porosidade total. A maior porosidade total no horizonte Ap pode ser atribuída à concentração de raízes que confere ao solo melhor agregação e estruturação. Assim, nota-se um comportamento inversamente proporcional quando comparado aos valores de densidade do solo e porosidade total nos diferentes setores ao longo da topossequência.

#### 4.5.3.1.3 Características hídricas

Os resultados para a condutividade hidráulica saturada (Kfs) podem ser visualizados na Tabela 82. Segundo os dados obtidos, a cobertura do Neossolo Litólico apresentou permeabilidade lenta, sendo de 18,59mm/h<sup>-1</sup> no horizonte Ap e reduzindo para 13,35 mm/h<sup>-1</sup> no horizonte AC. Percebe-se que as Kfs reduziram em profundidade explicada pela redução da porosidade total e do aumento da densidade. As Kfs tiveram uma redução de 28,18 % e a porosidade total de 10,24 % no perfil, em contrapartida, a densidade aumentou 10,18%. Pedron *et al.* (2011) evidenciaram menor infiltração de água em perfis de Neossolos Litólicos com contato lítico próximo da superfície (0,70 e 0,25 cm h<sup>-1</sup>) e sem fraturamento aparente.

Tabela 82 - Condutividade hidráulica saturada (Kfs) do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2

Horizontes	Prof.(cm)	Kfs (mm/h <sup>-1</sup> )	CV (%)	Classes de Permeabilidade (mm/h <sup>-1</sup> )
<b>EIXO C- TR1 – NEOSSOLO LITÓLICO</b>				
Ap	0-9	18,59	42,80	lenta
AC	9-33	13,35	43,30	lenta
R	33 +	-	-	-
<b>EIXO C - TR2 – PLINTOSSOLO</b>				
Ap	0-12	74,95	0	moderada
Ab	12-23	59,96	53,03	Lenta a moderada
B f 1	23-47	14,99	0	lenta
Bf 2	47-105	7,50	0	Muito lenta
C	105-147	-	-	-
R	147+	-	-	-
<b>EIXO C -TR3 – PLINTOSSOLO</b>				
Ap	0-17	62,46	186,67	Lenta a moderada
AH	17-41	7,50	0	Lenta
Bf	41-130	1,25	0	Muito Lenta
C	130-165	-	-	-
R	165+	-	-	-

Kfs – condutividade hidráulica saturada; CV- coeficiente de variação para média de três leituras

Fonte: \* Classificação proposta por Beutler *et al.* (2001), adaptada do *Soil Survey Staff*.

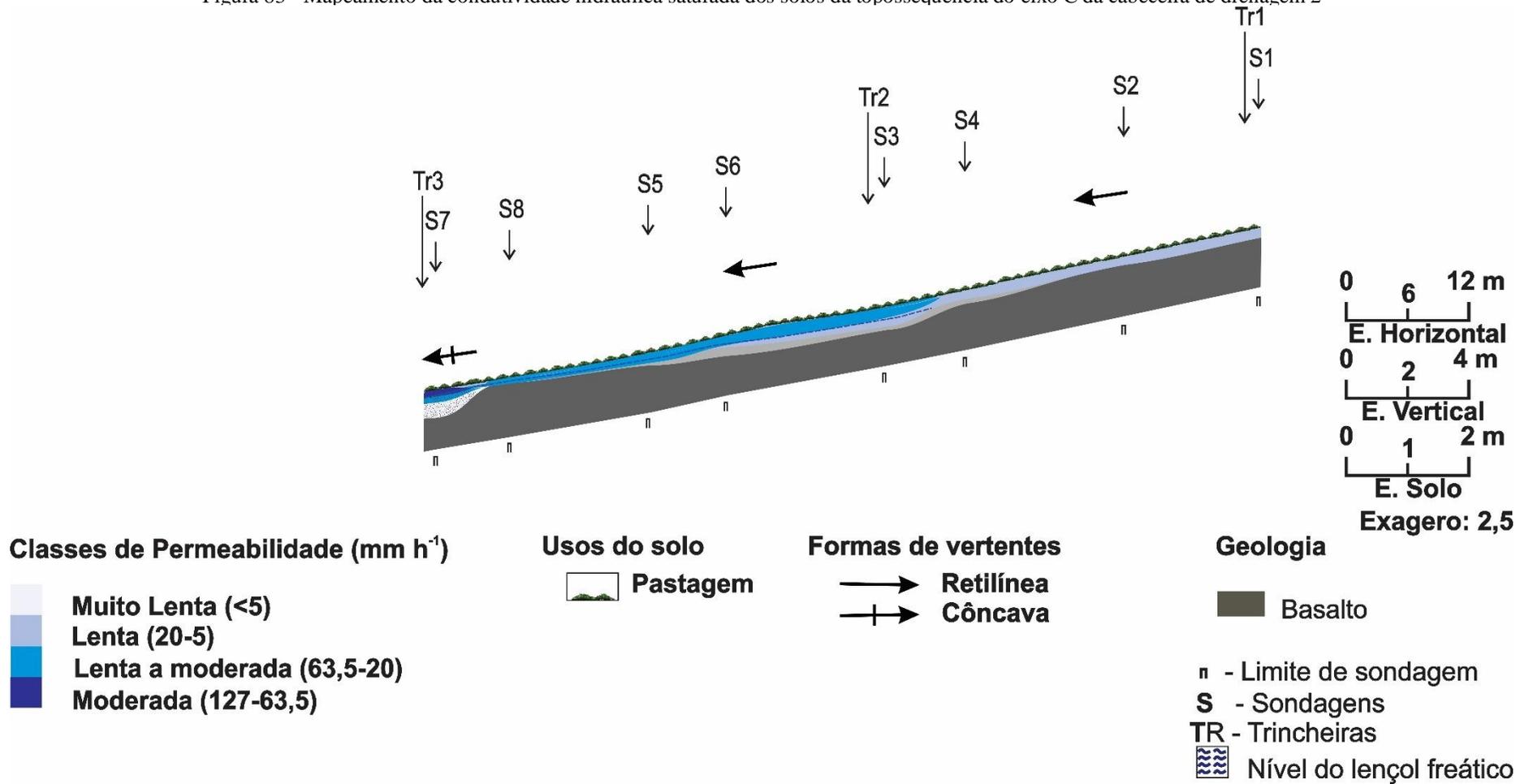
O comportamento da circulação hídrica da topossequência do eixo C está disposto nas Figuras 83, 84 e 85. Em direção ao setor médio, a permeabilidade aumenta lateralmente em superfície e reduz em subsuperfície até o setor baixo da topossequência.

No setor médio (TR2), houve redução em profundidade com valores de 74,95 mm/h<sup>-1</sup> no horizonte Ap, passando a 7,50 mm/h<sup>-1</sup> no horizonte B plíntico, variando entre as classes de permeabilidade moderada a muito lenta, respectivamente. Neste setor médio (TR2), observa-se que os valores de Kfs foram acompanhados pela porosidade total, enquanto com a densidade ocorreu o inverso. Esse resultado demonstra a influência da textura do solo nas Kfs, principalmente da fração argila que aumentou em profundidade na topossequência, enquanto as Kfs reduziram, concordando com Magalhães (2013) que indicou a retenção de água em solos argilosos com maior volume de microporos.

Na cobertura do Plintossolo da TR3, a permeabilidade continua reduzindo em profundidade, passando de 62,46 mm/h<sup>-1</sup> a 1,25 mm/h<sup>-1</sup> (Tabela 82), configurando a classificação de lenta a moderada para muito lenta. Neste setor os dados de Kfs reduziram de acordo com a macroporosidade e a porosidade total e foram inversamente proporcionais à densidade.

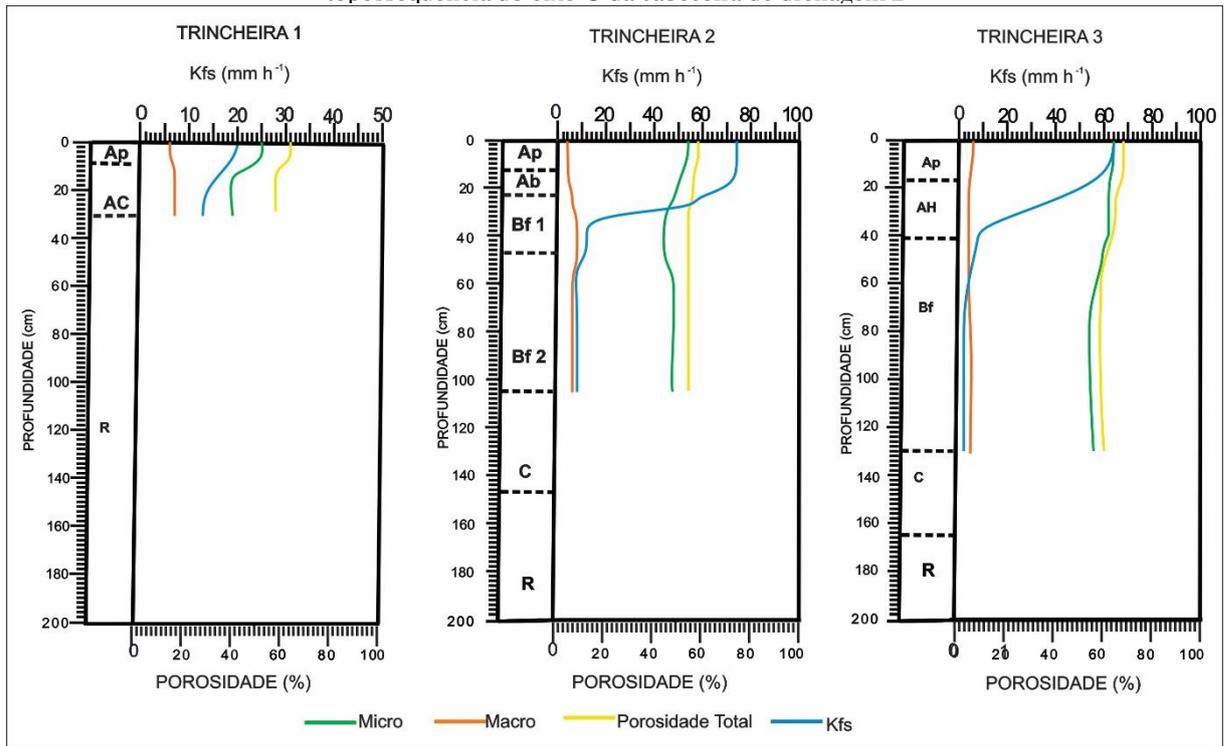
Tendo como referência o horizonte Ap, as Kfs tiveram um aumento substancial de 235,98 % do setor de topo (TR1) em direção à jusante (TR3), acompanhado pelo aumento da porosidade total de 12,22 % e da redução da densidade de 16,66 %.

Figura 83 - Mapeamento da condutividade hidráulica saturada dos solos da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2



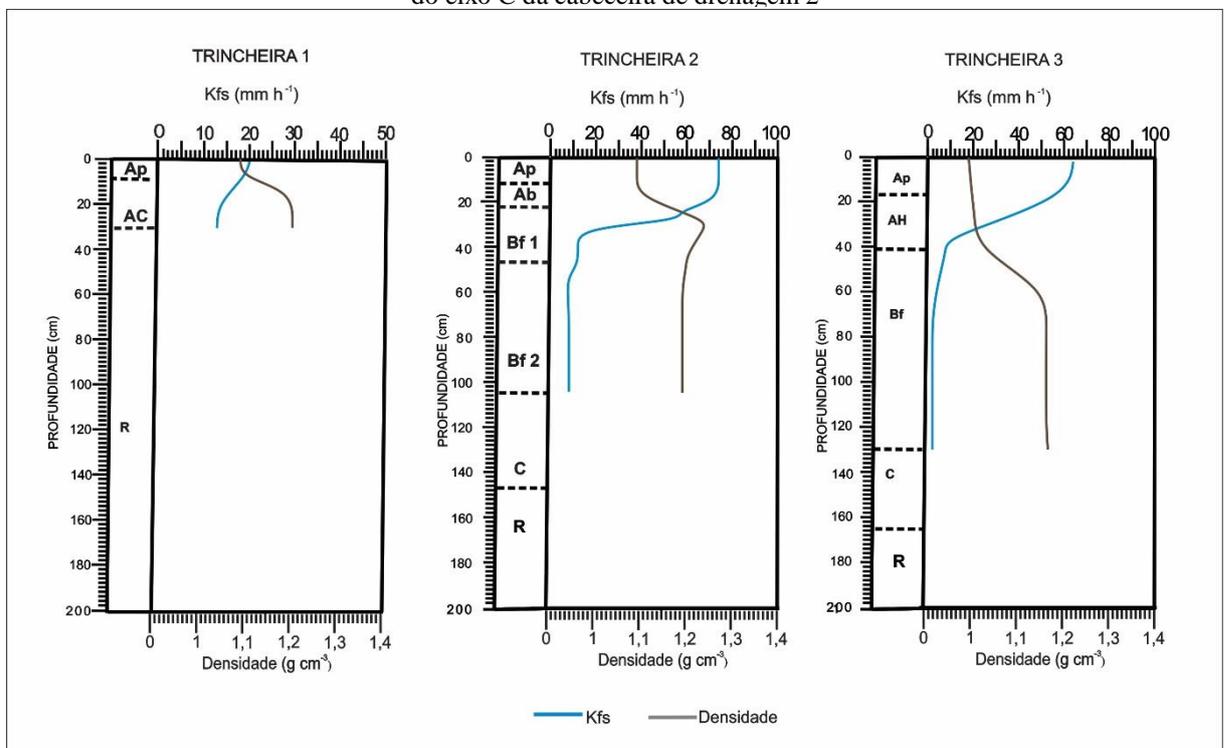
Elaboração: A autora (2021).

Figura 84 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a porosidade dos perfis de solos da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Figura 85 - Relação da condutividade hidráulica saturada com a densidade dos perfis de solos da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

De modo geral, nos setores médio e baixo, os resultados de Kfs apontam infiltração mais rápida em superfície (horizonte Ap) reduzindo para 89,99 % (TR2) e 97,99 % (TR3) em subsuperfície (horizonte Bf), possibilitando a formação de fluxos laterais suspensos no topo do horizonte Bf (TR2 e TR3), conforme observado durante a descrição morfológica dos perfis.

Os coeficientes de variação das leituras realizadas na topossequência do eixo C foram de 0 % nos horizontes Ap, Bf1, Bf2 na TR2 e AH e Bf na TR3, até 186,67 % no horizonte Ap da TR3. Segundo a classificação de Warriek e Nielsen (1980), o coeficiente de variação demonstrou-se médio (entre 12 e 62 %) para os horizontes Ap e AC da TR1, Ab da TR2 e alto (maior que 62 %) para o horizonte Ap da TR3. Resultados de variação altos para as Kfs foram relatados por Mesquita, (2001), Mesquita e Moraes, (2004), Dalbianco (2009) e Scherpinski *et al.* (2010).

#### 4.5.3.1.4 Estabilidade de agregados

A distribuição do tamanho dos agregados da cobertura pedológica da topossequência de solos do eixo C estão descritos na Tabela 83.

Tabela 83 - Distribuição das classes de agregados dos perfis de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2

Hor.	Prof. (cm)	Classes de Agregados (mm)						DMPa (mm)
		8-4	4-2	2-1	1-0,50	0,50-0,25	0,25-0,00	
%								
EIXO C - TR1 - NEOSSOLO LITÓLICO								
Ap	0-9	41,0	42,7	11,3	3,4	1,4	0,2	2,58
AC	9-33	40,1	37,9	14,9	5,3	1,5	0,3	2,33
R	33+	-	-	-	-	-	-	-
EIXO C - TR2 - PLINTOSSOLO								
Ap	0-12	45,6	37,7	10,6	3,2	2,0	1,0	2,76
Ab	12-23	41,7	40,0	13,7	3,5	0,9	0,2	2,62
Bf1	23-47	50,9	34,4	11,3	2,7	0,7	0,2	2,94
Bf2	47-105	50,2	33,9	11,8	3,1	0,8	0,2	2,83
C	105-147							-
R	147+							
EIXO C - TR3- PLINTOSSOLO								
Ap	0-17	54,0	28,3	11,4	4,5	1,3	0,5	3,01
AH	17-41	38,4	36,2	18,9	4,6	1,4	0,4	2,28
B f	41-130	38,4	34,7	17,0	6,8	2,4	0,6	2,02
C	130-165	-	-	-	-	-	-	-
R	165+	-	-	-	-	-	-	-

DMPa- diâmetro médio ponderado dos agregados

Elaboração: A autora (2021).

As classes de peneiras de 8 a 4 mm tiveram a maior parte da retenção dos agregados, sendo que o horizonte Ap da TR3 apresentou a maior retenção chegando a 54 % e a menor foi constatada nos horizontes Bf e AH da TR3 com 38,4 %. A classe de 4 a 2mm teve a retenção variando de 28,3 % no horizonte Ap da TR3 até 42,7 % no horizonte Ap da TR1. O horizonte B plíntico da TR3 obteve os maiores valores para as classes entre 2 a 1 mm e 1 a 0,50 mm, com 6,8 % e 2,4 %, respectivamente, enquanto o B plíntico 1 da TR2 teve comportamento contrário, apresentando para as mesmas classes as menores retenções com valores de 2,7 % e 0,7 %, respectivamente.

Na Tabela 84, verificam-se as propriedades que se correlacionam com o DMPa e que podem explicar o comportamento da distribuição e tamanho dos agregados na topossequência.

Tabela 84 - Correlação do diâmetro médio ponderado dos agregados (DMPa) com o carbono orgânico (CO), grau de floculação (GF), argila total (AT) e óxidos do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2

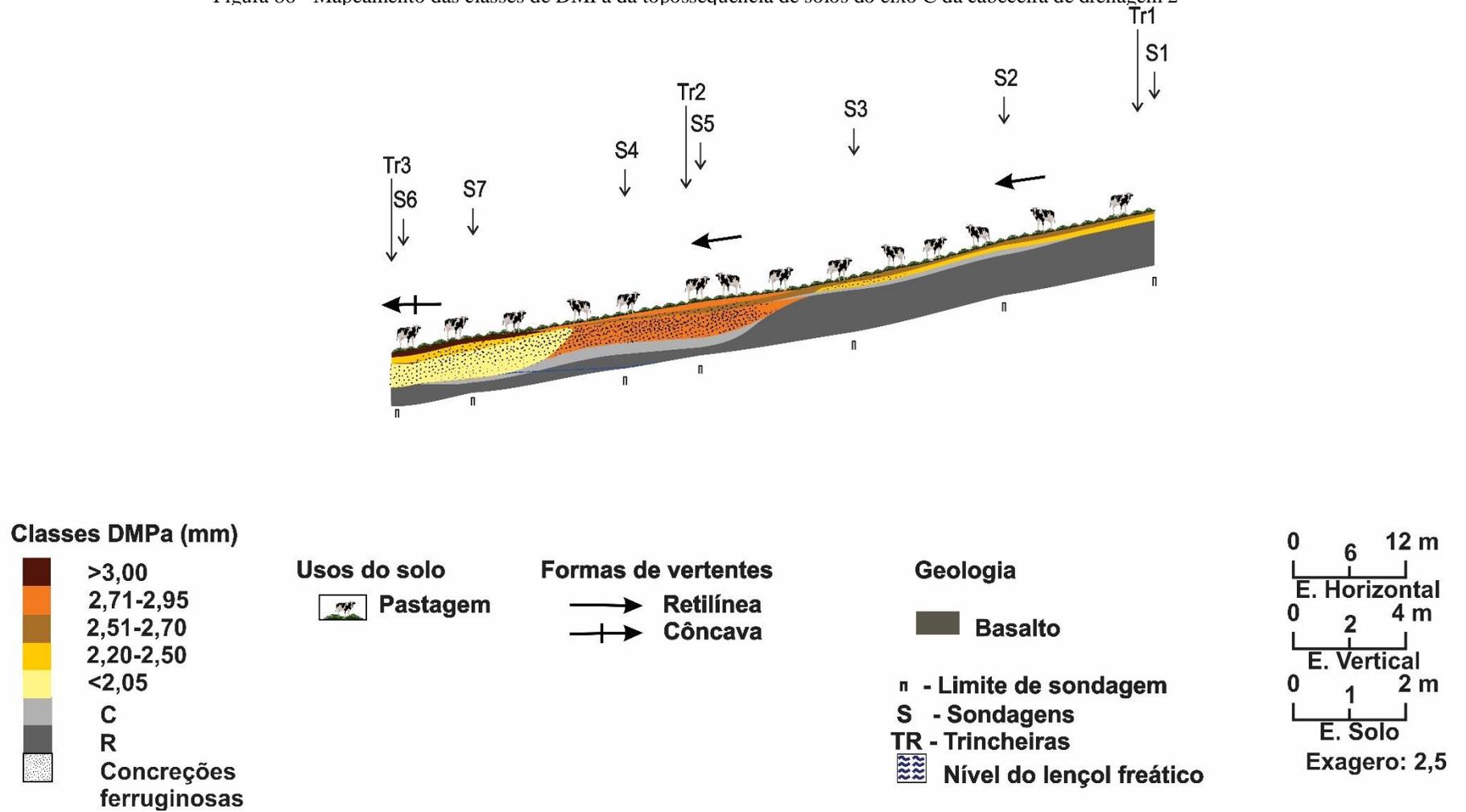
Horizontes	Prof. (cm)	DMPa (mm)	ARGILA (g.kg <sup>-1</sup> )	CO (g.kg <sup>-1</sup> )	GF (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g.kg <sup>-1</sup> )	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g.kg <sup>-1</sup> )
EIXO C- TR1- NEOSSOLO LITÓLICO							
Ap	0-9	2,58	200	10	33	176	232
AC	9-33	2,33	206	35	16	110	220
Correlação (DMPa)			-1	-1	1	1	1
EIXO C- TR2- PLINTOSSOLO							
Ap	0-12	2,76	410	21	46	122	224
Ab	12-23	2,62	512	37	27	77	232
B plíntico 1	23-47	2,94	609	17	27	117	251
B plíntico 2	47-105	2,83	611	5	30	170	244
Correlação (DMPa)			0,567	-0,747	-0,107	0,575	0,747
EIXO C- TR3 PLINTOSSOLO							
Ap	0-17	3,01	414	13	37	155	250
AH	17-41	2,28	585	25	32	123	252
Bf	41-130	2,02	542	14	24	146	245
Correlação (DMPa)			-0,877	-0,336	0,921	0,517	0,478

DMPa- diâmetro médio ponderado de agregados; CO- carbono orgânico; GF- grau de floculação da argila; AT -argila total

Elaboração: A autora (2021).

Conforme a Figura 86, no horizonte superficial Ap foi observado um aumento no diâmetro médio de seus agregados do topo (2,58 mm) em direção à jusante (3,01 mm). Os setores de topo e baixo da topossequência, nos quais foram descritos a TR1 e a TR3, respectivamente, diferenciam-se em relação ao setor médio pela redução do tamanho dos agregados em profundidade, acompanhando os teores de argila, carbono orgânico e de óxidos de ferro e alumínio, conforme expresso na Tabela 84.

Figura 86 - Mapeamento das classes de DMPa da topossequência de solos do eixo C da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

No setor de topo, na cobertura do Neossolo Litólico (TR1), ocorreu a redução do DMPa com o aumento da profundidade de 2,58 mm no horizonte Ap para 2,33 mm no horizonte AC. Conforme os dados da Tabela 84, nota-se que os fatores que mais se correlacionaram com esse resultado foram o grau de floculação, os óxidos de ferro e alumínio. O grau de floculação foi de 33 % no horizonte Ap e 16 % no horizonte AC. Os óxidos de ferro foram de 232 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap e 220 kg<sup>-1</sup> no horizonte AC. E os óxidos de alumínio foram de 176 e 110 g.kg<sup>-1</sup>, nos horizontes Ap e AC, respectivamente.

No setor do Plintossolo (TR2), verifica-se o aumento do DMPa em profundidade de 2,76 mm no horizonte Ap para 2,94 mm no horizonte B plíntico 1. Os dados contidos na Tabela 84 indicam correlação positiva com os valores de argila (0,567), os óxidos de ferro (0,747) e alumínio (0,575) como influenciadores desse resultado.

A argila teve um incremento em profundidade de 410 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap para 611 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Bf2. Os óxidos de ferro foram de 224g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap para 244 kg<sup>-1</sup> no horizonte Bf2, porém o maior valor foi encontrado no horizonte Bf1 sendo de 251 g.kg<sup>-1</sup>. Já os óxidos de alumínio apresentaram oscilação mais significativa no perfil, com o menor valor de 77 g.kg<sup>-1</sup> no horizonte Ab e o valor mais elevado no Bf2 com 170 g.kg<sup>-1</sup>. Ressalta-se também a mudança na organização estrutural de tipo e tamanho do horizonte Ap (pequena a média e granular) para o B plíntico (grande e blocos angulares).

Na cobertura do Plintossolo (TR3), o DMPa torna a ser superior em superfície com 3,01 mm no horizonte Ap reduzindo para 2,02mm no horizonte B plíntico. As propriedades que mais se correlacionaram com esse resultado foram o grau de floculação (0,921) e os óxidos de ferro (0,478) e alumínio (0,571). O grau de floculação foi superior no horizonte Ap com 37 %, assim como em relação ao óxido de alumínio que também foi superior em superfície sendo de 155 g.kg<sup>-1</sup>. Por outro lado, o óxido de ferro teve seu maior valor representado no horizonte AH (252 g.kg<sup>-1</sup>).

De modo geral, os horizontes com maior teor de argila apresentaram maior agregação, além de ter os maiores valores de óxidos de ferro. Os dados de DMPa maiores de 0,5 mm indicam a boa agregação do solo, segundo Tisdall e Oades (1982).

É válido ainda destacar que o horizonte AH e Bf do perfil da TR3 tiveram um aumento nas classes de agregados menores (2-1 e 1-0,50 mm) no setor baixo (TR3), resultando em uma redução do DMPa conforme apresentada na Tabela 84. Essa redução de percentagem de agregados maiores pode estar relacionada à redução de matéria orgânica em profundidade. Oliveira *et al.* (2008) encontraram tendência de aumento do percentual de agregados de menor diâmetro (0,50-0,25 e <0,25 mm) e diminuição do IEA e do DMP com a profundidade. Segundo

os autores, a explicação está no comportamento do C orgânico e da argila no perfil do solo: enquanto o teor de argila aumenta com a profundidade, o de C orgânico diminui, contribuindo, dessa forma, para a formação de agregados de menor tamanho, visto que a cimentação nos horizontes inferiores é verificada, prioritariamente, pela ação agregadora da argila.

Salienta-se que mesmo que o grau de floculação seja maior nos horizontes superficiais, são menores do que 50 % indicando que estão propensos aos riscos de erosão, de acordo com De Paula (2017).

#### 4.5.3.2 Caracterização química

As características químicas da topossequência do eixo C podem ser visualizadas nas Tabelas 85 e 86. De modo geral, os valores de pH em água oscilaram ao longo da topossequência em profundidade e lateralmente, sendo o menor valor no horizonte Ab (TR2) que apresentou pH em água fortemente ácido (pH entre 4,3 e 5,3), este comportamento pode estar relacionado ao maior teor de matéria orgânica obtido nesse horizonte, que apresentou o maior valor da topossequência. Nos demais horizontes, o pH em água é moderadamente ácido (pH entre 5,4 e 6,5), de acordo com a referência citada em EMBRAPA (2018), atingindo o maior valor (6,5) no horizonte Ap, na cobertura do Neossolo Litólico no setor de topo (TR1).

Tabela 85 - Potencial hidrogeniônico (pH) do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2

Horizontes	Prof. (cm)	pH em KCl	pH em H <sub>2</sub> O	$\Delta$ pH	Classes pH (solo/água 1:2,5)
<b>ERIXO C - TR1- NEOSSOLO LITÓLICO</b>					
Ap	0-9	5,1	6,5	-1,4	Moderadamente Ácido
AC	9-33	4,8	6,1	-1,3	Moderadamente Ácido
R	33+	-	-	-	-
<b>EIXO C- TR2- PLINTOSSOLO</b>					
Ap	0-12	4,7	6,1	-1,4	Moderadamente Ácido
Ab	12-23	4,1	5,2	-1,1	Fortemente Ácido
Bf 1	23-47	4,8	6,0	-1,2	Moderadamente Ácido
Bf 2	47-105	4,9	6,3	-1,4	Moderadamente Ácido
C	105-147	-	-	-	-
R	147+	-	-	-	-
<b>EIXO C- TR3- PLINTOSSOLO</b>					
Ap	0-17	5	6,3	-1,3	Moderadamente Ácido
AH	17-41	4,9	6,3	-1,4	Moderadamente Ácido
Bf	41-130	4,5	5,7	-1,2	Moderadamente Ácido
C	130-165	-	-	-	-
R	165+	-	-	-	-

Elaboração: A autora (2021).

Tabela 86 - Características químicas dos perfis de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 2

Hor.	Prof. (cm)	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SB	CTC ph7	ATA	V	MO
		cmol <sub>c</sub> / kg <sup>-1</sup>									(%)
EIXO C – TR1-NEOSSOLO LITÓLICO											
Ap	0-9	5,1	0,1	21,8	8,1	2,1	32	37,1	185,5	86,3	1,7
AC-	9-33	7,4	0	22,1	8,2	19,8	50,1	57,5	279,1	87,1	6,0
R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EIXO C- TR2- PLINTOSSOLO											
Ap	0-12	6,3	0,1	15,7	5,3	8,2	29,2	35,5	82,74	82,3	3,7
Ab	12-23	11,9	0,3	15,2	7,5	2,9	25,6	37,5	73,2	68,3	6,3
Bf 1	23-47	6,1	0,1	19,6	7,3	1,2	28,1	34,2	56,16	82,2	3,0
Bf 2	47-105	3,2	0,1	26,5	9,8	1,1	37,4	40,6	66,4	92,1	0,8
C	105-147										
R	147+										
EIXO C – TR3 – PLINTOSSOLO											
Ap	0-17	4,9	0	24,0	8,0	1,1	33,1	38	87,96	87,1	2,2
AH	17-41	7,1	0,1	20,2	7,5	4,9	32,6	39,7	67,8	82,1	4,3
Bf	41-130	5,8	0,1	20,8	8,6	1,2	30,6	36,4	60,6	84,1	1,0
C	130-165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R	165+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

MO = matéria orgânica; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca de cátions; V = saturação de bases; ATA = atividade da argila

Elaboração: A autora (2021).

Os valores do pH em KCl foram mais baixos do que o pH em H<sub>2</sub>O em todos os horizontes, variando entre 4,1 (Ab na TR2) e 5,1 (Ap na TR1), resultando em um  $\Delta$ pH negativo, o que indica dominância de cargas negativas na superfície dos colóides (LIMA *et al.*, 2006).

Em relação às bases trocáveis, predominou o Ca<sup>2+</sup> ao longo da topossequência. No Neossolo (TR1) foi observado um leve aumento em profundidade, passando de 21,8 para 22,1 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup>. Na cobertura do Plintossolo (TR2), o teor de bases também é maior em profundidade, assumindo valores de 15,7 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap até 26,5 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte B plíntico 2. Ao contrário, na cobertura do Plintossolo (TR3), o teor de cálcio reduz em profundidade de 24,0 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> (Ap) para 20,8 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup>.

Comportamento semelhante foi verificado para o Mg<sup>2+</sup>, que na cobertura do Neossolo Litólico (TR1) aumentou de 8,1 (Ap) para 8,2 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> (AC), e no Plintossolo (TR2), foi de 5,3 (Ap) para 9,8 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> (B plíntico 2), contudo, no setor baixo da topossequência, ao contrário do cálcio, aumentou de 8,0 (Ap) a 8,6 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> (B plíntico). Em menor proporção, em relação às bases trocáveis, encontra-se os teores de K<sup>+</sup> com exceção dos horizontes AC (TR1) e Ap (TR2), nos quais os valores foram superiores ao Mg<sup>2+</sup>, sendo de 19,8 e 8,2 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup>, respectivamente. A mobilidade das bases cálcio e magnésio na topossequência pode estar atrelada à alteração e/ou aproximação do material de origem basáltico que está liberando as bases no sistema, ou ainda, pode estar ocorrendo perda de bases devido à flutuação do lençol freático, de acordo com Silva (2018).

Quanto ao Al<sup>3+</sup>, sua variação foi de 0,0 a 0,1 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no Neossolo (TR1) e no Plintossolo (TR3), respectivamente. No Plintossolo (TR2), os valores foram de 0,1 a 0,3 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup>. Portanto, aos teores de alumínio dos solos dessa topossequência não preenchem os critérios necessários para defini-los como aluminicos ou ácidos (EMBRAPA, 2018). A acidez potencial dos solos (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>) teve a variação de 3,2 a 11, 9 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup>, caracterizando-os como solos de fraca acidez. A acidificação não é comum em solos derivados de material rico em bases (SILVA, 2018).

Assim, a soma das bases (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V %) apresentaram valores elevados e tendência crescente em profundidade no setor de topo (TR1) e médio (TR2). A capacidade de troca de cátions (CTC) no perfil do Neossolo Litólico (TR1), aumentou de 37,1 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap, para 57,1 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no AC, enquanto o perfil do Plintossolo (TR2) aumentou de 35,5 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap para 40,6 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte B plíntico. Já no perfil do Plintossolo (TR3), ocorreu a redução da CTC em profundidade, de 38 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte Ap para 36,4 cmol<sub>c</sub>/kg<sup>-1</sup> no horizonte B plíntico.

A CTC mais pronunciada nos horizontes subsuperficiais do Neossolo Litólico (TR1) e do Plintossolo (TR2), possivelmente está relacionada com as bases ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ ) e com a fração argila, principalmente no horizonte B plíntico. Já a CTC do Plintossolo (TR3) tendeu a ser maior nos horizontes superficiais, mostrando dependência além da mineralogia dos teores de matéria orgânica (RONQUIM,2010).

Observa-se a relação da matéria orgânica com a CTC da topossequência do eixo C. Na TR1 e TR3 a CTC acompanhou os valores de matéria orgânica, enquanto na TR2, a CTC sofreu maior influência do incremento das bases em profundidade. Os teores de matéria orgânica (%) foram mais elevados nos horizontes de transição AC (TR1), Ab (TR2) e AH (TR3), sendo de 6,0 %, 6,3 % e 4,3 %, respectivamente, e diminuindo gradualmente com o aumento da profundidade. Nos demais horizontes, a matéria orgânica variou entre 0,8 (horizonte Bf2) e 3,0 % (horizonte Bf1 da TR2). Isso permite verificar, de modo geral, uma concentração de ciclagem orgânica aproximadamente entre 10 e 40 cm na topossequência, presume-se que em função do sistema radicular das gramíneas como apontado por Tognon *et al.* (1998).

Em todos os horizontes pedológicos estudados, a atividade da fração argila foi classificada como alta (maior que  $27 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$ ), contribuindo para os valores altos de CTC da topossequência, com o menor valor encontrado no horizonte Bf1 de  $56,16 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  (TR2) e o maior valor no horizonte AC de  $279,1 \text{ cmol}_c/\text{kg}^{-1}$  (TR1). Consequentemente, a saturação por bases em todos os horizontes ultrapassa os 50 %, sendo considerados, por conseguinte, de caráter eutrófico, com o menor valor expresso no horizonte Ab (68,3%) e o maior no horizonte B plíntico 2 (92,1 %), ambos na TR2.

Através da extração do ataque sulfúrico foram obtidos os teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Tabela 87).

Os valores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  variaram de  $77 \text{ g.kg}^{-1}$  no horizonte Ab (TR2) a  $176 \text{ g.kg}^{-1}$  no horizonte Ap (TR2). Já no  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , a variação foi de  $220 \text{ g.kg}^{-1}$  no horizonte AC (TR1) a  $252 \text{ g.kg}^{-1}$  no horizonte AH (TR3), conferindo solos com alto teor de óxidos de ferro (de  $180 \text{ g.kg}^{-1}$  a  $<360 \text{ g.kg}^{-1}$ ) condizente com o material de origem, de acordo com a EMBRAPA (2018). Em relação aos valores de  $\text{TiO}_2$ , atingiu-se  $99 \text{ g.kg}^{-1}$  no horizonte AC do Neossolo Litólico (TR1) e reduziu-se para  $10 \text{ g.kg}^{-1}$  no horizonte AH do Plintossolo (TR3). Os perfis apresentaram valores de  $\text{TiO}_2$  em subsuperfície, superior ao dos horizontes superficiais, embora observe-se uma similaridade no conteúdo desse óxido, demonstrando afinidade litológica.

Tabela 87 - Valores de óxidos de ferro, alumínio e titânio do perfil de solo da topossequência do eixo C da cabeceira de drenagem 1

Horizontes	Prof. (cm)	g.kg <sup>-1</sup>		
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
ERIXO C - TR1-NEOSSOLO LITÓLICO				
Ap	0-9	176	83	232
AC	9-33	110	99	220
R	33+	-	-	-
EIXO C- TR2- PLINTOSSOLO				
Ap	0-12	122	10	224
Ab	12-23	77	90	232
Bf 1	23-47	117	92	251
Bf 2	47-105	170	71	244
C	105-147	-	-	-
R	147 +	-	-	-
EIXO C- TR3- PLINTOSSOLO				
Ap	0-17	155	68	250
AH	17-41	123	10	252
Bf	41-130	146	74	245
C	130 -165	-	-	-
R	165+	-	-	-

Elaboração: A autora (2021).

#### 4.5.3.3 Classificação do solo

Os solos da topossequência do eixo C foram classificados de acordo com as especificações da EMBRAPA (2018). O perfil descrito da TR1 localizada no setor de topo foi classificado no primeiro nível categórico (ordem) como Neossolo, em virtude da insuficiência de expressão de atributos diagnósticos. Quanto ao segundo nível categórico (subordem), o perfil da TR1, por satisfazer o critério de contato lítico inferior a 50 cm da superfície do solo, foi classificado como Litólico. No terceiro nível categórico (grande grupo), por apresentar A chernozêmico, foi denominado chernossólico. No quarto nível categórico (subgrupo), o perfil da TR1 foi classificado como típico, em função da rocha sã.

O perfil da TR2 e TR3 foram classificados como Plintossolo no primeiro nível categórico (ordem), com horizonte B plíntico, iniciando dentro de 40 cm da superfície na TR2; e iniciando dentro de 200 cm da superfície na TR3. Quanto ao segundo nível categórico (subordem), os perfis foram classificados como Háplicos, pois não se enquadram nas classes de pétrico e argilúvico. No terceiro nível categórico (grande grupo), houve saturação por bases maior que 50 % em ambos os perfis, sendo, portanto, eutrófico. No quarto nível categórico (subgrupo), o perfil da TR2 e TR3 foram classificados como típicos por não possuírem características que preencham os requisitos para outras classes. Assim, a classificação dos perfis

de acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solo SiBCS (EMBRAPA, 2018) foi:

- Perfil 1 (TR1): NEOSSOLO LITÓLICO Chernossólico típico, textura siltosa, fase floresta semidecidual.
- Perfil 2 (TR2): PLINTOSSOLOS HÁPLICO Eutrófico típico, textura muito argilosa, fase floresta semidecidual.
- Perfil 3 (TR3): PLINTOSSOLOS HÁPLICO Eutrófico típico, textura muito argilosa, fase floresta semidecidual.

#### 4.6 ORGANIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL DA CABECEIRA DE DRENAGEM 2

##### 4.6.1 Síntese morfológica e caracterização tridimensional da cobertura pedológica

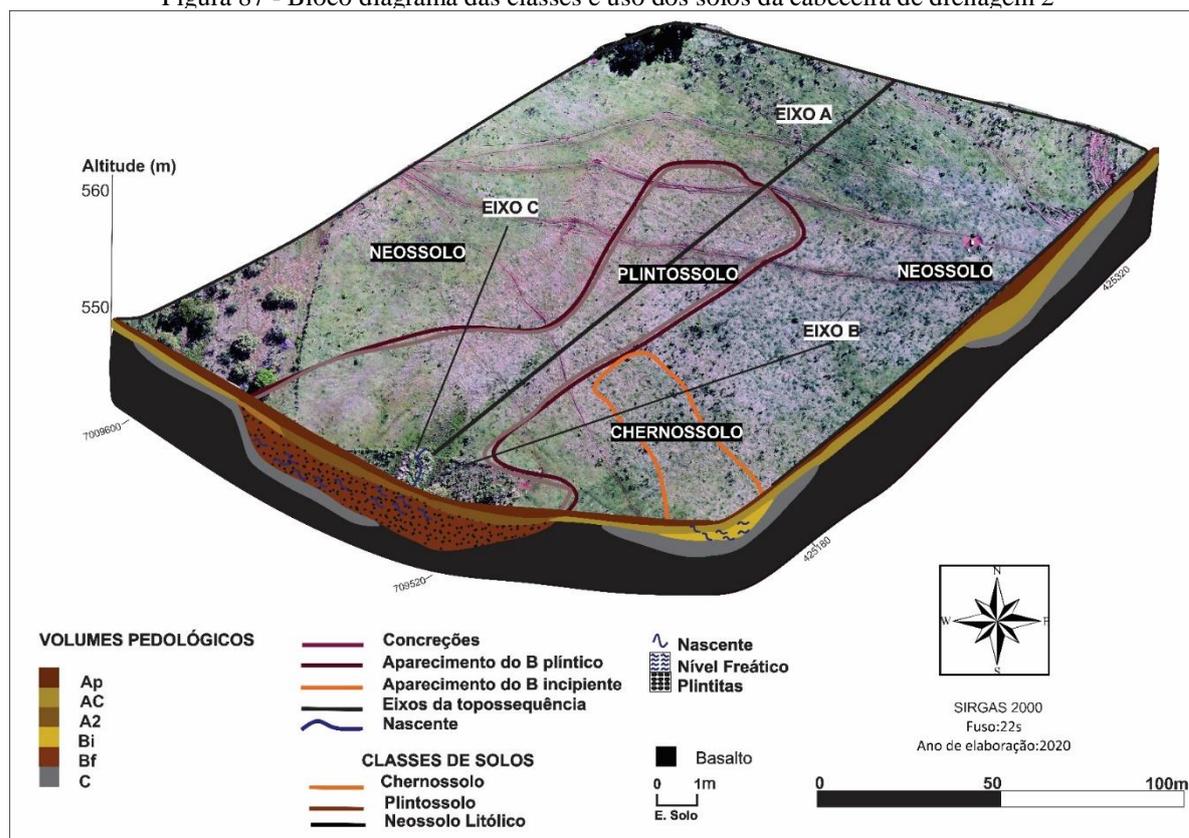
As observações macromorfológicas e as análises químicas permitem indicar que a cobertura pedológica da cabeceira de drenagem 2 é composta por diferentes classes de solos, organizados por Neossolo Litólico, Chernossolo e Plintossolo. Dessa forma, verificou-se que os solos dessa cabeceira 2 apresentam graus variáveis de evolução pedogenética (Tabela 88 e Figura 87).

Tabela 88 - Classificação dos solos e características gerais da cabeceira de drenagem 2  
Solos (EMBRAPA, 2018)

	Uso
Topossequência do eixo A	
Perfil 1-Neossolo Litólico Chernossólico típico	Pastagem
Perfil 2 -Plintossolo Háptico Eutrófico típico	Pastagem
Perfil 3 -Plintossolo Háptico Eutrófico leptofragmentário	Pastagem
Topossequência do eixo B	
Perfil 1-Neossolo Litólico Chernossólico típico	Pastagem
Perfil 2-Chernossolo Háptico Férrico típico	Pastagem
Perfil 3 -Plintossolo Háptico Eutrófico leptofragmentário	Pastagem
Topossequência do eixo C	
Perfil 1-Neossolo Litólico Chernossólico típico	Pastagem
Perfil 2-Plintossolo Háptico Eutrófico típico	Pastagem
Perfil 3-Plintossolo Háptico Eutrófico típico	Pastagem

Elaboração: A autora (2021).

Figura 87 - Bloco diagrama das classes e uso dos solos da cabeceira de drenagem 2

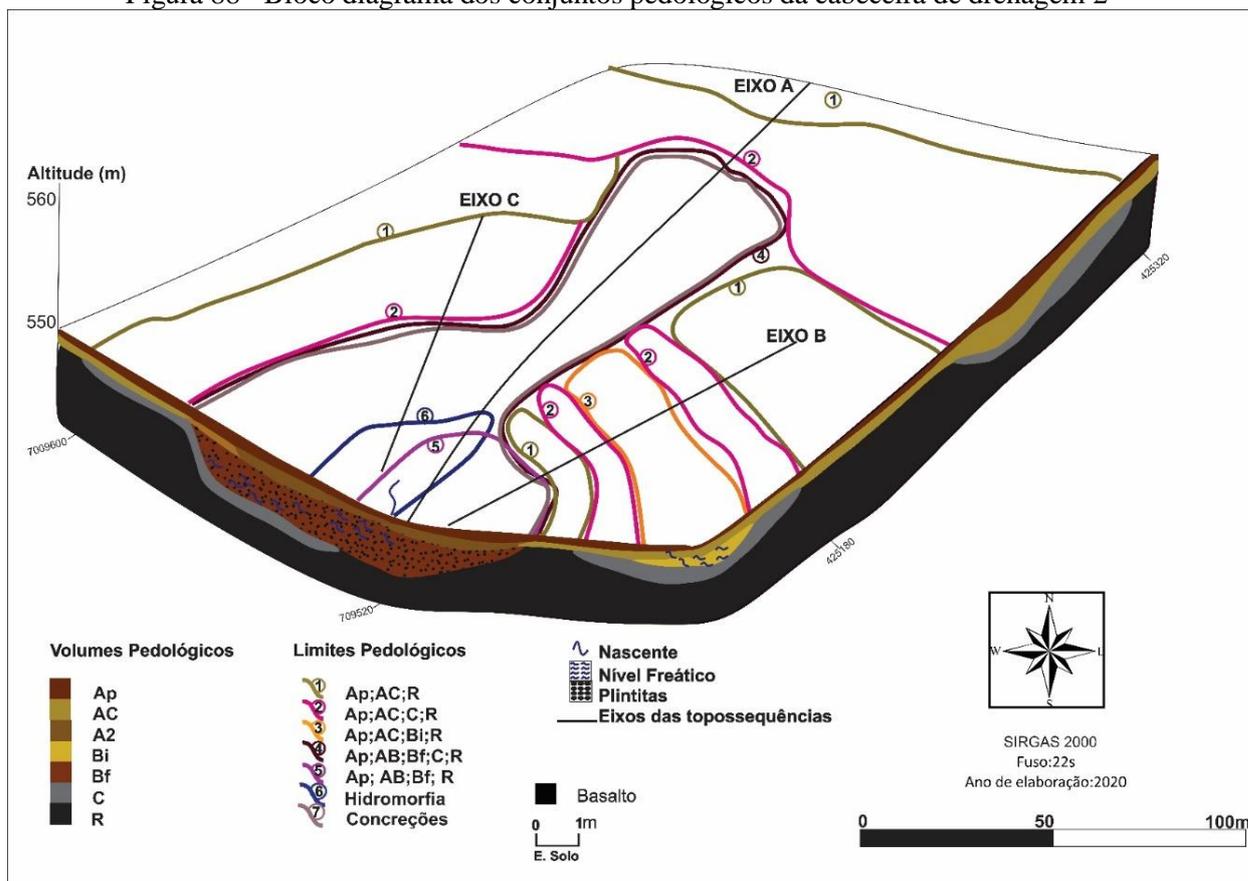


Elaboração: A autora (2021).

Atualmente, toda a área da cabeceira 2 está sendo utilizada para o uso e manejo da pastagem semi-intensiva (Figura 87). A partir das informações morfológicas da cobertura pedológica foi possível representar cartograficamente os horizontes que compõem os sistemas pedológicos dessa cabeceira, indicando suas respectivas espessuras, bem como seu aparecimento /e ou desaparecimento (Figura 88). Para fins de representação, baseando-se nos trabalhos de Fernandes Barros (1986), Boulet *et al.* (1982) e Werlang *et al.* (2013), definiu-se que o horizonte Ap constituiu o volume A; o horizonte AC permaneceu como volume AC; os horizontes pedogenéticos de transição AB, AH, Ab convencionou-se denominar de volume A2, o horizonte B plíntico constituiu o volume Bf, horizonte B incipiente como volume Bi, além do horizonte C e R que foram considerados como volume C e R, respectivamente.

O volume superficial A foi identificado em toda a cabeceira 2, apresentou textura siltosa no setor alto e passou a ser argilosa na área central, permanecendo até a jusante. A condição estrutural do volume A é predominantemente de grau forte e tipo granular. A cor variou de bruno-vermelho-escuro (P1, P5), vermelho-escuro ou vermelho-muito-escuro-acinzentado (P2, P3, P4, P8, P9) e bruno-avermelhado (P6, P7).

Figura 88 - Bloco diagrama dos conjuntos pedológicos da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

A transição vertical do volume Ap para o volume AC pode ser percebida pela modificação do tamanho das unidades estruturais em profundidade que compõem os volumes, além de aumento na quantificação de fragmentos grosseiros de rocha alterada, sendo maior no volume AC. A transição vertical do volume Ap para o volume A2 é observada pelo aumento do teor de argila, coloração mais escura, mudanças estruturais na ordem de sua resistência, tamanho e tipo, além da consistência tornar-se mais resistente.

Observa-se que as maiores espessuras do volume AC (25 a 35 cm) ocorrem nos setores alto e médio da cabeceira coincidindo com a presença da cobertura do Neossolo Litólico e do Chernossolo. Esse volume apresentou um grau de estrutura fraca (P4), fraca a moderada (P7) e forte (P1), de tipo granular e de tamanho pequeno a médio (P1, P4 e P7). A coloração desse horizonte foi bruno-avermelhada-escura (P1 e P4) e vermelha escura (P7). A transição vertical do volume AC para o volume Bi ocorre sendo perceptível a modificação nas unidades estruturais que são pouco presentes (fraca) no horizonte AC, passando a ser marcantes (forte) no volume Bi. Ainda é perceptível a diferença na forma das unidades estruturais, que é granular no horizonte AC e passa a ser de blocos angulares no volume Bi.

As transições laterais dos volumes AC para o A2 são evidenciadas pela composição textural e coloração que se torna mais escura (preto) do alto em direção à jusante, composto possivelmente por acumulação de matéria orgânica proveniente de condições de prolongada estagnação de água.

As espessuras do volume A2 variaram de 10 a 55 cm. Nota-se que o aparecimento desse volume está relacionado ao desenvolvimento do Plintossolo a partir da área central da cabeceira. A estrutura do volume A2 é de grau forte, de tamanho pequeno a médio (P3, P8 e P9) e médio a grande (P2 e P6). O tipo da estrutura é granular (P2, P3 e P9), passando a blocos angulares (P3) e subangulares (P6 e P8). As cores variaram de vermelho escuro acinzentado (P2) a matizes e cromas de bruno-avermelhados a acinzentados (P3, P6, P8 e P9). Em profundidade, ocorre a transição vertical do volume A2 para o volume Bf, perceptível devido às diferenças de consistência principalmente quando seca, a coloração, a cerosidade e a quantidade de concreções ferruginosas e plintitas. Especificamente no setor próximo à nascente, ocorre a transição vertical do volume A2 para o B plíntico que pode ser verificada pelas diferenças, principalmente estruturais e de coloração em tons acinzentados e brunados, proveniente do hidromorfismo.

O volume B incipiente é observado no setor sudoeste da cabeceira. O volume Bi apresentou coloração vermelha-escura (2,5YR3/6) com estrutura de blocos angulares, grau fraco e tamanho pequeno. A transição lateral do volume Bi para o volume Bf é marcada pelo incremento de argila em subsuperfície e lateralmente, evidenciando a atuação dos processos pedogenéticos

O volume B plíntico foi identificado sobretudo na área central da cabeceira 2, e foi representado com curvas de espessura de 50 a 100 cm. O tamanho da estrutura desse horizonte varia de média a grande na cabeceira. Ao que se refere ao tipo de estrutura, a variação foi de blocos angulares, subangulares e prismáticos de grau forte e tamanho de médio a grande. O volume Bf manteve a mesma cromatização nos perfis, sendo bruno amarelado escuro (P2, P3, P6, P8, P9). É possível observar a transição vertical do volume B plíntico para o volume C, diferindo-se pela coloração e atuação dos processos pedogenéticos.

O volume C variou de 0 a 40 cm de espessura na cabeceira, sendo sua ocorrência mais próxima à superfície relacionada à classe do Neossolo Litólico. O volume C é considerado um horizonte de pouco desenvolvimento pedogenético (EMBRAPA, 2018) e apresentou coloração amarelada em toda a cabeceira. Para o volume R, constata-se que sua ocorrência foi variável na cabeceira, oscilando de 20 a 175 cm. Essa observação reflete o desenvolvimento da cobertura pedológica na cabeceira, na qual o volume R encontrado próximo à superfície (até 70 cm) foi

caracterizado como solo raso (Neossolos Litólicos). Por sua vez, em profundidade efetiva (a partir de 90 cm), foram identificados solos em estágio mais avançado de evolução (Plintossolo).

A partir da identificação dos principais volumes pedológicos presentes na cabeceira, pode ser construído os principais conjuntos pedológicos, conforme exposto na Figura 88. O conjunto pedológico Ap; AC; R e Ap; AC; C e R estão associados à classe do Neossolo Litólico, no setor de topo da cabeceira. Os Neossolos Litólicos dessa cabeceira apresentaram a sequência de horizontes Ap, AC e o contato lítico inferior a 50 cm. Entre os setores oeste e sudoeste da cabeceira foi identificado o conjunto pedológico Ap; AC; Bi; C e R, configurando a existência da classe dos Chernossolos. No terço intermediário, área central e noroeste da cabeceira (topossequência dos eixos A e C), e também próximo à nascente, foi identificado os conjuntos pedológicos Ap, AB, Bf; C; R e Ap; AB; Bf e R (Figura 140), em concordância com a classe dos Plintossolos.

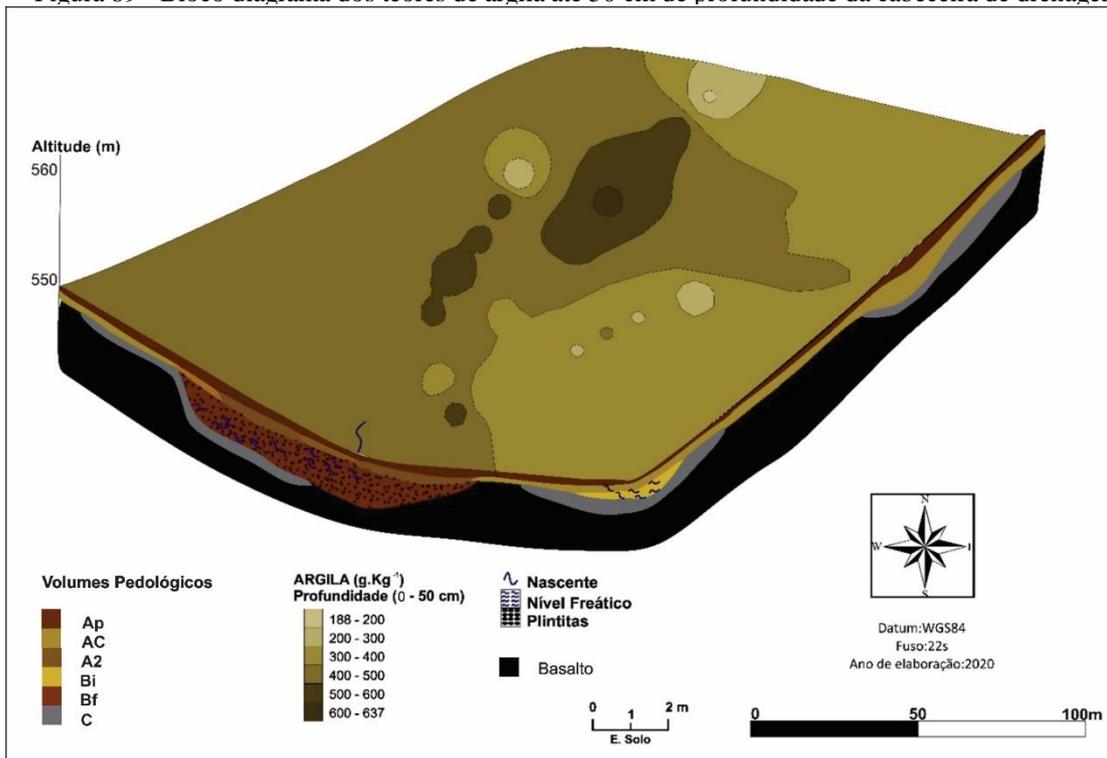
De modo geral, a espessura da cobertura pedológica e seus respectivos volumes refletem o padrão nas características texturais. A Figura 89 demonstra a distribuição tridimensional da argila até os 50 cm de profundidade. Os valores variaram de 188 a 637 g.kg<sup>-1</sup> na cabeceira, tendo a concentração evidente na área central. Na margem direita, os valores tenderam a ser inferiores a 400 g.kg<sup>-1</sup> até 50 cm de profundidade.

Na Figura 90 pode-se visualizar a distribuição de argila de 50 a 100 cm de profundidade, com valores variando entre 244 e 707 g.kg<sup>-1</sup>. Na figura, a cor branca representa áreas com a ausência de argila, devido à ocorrência de solos com profundidade inferior a 50cm. Verifica-se que para essa profundidade também houve maior concentração de argila na área central com valores acima de 600 g.kg<sup>-1</sup>.

A concentração de argila em profundidade na área central da cabeceira fica mais evidente quando observada a Figura 91, que exhibe os teores de argila para a profundidade maior que 100cm, na qual os resultados variaram de 306 a 602 g.kg<sup>-1</sup> de argila.

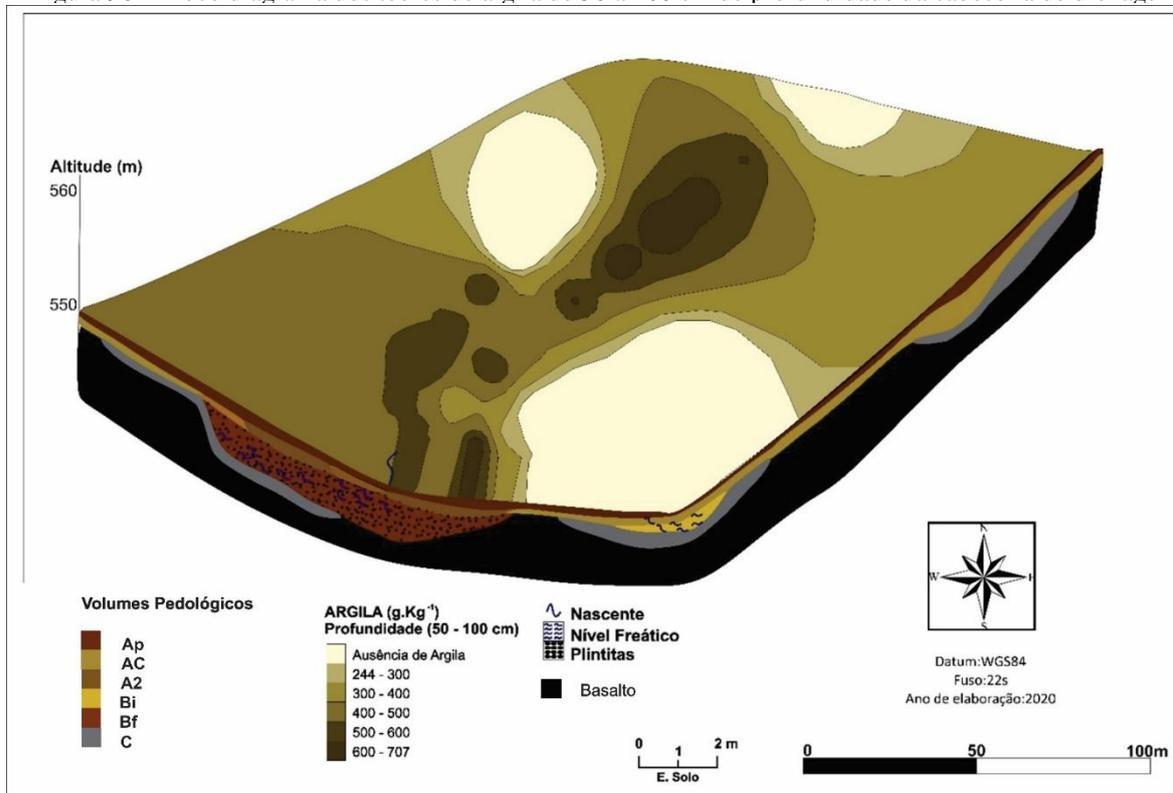
Pode-se constatar que a distribuição dos teores de argila que constituem a cobertura pedológica tem seu desenvolvimento influenciado pela declividade e morfologia da cabeceira. Observa-se ainda, que a granulometria foi condicionada à posição que os solos ocupam na cabeceira, assim como a profundidade da rocha em relação a superfície. Verifica-se que onde há a ocorrência de rocha próxima à superfície, a cobertura pedológica é pouco espessa e constituída pelos volumes A e AC justapostos ao volume R, configurando o Neossolo Litólico.

Figura 89 - Bloco diagrama dos teores de argila até 50 cm de profundidade da cabeceira de drenagem 2



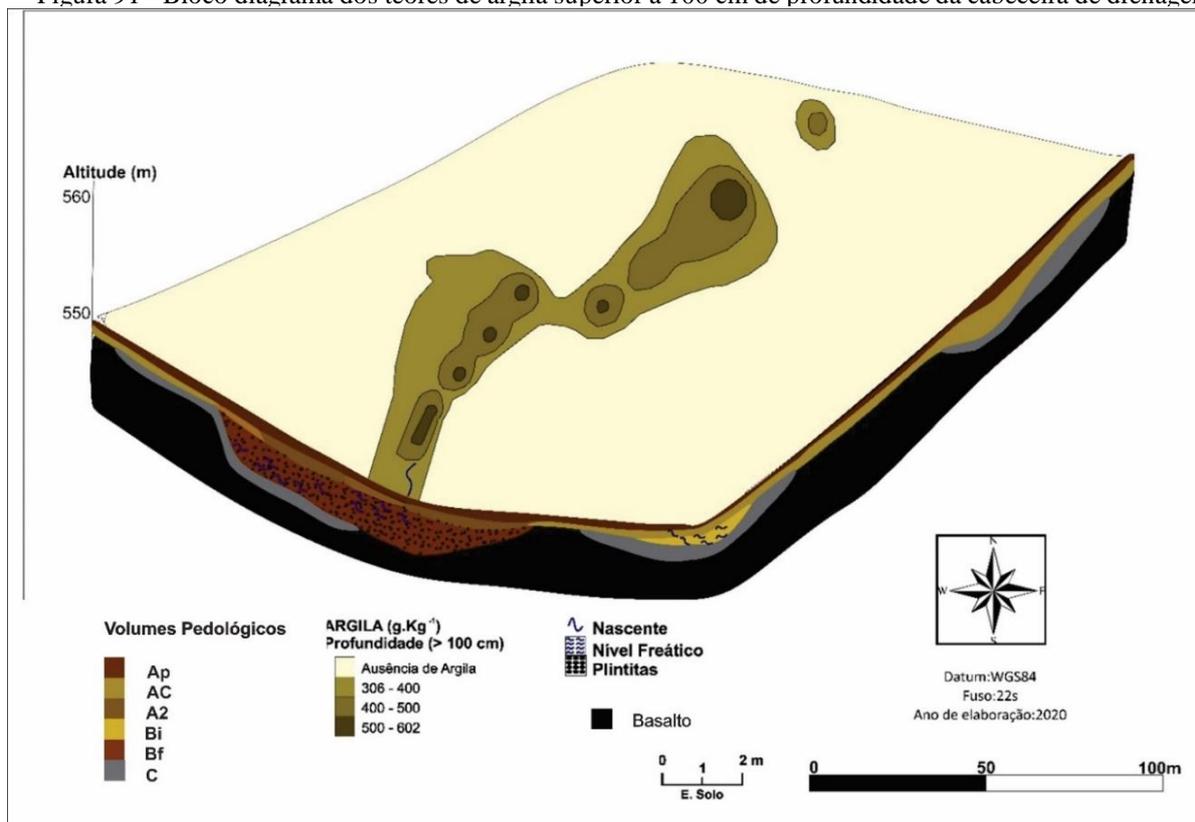
Elaboração: A autora (2021).

Figura 90 - Bloco diagrama dos teores de argila de 50 a 100 cm de profundidade da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Figura 91 - Bloco diagrama dos teores de argila superior a 100 cm de profundidade da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Lateralmente, em direção à jusante aparece um volume mais argiloso atingindo espessura superior a 50cm. Tem-se nessa cabeceira a ocorrência de uma estreita faixa de Chernossolo, fazendo a transição entre o Neossolo Litólico e o Plintossolo; e o aparecimento apenas do Neossolo Litólico no setor de topo, passando do setor médio, no sopé, para o Plintossolo. Essas variações podem ocorrer dependendo da profundidade maior ou menor do bloco rochoso em relação à superfície, e da sua extensão.

De modo geral, foi possível identificar que a cobertura pedológica se desenvolveu na cabeceira de drenagem 2, configurando espessuras diferenciadas nos distintos setores (topo, média e baixa) e forma predominantemente retilínea das vertentes. Exprime-se, portanto, a correlação existente entre a morfologia da vertente e a distribuição lateral e vertical do desenvolvimento dos volumes.

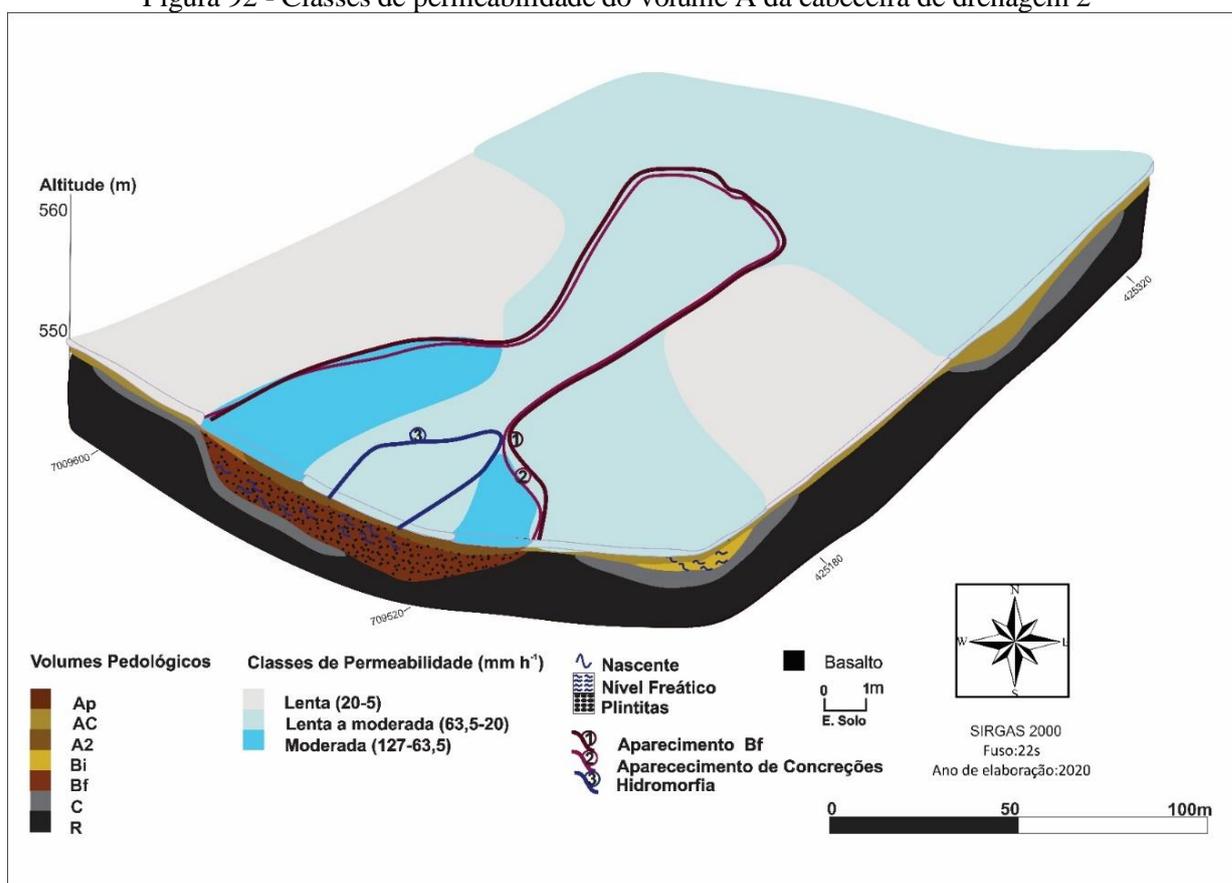
A estreita relação do plano de curvatura da vertente (forma) com a declividade e o espessamento dos horizontes da cobertura pedológica é atestada em diversos trabalhos, como em Barros (1986), Pellerin *et al.* (1997); Juhász *et al.* (2006); Calegari (2000), Santos (2000); Karling (2000); Cunha (2002); Janjar (2010); Magalhães (2008; 2013); Zaparoli (2009); Rocha (2011; 2016); Lima (2012); Ficagna Júnior *et al.* (2015), Parreira (2018), entre outros.

## 4.6.2 Interpretação da dinâmica física e hídrica da cabeceira de drenagem 2

### 4.6.2.1 Comportamento físico e hídrico da cobertura pedológica da cabeceira de drenagem 2

Para a interpretação do comportamento físico e hídrico da cabeceira de drenagem 2, foi realizado o mapeamento da permeabilidade baseado nos dados de Kfs dos volumes pedológicos. Na Figura 92, pode ser observado o comportamento da permeabilidade do volume A da cabeceira 2. A classe de permeabilidade predominante para o volume A na cabeceira 2 foi a de lenta a moderada ( $63,5$  a  $20$   $\text{mm/h}^{-1}$ ), estendendo-se principalmente no setor de topo da cabeceira ao setor central da média à jusante. Nos setores médios da margem esquerda e margem direita em relação à nascente a permeabilidade é lenta ( $20$  a  $5$   $\text{mm/h}^{-1}$ ). Em áreas localizadas próximas à nascente a permeabilidade é moderada ( $127$  a  $63,5$   $\text{mm/h}^{-1}$ ).

Figura 92 - Classes de permeabilidade do volume A da cabeceira de drenagem 2

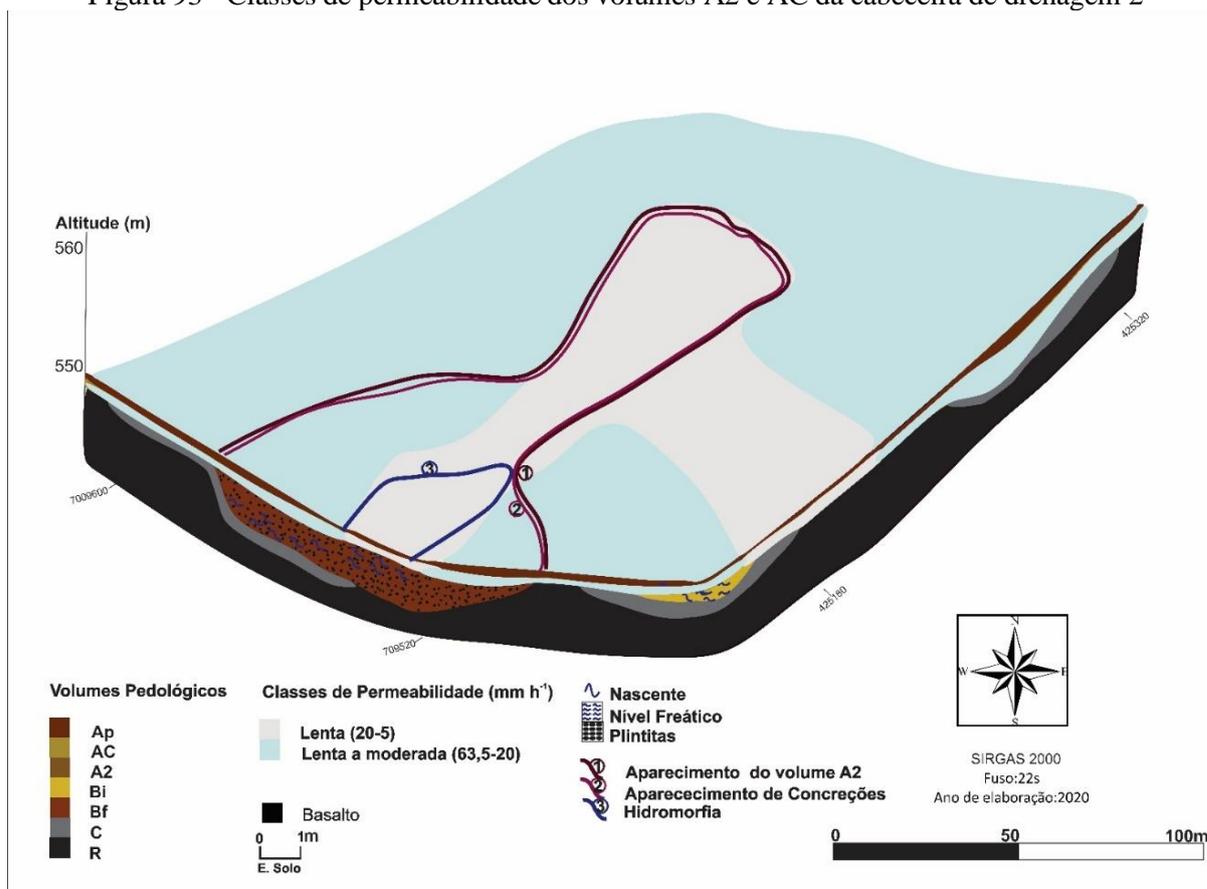


Elaboração: A autora (2021).

O comportamento hídrico dos volumes de transição A2 e AC podem ser visualizados na Figura 93. Nota-se que no volume de transição AC a permeabilidade predominante foi de lenta

a moderada ( $63,5$  a  $20 \text{ mm/h}^{-1}$ ) na maior parte da cabeceira 2, exceto no setor médio na margem esquerda, em relação à nascente onde a permeabilidade do volume AC foi lenta ( $20$  a  $5 \text{ mm/h}^{-1}$ ). O volume de transição A2 apresentou uma permeabilidade lenta ( $20$  a  $5 \text{ mm/h}^{-1}$ ), exceto na margem direita em relação à nascente, que a permeabilidade foi de lenta a moderada ( $63,5$  a  $20 \text{ mm/h}^{-1}$ ).

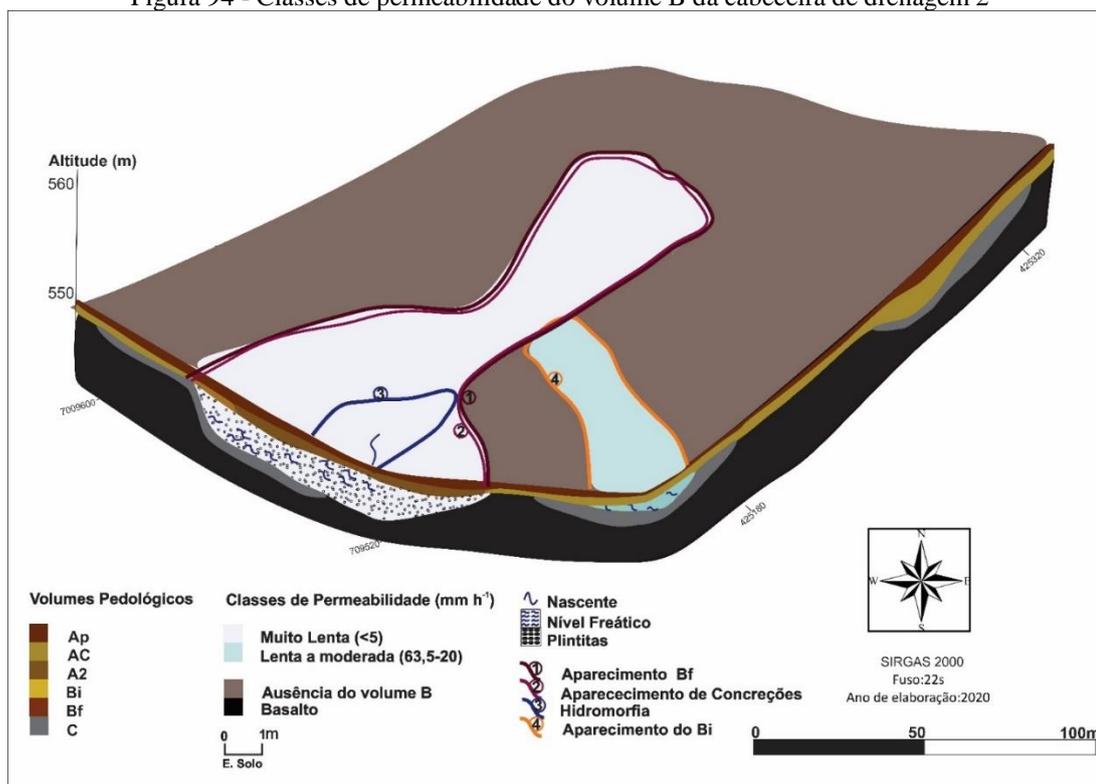
Figura 93 - Classes de permeabilidade dos volumes A2 e AC da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

O comportamento da permeabilidade do volume B (Bf e Bi) está demonstrado na Figura 94. Como pode ser visualizado, o volume Bf apresentou uma permeabilidade muito lenta ( $<5 \text{ mm/h}^{-1}$ ) em toda a extensão que recobre a cabeceira. Já no volume Bi, a permeabilidade foi de lenta a moderada ( $63,5 - 20 \text{ mm/h}^{-1}$ ). Assim, observa-se a redução da circulação hídrica da superfície representada pelo volume A em direção a rocha. De acordo com os dados físicos e hídricos, a cabeceira de drenagem 2 apresentou quantidade de macroporos inferior em relação aos microporos, tendo, portanto, características porais que implicam na retenção de água. Esses resultados são influenciados pelo aumento da argila em profundidade, e conseqüentemente da densidade, nas quais ambas atuam reduzindo a drenagem no sentido vertical.

Figura 94 - Classes de permeabilidade do volume B da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Para a avaliação das correlações estatísticas das propriedades físicas, hídricas e do carbono orgânico da cabeceira de drenagem 2, foi considerado o seu comportamento nos setores de topo (abrange a classe dos Neossolos Litólicos), médio (abrange a classe de Plintossolos e do Chernossolo) e baixo (abrange a classe dos Plintossolos). Essa abordagem se deu levando em consideração a significância estatística entre as variáveis, de forma que pudesse ser melhor representada.

Na Tabela 89 são apresentados os resultados da correlação simples entre as variáveis dos Neossolos Litólicos identificados no topo da cabeceira. Verifica-se que o maior valor observado de correlação foi o da densidade com a porosidade total, sendo muito forte negativo (-0,901). Isso ocorreu, pois a porosidade total tendeu a ser maior em superfície, enquanto a densidade foi menor, indicando que essas propriedades foram inversamente proporcionais. Com a macroporosidade e com as Kfs, a correlação da densidade foi fraca positiva (0,232) e muito fraca positiva (0,091), respectivamente.

De modo geral, a densidade no setor de topo da cabeceira aumentou em profundidade enquanto as Kfs reduziram. Esse resultado pode ser em função da diferença morfológica do volume A em relação ao AC. Além disso, o carbono orgânico colaborou para a redução da densidade em superfície, demonstrado pelo resultado de correlação moderada positiva (0,553).

Tabela 89 - Coeficiente de correlação de *Pearson* dos dados físicos, hídricos e carbono orgânico da classe do Neossolo Litólico da cabeceira de drenagem 2

Propriedades	DMPa	CO	AT	GF	silte	FG	Kfs	Ds	Ma (%)	Mi (%)
DMPa	1,000									
CO	0,356	1,000								
AT	0,672*	0,195*	1,000							
GF	-0,015*	-0,627	0,420	1,000						
Silte	-0,439*	-0,148*	-0,006*	0,152*	1,000					
FG	0,428*	0,810*	0,295*	-0,487	-0,596*	1,000				
Kfs	0,223	0,080	0,266*	-0,082	0,727*	-0,377*	1,000			
Ds	0,478	0,553	0,193*	-0,733	-0,375*	0,680*	0,091	1,000		
Ma (%)	-0,670	-0,051	-0,785*	-0,589	-0,105*	0,062*	-0,397	0,232	1,000	
Mi (%)	0,229	-0,447	0,360*	0,829	0,246*	-0,569*	0,265	-0,714	-0,797	1,000
Pt (%)	-0,402	-0,792	-0,322*	0,675	0,279*	-0,860*	-0,029	-0,901	-0,143	0,712

Diâmetro médio ponderados dos agregados (DMPa), carbono orgânico (CO), argila total (AT), grau de flocação (GF), frações grosseiras (FG), condutividade hidráulica saturada (Kfs), densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt). Intensidade de correlação :  $0 \leq |R| < 0,2$  (muito fraca);  $0,2 \leq |R| < 0,4$  (fraca);  $0,4 \leq |R| < 0,6$  ;(moderada);  $0,6 \leq |R| < 0,8$  (forte) e  $0,8 \leq |R| \leq 1$  (muito forte). \* Correlações significativas ( $p < 0,05$ )

Elaboração: A Autora (2021).

A estruturação do solo, representada pelo DMPa, apresentou maior correlação positiva forte com a argila total (0,672). Em relação ao carbono orgânico (0,356) e as Kfs (0,223) as estruturações também foram positivas, embora fracas. De qualquer forma, esse resultado aponta para a importância da estruturação do solo para a permeabilidade. Quando analisamos a correlação fraca das Kfs com a argila total (0,266) e muito forte com o silte (0,727), observa-se que ambas foram positivas. Como o comportamento do silte é contrário ao da argila, sua correlação positiva foi maior estatisticamente. Diante desses pressupostos, esse resultado permite inferir que a quantidade de argila presente nos volumes de solos interferiu na permeabilidade, reduzindo-a.

Na Tabela 90 estão apresentadas as correlações do Chernossolo localizado no setor médio da cabeceira à esquerda da nascente. As propriedades que mais se correlacionaram com as Kfs neste setor, de forma muito forte positivo, foram o grau de floculação (0,983) e a porosidade total (0,976), pois reduziram em profundidade, acompanhando os dados de Kfs. Esse resultado indica que nos volumes superficiais a argila está mais floculada e também que a porosidade total é maior, provavelmente devido ao maior aporte da matéria orgânica em superfície, já que a correlação do CO com a porosidade total foi positiva muito forte (0,952).

Ressalta-se também que a correlação das Kfs com a macroporosidade (0,676) e microporosidade (0,690) foi forte positiva em função dos valores dessas propriedades terem oscilado nos volumes, e não mantiveram um padrão de redução ou aumento em profundidade. As Kfs não estabeleceram correlação positiva com o DMPa (-0,928), pois o tamanho dos agregados aumentou em profundidade, presumivelmente pela modificação da forma e do grau de estrutura, condicionados pelo aumento da argila que se correlacionou de forma muito forte positiva (0,993) com o DMPa e da redução do CO em profundidade (-0,425). A densidade apresentou uma correlação negativa com as Kfs (-0,925), com a microporosidade (-0,913), com a porosidade total (-0,986) e com a macroporosidade (-0,346).

Os efeitos nocivos da densidade do solo para a permeabilidade foram destacados em diferentes classes de solos por Albuquerque e Reinert (2001), Reinert (2008) e Suzuki *et al.* (2012). Observa-se ainda, a correlação negativa forte com o CO (-0,990), sugerindo que quanto maior o aporte orgânico do solo menor a densidade (DIAS JÚNIOR; MIRANDA, 2000; BRAIDA *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2012).

Tabela 90 - Coeficiente de correlação de *Pearson* dos dados físicos, hídricos e carbono orgânico da classe de Chernossolo da cabeceira de drenagem 2

Propriedades	DMPa	CO	AT	GF	silte	FG	Kfs	Ds	Ma	Mi
DMPa	1,000									
CO	-0,610*	1,000								
AT	0,993*	-0,514	1,000							
GF	-0,980	0,754	-0,951*	1,000						
silte	-0,985*	0,461*	-0,998*	0,930*	1,000					
FG	-0,654*	-0,202*	-0,736*	0,491*	0,776*	1,000				
Kfs	-0,928	0,862	-0,878*	0,983	0,848*	0,323*	1,000			
Ds	0,717	-0,990	0,631*	-0,841	-0,583*	0,060*	-0,925	1,000		
Ma (%)	-0,902	0,208	-0,946*	0,799	0,964*	0,916*	0,676	-0,346	1,000	
Mi (%)	-0,370	0,962	-0,260*	0,546*	0,201*	-0,462	0,690	-0,913	-0,067	1,000
Pt (%)	-0,823	0,952	-0,752*	0,919*	0,711*	0,108	0,976	-0,986	0,497	0,832

Diâmetro médio ponderados dos agregados (DMPa), carbono orgânico (CO), argila total (AT), grau de flocculação (GF), frações grosseiras (FG), condutividade hidráulica saturada (Kfs), densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt). Intensidade de correlação : $0 \leq |R| < 0,2$  (muito fraca);  $0,2 \leq |R| < 0,4$  (fraca);  $0,4 \leq |R| < 0,6$  ;(moderada);  $0,6 \leq |R| < 0,8$  (forte) e  $0,8 \leq |R| \leq 1$  (muito forte). \* Correlações significativas ( $p < 0,05$ )

Elaboração: A autora (2021).

Ainda no setor médio da cabeceira (área central e oeste), encontra-se a cobertura de Plintossolos. Na Tabela 91 estão expressos a intensidade das correlações das propriedades para esses setores da cabeceira 2. Observa-se a correlação positiva das Kfs com CO (0,596), enquanto a maior relação negativa estabelecida foi com a argila total (-0,809). Pode-se ainda, verificar a correlação das Kfs com as propriedades porais do solo, sendo que foi moderada positiva com a microporosidade (0,442), moderada negativa com a macroporosidade (-0,476) e fraca positiva com a porosidade total (0,337). Esses resultados podem sugerir que, para esses setores da cabeceira o comportamento físico-hídrico dos horizontes estudados está sendo influenciado por um menor desenvolvimento de poros estruturais (macroporos) e, conseqüentemente, por valores mais baixos de condutividade hidráulica, bem como um maior desenvolvimento de poros texturais (microporos) que favorecem os processos de retenção de água, concordando com Copper e Vidal-Torrado (2005).

No setor próximo à nascente, a intensidade da correlação das propriedades físicas e hídricas com o CO podem ser visualizadas na Tabela 92. Houve maior correlação positiva das Kfs com a macroporosidade (0,351) quando comparadas aos setores médios da cabeceira. A correlação da macroporosidade com a DMPa foi moderada positiva (0,479) e, por sua vez, a estruturação do solo, representada pelo DMPa estabeleceu relação também positiva (0,444) com as Kfs. Nesse sentido, a estruturação do solo pode ter influenciado na macroporosidade, e conseqüentemente nas Kfs. Verifica-se ainda, a correlação positiva do DMPa com o carbono orgânico (0,263). As Kfs estabeleceram relação moderada negativa com a argila total (-0,411).

A densidade teve relação negativa com a macroporosidade (-0,091), com a microporosidade (-0,784), com a porosidade total (-0,935) e com as Kfs (-0,148). De modo geral, estima-se que na cabeceira 2 o aporte da matéria orgânica tenha contribuído para os valores maiores de Kfs, sobretudo nos volumes superficiais, reduzindo a densidade, enquanto o aumento da argila total em profundidade tendeu a condicionar a redução da permeabilidade.

É válido ressaltar que os valores de macroporosidade, em geral, foram baixos (menores que 10%) em toda a cabeceira, mesmo a densidade sendo normal (para solos argilosos), evidenciando a importância do aporte da matéria orgânica e da argila no solo, que aumenta a microporosidade, e conseqüentemente a retenção de água. Em suma, constatou-se que os volumes A e A2, apresentaram os maiores valores para a condutividade hidráulica saturada, proporcionado pela menor densidade e maior contribuição do carbono orgânico. O volume Bf apresentou a mais baixa condutividade e, comparativamente aos demais, maior quantidade de argila e maiores valores de densidade, o que dificulta a infiltração vertical, e facilita o fluxo lateral de escoamento em subsuperfície.

Tabela 91 - Coeficiente de correlação de *Pearson* dos dados físicos, hídricos e carbono orgânico da classe do Plintossolo no setor médio da cabeceira de drenagem 2

Propriedades	DMPA	CO	AT	GF	silte	FG	Kfs	Ds	Ma (%)	Mi (%)
DMPA	1,000									
CO	-0,264	1,000								
AT	-0,102	-0,643	1,000							
GF	0,333	-0,134	-0,509	1,000						
SILTE	0,280	0,705	-0,933	0,443	1,000					
FG	0,046	0,719	-0,528	0,175	0,647	1,000				
Kfs	-0,414	0,596	-0,809	0,431	0,621	0,402	1,000			
Ds	0,031	-0,584	0,510	0,177	-0,622	-0,417	-0,228	1,000		
Ma	0,304	-0,023	0,354	-0,482	-0,243	0,288	-0,476	0,162	1,000	
Mi	-0,177	0,610	-0,590	0,044	0,669	0,253	0,442	-0,851	-0,589	1,000
Pt	0,525	0,508	-0,777	0,516	0,920	0,525	0,337	-0,543	-0,259	0,605

Diâmetro médio ponderados dos agregados (DMPa), carbono orgânico (CO), argila total (AT), grau de flocculação (GF), frações grosseiras (FG), condutividade hidráulica saturada (Kfs), densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt). Intensidade de correlação :  $0 \leq |R| < 0,2$  (muito fraca);  $0,2 \leq |R| < 0,4$  (fraca);  $0,4 \leq |R| < 0,6$  ;(moderada);  $0,6 \leq |R| < 0,8$  (forte) e  $0,8 \leq |R| \leq 1$  (muito forte). \* Correlações significativas ( $p < 0,05$ )

Elaboração: A autora (2021).

Tabela 92 - Coeficiente de correlação de *Pearson* dos dados físicos, hídricos e carbono orgânico da classe do Plintossolo no setor baixo da cabeceira de drenagem 2

Propriedades	DMPa	CO	AT	GF	Silte	FG	Kfs	Ds	Ma	Mi
DMPa	1,000									
CO	0,263	1,000								
AT	-0,119*	-0,304*	1,000							
GF	0,322	0,320	-0,478*	1,000						
silte	-0,062*	0,149*	-0,941*	0,473*	1,000					
FG	0,072*	0,155*	-0,179*	-0,476*	0,158*	1,000				
Kfs	0,444	0,040	-0,411*	0,439	0,456*	0,340*	1,000			
Ds	0,104	-0,274	0,561*	-0,050	-0,653*	-0,215*	-0,148	1,000		
Ma (%)	0,479	0,276	-0,285*	0,552	0,303*	0,070*	0,351	-0,091	1,000	
Mi (%)	-0,414	0,115	-0,488*	-0,226	0,507*	0,142*	-0,173	-0,784	-0,461	1,000
Pt (%)	-0,189	0,289	-0,714*	0,064	0,745*	0,201*	0,009	-0,935	0,060	0,858

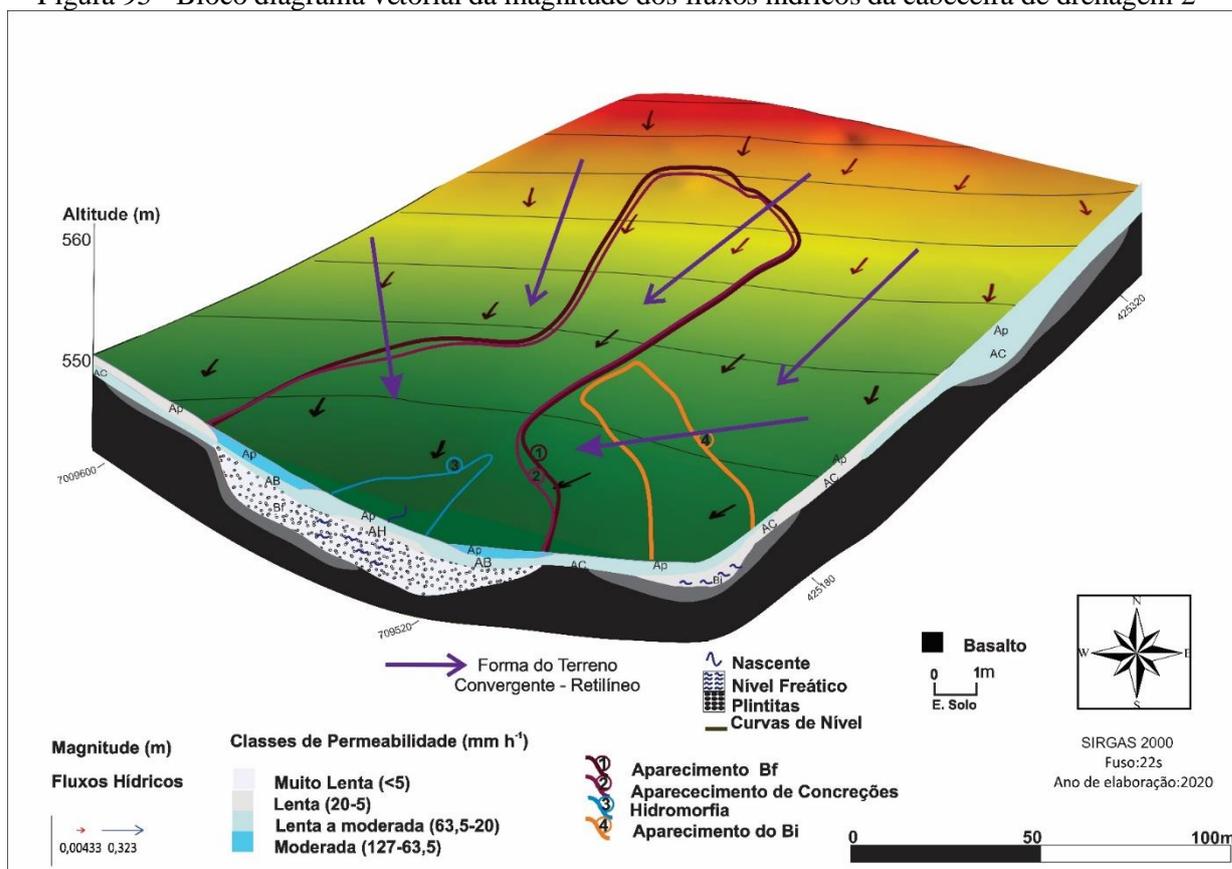
Diâmetro médio ponderados dos agregados (DMPa), carbono orgânico (CO), argila total (AT), grau de floculação (GF), frações grosseiras (FG), condutividade hidráulica saturada (Kfs), densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt). Intensidade de correlação :  $0 \leq |R| < 0,2$  (muito fraca);  $0,2 \leq |R| < 0,4$  (fraca);  $0,4 \leq |R| < 0,6$  ;(moderada);  $0,6 \leq |R| < 0,8$  (forte) e  $0,8 \leq |R| \leq 1$  (muito forte). \* Correlações significativas ( $p < 0,05$ )

Elaboração. A autora (2021).

## 4.6.2.2 Funcionamento hidrogeomorfológico e morfopedogenético da cabeceira de drenagem 2

A caracterização da morfologia da cabeceira 2 foi embasada nas pesquisas de Valeriano e Carvalho Júnior (2003); Werlang, (2004); Valeriano, (2008); Silva Neto, (2013); Guareschi (2018) e Carvalho *et al.* (2019). Assim, considera-se que a curvatura horizontal se refere ao caráter divergente/convergente dos fluxos de água sobre o terreno quando analisado em projeção horizontal, e a curvatura vertical refere-se ao caráter côncavo/convexo da vertente quando analisado em perfil. A partir da forma do terreno, pode-se averiguar como ocorrem os fluxos hídricos na cabeceira, os quais associam-se às propriedades hidrológicas e de transporte de materiais (VALERIANO, 2008). Desse modo, apoiando-se na literatura referida no presente estudo, considerou-se a forma do terreno e as tendências à infiltração superficial que podem ser visualizadas na Figura 95.

Figura 95 - Bloco diagrama vetorial da magnitude dos fluxos hídricos da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Observou-se que a cabeceira de drenagem 2 apresentou vertentes com curvatura vertical retilínea e curvatura horizontal convergente. Esses padrões de curvatura irão condicionar o direcionamento dos fluxos de escoamento das águas superficiais.

No que concerne às curvaturas, de acordo com Nascimento *et al.* (2016), aquelas caracterizadas como convergentes e retilíneas, como no caso da cabeceira 2, podem ser consideradas como agravantes da suscetibilidade quanto as erosões lineares por favorecerem a concentração de fluxo de escoamento superficial. Carvalho *et al.* (2019) descrevem que para a curvatura retilínea não existe a associação fluxo de escoamento, com isso o carregamento de partículas é menos elevado quando comparado com o côncavo, sendo nestas configurações mais presentes os processos erosivos laminares.

Como pode ser visualizado na Figura 95, a magnitude dos fluxos hídricos superficiais variou de 0,02 a 0,32 m. Em termos gerais, isso significa que a cabeceira apresenta uma velocidade predominantemente baixa dos fluxos hídricos quando considerado o aspecto hipsométrico e de declividade. No setor de topo, no qual as classes hipsométricas são superiores a 560m, a tendência de escoamento é ser mais veloz (acima de 0,12 a 0,32 m), enquanto em direção à nascente, o escoamento torna-se mais lento (0,02 a 0,12 m), praticamente estagnado. Dado esses aspectos, a tendência é um baixo escoamento superficial, contudo, com maior potencial de infiltração.

Ainda com base nos dados de Kfs mencionados, a circulação da água apresentou diferentes dinâmicas, sendo visível no desenvolvimento pedogenético existente na cabeceira 2. Assim, circundando a cabeceira da nascente 2 tem-se a presença de solos rasos. A ocorrência da classe do Neossolo Litólico na cabeceira pode ser explicada, pela configuração e disposição rochosa com fluxos hídricos no contato entre o volume AC e o contato lítico constituído de basalto maciço, conferindo baixa condição de pedogênese. Além disso, a cabeceira 2 está localizada numa área circundada por relevo dissecado (relevo forte ondulado a montanhoso)

No setor de ocorrência do Chernossolo observou-se duas frentes paralelas de atuação hídrica: uma no contato entre o volume C e Bi, e a outra no contato com o volume C e a rocha. O desenvolvimento da classe dos Chernossolos depende da conjunção de condições que favoreçam a formação e a persistência de um horizonte superficial rico em matéria orgânica e com alto conteúdo de cálcio e/ou magnésio(EMBRAPA, 2018), que conferem alta atividade da argila promovendo reação moderadamente ácida (MELO *et al.*, 2017).Em relação à formação de horizonte com acúmulo de matéria de orgânica pressuposto para a identificação do Chernossolo, de acordo com Rangel *et al.* (2008), a reduzida perda de solo por erosão e a ausência ou menor revolvimento do solo podem contribuir para aumentar ou preservar os teores

de CO do solo. Moreira e Silva (2004) quantificaram durante um ano a produção mensal e anual de serapilheira, tendo como hipótese a possível distinção na sua produção em função de diferentes setores topográficos (topo; meia encosta e baixada). Segundo os autores, as diferentes posições topográficas podem acarretar dinâmicas diferentes na ciclagem de nutrientes, devido ao maior escoamento superficial e subsuperficial da água da chuva.

A gênese da classe do Plintossolo está relacionada ao processo de plintização que ocorre em determinadas condições de restrição da percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade (EMBRAPA, 2018). A formação do horizonte plíntico pode ser avaliada nas Figuras 96, 97, 98, 99 e 100.

Figura 96 - Horizonte Plíntico da TR2 da topossequência do eixo A



Fonte: A autora (2020)

Figura 97 - Horizonte Plíntico da TR3 da topossequência do eixo A



Fonte: A autora (2020)

Figura 98 - Horizonte Plíntico da TR2 da topossequência do eixo B



Fonte: A autora (2020)

Figura 99 - Horizonte Plíntico da TR2 da topossequência do eixo C



Fonte: A autora (2020)

Figura 100 - Horizonte Plíntico da TR3 da topossequência do eixo C



Fonte: A autora (2020)

De acordo com Garcia (2008),

a formação do horizonte plíntico está relacionada com processos que levam à segregação, mobilização e está transporte de  $Fe^{2+}$ , seja pelo fluxo lateral das águas de infiltração, das zonas mais altas até as mais baixas, ou pelas oscilações do lençol freático carregado desse elemento, precipitação e concentração final de compostos de ferro (plintização). a presença de plintita e/ou petroplintita indica que, em algum momento houve alternância dos processos de oxidação e redução (GARCIA, 2008, p.19 e 20).

A plintita é uma formação constituída da mistura de argila, pobre em C orgânico e rica em Fe, ou Fe e Al, com quartzo e outros materiais (EMBRAPA,2018). O material plíntico ocorre em toda a cabeceira 2 com frequência e profundidade variável e pode estar promovendo um subnível freático, evidenciado pelos valores de permeabilidade baixos no volume Bf, forçando o deslocamento lateral da água infiltrada.

Alexander e Cady (1962) expressaram que para que ocorra a acumulação e segregação do óxido de ferro e finalmente desencadeie o processo de formação de plintita, três condições básicas são necessárias: primeiro que exista um suprimento adequado de ferro, oriundo do material de origem ou através da adição de ferro vindo de outra fonte; em segundo lugar, que ocorra o processo de alternância de umedecimento e secagem, favorecendo assim, o processo de redução e oxidação das substâncias e por fim, que o relevo da área seja relativamente plano.

Para que a plintita se forme, segundo Driessen e Deckers (2001), é necessário que ocorram os seguintes processos:

1. Acumulação relativa de sesquióxidos, pela remoção da sílica e de bases, através da hidrólise e dissolução, como também pela acumulação absoluta de produtos resistentes ao intemperismo como sesquióxidos, quartzo e caulinita oriundos de uma ou outra fonte qualquer.
2. Segregação de ferro (mosqueado), fruto da alternância do processo de oxidação-redução no ambiente. No período em que o ambiente está saturado com água a maioria do ferro encontra-se em forma ferrosa que tem alta mobilidade, fato pelo qual é facilmente redistribuído. Quando a umidade decresce, este ferro precipita-se como óxido férrico o qual poderá ser redissolvido na próxima estação úmida (DRIESSEN; DECKERS, 2001, p.151).

Quanto a sua distribuição, o material plíntico na cabeceira 2 é comum na média vertente a partir de 10 cm (entre as sondagens 4 e 5) e 40 cm (sondagem 6 da topossequência do eixo A) na área central da cabeceira. No setor esquerdo em relação à nascente, foram visualizadas plintitas na baixa vertente (sondagem 7, topossequência do eixo B) a partir dos 40 cm e no setor direito em relação à nascente foi verificada a partir dos 10cm na média vertente (sondagem 3 na topossequência do eixo C). O tamanho do material plíntico é variável (até maiores que 2cm) e sua consistência é dura, aumentando a concentração conforme aumenta a profundidade.

A distribuição irregular das plintitas pode ser indício de diferenciações na segregação do ferro na cabeceira. Nota-se maior concentração de plintitas na TR3 do eixo A, possivelmente

por permanecer mais tempo submetida à oscilação do lençol freático, observação semelhante foi realizada por Garcia (2008). Segundo Moura (2015), a translocação dos óxidos de ferro no perfil pode ocorrer para cima ou para baixo e a redistribuição do ferro nos horizontes são ocasionadas pela variação sazonal do lençol freático. Asiamah e Dedzoe (1999) e Eze *et al.* (2014), descrevem que a presença de plintita pode acelerar o processo erosivo do solo em função de impedir o movimento da água para baixo, causando a saturação do horizonte acima, corroborando para a perda e o movimento lateral do solo por erosão hídrica.

Em suma, pode-se constatar que as baixas declividades nos relevos plano a suave ondulado favoreceu a infiltração vertical na cabeceira nos volumes superficiais (A e A2), reorientando o fluxo hídrico para o sentido lateral quando ao encontro do volume B, sobretudo, em função da presença de plintitas. A associação de fluxos subsuperficiais e oscilação do lençol freático propiciam as condições da hidromorfia próximo à nascente. Pressupõe-se que os setores de baixa e média vertente da cabeceira estão mais expostas a maior incidência do lençol freático, dessa forma, permanecendo por mais tempo em contato com o basalto e potencializando o desenvolvimento da pedogênese. Isso fica evidenciado pela diferença de coloração e concentração de concreções ao longo na cabeceira. De modo geral, a pedogênese na cabeceira 2 é marcadamente influenciada pelos regimes hidrológicos do lençol freático que causa o processo de plintização.

É válido ressaltar que os levantamentos de campo para a interpretação do funcionamento hídrico, a partir da análise estrutural da cobertura pedológica em que foi identificada presença do nível do lençol freático na área central da cabeceira, podem ser indícios da alteração na posição do ponto de exfiltração d'água da nascente 2, motivadas pelas atividades antrópicas desenvolvidas no entorno da cabeceira de drenagem. A dinâmica da água nos solos favorece uma maior ou menor erosão, bem como uma infiltração maior ou menor que por sua vez pode auxiliar na recarga do lençol freático (SOUSA, 2013). Dessa forma, diferentes alinhamentos e subalinhamentos, e distintos níveis de resistência da litologia, condicionam variadas formas no relevo que por sua vez vão influenciar diretamente no material sobrejacente.

## 4.7 ANÁLISE HIDROAMBIENTAL DAS NASCENTES

### 4.7.1 Fisiografia das nascentes

A partir da classificação proposta por Valente e Gomes (2011), baseada em características geológico-geomorfológicas, aliada aos trabalhos de campos efetivados,

compreende-se que as nascentes contidas nas cabeceiras de drenagem deste trabalho, em relação à origem da exfiltração, são provenientes de lençol freático. Para essa classificação, ainda foi levada em consideração as características referentes ao Sistema Aquífero Serra Geral, no qual a nascente está inserida.

Levando em consideração a variabilidade temporal da exfiltração de acordo com o período de escassez de água, as nascentes das cabeceiras 1 e 2 são perenes, ou seja, não secam durante o ano, embora a nascente localizada na cabeceira 2 apresente redução em sua vazão, ela mantém o fluxo contínuo de água ao longo do ano (VALENTE; GOMES, 2011).

Em relação ao tipo de exfiltração, a nascente da cabeceira de drenagem 1 é pontual, na qual a concentração da surgência hídrica está localizada em um ponto da cabeceira e encontra-se atualmente canalizada (Figuras 101 e 102).

Figura 101 - Aspecto geral da nascente 1 da cabeceira de drenagem 1



Fonte: A autora (2021).

Figura 102 - Tipo de exfiltração da nascente 1 da cabeceira de drenagem 1



Fonte: A autora (2021).

A nascente inserida na cabeceira 2 e apresenta uma tipologia de exfiltração mais complexa de ser avaliada; no verão é difusa e no inverno é pontua (Figura 103).

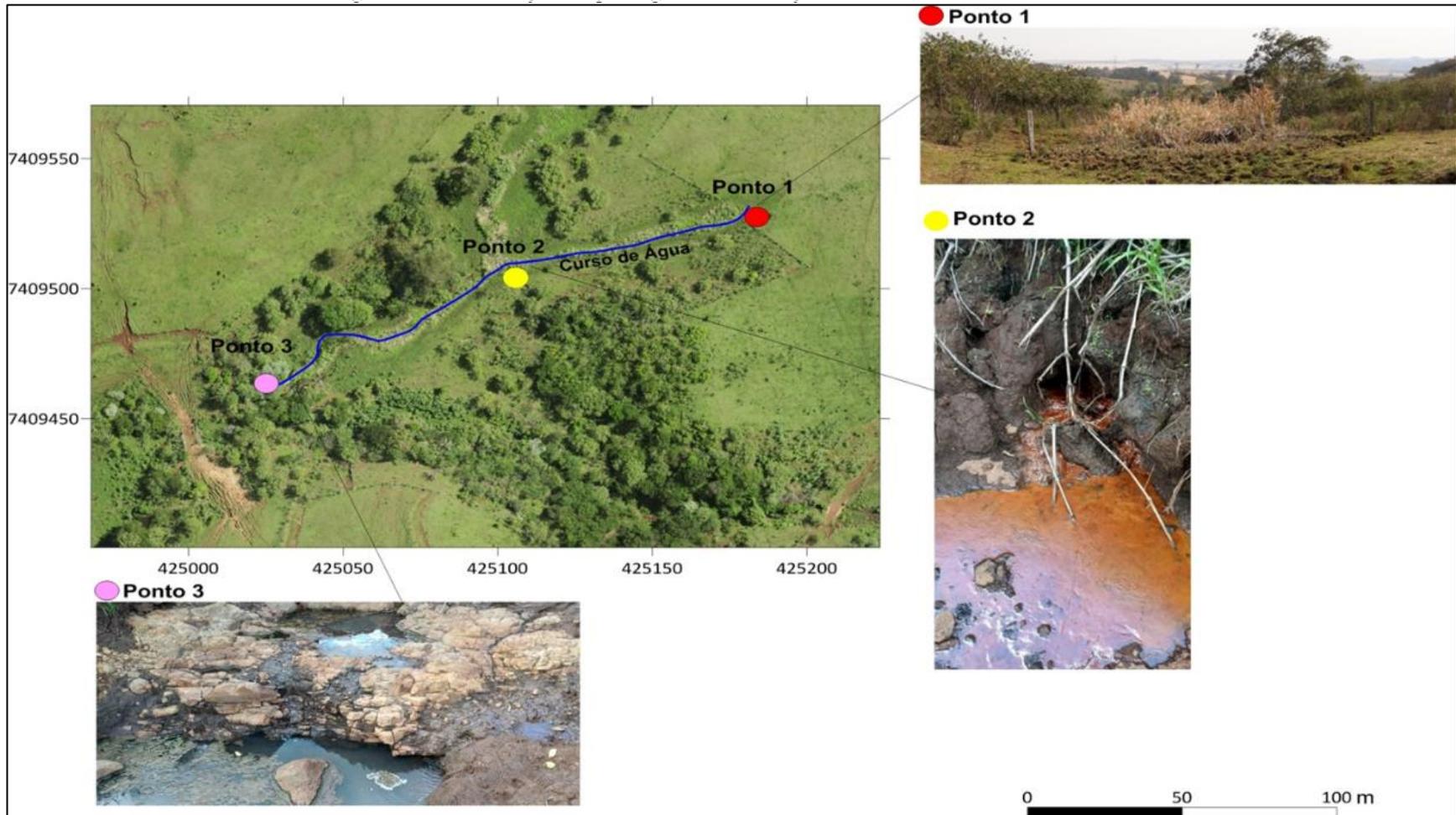
A exfiltração difusa caracteriza-se por não ser possível afirmar com precisão o principal local de saída da água, formando terrenos encharcados em que somente na jusante um canal é identificável, formando áreas denominadas como brejos (FARIA,1997).

A Figura 103 demonstra onde foi possível encontrar o ponto de exfiltração da nascente da cabeceira 2. Na imagem contida na Figura 104, o ponto 1 refere-se ao local em que se acredita ser o início da exfiltração da nascente, o ponto 2 (82 m do ponto 1) é onde foi possível visualizar um único ponto de saída de água durante o inverno, e o ponto 3 (84 metros do ponto 2) é onde realiza-se a coleta para análises. É válido destacar que no período chuvoso ocorre o alagamento em torno do ponto 1 até o ponto 2 no canal de água de primeira ordem.

Observações semelhantes foram realizadas por Felipe (2009), no Parque das Mangabeiras no município de Belo Horizonte (MG), onde 55 % das nascentes possuíam exfiltração pontual no verão, 25 % difusa e 20 % múltipla. No inverno, houve uma inversão nessa distribuição percentual, de forma que as nascentes múltiplas e difusas passaram a corresponder a 35% cada, e as pontuais passaram a ser 30% dos casos. Segundo o autor, essas alterações ocorrem quando o nível freático desce durante a estação do inverno, quando diminuem o volume de chuvas a ponto de interromper a exfiltração, a não ser que novas condições morfológicas contribuam para que esta continue à jusante do local original, o que em outras palavras, significa a mudança da forma da nascente do verão para o inverno.

As nascentes também foram classificadas fisiograficamente quanto à tipologia mediante a posição da vertente. Nesse aspecto, a nascente da cabeceira 1 é definida como fixa, pois não apresentou mobilidade à montante ou jusante em relação a sua posição na cabeceira. Na nascente da cabeceira 2, houve dificuldade em definir com precisão sua exfiltração em função do alagamento da área no verão, como já mencionado. Por ter sido possível observar um único ponto de exfiltração dessa nascente somente à jusante, no inverno, classificou-se como tipologia móvel (FELIPPE, 2009; VALENTE; GOMES, 2011). De acordo com Felipe (2009, p.178), “as nascentes podem migrar para montante e jusante diversas vezes no ano, de acordo com sua dinâmica subterrânea, além disso essa classificação pode alterar-se ano a ano, devido à variação dos parâmetros climáticos”.

Figura 103 - Localização e aspecto geral da exfiltração da nascente 2 da cabeceira 2



Elaboração: A autora (2021).

#### 4.7.2 Aplicação do Índice de Impacto Ambiental em Nascentes

Os resultados dos parâmetros avaliados para a determinação do Índice de impacto Ambiental em Nascentes (IIAN) estão apresentados no Quadro 2. O primeiro parâmetro observado, apenas visualmente, refere-se à cor da água. Para essa classificação é observado se há presença de substâncias em solução, principalmente material orgânico coloidal (exemplos: substâncias naturais resultantes da decomposição de folhas e madeiras, esgotos domésticos ou rurais e efluentes industriais como taninos – de curtumes; anilinas - de indústrias têxteis e tintas; lignina e celulose - de indústrias de celulose e papel etc.) e inorgânico naturais como compostos de ferro e manganês (GOMES, 2015).

Quadro 2- Resultados da avaliação macroscópica das nascentes 1 e 2 das cabeceiras de drenagem

Parâmetros macroscópicos avaliados	Classificação			Resultados	
	Ruim (1 ponto)	Médio (2 pontos)	Bom (3 pontos)	Nascente 1	Nascente 2
1. Cor da água	Escura	Clara	Transparente	3	1
2. Odor da água	Forte	Com Odor	Sem odor	3	2
3. Lixo ao redor da nascente	Muito	Pouco	Ausente	2	3
4. Materiais flutuantes (lixo na água)	Muito	Pouco	Ausente	3	3
5. Afloramento	Assoreada	Difusa	Pontual	3	2
6. Fluxo	Temporária	Intermitente	Perene	3	3
7. Acesso	Fácil	Difícil	Sem acesso	1	1
8. Vegetação (APP)	Degradada ou ausente	Alterada	Presente (nativa)	2	1
9. Uso pela fauna	Presença	Evidência	Ausente	1	1
10. Processos erosivos (APP e nascente)	Voçoroca e ravinas	Sulcos	Ausente	2	1
11. Proteção (cerca)	Ausente	Presente, mas com fácil acesso	Presente, mas com difícil acesso	2	2
12. Fragilidade dos Solos	Neossolo e Plintossolo	Cambissolo Chernossolo	Nitossolos	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>Índice de Impacto Ambiental em Nascentes (IIAN)</b>			<b>26</b>	<b>21</b>
Ótimo: IIAN entre 36 e 34; Bom: IIAN entre 33 e 31; Razoável: IIAN entre 30 e 28; Ruim: IIAN entre 27 e 25; Péssimo: IIAN abaixo de 25.					

Elaboração: A autora (2021).

Nesse parâmetro, a nascente 1 apresenta-se de cor transparente, enquanto a nascente 2 possui coloração avermelhada. Koch *et al.* (2017) citam como possíveis causas de influência na turbidez e coloração da água a areia, a argila, a presença de material orgânico na água e/ou sais dissolvidos, como ferro e manganês. Nesse caso, acredita-se que a coloração avermelhada

da nascente esteja relacionada com a constituição mineralógica da rocha basáltica de cor escura, composta de minerais que são relativamente ricos em ferro e magnésio (MINEROPAR, 2001).

Para o odor foi considerado nesta proposta, a presença de substâncias que comuniquem odor ou a sensação do odor de forma sensorial. Essa característica pode resultar de causas naturais (exemplos: vegetação em decomposição, bactérias, fungos e compostos orgânicos como gás sulfídrico etc.) ou artificiais (exemplos: esgotos *in natura* domésticos e industriais). Na nascente 1 não há odores perceptíveis, já na nascente 2 foi possível averiguar anomalia no odor da água, supostamente de causas naturais, provavelmente decomposição de vegetação.

Outro parâmetro avaliado refere-se ao encontro de lixo na área ao entorno da nascente (Área de Preservação Permanente em um raio de 50 metros), sendo para tanto, observado se havia ou não presença de resíduos sólidos sem considerar a toxicidade, magnitude ou abrangência resultante desses. Destarte, foram encontrados a presença de poucos plásticos na área de APP da Nascente 1, enquanto na nascente 2 o lixo foi ausente. Também foi ausente nas nascentes 1 e 2 a ocorrência de materiais flutuantes na água.

Em relação ao tipo de afloramento, a nascente 1 é classificada como sendo pontual, pois apresenta concentração da exfiltração em apenas um ponto, facilmente individualizado, em contrapartida, a nascente 2 está localizada em uma área brejosa, sendo portanto, considerada uma nascente difusa (FARIA, 1997). Como mencionado anteriormente, não foi possível saber com exatidão o ponto de exfiltração no decorrer do ano para a nascente 2, tendo diferenças entre a estação do verão e do inverno. Nesse caso, optou-se por enquadrá-la ao tipo de afloramento difuso, isso não interferiu no resultado de IAN ruim obtido para essa nascente.

O parâmetro de fluxo leva em consideração a variabilidade temporal da exfiltração, assim as nascentes podem ser perenes, intermitentes ou efêmeras, de acordo com o período de escassez de água que apresentam (VALENTE; GOMES, 2005). Dessa forma, as nascentes 1 e 2 são classificadas como perenes, pois não secam durante o ano, ainda que a nascente 2 apresente redução significativa em seu fluxo de água no inverno. Em relação ao parâmetro acesso, refere-se ao local em que a nascente está inserida e a dificuldade do acesso, sob essa perspectiva, não houve dificuldade em acessibilidade, visto que as nascentes estão localizadas em propriedade rural particular, inclusive com trilhas. O acesso à nascente, neste caso, seria impossibilitado no caso de uma área protegida por lei em uma Unidade de Conservação por exemplo, ou caso a vegetação estivesse preservada.

No que se refere à vegetação, considera-se alterada para a nascente 1 tendo a vegetação nativa sido totalmente retirada e substituída por espécies para reflorestamento, como a Gurucaia (*Parapipdenia rigida* (Bentham) Brenan). Por sua vez, a nascente 2 encontra-se degradada,

considerando que a vegetação nativa foi totalmente retirada e substituída por capim e ocorre apenas algumas espécies frutíferas esparsas como o limão rosa (*Citrus limonia* Osbeck) e, principalmente a goiabeira (*Psidium guajava* (L.)).

O valor atribuído ao parâmetro “uso pela fauna”, justifica-se por ambas as nascentes apresentarem pegadas e dejetos de gado bovino em seu entorno, sendo assim utilizadas para sua dessedentação, isso está relacionado ao fato de estarem localizadas em área de pastagem. Ressalta-se que a nascente 1 está em uma estrutura de proteção de cimento e seu curso canalizado, propiciando que a água se mantenha limpa e evitando que o gado tenha acesso direto no seu ponto de exfiltração.

Leal *et al.* (2017), ao realizarem estudos na bacia do Córrego Itanguá, em Capão Bonito (SP) aplicando a análise macroscópica, descrevem que o uso pelos animais (bovinos e javalis) em áreas de nascentes, pode acarretar a contaminação da água por fezes e urina, além de alterar a regeneração da vegetação em torno da nascente. Nesse sentido, Stolf e Molz (2017) avaliaram a qualidade microbiológica da água em propriedade rural, localizada na cidade de Taió (SC). Os resultados revelaram que todas as amostras de água apresentaram contaminação com bactéria do grupo coliforme total e coliformes fecais. Segundo as autoras, a contaminação fecal encontrada nas amostras de água estudadas deixa clara a preocupação com a preservação das nascentes.

Para o parâmetro “processos erosivos”, leva-se em consideração a observação de formas e feições erosivas (sulcos, ravinas e voçorocas) na APP. Foram evidenciados processos erosivos nas áreas das duas nascentes. Na nascente 1, observam-se sulcos possivelmente desencadeados pela declividade acentuada. Nesse aspecto, diversos trabalhos têm atestado a fragilidade potencial muito forte associada à ocorrência de formas erosivas aliadas a declividades acentuadas (ROCHA, 2011; FRUET, 2016). Próximo à nascente 2, as chuvas de janeiro de 2020 provocaram ravinamentos (Figura 104).

Sobre a proteção da cerca que circunda as nascentes, a qual é feita de arame farpado, tornando fácil ultrapassá-la pela falta de manutenção, demonstra, ainda, que há ainda um determinado perímetro em que o arame está rompido facilitando o acesso do gado bovino à água. Outro parâmetro observado foi a “fragilidade do solo” em que é considerada a erodibilidade. Desse modo, as nascentes foram classificadas com fragilidade muito forte, de acordo com a classificação estabelecida para os solos da bacia hidrográfica do rio Pirapó de Bonifácio (2019), na qual a nascente 1 está localizada em setor abrangido pela classe de Neossolo Litólico, enquanto a nascente 2 está em setor de hidromorfia, da classe do Plintossolo.

Figura 104 - Processos erosivos no curso de água da nascente 2



Fonte: A autora (trabalho de campo, 2020).

Observa-se que para a nascente 1 os parâmetros que mais influenciaram na redução do IAN foram: acesso, uso pela fauna e fragilidade do solo. Para a nascente 2 foram: Cor da água, afloramento, acesso, vegetação (APP), uso pela fauna, processos erosivos e fragilidade do solo. Observa-se que a nascente 2 possui maior número de fatores que prejudicam seu grau de preservação, logo é a mais degradada comparando os índices para as duas nascentes.

A avaliação macroscópica é ruim (IAN de 26 pontos) para a nascente 1 e péssima (IAN abaixo de 25 pontos) para a nascente 2, que indicou notadamente que as características do entorno das nascentes definiram o grau de conservação em que elas se encontram. Dessa forma, acredita-se que a falta da adequação da APP, segundo a legislação ambiental, esteja relacionada aos resultados baixos (nota 1) para a avaliação dos parâmetros de uso pela fauna, acessibilidade e os processos erosivos. De acordo com os resultados obtidos fica evidente a degradação ambiental das nascentes devido, principalmente, às irregularidades da APP, sobretudo na nascente 2. Resultados semelhantes no que se refere à alteração da APP foram relatados por Gomes *et al.* (2005), Gomes (2015), Silva *et al.* (2018) e Carvalho *et al.* (2020) que potencializaram a degradação da nascente.

Nesse sentido, os trabalhos desenvolvidos por Felipe (2009) e Oliveira *et al.* (2020) têm demonstrado que quanto maior a proteção de acesso à nascente, sobretudo em unidades de conservação, melhor o estado ambiental. Além disso, os autores têm destacado a necessidade das áreas de preservação de nascentes para a qualidade do solo e da água (PAISANI *et al.*, 2006; FELIPPE, 2009; FERREIRA, *et al.*, 2009; CARMO *et al.*, 2014; CURCIO, 2016; CURCIO; BONNET, 2018;).

### 4.7.3 Avaliação da dinâmica hidrológica

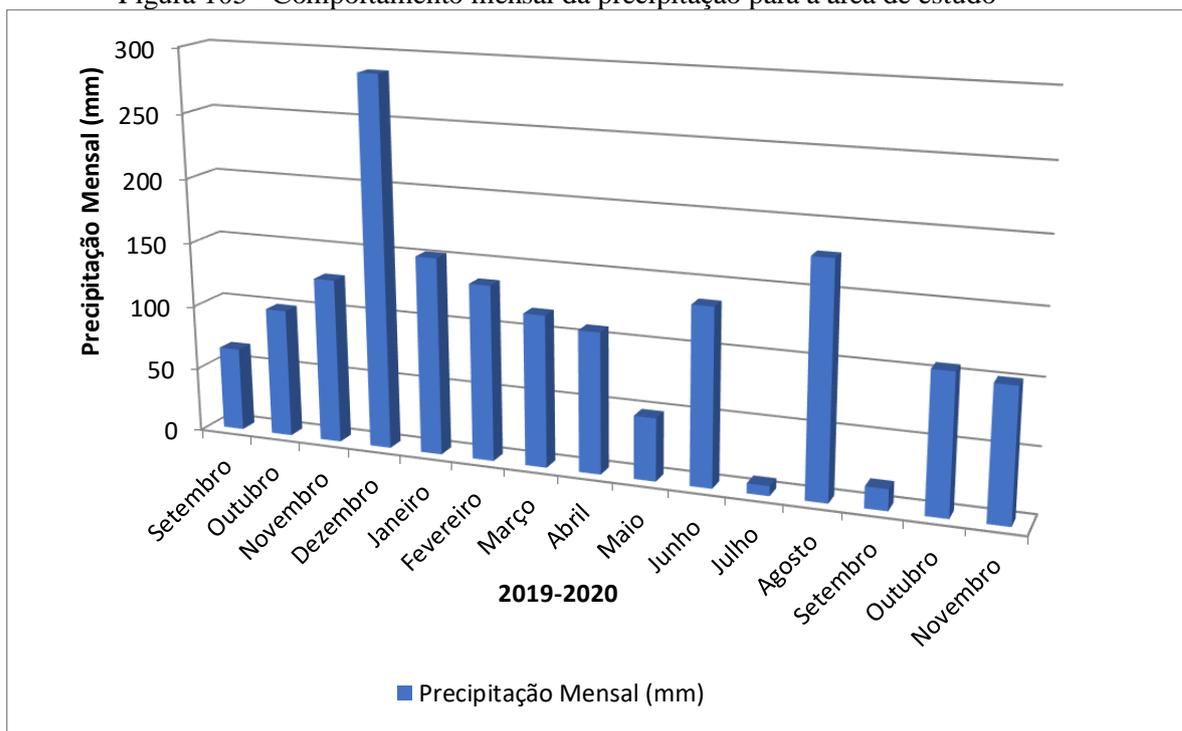
A dinâmica hidrológica das nascentes foi avaliada a partir da medição dos seguintes parâmetros: mobilidade do local de exfiltração; vazão; profundidade do nível freático e precipitação. Todos esses parâmetros foram medidos mensalmente, considerando a periodicidade dos trabalhos de campo. Os registros de precipitação foram adquiridos da estação meteorológica de Apucarana, do Sistema de tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR).

#### 4.7.3.1 Interpretação dos dados de vazão das nascentes

Para a interpretação da dinâmica hidrológica foi mensurada a vazão das nascentes durante o período de setembro de 2019 a novembro de 2020. Notadamente, o regime climático foi importante para esta avaliação, desse modo, pôde-se observar se a vazão tendia a ser maior nos períodos de maior volume de chuva. A Figura 105 permite observar o comportamento mensal da distribuição da precipitação pluviométrica na área de estudo, no período de 15 meses, de setembro de 2019 a novembro de 2020. Em termos mensais, os maiores valores observados foram encontrados para o mês de dezembro de 2019, com valores de 286,4mm de chuva, e inversamente, sendo observado os menores valores pluviométricos para o mês de julho de 2020, com 7,6mm de pluviosidade.

A Figura 105 permite inferir que a média pluviométrica para os meses de verão (2019 e 2020) foi de 191 mm e para o inverno de 135,8 mm. Na estação da primavera de 2019, a média pluviométrica foi 97,46 mm, enquanto para a primavera de 2020 foi de 74,73 mm. Para a estação do outono de 2020, a média pluviométrica foi de 91,24 mm, desse modo, pode-se constatar que a estação com as maiores médias pluviométricas do período analisado foi o verão. Esses resultados são similares aos de Caviglione *et al.* (2000), Baldo *et al.* (2012), Terrassi *et al.* (2014) e Terrassi e Silveira (2016), os quais identificaram que os meses mais chuvosos são janeiro, fevereiro e dezembro e os meses mais secos junho, julho e agosto. Resultados observados por Andreucci *et al.* (2002) ao analisarem os níveis pluviométricos para toda a bacia do Rio Pirapó para a série histórica 1976 a 1996, com dados de 13 postos pluviométricos mantidos pelo IAPAR, identificaram altos valores pluviométricos para os meses de janeiro no decorrer daquele período.

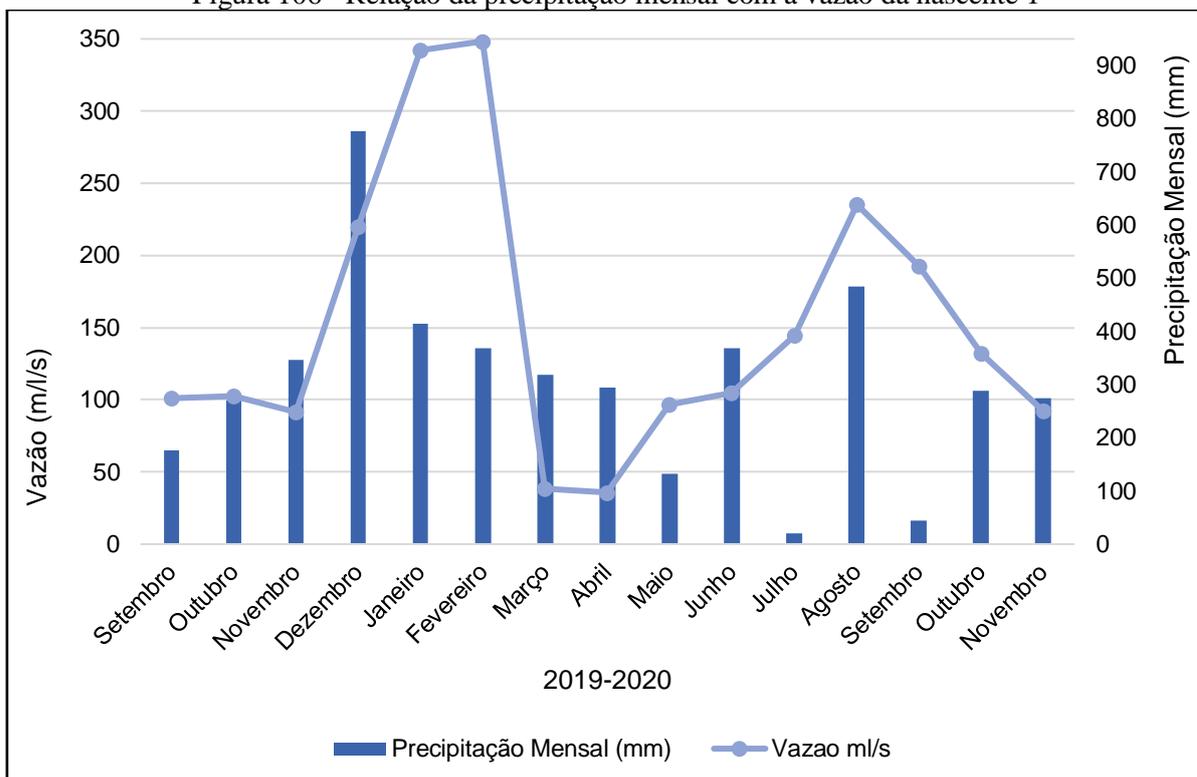
Figura 105 - Comportamento mensal da precipitação para a área de estudo



Fonte: SIMEPAR (2021).

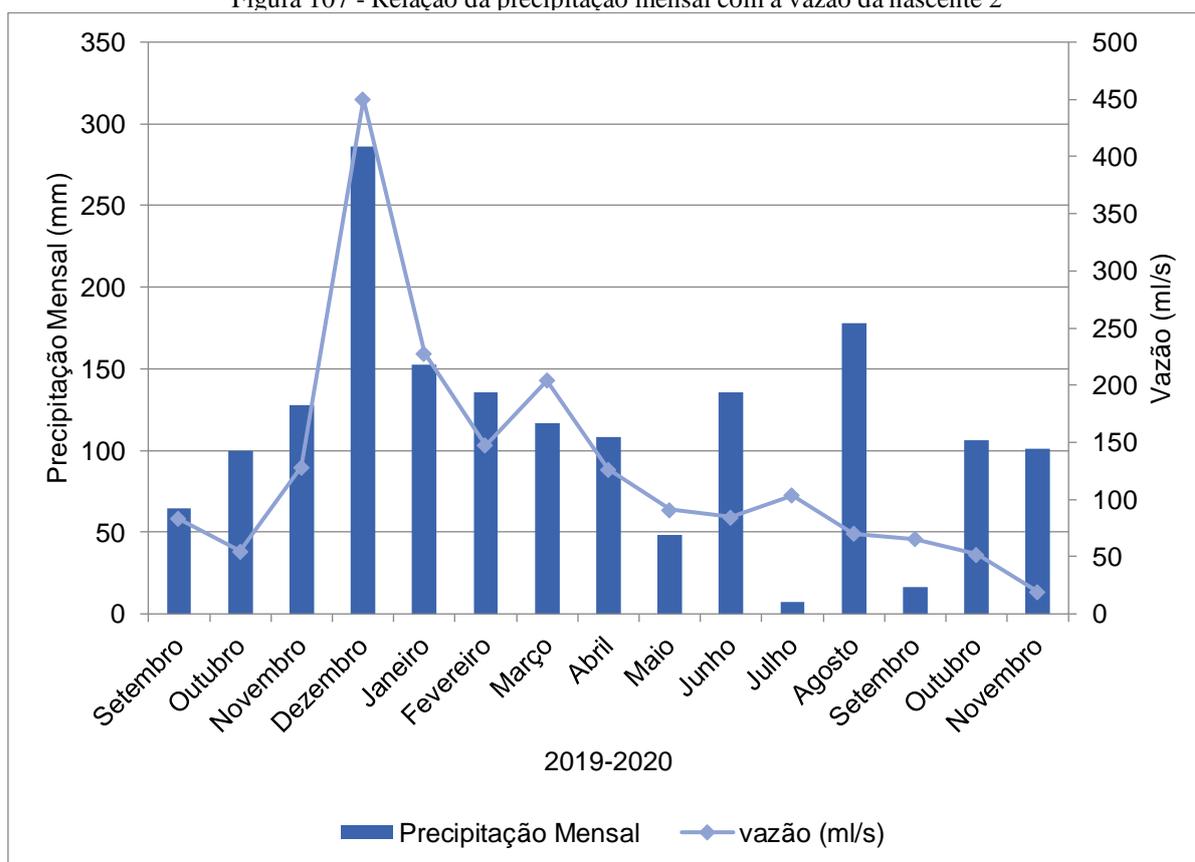
Os registros pluviométricos mensais obtidos foram correlacionados com a vazão das nascentes (Figuras 106 e 107).

Figura 106 - Relação da precipitação mensal com a vazão da nascente 1



Fonte: SIMEPAR (2021).

Figura 107 - Relação da precipitação mensal com a vazão da nascente 2



Fonte: SIMEPAR (2021).

Nota-se pela Figura 105, que no período compreendido entre os meses de setembro (2019) a novembro (2020) a precipitação se apresentou com comportamento oscilatório, ora diminuindo, ora aumentando o que ocasionou também em uma variação na vazão das nascentes. Observa-se na Figura 106 que as maiores vazões para a nascente 1 ocorreram nos meses de janeiro e fevereiro de 2020, com 928 e 946 ml/s, respectivamente.

Já as menores vazões puderam ser observadas nos meses de março e abril de 2020, com valores de 104,32 e 97,20 ml/s, respectivamente.

Na Figura 107, na qual constam as vazões para a nascente 2, o maior valor foi o registro em dezembro de 2019 de 450 ml/s, enquanto o registro mais baixo foi em novembro de 2020, sendo de 19 ml/s.

Durante o período chuvoso de verão, a média das vazões foi de 823 ml/s para a nascente 1 e 275 ml/s para a nascente 2, enquanto no período seco de inverno as vazões foram de 439 ml/s para a nascente 1 e 86 ml/s para a nascente 2. A média da vazão das nascentes para o período analisado foi de 412ml/s para a nascente 1 e 127 ml/s para a nascente 2. A partir da média anual das vazões, as nascentes puderam ser classificadas quanto a sua magnitude, segundo Meinzer (1927), citado por Felipe (2009, p. 84). Assim, as nascentes deste estudo

enquadram-se na classe de 6ª magnitude (63 a 630 ml/s), e esses resultados corroboram com outros trabalhos realizados no Brasil (FARIA, 1997; PINTO *et al.*, 2004; FELIPPE *et al.*, 2009; FELIPPE; MAGALHÃES JR., 2009; MENEZES *et al.*, 2009).

Desse modo, mesmo que ambas as nascentes estejam associadas à mesma classe de magnitude, os dados demonstraram que a vazão média anual da nascente 1, de exfiltração pontual, é superior à nascente 2 em que a exfiltração é pontual no inverno e difusa no verão, corroborando com Felipe e Magalhães (2009), que identificaram as nascentes pontuais como as de maior vazão quando comparadas às nascentes difusas. Felipe (2009), comparando as vazões de nascentes pontuais e difusas, inferiu que as cinco nascentes de maior vazão, todas superiores a 1,0 l/s, possuem exfiltração pontual, por outro lado, as nascentes com exfiltração difusas tendem a possuir baixa vazão. Para o autor, os fluxos com maior energia teriam condições de erodir em subsuperfície e promover a exfiltração de forma pontual, por outro lado, quando não há energia suficiente, a água aflora de maneira difusa após encharcar as camadas mais profundas do manto ou dividir-se nas diversas descontinuidades da rocha.

Outro apontamento possível é em relação a resposta hidrológica das nascentes, que apresentaram um decaimento da vazão, indicando uma rápida resposta hidrológica dessas nascentes às chuvas, configurando um comportamento hidrológico distinto, em quem a nascente 2 apresentou maior linearidade nos dados de vazão. Destarte, é possível presumir que possa existir um condicionamento das vazões pela declividade das nascentes em função da energia envolvida nos fluxos subterrâneos, sobretudo na nascente 1. As diferenças geomorfológicas e pedológicas locais podem explicar essa distinção entre a vazão das nascentes de uma mesma característica geológica e climática regional.

Destaca-se, nesse sentido, as características das coberturas pedológicas e geomorfológicas para a vazão das nascentes 1 e 2. Em termos gerais, quanto maior a declividade, maior o escoamento superficial, menor a infiltração e, conseqüentemente, menor a capacidade de armazenamento do solo, fazendo com que aumente o escoamento subsuperficial, reduzindo a infiltração da água em maiores profundidades. O contrário ocorre em relevos mais planos (MENEZES *et al.*, 2009). Desse modo, compreende-se que a dinâmica da água diferiu entre as nascentes pesquisadas, nas quais a declividade na cabeira 1 é estruturada pela geologia, condicionando solos rasos (Neossolos Litólicos). De acordo com esses aspectos, pode-se observar que na cabeceira 2 a cobertura pedológica mais espessa apresentou maior influência no lençol freático com drenagem interna relacionada à profundidade do lençol, como evidenciado com o aparecimento das plintitas.

Em relação ao contexto pedológico, a nascente 1 encontra-se em uma cabeceira de drenagem que a rocha matriz está próxima à superfície (inferior a 1 m), apresentando a vazão mais alta (média de 412 ml/s). Já a nascente 2 apresenta sua exfiltração em uma cobertura pedológica mais espessa (maior que 1m) e uma vazão mais baixa (média de 127 ml/s) ao longo do período analisado. De um modo geral, solos rasos tendem a ter menor capacidade de armazenar água por possuírem uma camada impermeabilizante muito próxima à superfície. Assim, as nascentes em ambientes de solos rasos têm o fluxo subterrâneo concentrado e sua exfiltração é induzida, possivelmente, devido à concentração do fluxo nesses contatos. Já onde os solos são mais profundos, permitem uma distribuição mais gradual das águas ao longo do ano, prolongando o período de atuação do escoamento subsuperficial, além disso a textura mais argilosa contribui para uma melhor retenção da água no perfil do solo. Portanto, nascentes com solos mais profundos tenderiam a apresentar a vazão média substancialmente maior em função da maior capacidade de armazenamento de água (FELIPPE, 2013).

Com base nesses pressupostos, correlacionando as características pedológicas das nascentes, pressupõem-se que a vazão da nascente 2 deveria ser superior quando comparada a nascente 1, porém isso não ocorreu, embora tenha ela apresentado uma distribuição mais gradual ao longo do ano. A explicação possível estaria relacionada ao desequilíbrio ambiental que ocorre na área de cabeceira da nascente 2 relacionada ao uso e ocupação inadequada do solo. A nascente da cabeceira 2 apresentou um grau de preservação péssimo na avaliação macroscópica com área de preservação permanente irregular. Além de haver indícios de incisão vertical promovida pelos processos erosivos em seu canal, atingindo o nível freático. Contudo, é provável que se essa nascente 2 não estivesse em uma área de solos mais espessos seu fluxo já teria sofrido intermitência, pois dificilmente seria possível o armazenamento de água para manter sua perenidade.

Outro ponto a ser considerado sobre a vazão superior da nascente 1 em relação a nascente 2 é em relação a bacia de contribuição na qual estão inseridas. A área da bacia de contribuição da nascente 1 é 37.120 m<sup>2</sup>, enquanto a nascente 2 possui uma bacia de contribuição de 57.232 m<sup>2</sup>. Percebe-se que a bacia de contribuição da nascente 2 é substancialmente maior, contudo, sua vazão é menor. Há ainda de se considerar que a nascente 1 apresente um fluxo de água contínuo e perene superior, presume-se que em função de sua bacia de contribuição ser abrangida por uma cobertura pedológica mais espessa (Cambissolo e Nitossolos) e declividades mais baixas, tendo em vista que a área da cabeceira de drenagem 1 é coberta por Neossolos Litólicos e Regolíticos que são propensas a ter menor capacidade de armazenamento de água e

declividades acentuadas, com maior escoamento superficial, conforme evidenciado no mapeamento hidrogeomorfológico.

A partir dos resultados expostos sobre as nascentes, verificou-se que embora ambas tenham uma proximidade espacial e relativa uniformidade climática, seu comportamento hidrológico é distinto. Conforme evidenciado nos trabalhos de campo e no mapeamento das diferentes espessuras, os volumes pedológicos tendem a definir a velocidade dos fluxos hídricos em superfície e subsuperfície, em função de suas distinções granulométricas, mineralógicas e estruturais, que por sua vez, influenciam na dinâmica hidrológica das nascentes. Em suma, nesses pressupostos, as duas cabeceiras de drenagem que apresentaram diferenças geomorfológicas, pedológicas e de uso promoveram distintas dinâmicas hidrológicas de vazão em suas nascentes.

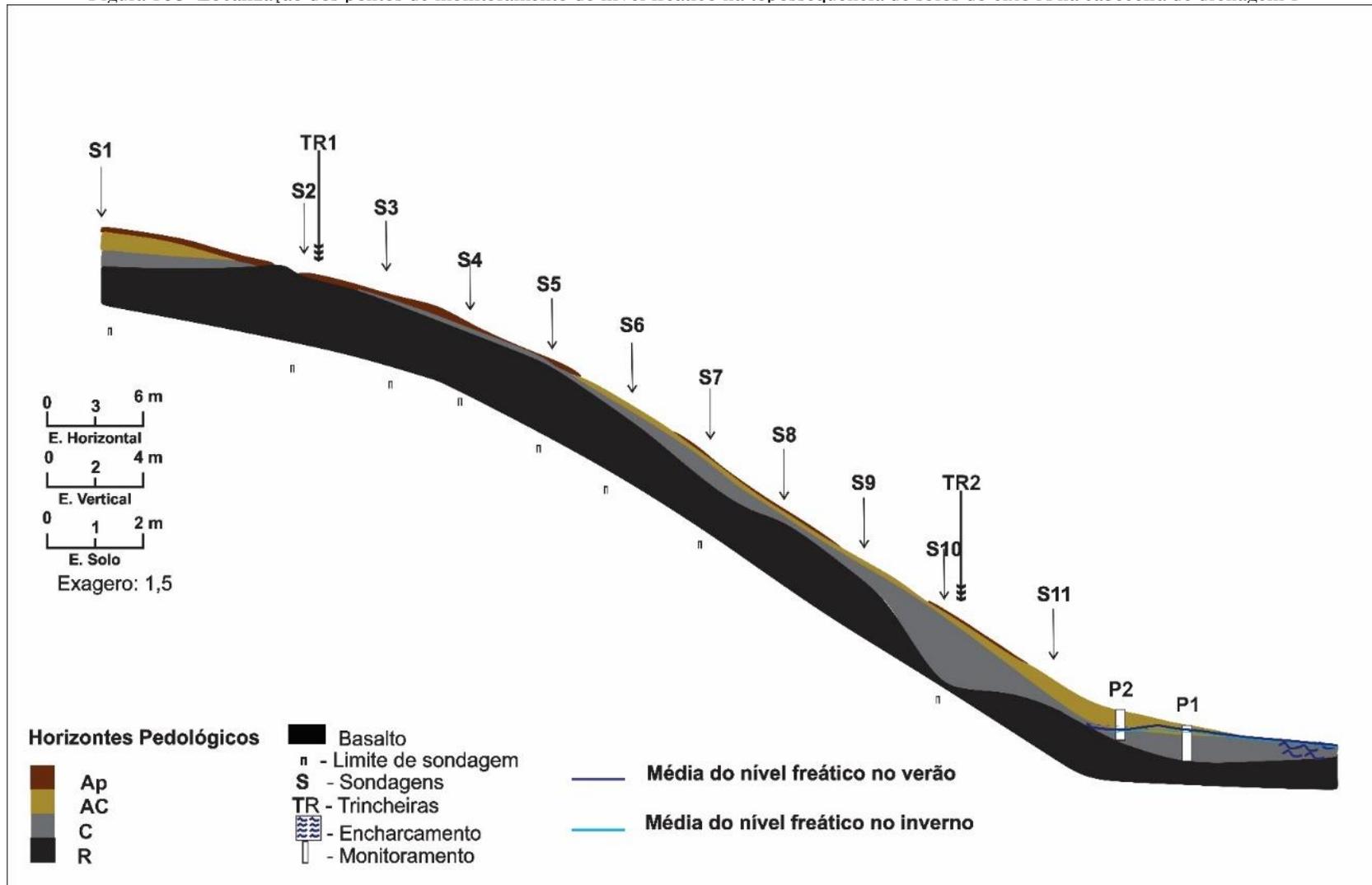
#### 4.7.3.2 Monitoramento do nível freático

Com base na Figura 108 observa-se que as alterações ocorridas na precipitação são correspondidas com variações nos níveis freáticos próximos às nascentes. Na Figura 109 estão apresentados os resultados dos pontos de monitoramento 1 e 2 que se referem à Nascente 1. Verifica-se que durante o mês de fevereiro (2020), o ponto de monitoramento 1 atingiu o nível que alcança carga hidráulica de 72 cm, e o nível mais baixo foi em setembro (2019), cujo valor foi de 20 cm. O ponto 2 seguiu a mesma tendência do ponto 1, atingindo o pico máximo de 18 cm em fevereiro (2020). A média para o ponto 1 foi de 53 cm no verão e 51 cm no inverno, enquanto para o ponto 2 foi de 13 cm no verão e 12 cm no inverno, perfazendo uma média durante o período monitorado de 47 cm para o ponto 1 e 11 cm para o ponto 2 (Figuras 110).

Nota-se que o nível freático da nascente 1 teve uma resposta quase que direta para a precipitação. Meses como maio, julho e setembro de 2020 obtiveram baixos registros pluviométricos, porém os pontos de monitoramento indicaram que o nível de carga hidráulica se manteve. Esse resultado sugere que o funcionamento hidrológico da nascente 1 pode estar relacionado às características geoambientais da sua área de recarga.

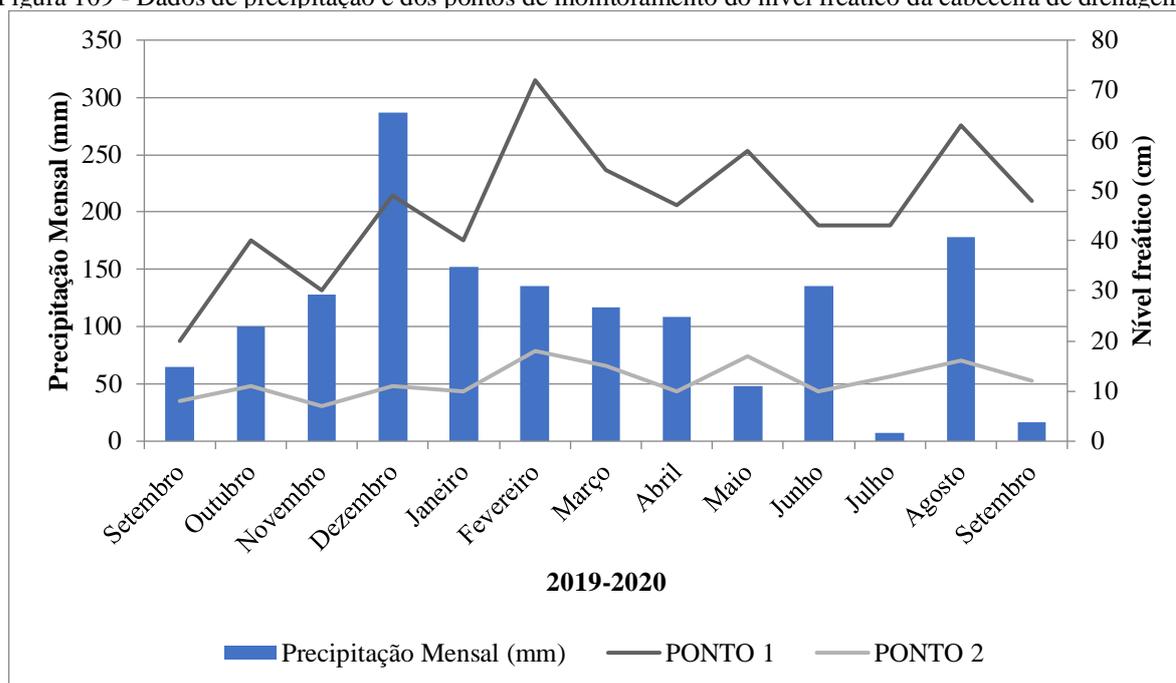
Para o monitoramento do nível freático da nascente 2 foram perfurados 8 pontos (pontos 3 a 10) (Figura 111). O ponto 4 desapareceu por motivos desconhecidos, sendo realizado a sua medição apenas por dois meses, em setembro e outubro de 2019, no qual apresentou o nível de 104 e 90 cm, respectivamente, a partir da superfície do solo.

Figura 108- Localização dos pontos de monitoramento do nível freático na topossequência de solos do eixo A na cabeceira de drenagem 1



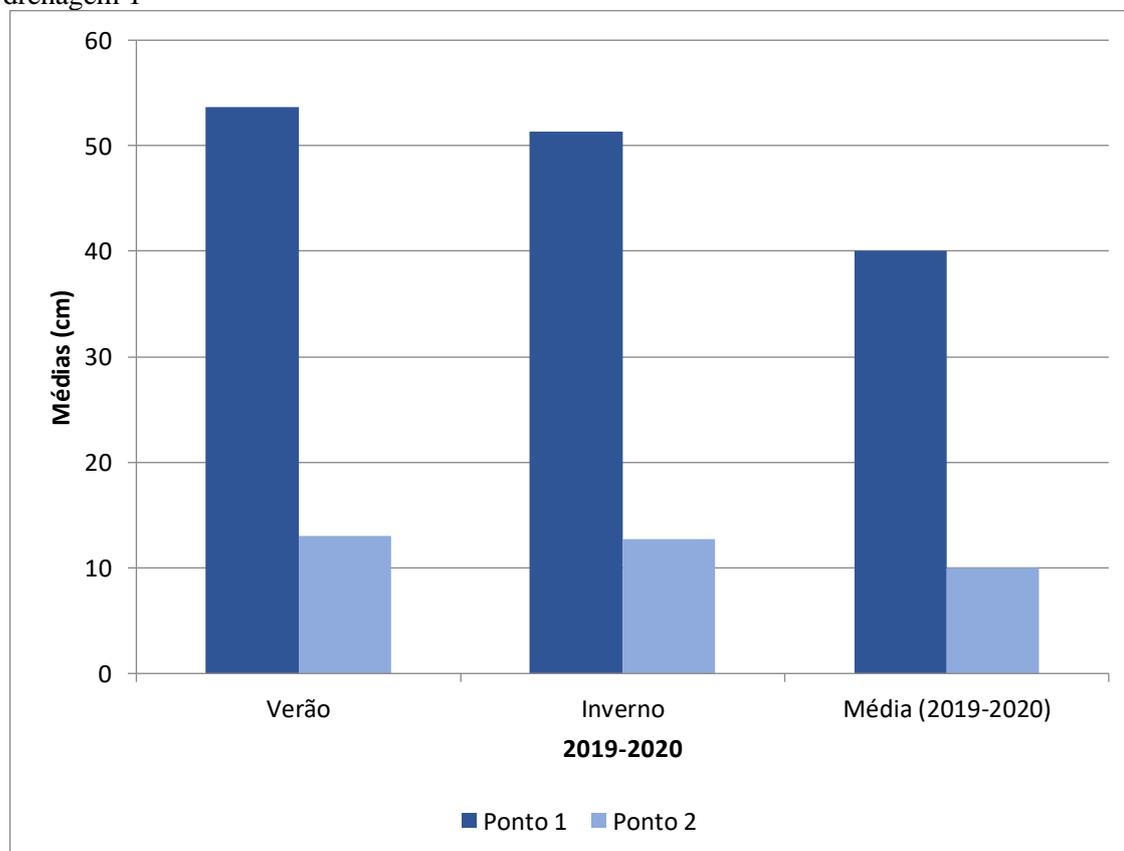
Elaboração: A autora (2021).

Figura 109 - Dados de precipitação e dos pontos de monitoramento do nível freático da cabeceira de drenagem 1



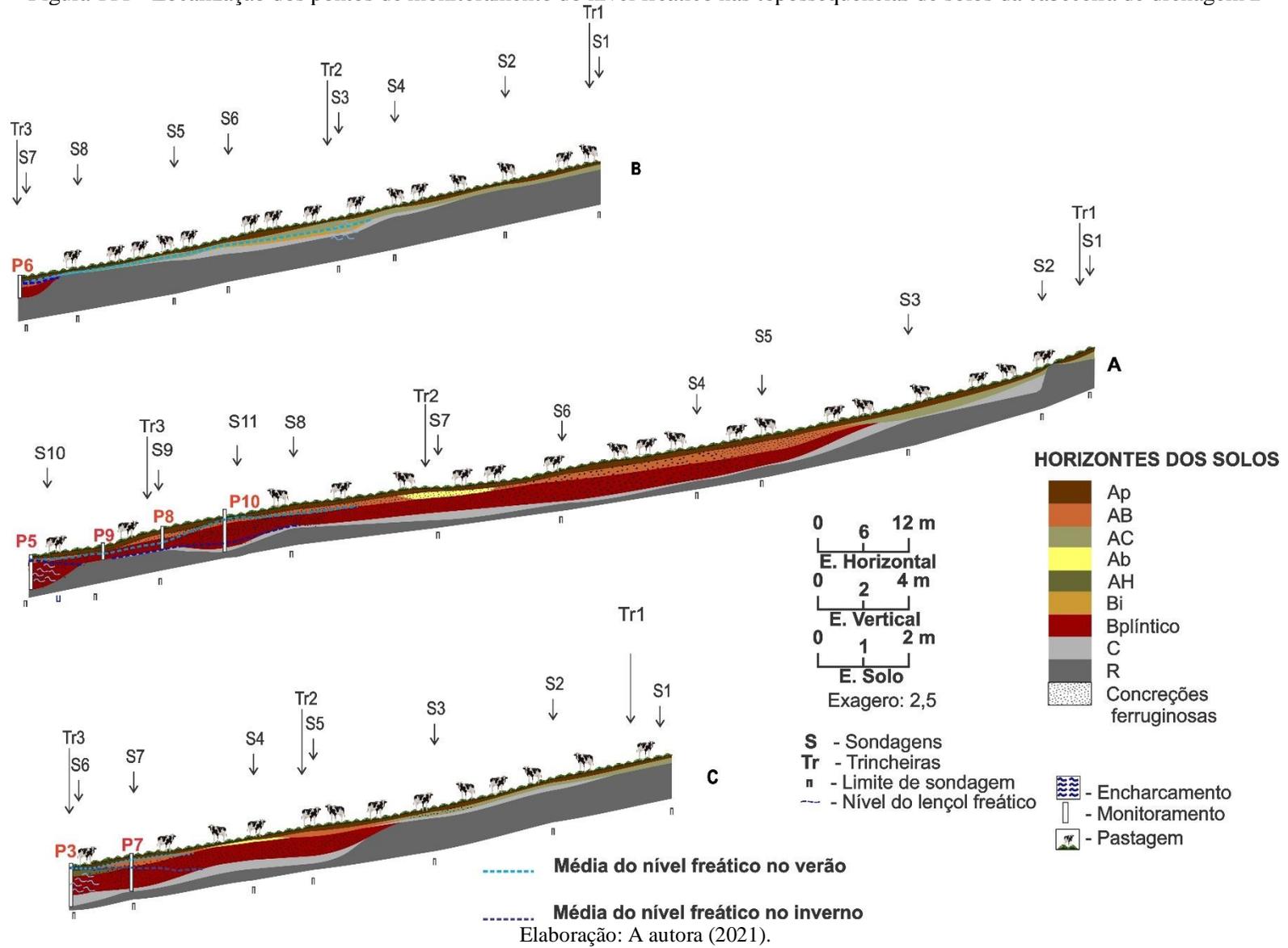
Fonte: SIMEPAR (2021)

Figura 110 - Média de verão e inverno dos pontos de monitoramento do nível freático da cabeceira de drenagem 1



Elaboração: A autora (2021).

Figura 111 - Localização dos pontos de monitoramento do nível freático nas topossequências de solos da cabeceira de drenagem 2



No ponto 5 foi realizado sua medição por 3 meses, setembro, outubro e novembro de 2019, com 110, 113 e 134 cm, respectivamente. A partir de dezembro de 2019, o ponto 5 permaneceu constantemente alagado (140 cm) devido sua proximidade com a nascente, impossibilitando sua medição. Para fins de comparação gráfica, os pontos 4 e 5 não foram considerados.

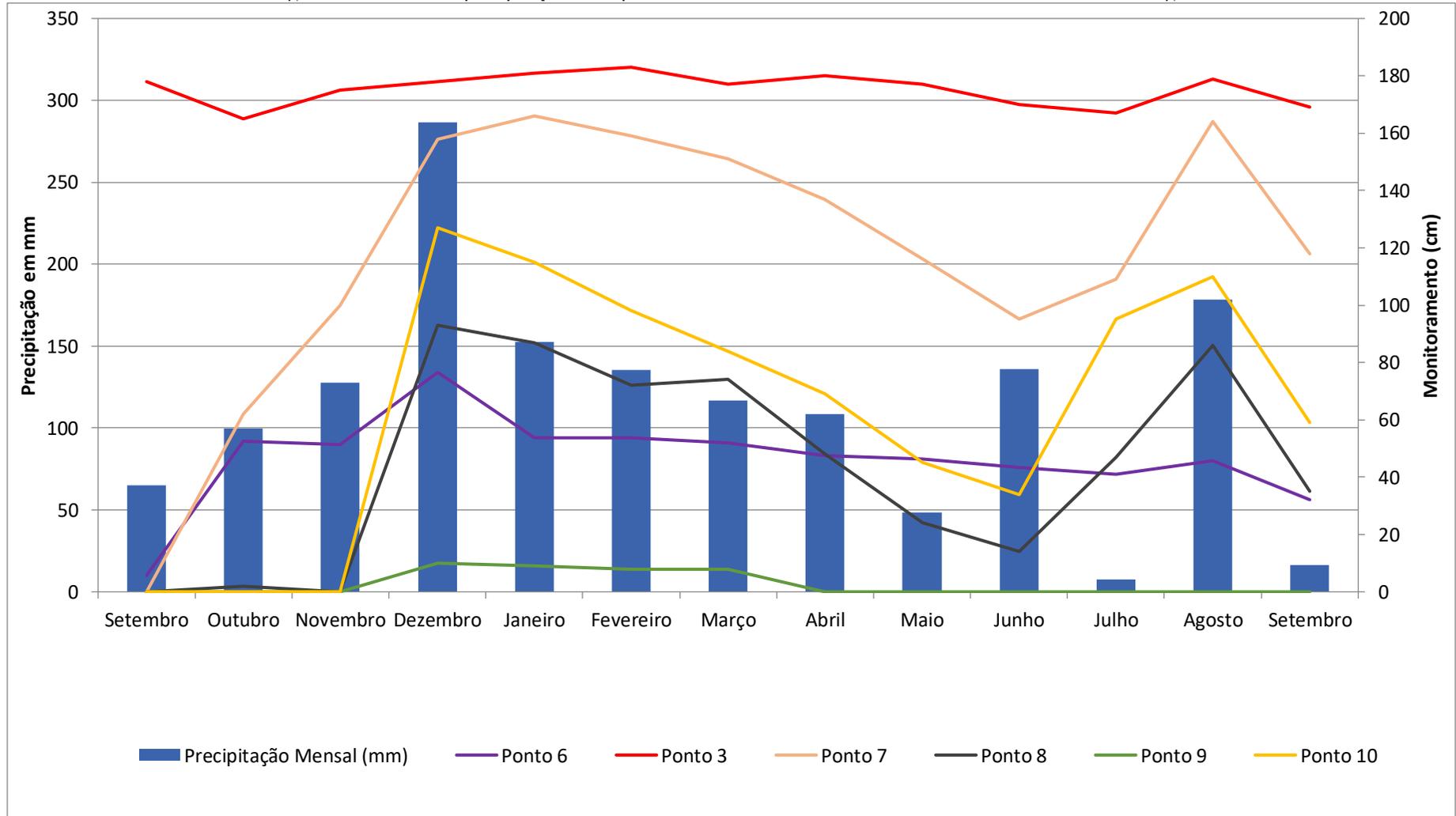
Na Figura 112 observa-se que o ponto 3 foi o que se manteve com os registros mais estáveis durante o período analisado, sendo a máxima de 183 cm e a mínima de 165 cm. Isso pode estar relacionado ao fato de ser o ponto mais próximo do canal da nascente. Os pontos 6, 7, 8, 9 e 10 apresentaram os valores máximos de 134 cm, 166 cm, 93 cm, 10 cm e 127 cm respectivamente. Dentre esses, somente o ponto 6 apresentou o menor valor com 10 cm, os outros pontos foram de 0cm. As médias das medições durante o verão foram 181 cm, 107 cm, 161 cm, 84 cm, 9 cm e 113 cm para os pontos 3, 6, 7, 8, 9 e 10 cm, respectivamente. Para o inverno as médias reduziram para 172, 76, 122, 47, 0 e 79 cm para os pontos 3, 6, 7, 8, 9 e 10, respectivamente. Durante o período analisado, as médias foram de 175, 76, 113, 39, 2 e 60 cm para os pontos 3, 6, 7, 8, 9 e 10, respectivamente (Figura 113).

Nota-se que a carga hidráulica dos pontos de monitoramento das nascentes concentra os maiores valores médios nos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e os menores valores médios nos meses de inverno (junho, julho e agosto). Esses dados sugerem que o retorno das nascentes apresentou, de modo geral, um retardamento em relação aos eventos de precipitação, sendo maior para a nascente 1. Esse resultado sugere que na nascente 2 a cobertura pedológica mais argilosa pode estar influenciando na resposta da água no solo.

Sobre esses aspectos, Lousada e Campos (2006) verificaram os tempos de resposta de cada tipo de solo em função da precipitação, bem como a intensidade e a amplitude de oscilação dos níveis freáticos. Os solos avaliados foram os Latossolos, os Cambissolos, os Gleissolos e os Neossolos Quartzarênicos. Os autores concluíram que os Neossolos Quartzarênicos responderam rapidamente aos efeitos da precipitação, caracterizado por dinâmica hídrica rápida em decorrência da alta condutividade hidráulica. Em solos argilosos (Latosolos), verificou-se, na maioria dos pontos avaliados, retardo de um mês para saturação dos solos e elevação dos níveis freáticos na ordem de 5m em média, corroborada pela textura muito fina.

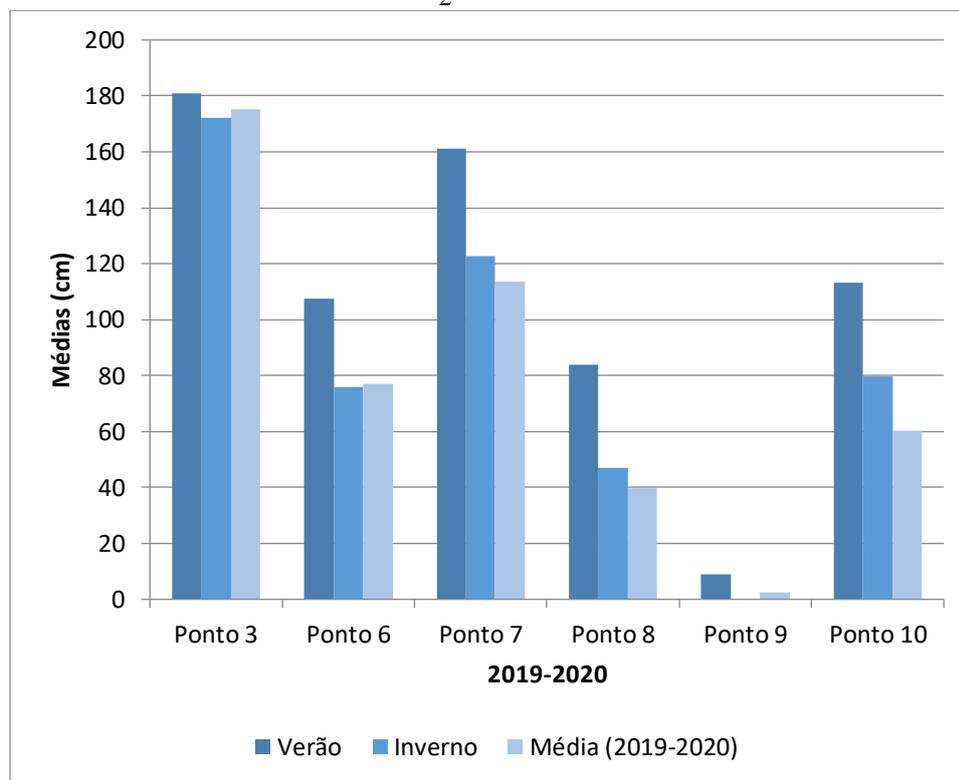
Silva (2009) fez o monitoramento freático em dez nascentes das sub-bacias hidrográficas dos Ribeirões Lavrinha e Marcela (MG), sendo cinco em cada sub-bacia.

Figura 112 - Dados de precipitação e dos pontos de monitoramento do nível freático da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Figura 113 - Média de verão e inverno dos pontos de monitoramento do nível freático da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Segundo os resultados obtidos por Silva (2009), as alterações ocorridas na precipitação são correspondidas com variações nos níveis dos aquíferos, mas esses níveis apresentaram uma ligeira defasagem na resposta à precipitação, indicando que a recarga do aquífero pode ocorrer em um período posterior às precipitações, devido ao tempo de resposta da água no solo.

Assim, pautados nos trabalhos de Felipe (2009, 2012), Lousada e Campos (2006), Menezes *et al.* (2009) e os dados sugerem que os solos mais profundos da nascente 2 em relação a nascente 1 contribuíram para a manutenção do nível freático juntamente com a vazão, como já mencionado anteriormente. A relação do sistema pedomorfológico da nascente 2 com os dados de oscilação do nível d'água do lençol pode ser visualizados na Figura 111.

O ponto 3 e o ponto 7 foram instalados em proximidade à topossequência do eixo C da cabeceira 2. O ponto 3 manteve uma média 175 cm de oscilação do nível freático durante o ano, enquanto no ponto 7 a média foi de 113 cm. Assim, pôde-se averiguar que no ponto 3 o nível freático chegou até 17 cm de profundidade a partir da superfície do solo, e no ponto 7 chegou a 14 cm. Observa-se, nessa profundidade, com a abertura da trincheira (TR3) próxima a esses pontos, que a partir dos 17 cm é identificado um horizonte de cor preta (aparentemente por acúmulo de material orgânico denominado de AH) e a partir desta faixa o aparecimento e aumento de concreções ferruginosas, a qual foi possível enquadrar como horizonte B plíntico.

Os pontos 5, 8, 9 e 10 estão dispostos na topossequência do eixo A. O ponto 8 apresentou uma oscilação acentuada entre 0 e 93 cm, perfazendo um média de 39 cm. O ponto 9 apresentou carga hidráulica somente no verão com média de 9 cm. O ponto 10 apresentou a média de 60 cm durante o ano. Nos pontos 5 e 10, onde o nível do lençol atinge níveis superiores aos pontos 8 e 9 ocorre o espessamento da cobertura pedológica. A descrição pedomorfológica identificou nesses pontos, a partir de 30 cm de profundidade, a presença de concreções ferruginosas intensificando a quantidade à medida que aumentava a profundidade, também possibilitando a identificação de um horizonte plíntico.

O ponto 6 está em direção à topossequência do eixo B (cabeceira 2) próximo ao canal da nascente, apresentando média hidráulica de 76 cm durante o período analisado, atingindo 134cm no mês de dezembro. A trincheira (TR3) aberta próximo a esse ponto, identificou a presença de concreções ferruginosas a partir de 20 cm, também intensificando a quantidade conforme avançava a profundidade, coincidindo a partir dos 43 cm com a identificação do horizonte plíntico.

Como pode ser observado, associando-se a presença do lençol freático e seus níveis, bem como a setorização da cabeceira 2 com os perfis pedomorfológicos descritos, ocorreram mudanças nos cromas e matizes do solo. No setor de topo da cabeceira de drenagem 2, em direção à baixa vertente, percebe-se que a coloração variou de avermelhadas, acinzentadas e amareladas. A formação e variação das cores do solo estão, possivelmente, relacionadas às condições de aeração e drenagem a qual estiveram sujeitos em sua gênese; indicando tons acinzentados na parte mais rebaixada da cabeceira, caracterizada hidromórfica. Corroboram com esses resultados Barbosa (2016) e Bispo (2011).

Os principais constituintes dos solos que influenciam seu comportamento espectral são a matéria orgânica, os óxidos de ferro, os argilominerais, além da distribuição granulométrica e umidade. A matéria orgânica é um constituinte primário da coloração do solo e está relacionada à tonalidade da cor, quanto maior for o conteúdo de matéria orgânica, mais escuro será o solo (DALMOLIN *et al.*, 2005). O acúmulo de matéria orgânica nos horizontes superficiais confere uma coloração mais escura que os horizontes subsuperficiais, isso ocorre em função da redução na concentração dos compostos orgânicos com o aumento da profundidade, tornando a cor dos óxidos de ferro mais aparentes nos horizontes subsuperficiais (LYNN; PEARSON, 2000). Scheinost e Schwertmann (1999) relacionam a cor do solo de acordo com a presença de óxidos de ferro, como hematita e goethita, entre outros. Os cinco principais óxidos de ferro que são responsáveis pelas cores amareladas a avermelhadas comum

em solos são a goethita, hematita, ferrihidrita, lepidocrocita e maghemita (BREEMEN; BUURMAN, 2002).

A hematita está presente em solos vermelhos tropicais e subtropicais e forma um pigmento vermelho forte, frequentemente encontrada em associação com a goethita. Pode-se então, relacionar as variações na coloração do solo à processos de oxidação e redução do ferro no solo, o que confere a esses, cores distintas de acordo com o pedoambiente. Solos com saturação periódica de água podem ter hematita e goethita, cada um em equilíbrio com as condições prevalecentes durante parte do ano (BREEMEN; BUURMAN, 2002).

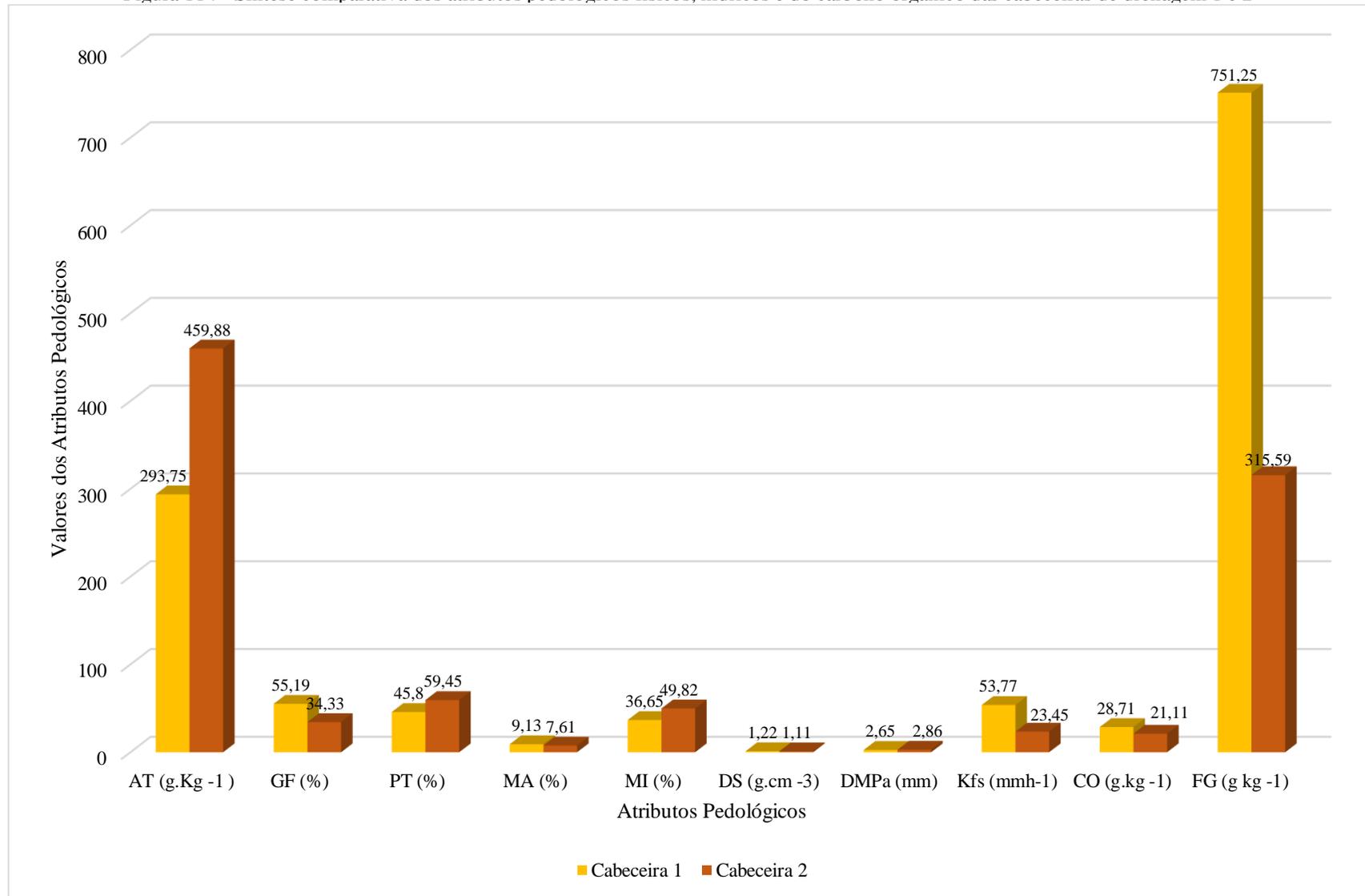
Em suma, a oscilação do nível freático foi um fator determinante nos processos pedogenéticos, sobretudo na nascente 2. Desse modo, ficou evidenciado que a oscilação freática está relacionada ao processo de pedogênese e às diferenciações verticais dos horizontes. O material ferruginoso denominado de plintita tem sua gênese relacionada à “oscilação do nível do freático, da acumulação, segregação, translocação e cristalização dos sesquióxidos de ferro” (MOURA, 2015, p.19). Tendo em vista todo o embasamento teórico metodológico de que a presença de plintita e/ou concreções ferruginosas indicam à oscilação do lençol freático, as observações realizadas durante os trabalhos de campo sugerem que a abrangência do lençol era outrora mais extensa.

Segundo Menezes (2007), o solo funciona como um reservatório dinâmico de água, onde suas características podem influenciar esse sistema de partição de água, especialmente infiltração, afetando de forma direta o processo de recarga de aquíferos, uma vez que este está diretamente associado à capacidade de infiltração dos solos e à sua posição na paisagem. Nesse sentido, trata-se no próximo item sobre os atributos pedológicos mensurados.

#### **4.7.4 Comparação dos atributos pedológicos das cabeceiras**

Com o intuito de interpretar atributos pedológicos para embasamento de estudos hidrológicos voltados para a conservação de nascentes, foi realizada uma síntese comparativa das propriedades físicas e hídricas e do carbono orgânico dos solos das cabeceiras, conforme mostra a Figura 114. Como pode ser observado na Figura 114, os solos da cabeceira 2 demonstram-se mais argilosos com média de 459,88 g.kg<sup>-1</sup> no teor da argila enquanto na cabeceira 1 os solos foram essencialmente siltosos, com média de 293,75 g.kg<sup>-1</sup> de argila. Quando verificamos o grau de flocculação, no entanto, na cabeceira 1 a argila está mais flocculada com média 55,19 % e apenas 34,33 % na cabeceira 2.

Figura 114 - Síntese comparativa dos atributos pedológicos físicos, hídricos e do carbono orgânico das cabeceiras de drenagem 1 e 2



Elaboração: A autora (2021).

Isso pode estar relacionado ao fato de que na cabeceira 1 a média de CO é superior a cabeceira 2, sendo de 28,71 g.kg<sup>-1</sup> para 21,11 g.kg<sup>-1</sup> na cabeceira 2. Aparentemente a argila influenciou nos resultados de DMPa superiores da cabeceira 2 com média de 2,86 mm contra a média de 2,65 mm para a cabeceira 1.

Em relação à Kfs, observa-se que a cabeceira 1 apresentou maior média com 52,77 mm/h<sup>-1</sup> enquanto na cabeceira 2 a média foi de 23,45 mm/h<sup>-1</sup>. Essa diferença pode ser explicada pela distinta morfologia e declividade das cabeceiras, que controlam os processos pedogenéticos, afetando diretamente a velocidade do fluxo superficial e subsuperficial de água e conseqüentemente, a permeabilidade do solo. Pode-se também relacionar esse resultado aos teores de argila e microporosidade que foram superiores na cabeceira 2, implicando em menor condutividade hidráulica saturada ao longo do perfil do solo.

Verifica-se que a macroporosidade média da cabeceira 1 também é maior, sendo de 9,13 % e 7,61 % para a cabeceira 2, ambas estando abaixo dos limites críticos de 10% estabelecido por Reichert *et al.* (2007). A porosidade total e a microporosidade foram superiores na cabeceira 2, com 59,45 % e 49,82 %, respectivamente, e de 45,80 % (porosidade total) e 36,65 % (microporosidade) para a cabeceira 1. Sobre as frações grosseiras, a cabeceira 1 apresentou a média de 751, 25g.kg<sup>-1</sup> e a cabeceira 2 a média de 315,59 g.kg<sup>-1</sup>.

As análises de correlação indicaram que a macroporosidade na cabeceira 1 esteve relacionada com a presença das frações grosseiras. Quando comparamos com o resultado das frações grosseiras da cabeceira 2, este é menor. Assim, pode-se considerar que as condições de organização da estrutura e textura corroboraram para os resultados relacionados à porosidade do solo das cabeceiras.

A porosidade do solo possui relação direta com o movimento de água no solo e, por conseqüência, na infiltração e capacidade de recarga subterrânea. Segundo Valente e Gomes (2011, p.98), “a existência e a distribuição da água no solo são totalmente dependentes da porosidade” (VALENTE E GOMES, 2011, p.98). Em relação à microporosidade, Oliveira *et al.* (2020) afirmam que quanto maior a microporosidade, maior é o reservatório de água no perfil do solo, o que concorre com o processo de redistribuição e recarga, e conseqüentemente, de sustentação do deflúvio base.

A densidade foi maior na cabeceira 1 (1,22 g.cm<sup>-1</sup>) em relação à cabeceira 2 (1,11 g.cm<sup>-1</sup>), ambas abaixo do limite crítico proposto por Reichert *et al.* (2006). Diante do exposto, o teor de carbono verificado nas cabeceiras justifica sua baixa densidade. Presume-se que em virtude das práticas de manejo desenvolvidas no passado, como a cafeicultura, aliadas ao uso atual, em que não há revolvimento do solo, favoreça-se o acúmulo de carbono orgânico nas cabeceiras.

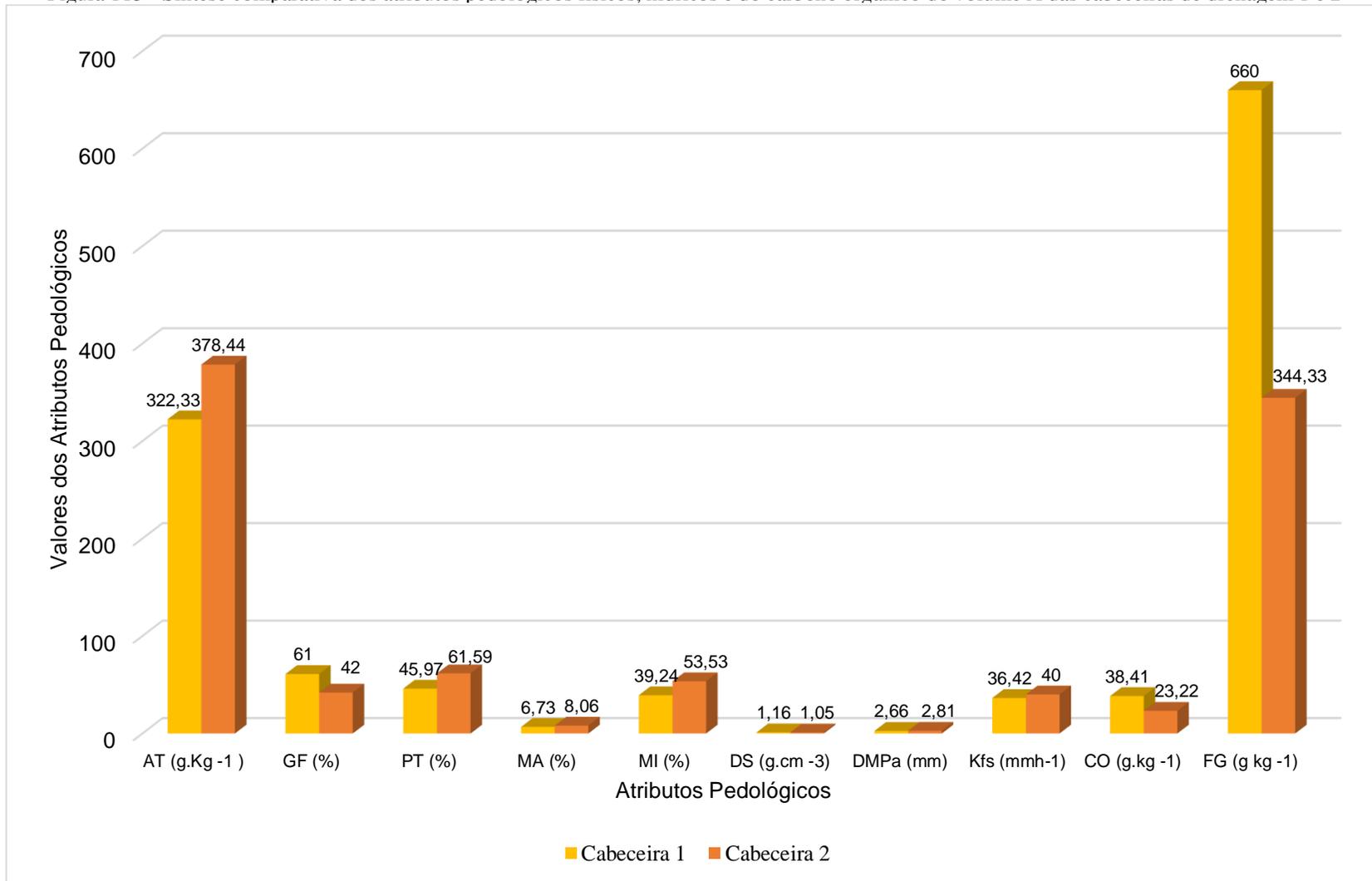
Para fins de comparação, constam na Figura 115 os valores médios das propriedades físicas, hídricas e de carbono orgânico apenas do volume superficial A (horizonte Ap) das cabeceiras. Nota-se que a propriedade que diferiu entre a comparação foi a macroporosidade de 6,73% na cabeceira 1 e 8,06 % para a cabeceira 2, podendo ser em função do aumento médio do CO (de 21,11 g.kg<sup>-1</sup> para 23,11 g.kg<sup>-1</sup>) e redução da densidade (de 1,11 g.cm<sup>-3</sup> para 1,05 g.cm<sup>-3</sup>), alterando também os valores de Kfs (de 23,45 mm/h<sup>-1</sup> para 40,00 mm/h<sup>-1</sup>). Os valores de Kfs também foram modificados na cabeceira 1 quando comparados à média geral e ao volume A, sendo de 53,77mm/h<sup>-1</sup> e 36,42mm/h<sup>-1</sup>, o que pode estar relacionado com a quantidade de frações grosseiras, como verificado nas análises estatísticas de correlação já mencionadas.

De modo geral, as propriedades que tiveram seus valores superiores na cabeceira 1 foram o grau de floclulação, o CO, a densidade, a quantidade de frações grosseiras, a macroporosidade e a condutividade hidráulica saturada. Já na cabeceira 2 foram o DMPa, a Porosidade total, a Microporosidade e a Argila total. Quando considerado o volume A, apenas a macroporosidade apresentou valor médio superior na cabeceira 2.

Oliveira *et al.* (2020) verificaram a relação existente entre os atributos físico-hídricos do solo intimamente relacionados à recarga subterrânea, além das características pedológicas, do uso do solo, da cobertura vegetal e da declividade. As nascentes estão localizadas nas Bacias Hidrográficas dos Ribeirões Lavrinha (ambiente Serra da Mantiqueira) e Marcela (ambiente Campo das Vertentes), ambas pertencentes à Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Alto Rio Grande (UPGRH-GD1), em Minas Gerais. Para os autores, a elevada capacidade de retenção de água no Latossolo, reflexo da maior microporosidade associada à sua maior profundidade, é uma característica desfavorável para o processo de recarga quando comparado ao Cambissolo, que tem horizonte B incipiente e menores profundidades.

Segundo Oliveira *et al.* (2020), quanto maior é a microporosidade maior é o reservatório de água no perfil do solo, o que concorre com o processo de redistribuição e recarga, e conseqüentemente, de sustentação do deflúvio base. Assim, de acordo com os autores, a área de recarga da nascente do Cambissolo apresenta em profundidade valores menores de microporosidade do que os encontrados na área de recarga da nascente do Latossolo, o que proporciona menores retenções de água. Implicitamente, supõe-se que Oliveira *et al.* (2020), consideraram a macroporosidade maior do Cambissolo, associados aos maiores teores de areia (de 52,33 a 57,75 %), como um fator favorável para o potencial hidrológico das nascentes em relação ao Latossolo (de 25,85 a 31,61 %), que conseqüentemente influenciou nos valores de Kfs, sendo entre 1,08 e 2,27 m/dia na área de Cambissolo, e entre 0,18 e 2,12 m/dia na área de Latossolo.

Figura 115 - Síntese comparativa dos atributos pedológicos físicos, hídricos e do carbono orgânico do volume A das cabeceiras de drenagem 1 e 2



Elaboração: A autora (2021).

De acordo com os autores, à medida que se aprofunda no perfil do solo, os valores da condutividade hidráulica saturada na área de recarga da nascente do Latossolo reduzem, dificultando a percolação da água em profundidade e recarga subterrânea.

Felippe (2013) baseia-se na profundidade dos solos, alegando que texturas argilosas permitem uma distribuição mais gradual das águas ao longo do ano, prolongando o período de atuação do escoamento subsuperficiais, mantendo o fluxo das nascentes, permitindo uma maior constância dos processos hidrogeomorfológicos das nascentes. Segundo a autor, as nascentes com coberturas superficiais com espessura de média à profunda (maior que 50 cm), apresentaram vazões médias anuais muito baixas, porém mostraram certa estabilidade do fluxo de base.

Levando em consideração esses pressupostos, na cabeceira 1 onde está localizada a nascente 1 a média da macroporosidade foi maior, assim como das Kfs, no entanto, o espessamento do solo é menor. Como foi verificado, a vazão média anual da nascente 1 também foi maior (428ml/s). Nesse sentido, a percolação da água infiltrada no solo está sendo mais rápida na cabeceira 1 da nascente 1. Verifica-se, portanto, que os atributos pedológicos mensurados denotam menor potencialidade para a dinâmica hidrológica na cabeceira 2, fato comprovado com os dados de vazão já apresentados. Além disso, é necessário considerar que a presença do volume B (plúntico) na cabeceira da nascente 2 dificulta a percolação vertical da água, que juntamente com a oscilação do lençol freático permite a saturação do solo, tendendo a formar um fluxo horizontal em subsuperfície. À medida que se aprofunda no perfil do solo, os valores da condutividade hidráulica saturada do solo na área de recarga da nascente 2 reduzem, dificultando a percolação da água em profundidade, e conseqüentemente, a recarga subterrânea.

É válido destacar que embora os dados sugere que a cabeceira 2 apresente menor potencial de contribuição na dinâmica hidrológica, sua constituição pedológica mais espessa pode estar contribuindo para a manutenção da vazão da nascente 2 ao longo do ano, conforme sugere Felipe (2013). Contudo, é provável que se essa nascente 2 não estivesse em uma área de solos mais espessos, seu fluxo já teria sofrido intermitência, pois dificilmente seria possível o armazenamento de água para manter sua perenidade nessas condições de uso. Ressalta-se ainda, com base nesses resultados de comparação, que o grau de dispersão é predominante mesmo a cabeceira 2 tendo apresentado maior quantidade de argila.

Pereira (2012) destaca que é desejável a perenidade da vazão com distribuição regular durante o ano por meio da manutenção do nível freático, e para tanto, o conhecimento das

propriedades físicas e hídricas do solo, assim como o uso e o manejo adequados são importantes para a percolação da água no perfil.

Menezes *et al.* (2009) analisaram a dinâmica hidrológica de duas nascentes, na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha (MG) com distintas coberturas vegetais, uma sob mata nativa (Mata Atlântica) e a outra sob pastagem. Os autores mostraram que o uso do solo nas áreas de recarga das nascentes influenciou o valor e a dinâmica temporal da vazão específica delas. Observaram que a nascente sob pastagem atingiu valores de vazão próximos a zero, ou seja, praticamente secando nos meses de agosto a outubro. Essa flutuação não foi observada para a nascente sob a Mata Atlântica, a qual se manteve produtiva apesar do período seco prolongado. Assim, esses resultados podem estar relacionados, além das características físicas e hídricas do solo, com a diferença de uso entre as cabeceiras, conforme também foi verificado em Pinto *et al.* (2004), Junqueira Júnior (2016) e Menezes *et al.* (2009).

A crescente investigação pelo uso sustentável dos recursos hídricos tem corroborado para a expansão dos estudos que buscam compreender a dinâmica da água no solo, em função de sua contribuição para a manutenção da qualidade da água e funcionamento dos ecossistemas. Desse modo, o solo possui um papel fundamental nos ciclos hidrológicos e geoquímicos, e sua degradação afeta tanto o ponto de vista ao uso agrícola, as áreas de vegetação natural, quanto a conservação das reservas de água por meio da recarga de aquíferos.

A recarga do lençol freático é proveniente da água infiltrada no solo, quando esse supera a capacidade de armazenamento e o excesso é drenado para abastecer os lençóis subsuperficiais. Assim, suas propriedades físicas e químicas afetam diretamente as características hidrodinâmicas de infiltração e a redistribuição da água no perfil, que pode variar significativamente nas diferentes classes de solos.

Desse modo, além das características inerentes ao solo, deve-se considerar relevante também o papel da vegetação/uso na dinâmica da água superficial e subterrânea. Nesse sentido, a proteção dos ambientes de nascentes deve ser ainda mais trabalhada, apesar da dificuldade de manejo em área de exfiltração, sobretudo difusa. Para tanto, apresenta-se no próximo item a exemplificação da adequação da APP nas cabeceiras.

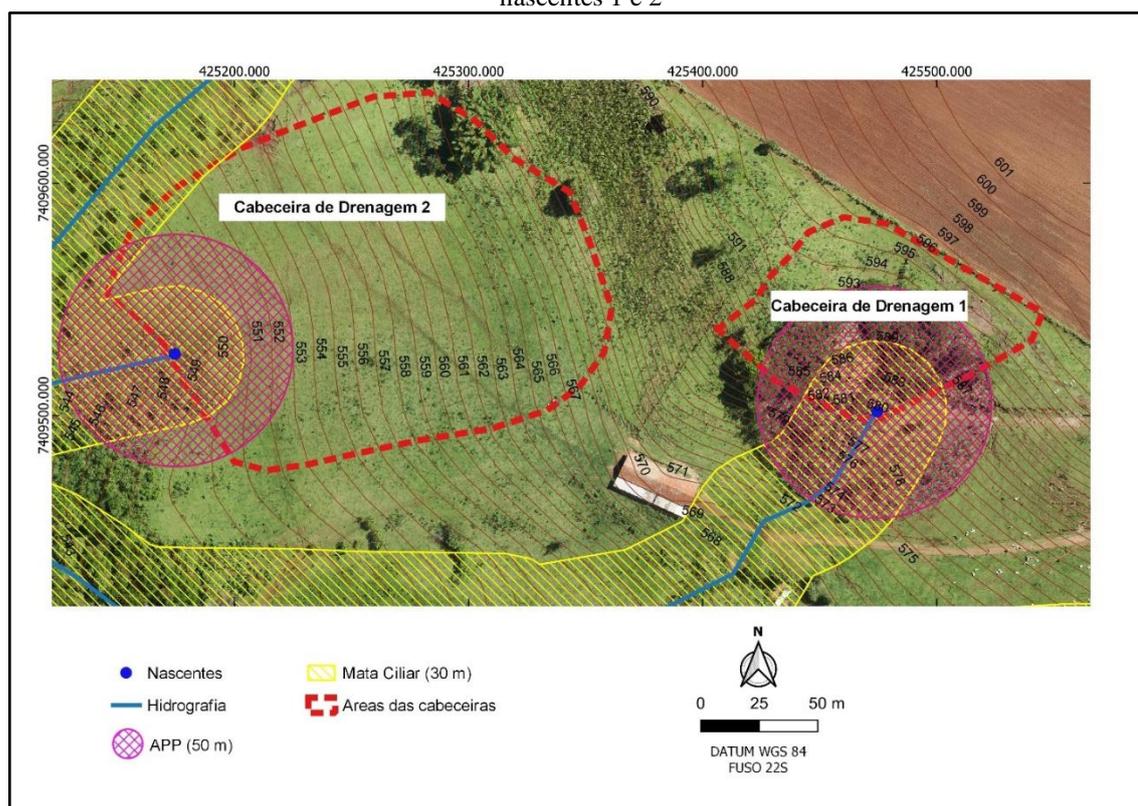
#### **4.7.5 Adequação da legislação ambiental para APP das cabeceiras**

Diante do exposto, pautada no trabalho de Carmo *et al.* (2014), foram elaboradas propostas de mapeamento de APPs para as duas nascentes, levando em consideração os parâmetros estabelecidos pela legislação vigente. Destarte, um mapeamento foi realizado

contemplando as possíveis APPs previstas, ou seja, com os 50m de raio, Lei n°12.651/2012 e outro contemplando as bacias de contribuição das nascentes, previstas na Resolução CONAMA n° 303/2002, que regulamentou o antigo Código Florestal. Para Carmo *et al.* (2014), um refere-se ao quadro operacional e o outro tanto ao cenário considerado ideal quanto aos processos de mapeamento de APP de nascentes.

A Figura 116 demonstra o mapeamento contemplando as possíveis áreas de APPs previstas na legislação, ou seja, com um raio de 50m, de acordo com a Lei n. 12.651/2012 para as nascentes 1 e 2. A nascente 1 possui exfiltração pontual e perene, com uma vazão média de 412 ml/s ao longo do ano hidrológico. Podem ser observados afloramentos rochosos próximos à nascente, relativos às rochas vulcânicas basálticas. A Nascente 1 apresenta solos rasos (Neossolos Litólicos e Regolíticos) e declividades acentuadas.

Figura 116 - Representação gráfica de APP em raio de 50m de acordo com a Lei n° 12.651/2012 para as nascentes 1 e 2



Elaboração: A autora (2021).

A nascente 2 possui uma vazão média anual de 127 ml/s, apresentando exfiltração difusa no verão e pontual no inverno, sendo explicado pelo relevo plano e suave ondulado em sua área de inserção na cabeceira, e o sistema pedológico é composto por Plintossolos, Neossolos Litólicos e Chernossolos. Logo, a baixa declividade associada a um manto de intemperismo

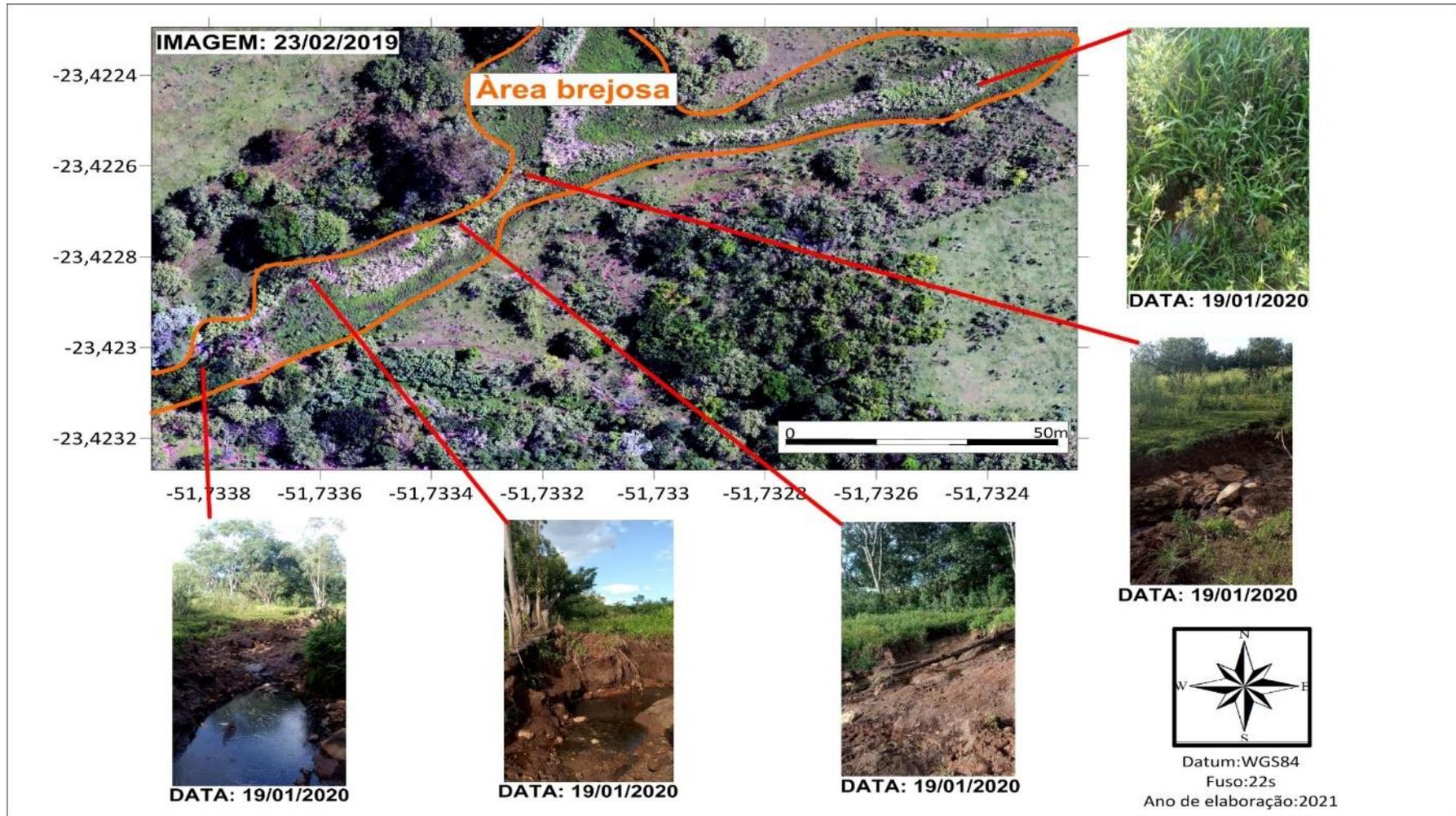
mais espesso, favorece a desconcentração dos fluxos, caracterizando um ambiente de baixa energia de circulação da água (CARMO *et al.*, 2014).

Nesses aspectos, a nascente 2 está inserida em uma área encharcada na qual ocorre a exfiltração com limites variáveis ao longo do ano, de acordo com o efeito da precipitação. Na abordagem desse tipo de nascente, para mapeamento de APP, destaca-se a necessidade de demarcar os limites aproximados da área de exfiltração (SOUZA *et al.*, 2019). É importante destacar que após um período chuvoso, houve um evidente desencadeamento de processos erosivos no curso de água da nascente 2 (Figura 117). Desse modo, compreende-se a importância da mata ciliar que atuaria para evitar o assoreamento do leito do córrego.

Os processos erosivos visualizados na nascente 2 são provenientes da prática da pastagem e dessedentação do gado com presença de pisoteio que favorece, acelerando os deslizamentos, erosão superficial e assoreamento no curso do córrego. Situação semelhante também foi observada por Silva (2009), em áreas de nascentes de Nazareno (MG) e também foram registradas por Silva *et al.* (2019), em uma Área de Proteção Permanente (APP) da Fazenda Bom Sossego, município de Formoso do Araguaia, estado do Tocantins, em que identificaram impactos ambientais como desmatamento irregular, afugentamento da fauna local, compactação da camada superficial do solo, presença de processos erosivos, pisoteio do solo pelos bovinos e assoreamento do corpo hídrico. Segundo os autores, os impactos ambientais observados são gerados pela criação desordenada de gado proveniente da expansão agropecuária, e pela falta de cuidados com a manutenção da área de proteção ambiental. Sob esse aspecto, os autores destacam que é fundamental o cumprimento de medidas de mitigação que promovam a proteção e preservação da APP como: cercamento da área de proteção e reflorestamento da área desmatada.

Diante do exposto, mesmo adequando os 50 metros de vegetação de APP em torno das nascentes, acredita-se que não se abarcaria os problemas erosivos detectados em campo no curso de água da nascente 2. Ainda, percebe-se que área da cabeceira 2 não estaria integralmente protegida seguindo somente a Lei Federal nº. 12.651, de 25/5/2012, pois está fora dos limites padronizados (50 ou 30m). Nos trabalhos de campo, foi observada a elevação do lençol freático além do limite dos 50m exigidos pela referida legislação. Isso significa que, para uma proteção mais adequada dos recursos hídricos, a APP deveria ser mensurada além dos 50m para esta cabeceira levando em consideração o contexto geoambiental de variação hidrogeomorfológica e pedológica das cabeceiras.

Figura 117 - Processos erosivos no córrego da nascente 2 da cabeceira de drenagem 2



Elaboração: A autora (2021).

Warmiling *et al.* (2017) descreveram os solos do Planalto de Santa Catarina, e propuseram delimitação de áreas de APP a partir da identificação das cores dos horizontes. Segundo os autores, a classe de drenagem e o croma mais alto nos horizontes subsuperficiais dos Histosols (Organossolos) indicam que eles estão fora dos limites das zonas úmidas. A cor escura nos horizontes superficiais, juntamente com as cores acinzentadas, associadas ou não à presença de manchas nos horizontes subsuperficiais, foram as características mais evidentes de uma condição hidromórfica, indicando que o solo está localizado nas áreas de transição entre zonas úmidas (WARMILING *et al.*,2017).

Barbosa (2016) avaliou a utilização de parâmetros como cor do solo associada à dados de extração de ferro com ditionito (FeDCB), oxalato (FeOX), carbono orgânico total e pH em água e KCl, objetivando produzir subsídios à adequação da área de preservação permanente no entorno de uma vereda e como indicação para delimitação de solos sob influência da água. De acordo com a autora, os resultados mostraram que as cores GLEY 1 valor 5 a 8 e cromas N e 10Y, 5Y com valor e croma variando entre 5/1, 6/1, 7/1 e 7/2, podem ser utilizadas para delimitação do pedoambiente das veredas. Para áreas alagadas, as condições não são satisfatórias aos microrganismos decompositores, promovendo, conseqüentemente, a manutenção do CO no solo, contrapondo-se ao observado em solos bem drenados, onde as condições são favoráveis à decomposição, que ocorre acompanhada de uma melhor distribuição do CO em profundidade. A autora conclui que a delimitação atual da área de preservação permanente está inadequada, precisando de uma readequação de aproximadamente 210.000m<sup>2</sup> de APP.

Posto isso, Alves (2016) avaliou o hidromorfismo como parâmetro prático de campo para delimitação das zonas ripárias em APPs de nascentes no município de Viçosa MG, contribuindo dessa forma, para os programas de produção de água, recuperação de áreas ciliares, conservação ambiental e atendimento à legislação em vigor. Foram avaliadas 19 nascentes, sendo 10 difusas e 9 pontuais. Os resultados demonstraram que as nascentes estudadas se encontram bastante degradadas e 7 (36 %) delas apresentaram intermitência quanto ao fluxo. O autor verificou que as nascentes difusas possuem características hidrogeológicas que se aproximam muito às veredas (áreas encharcadas). Nesse sentido, Alves (2016) propõe que o cômputo da APP em nascentes seja iniciado após o término da zona ripária, ou seja, logo após o término da ocorrência de solos hidromórficos encontrados a 50 centímetros de profundidade, sendo assim, a APP seria uma faixa de 50 metros de largura após o término da zona ripária, e não um raio de 50 metros contados a partir do início do curso d'água, como previsto na Lei Federal 12.651/2012.

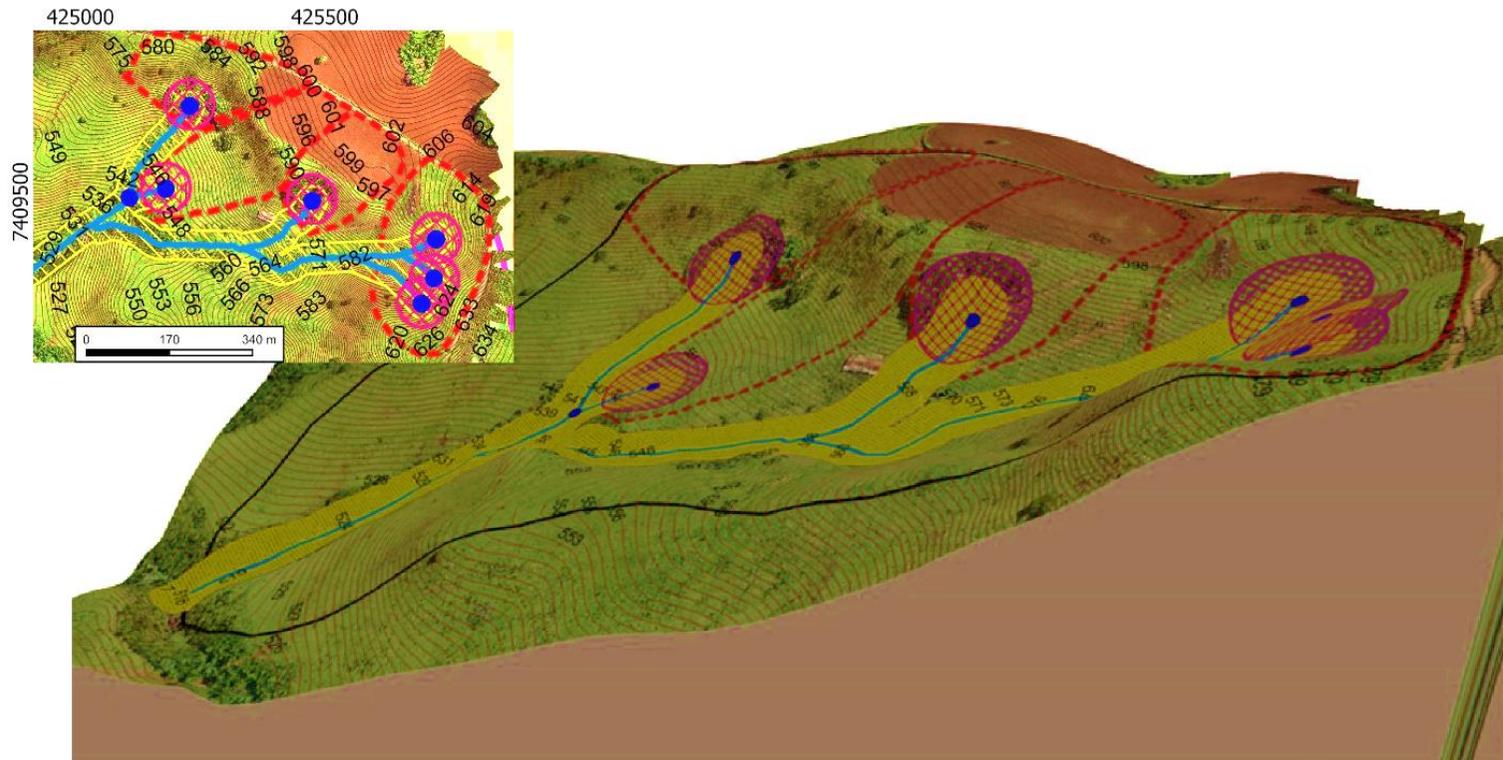
Na Figura 118 foi realizada, de forma hipotética, a adequação da legislação vigente da Lei Federal nº 12.651, de 25/5/2012, para a bacia hidrográfica de 2º ordem, na qual as nascentes estão localizadas, incluindo a bacia de contribuição, de acordo com a Resolução nº 303/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Para tanto, foi necessário estender a área de mapeamento para além das cabeceiras, no intuito de promover uma visualização mais assertiva e contextualizada no que confere os parâmetros da legislação.

O mapeamento considerou as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de 30 (trinta) metros, já que os cursos d'água são menores de 10 (dez) metros de largura. Para as nascentes, foi aplicado o buffer de 50m das áreas em seu entorno qualquer que seja sua situação topográfica, e por fim, foi delimitada a bacia de contribuição das nascentes levando em consideração a Resolução nº 303/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2002, em seu artigo 3º, que constitui a Área de Preservação Permanente (APP), que se refere à área situada ao redor de nascente ou olho d'água, ainda que intermitente, com raio mínimo de cinquenta metros de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte.

A título de informação, em 2020, por meio da Resolução CONAMA/MMA Nº 500, em 19 de Outubro, o Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990, e tendo em vista o disposto no seu Regimento Interno, resolveu-se revogar a Resolução nº 302, de 20 de fevereiro de 2002, que dispõe os parâmetros, as definições e os limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno; bem como a Resolução nº 303, de 13 de maio de 2002, que dispõe sobre os parâmetros, as definições e os limites de Áreas de Preservação Permanente.

Em 28 de outubro de 2020, a ministra Rosa Weber suspendeu, até o julgamento do mérito das ações, os efeitos da Resolução 500/2020, com a imediata restauração da vigência e eficácia das Resoluções 284/2001, 302/2002 e 303/2002, todas do Conama. No dia 28 de novembro, o plenário do STF referendou liminar que suspendeu a validade da resolução 500/20 do Conama-Conselho Nacional do Meio Ambiente tornando a validar Resolução nº 303/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2002.

Figura 118 - Mapeamento da bacia de segunda ordem conforme a Lei Federal n°. 12.651, de 25/5/2012 incluindo a bacia de contribuição de acordo com a Resolução n°. 303/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)



- NASCENTES
- Cursos de água
- Curvas de nível

- ▨ APP (50m)
- ▨ Mata Ciliar (30 m)
- ▨ Area de captação das cabeceiras
- ▭ Bacia de 2° ordem



DATUM: WGS 84  
FUSO 22S

Elaboração: A autora (2021).

Nesses termos (Figura 118), verifica-se que a Nascente 1 disporia de uma área de captação de 37.120,06 m<sup>2</sup> (equivalente a 8,39 %) e a nascente 2 de uma área de captação de 57.232 m<sup>2</sup> (equivalente a 12,94 %). As áreas destinadas para a mata ciliar abrangeriam um total de 28,62 %, enquanto as áreas de APP para as nascentes somariam 10,66% da área da bacia, totalizando 39,28 % quando levado em consideração apenas a aplicação da Lei Federal n° 12.651, de 25/5/2012. Quando contabilizada com a inclusão das áreas de captação, conforme a Resolução n° 303/2002 da CONAMA, ter-se-ia 75,06 % da área da bacia de segunda ordem destinada à preservação para manter a integridade ecológica das nascentes e do córrego.

Diante do exposto, percebe-se que a adequação da APP conforme a legislação ambiental em vigor pode não ser satisfatória da mesma forma para as duas nascentes, já que o tipo de exfiltração e o contexto geoambiental é diferente. Esse resultado concorda com Carmo *et al.* (2014), no qual reafirmam que cada nascente está situada sob um contexto singular, de maneira que a interação entre as variáveis ambientais configura um sistema complexo e único, gerando especificidades que não podem ser negligenciadas para a criação de mecanismos de gestão e planejamento mais eficazes na conservação ou preservação ambiental. Ainda, para os referidos autores, a carência de conhecimento científico sobre as nascentes, no momento de elaboração de textos legais, incorre na delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APP) muitas vezes não eficientes quanto aos reais objetivos de proteção idealizados na legislação.

Sabe-se, porém, que as pretensões econômicas se sobressaem em relação às ambientais, não sendo interessante para proprietários reservarem espaços privilegiando as características ambientais. Mas nesse caso, se a área da cabeceira 2, estivesse, atualmente, ao menos de acordo com a legislação Federal n° 12.651/2012, os danos ambientais provavelmente seriam menores quanto aos processos erosivos observados. Caso ocorra aumento dos processos erosivos, atingindo a profundidade do nível freático, uma incisão vertical permanecerá atuando, passando a nascente a ter sua localização dentro de um canal erosivo.

Conforme Curcio (2016) explicitou, para manter a qualidade da água das nascentes são necessários cuidados nas zonas de descargas (nascentes propriamente ditas) e em zonas de recargas hidrológicas (áreas acima das nascentes).

Independentemente do tipo e do estado de conservação da nascente a ser recuperada, segundo Pinto *et al.* (2005), primeiramente deve-se isolar a área no raio de 50m da nascente para impedir a invasão por animais domésticos, evitando, principalmente, a compactação do solo pelo pisoteio e o comprometimento do estrato regenerativo da área. Em seguida, deve-se proceder com o cancelamento das atividades dentro da área a ser restaurada, para que não exerçam competição com as espécies arbóreas plantadas ou regeneradas naturalmente.

Em suma, contextualizando todos os levantamentos realizados nas cabeceiras com a legislação vigente, pode-se inferir que embora os dados tenham demonstrado uma situação ambiental mais vantajosa para nascente da cabeceira 1, ainda assim, os resultados da avaliação macroscópica indicaram um grau de preservação ruim para essa nascente. Portanto, quando se compara as duas nascentes verifica-se que os parâmetros da legislação ambiental contribuíram para as melhores condições ambientais da nascente 1 em relação à nascente 2, porém, não são suficientes para manter sua integridade ecológica.

Desse modo, é notável que as condições de uso e manejo do solo das nascentes interferiram diretamente na quantidade de água disponível e não contribuíram de forma efetiva para a manutenção da funcionalidade dos processos, interações e interrelações entre os agentes envolvidos no contexto ambiental de inserção das nascentes. Nesse sentido, os resultados obtidos com este trabalho demonstram a complexidade que envolve os estudos destes ambientes, em função da interação dos fatores ambientais (geologia, geomorfologia, clima, vegetação, solos e uso) que controlam o regime hidrológico, dessa forma, destaca-se a importância da conservação das nascentes enquanto hidrossistemas, condizente com o que sugere Felipe (2013).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se verificar que as duas cabeceiras selecionadas para este estudo apresentaram características pedológicas e geomorfológicas distintas. Acredita-se, portanto, que tais características influenciaram na funcionalidade hidrológica e tipológica das nascentes, visto que cada cabeceira contempla uma nascente fisiograficamente diferente da outra. Desse modo, entende-se que a dinâmica das cabeceiras estudadas procede das características pedológicas, geomorfológicas e geológicas locais, que condicionam a tipologia e a funcionalidade das nascentes.

A cabeceira de drenagem 1 de morfologia convexo-convergente, abriga uma nascente com tipo de exfiltração pontual, enquanto, a cabeceira 2 de morfologia retilínea-convergente abriga uma nascente de exfiltração de forma difusa no verão e pontual no inverno. Observa-se que as distintas exfiltrações possivelmente decorrem de fatores internos (energia dos fluxos hídricos subterrâneos e fraturas das rochas), além de fatores externos (condições geomorfológicas, pedológicas e de precipitação).

Dessa forma, a cabeceira de drenagem 1, em situação topográfica com maiores altitudes e declividade, propicia que os fluxos hídricos cheguem com mais velocidade até a exfiltração da nascente. O contrário ocorre na cabeceira de drenagem 2, em que as cotas altimétricas e declividades são inferiores e fazem com que os fluxos hídricos tendam a ter a velocidade reduzida, permanecendo por mais tempo em contato com a cobertura pedológica, e assim, formando um ambiente encharcado em períodos chuvosos (dezembro a fevereiro). Contudo, nos meses em que ocorre a diminuição da precipitação, observa-se a mudança na exfiltração da nascente que passa a ser pontual.

Diante dos dados apresentados durante o trabalho, pôde-se notar que embora a cobertura pedológica presente na cabeceira de drenagem da nascente 1 seja composta por Neossolos Litólicos e Regolíticos, o que em termos pedológicos sinalizaria para condições mais desfavoráveis à recarga do lençol freático, a vazão foi maior em relação a nascente 2. Averigua-se também que a manutenção da vazão, e conseqüentemente o abastecimento hídrico da nascente da cabeceira 1, podem estar relacionados às condições pedológicas existentes em sua bacia de contribuição, que se constituem de uma cobertura pedológica mais espessa (possivelmente Cambissolos e Nitossolos), pois solos rasos associados à maior velocidade de escoamento subterrâneo tendem a um comportamento intermitente da exfiltração da água. Percebe-se ainda, que a APP da cabeceira 1 também contribuiu para a manutenção da vazão da nascente.

Constata-se, assim, que a nascente da cabeceira 1 possui menor área de contribuição que a nascente da cabeceira 2, contudo, a circulação hídrica é de uma velocidade superior demonstrando a influência da declividade e cobertura pedológica para o comportamento da recarga subterrânea das nascentes. A nascente da cabeceira 2, em função de sua maior área de contribuição, cobertura pedológica mais espessa e declividades baixas, que induzem a acumulação e menor velocidade de escoamento, proporcionou um comportamento perene da vazão mesmo estando degradada.

Em relação à adequação da APP conforme a legislação ambiental em vigor, pode não ser satisfatória da mesma forma para as duas nascentes, já que o tipo de exfiltração e o contexto geoambiental é diferente. Acredita-se que adoção da Resolução do CONAMA para o computo das áreas de APP das nascentes seria mais eficiente para garantir a proteção das mesmas.

A metodologia da AECP foi eficiente em demonstrar a estrutura e o funcionamento físico-hídrico das cabeceiras em condições geomorfológicas e pedológicas distintas, ressaltando a relação do solo com o relevo. Pode-se observar ainda, que a morfologia das cabeceiras influencia na exposição do material de origem, intensidade e direção dos fluxos hídricos que, por sua vez, regulam a atuação e variação dos processos pedogenéticos.

Por fim, acredita-se que os resultados obtidos nesta pesquisa podem contribuir e subsidiar discussões para as reflexões e iniciativas de proteção e conservação de nascentes e cabeceiras no âmbito das políticas ambientais relacionadas ao uso sustentável dos recursos hídricos. As correlações hidrológicas das nascentes deste trabalho proporcionaram importantes contribuições ao estudo destes ambientes complexos.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.2, p.275-282, 2003.
- AGLIO, F.J.C. **Ciência ou Senso comum? O uso do conhecimento científico no discurso político da revisão do Código Florestal Brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.p.123
- AGRIZZI, D. V.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; GARCIA, G. O.; AMARAL, A. A.; FIRMINO, E. F. A.; MENDES, N. G. S. Qualidade da água de nascentes do Assentamento Paraíso. **Engenharia Sanitária Ambiental**. Rio de Janeiro, v.23, n.3, p. 557-568, 2018.
- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.717-723, 2001.
- ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J. Densidade radicular do milho considerando os atributos de um solo com horizonte B textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p. 539-549, 2001.
- ALEXANDER, L. T.; CADY, J. G. **Genesis and hardening of laterite in soils**. 2 ed. Washington: US Dept. of Agriculture, 1962.
- ALHO, D. R.; JÚNIOR, J. M.; CAMPOS, M. C. C. Caracterização física, química e mineralógica de Neossolos Litólicos de diferentes materiais de origem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, vol. 2, n.2, p.117-122, 2007.
- ALMEIDA, M. C. de. **Mineralogia de solos e sua relação com a fertilidade natural na transição mata-agreste norte do estado de Pernambuco**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013.
- ALMEIDA, R. F.; MACHADO, H. A.; MARTINS, F. P.; QUEIROZ, I. D. S.; TEIXEIRA, W. G.; MIKHAEL, J. E. R.; BORGES, E. N. Correlação do tamanho e distribuição dos agregados em Latossolos amarelo da região do triângulo mineiro em diferentes ambientes. **Biosci. J.**, Uberlândia, v.30, n.5, p.1325-1334, 2014.
- ALVARENGA, A. P. **Avaliação inicial da recuperação de mata ciliar em nascentes**. Dissertação (Mestrado em Manejo Ambiental) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2004, 175 p.
- ALVES, F. S. **Estudos fitogeográficos na bacia hidrográfica do Arroio Lajeado Grande – Oeste do RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.
- ALVES, G. B. **O perfil cultural nos principais sistemas pedológicos do município de Maracá/SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.
- ALVES, J. C. F. **Hidromorfismo como parâmetro para delimitação da Zona Ripária de nascentes no município de Viçosa, MG**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016.p.59.
- ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; PÉREZ, D. V.; RAMOS, D. P. Caracterização e classificação dos Plintossolos no município de Pinheiro- MA. **Revista Brasileira de Ciência**

do Solo, Rio de Janeiro, ed. 31, p. 1035 – 1044, 2007.

ARAÚJO, E. A. **Caracterização de solos e modificações provocadas pelo uso agrícola no assentamento Favo de Mel, na região do Purus – Acre.** Dissertação (Mestrado em Solos Nutrição e Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000. p.122

ASIAMAH, R. D.; DEDZOE, C. D. Plinthization-A threat to agricultural production. **Journal of Agricultural Science**, Ghana, v. 32, n. 2, p. 223-227, 1999.

ATHAYDE, G. B.; ATHAYDE, C. V. M. Hidrogeologia do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v.29, n.3, p.315-333, 2015.

ÁVILA, F. F. **Análise da cobertura pedológica em uma topossequência na Bacia do Córrego dos Pereiras - Depressão de Gouveia/MG.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2009. p.133

AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D. **Solos e Ambiente:** uma introdução. Santa Maria: Ed. Pallotti. UFSM, 2004.

AZEVEDO, J. R.; BUENO, C. R. P. Potencialidades e limitações agrícolas de solos em assentamento de reforma agrária no município de Chapadinha- MA. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, vol.17, n°. 3, p. 1-13, 2016.

BARBOSA, G. S. Uso de atributos do solo na identificação de limites para preservação de Veredas no Mato Grosso do Sul. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016. p.71.

BARRAL, M. T.; ARIAS, M.; GUERIF, J. Effects of iron and organic matter on the porosity and structural stability of soil aggregates. **Soil and Tillage Research**, v. 46, n. 3, p. 261-272, 1998.

BARREIROS, A. M. Estudo sobre a pedogênese na transição arenitos-basaltos na bacia do córrego Gurupá (Floraí/PR). Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAEZ V., V.H.; CORRÊA, M.M.; COSTA, L.M. Formação e estabilização de agregados do solo Decorrentes da adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **R. Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.21-31, 2005.

BELIZÁRIO, W. S. Avaliação da qualidade ambiental de nascentes em áreas urbanas: um estudo sobre bacias hidrográficas do município de Aparecida de Goiânia/GO. **Revista Mirante**, Universidade Estadual de Goiás: Campus Henrique Santillo, Anápolis /GO, v. 8, p. 122–148, 2015.

BELTRAME, A. V. **Estudo das propriedades físicas do solo visando conhecer seu funcionamento hídrico: Sorocaba do Sul, Biguaçu.** Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BERNINI, T.A. **Caracterização mineralógica, identificação das substâncias húmicas e quantificação do alumínio em solos da Formação Solimões – Acre.** Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J e ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.155-163, 2004.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** 5ed. São Paulo: Ícone, 2005.

- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p. 167-177, 2001.
- BISOGNIN, R. P.; WEBER, F. H.; VIEIRA, L. F.; SILVA, B. R., WOHLBERG, P.; BOHRER, R. G. Análise e divulgação da qualidade da água de nascentes, afluentes e ponto de captação do arroio lajeado erval novo no município de Três Passos – RS. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p.44-55, 2017.
- BISPO, F. H. A.; SILVA, A. C.; TORRADO, P. V. Highlands of the upper Jequitinhonha valley, Brazil. I – Characterization and classification. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1069-1080, 2011.
- BOCHENER, J. K.; FERNADES, M. M.; PEREIRA, M. G.; BALIERO, F. C.; SANTANA, I. K. S. Matéria orgânica e agregação de um Planossolo sob diferentes coberturas vegetais. **Cernes**, Lavras, v.14, n 1, p.46-53,2008.
- BOMFIM, E. O.; GADELHA, C. L. M.; HAMILCAR, J. A. F.; AMORIM, J. F. M; AMORIM, D. S. Sustentabilidade hidroambiental de nascentes na bacia do rio Gramame no Estado da Paraíba, Brasil. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 453–468, 2015.
- BONIFÁCIO, C. M. **Avaliação da Fragilidade Ambiental em Bacias Hidrográficas do Alto Vale do Rio Pirapó, Norte do Paraná**: Proposta Metodológica. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.
- BONIFÁCIO, C. M. **Fragilidade ambiental e qualidade da água na unidade hidrográfica do Pirapó, Paranapanema III E IV, Paraná**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade estadual de Maringá, Maringá, 2019. p. 205.
- BOULET, R. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia. In: MONIZ, A.C. *et al.* (Coord.). **A responsabilidade social da Ciência do Solo e os simpósios Microbiologia do solo: só simbioses? e A importância do conhecimento da organização da cobertura pedológica**: a análise estrutural. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, p. 79-90, 1988.
- BOULET, R. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartografia. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Campinas, p.79-90, 1993..
- BOULET, R. Toposéquences de sols tropicaux en Haute Volta : équilibres et déséquilibres pédobioclimatiques., Cah. **O.R.S.T.O.M.**, Paris, v.85, 1978.
- BOULET, R.; CHAUVEL, A.; LUCAS, Y. Les systèmes de transformation en pédologie. In: **Livre Jubilaire AFES**, AFES, Paris, p.167-179, 1984.
- BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie. I – Prise en compte l’organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les étude de toposéquences et leurs principaux apport à la connaissance des sols. Cah. **O.R.S.T.O.M.** Paris. Série Pédologie. v. XIX, n. 4, p. 309-322, 1982.
- BOULET, R. ; HUMBEL, F. X. ; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie : II Une méthode d’analyse prenant en compte l’organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. Cah **O.R.S.T.O.M.**, Paris, v. XIX, n.4, p.323- 339, 1982.
- BOULET, R.; HUMBEL, F. X; LUCAS, Y. Analyse structural et cartographie en pédologie: Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. Cah **O.R.S.T.O.M.**,Paris, v. XIX, n.4, p. 341-351, 1982.

BOULET. R.; LUCAS, Y.; FRITSCH, E.; PAQUET, H. Géochimie des paysages : le rôle des couvertures pédologiques. **Académie des Sciences et du CADAS**, p. 55-76, 1993.

BRAGAS, L.A. S. S. **Caracterização da cobertura superficial em cabeceira de drenagem sobre substrato vulcânico – Campo Erê (SC)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Francisco Beltrão, 2010.

BRAIDA J. A.; BAYER C.; ALBUQUERQUE A.; REICHERT J.M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: KLAUBERG FILHO, O. **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 7. p. 221-278, 2011.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.4, p.605-614, 2006.

BRASIL. **Lei nº 4.771**, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 set. 1965. Seção 1, p. 9529. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1960-1969/lei-4771-15-setembro-1965-369026-publicacaooriginal-1-pl.html>>.

BRASIL. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm)>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 303**, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 13 maio 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port./Conama/res/res02/res30302.html>>.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria De Consolidação Nº 5**, de 28 de setembro de 2017. Anexo xx do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (Origem: PRT MS/GM 2914/2011).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA/MMA nº 500**, de 19 de outubro de 2020. Declara a revogação das resoluções discriminadas neste ato : I- Resolução nº 284, de 30 agosto de 2001, que dispõe sobre o licenciamento de empreendimentos de irrigação. II - Resolução nº 302, de 20 de fevereiro de 2002, que dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno; e III - Resolução nº 303, de 13 de maio de 2002, que dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.

BREEMEN, N. V.; BUURMAN, P. **Soil formation**. 2 ed. Dordrecht: Kluwer Academic, 2002.

BROCH, D. T. **Propriedades físico-hídricas de solos siltosos sob plantio direto**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2016.

BRUM, L. N.; SOARES, J. C. W.; RUVIARO, C.; CARDOSO, T. F.; LAMANA, G.; BOFF, J. S. Variabilidade espaço-temporal da estrutura de Neossolos, após a inserção da cultura da soja, com preparo convencional. In: **XII Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo**. Xanxerê, 2018.

CALEGARI, M. R. **Distribuição da cobertura pedológica e o relevo no Alto Vale do Ribeirão Água do São Francisco - Nova Esperança – PR**. Dissertação (Mestrado em

- Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.
- CAMARGO, O. A. de *et al.* Método de análise química, mineralógica e física de solos. Campinas: **Instituto Agrônomo**, 2009.
- CANELLAS, L. P.; BERNER, P. G.; SILVA, S. G.; BARROS E SILVA, M.; SANTOS, G. A. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa agropecuária brasileira** [online], EMBRAPA:vol.35, p.133-143, 2000.
- CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.935-944, 2003.
- CARMO, L. G.; FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES, J. R. A. P. Áreas de preservação permanente no entorno de Nascentes: conflitos, lacunas e alternativas Da legislação ambiental brasileira. **Geografia (Online)**. Goiânia, v. 34, n. 2, p. 275-293, maio/ago. 2014.
- CARPENEDO, V. e MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.14, p. 99-105, 1990.
- CARVALHO FILHO, A.; CURI, N.; SHINZATO, E. Relações solo-paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. Brasília: **Pesquisa agropecuária brasileira**, EMBRAPA: v.45, n.8, p.903-916, ago. 2010.
- CARVALHO, C.G.S.; PORTO, R.A.; OLIVEIRA, U.R. Avaliação macroscópica de impactos ambientais em nascentes do rio de ondas noroeste da Bahia. **Geociências**, São Paulo: UNESP, v.39, n. 3, p. 831 - 845, 2020
- CARVALHO FILHO, A.; CARVALHO, L.C.C.; CENTURION, J.F.; BEUTLER, A.N.; CORTEZ, J. W.; RIBON, A. A. Qualidade física de um latossolo vermelho férrico sob sistemas de uso e manejo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 25, n.6, p.43-51,2009.
- CARVALHO, P. E. R. Circular técnica nº58: Angico-Gurucaia. Colombo: **EMBRAPA**. Novembro de 2002.
- CARVALHO, T. C.; VIEIRA, E. M.; GONÇALVES, J. A.; VITERBO, G. A. Análise das classes de vertentes e sua relação com o processo erosivo: Uma visão integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba-MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, UFPE: v.12, n.04, p. 1619-1634, 2019.
- CARVALHO, V. L. M. Análise micromorfológica de solos desenvolvidos sobre granito-gnaisses de Espírito Santo do Pinhal – SP. In: **X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 2003.
- CARVALHO, L. A.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C. A.; CENTURION, J. F. Spatial variability of soil physical properties in two management systems in sugarcane crop. **Engenharia Agrícola Jaboticabal (SP)**, vol.32, n.1, p.60-68, 2012.
- CASTILHO, S. C. P. **Influência da transformação floresta-pastagem nos atributos do solo em área de agricultura familiar no oeste do estado do Pará**. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- CASTRO, S. S. **Sistema de transformação pedológica em Marília, SP: B latossólicos e B texturais**. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua

relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v22, p.527-538, 1998.

CASTRO, P. S.; LOPES, J. D. S. **Recuperação e conservação de nascentes**. Viçosa: Centro de Produções Técnicas. Serie Saneamento e Meio-Ambiente, Manual, nº296, 2001.

CAVALIERI, A. **Erodibilidade do solo: avaliação por meio de propriedades físicas e químicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade de Estadual de Campinas, Campinas (SP), 1994.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A. e WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.1055-1064, 2002.

CÓ JUNIOR, C. **Matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e acidez potencial no solo com dezoito cultivares de cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, 2011.

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plíntico desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru. I – Química. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa: v.27, p.483-494, 2003.

COELHO NETTO, A. L. Evolução de cabeceiras de drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a formação e o crescimento da rede de canais sob controle estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília: n. 2, p.69-100, 2003.

COLLARES, G. L. **Compactação em Latossolos e Argissolo e relação com parâmetros de solo e de plantas**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 2**, de 18 de março de 1994.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B nítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.581-595, 2005.

CORINGA, E. A. O.; COUTO, E. G.; PEREZ, X.O.; VIDAL TORRADO, P. Atributos de solos hidromórficos no Pantanal Norte Matogrossense. **Acta Amazônica**, INPA: vol. 42, n.1, p.19-28, 2012.

CORRÊA, C. P.; TONELLO, K. C.; FRANCO, F. S. Análise hidroambiental da microbacia do Pirajibu - Mirim, Sorocaba, SP, Brasil. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.11, n. 4, p.943, 25, 2016.

COSTA, C.; SILVA, R. C. V. M.; GROppo, M.; MACIEIRA, A. P.; CARVALHO, L. T.; GOMES, J. I. Conhecendo Espécies de Planta da Amazônia: Tamanqueira (*Zanthoxylum rhoifolium* Lam. – Rutaceae). Belém: **Circular Técnica**, 2014.

COSTA, E. U. C. **Caracterização e gênese de Argissolos e Nitossolos na Bacia Cabo, Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa: v.27, p.1105-1112, 2003.

CUNHA, J. E. **Funcionamento hídrico e suscetibilidade erosiva de um sistema pedológico constituído por Latossolo e Argissolo no município de Cidade Gaúcha - PR.** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CUNHA, J. E; NÓBREGA M. T.; CASTRO S. S. de. Infiltração da água no solo no sistema pedológico campus do arenito, Cidade Gaúcha, Noroeste do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 32:1837-1848, 2008.

CURCIO, G. R. As nascentes e sua inserção em paisagens com diferentes potenciais de uso: uma reflexão. XX Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água, **EMBRAPA**, 2016.

CURCIO, G. R. **Relações entre geologia, geomorfologia, pedologia e fitossociologia nas planícies fluviais do rio Iguacu, Paraná, Brasil.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná - Curitiba, 2006.

CURCIO, G. R.; BONNET, A. Análise de erosão em nascente e segmento de rio, município de Toledo, Paraná. **EMBRAPA**, Florestas – Colombo (PR), p.44. 2018.

CURCIO, G. R.; BONNET, A.; PESTANA, D.; SOUZA, L.; SOCHER, L. G.; GALVÃO, F.; RODERJAN, C. V. Compartimentação topossequencial e caracterização fitossociológica de um capão de floresta ombrófila mista. **FLORESTA**, Curitiba, v. 36, n. 3, set./ dez 2006.

CUSTÓDIO FILHO, R. O. **Recuperação e monitoramento de voçoroca em Neossolo Quartzarênico no município de Baliza, GO.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Goiânia, 2011.

DALBIANCO, L. **Variabilidade espacial e estimativa da condutividade hidráulica e caracterização físico-hídrica de uma microbacia hidrográfica rural.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2009.

DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C.N.; DICK, E.K.D.P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, Santa Maria. vol. 35, n. 2 (mar./abr. 2005), p. 481-489, 2005.

DAVET, A. **Estudo fitoquímico e biológico do Cacto – Cereus Jamacaru de Candolle, Cactaceae.** Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. p.121.

DEOBALD, G.A. **Variabilidade de classes de solos, atributos morfológicos e físico-hídricos no rebordo do Planalto Meridional.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, 2013. Santa Maria, RS.p.57

DIAS FERREIRA, R. P. **Solos e morfogênese em São Pedro – SP.** Tese (Doutorado em Geografia Física), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

DIAS JUNIOR, M. S.; MIRANDA, E.E.V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de lavras (MG). **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v.24, n.2, p.337-346, 2000.

DICK, G. **Regeneração natural em floresta estacional decidual aluvial: fisionomia, espécies potenciais para restauração ecológica e variáveis ambientais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2014. p.141.

DOMINGOS, M.M.M.; GASPARETTO, N.V.L.; NAKASHIMA, P.; RALISCH, R.;

- TAVARES FILHO, J. Estrutura de um Nitossolo Vermelho latossólico eutroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e floresta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.1517-1524, 2009.
- DRIESSEN, PM., DECKERS, J. Lecture notes on the major soils of the world. In: World Soil Resources Reports. **Food and agriculture organization of the United Nations (FAO)**. Rome, 2001.304p.
- DUFRANC, G.; DECHEN, C.F.; FREITAS, S.S; CAMARGO, A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, 28 (3),2004.
- DURIGAN, G.; NOGUEIRA, J. C. B. Recomposição de matas ciliares. São Paulo: **Instituto Florestal**, 1990.
- DYONISIO, H.A. F. Erosão hídrica: suscetibilidade do solo. **Revista Eletrônica Thesis**, São Paulo, n.13, p. 15-25, 2010.
- ELRICK, D. E; REYNOLDS, W. D; TAN, K. A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. In: **Groudwater Monitoring Review**. Vol. 9, p.184-193, 1989.
- EMBRAPA – Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. **Levantamento de reconhecimentos dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba: EMBRAPA – SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 1997.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Manual de técnico de pedologia**. Rio de Janeiro: CNPS, 2007.
- EMBRAPA. – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Mapa de Solos do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos e Florestas, 2008.
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. **Revista Ampliada**, Brasília, 2013.
- EMBRAPA. – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de Análise de Solo**. Brasília: EMBRAPA, 3.ed., p.573, 2017.
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos – **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. EMBRAPA, 2018. Disponível em: [www.embrapa.br/en/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos](http://www.embrapa.br/en/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos).
- ERICKSON, A .E. Tillage effects on soil aeration. In: **PREDICTING TILLAGE EFFECTS ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND PROCESSES**, Madison: Proceedings. America Society of Agronomy, p.91-104, 1982.
- ESPIRITO-SANTO, F. D. B.; OLIVEIRA FILHO, A. T.; MACHADO, E. L. M.; SOUZA, J. S.; FONTES, M. A. L.; SÁ, J. J. G.; MARQUES, M. Variáveis ambientais e a distribuição de espécies arbóreas em um remanescente de Floresta Estacional Semidecídua Montana no campus da Universidade Federal De Lavras, MG. **Acta Botânica Brasílica**, Alta Floresta, v.16, n.3, p.331-356, 2002.
- EZE, P. N; UDEIGWE, T. K.; MEADOWS, M. E. Plinthite and Its Associated Evolutionary Forms in Soils and Landscapes: A Review. **Pedosphere**. v.24, n.2, p.153–166, 2014.

FACCO, R. **Influência dos Parâmetros físicos – hídricos do solo na conformação das vertentes na Formação Santa Maria (membro alemoa) no bairro Camobi e distrito de Pains, Santa Maria, RS.** Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

FACCO, R.; NASCIMENTO, V. B.; WERLANG, M. K.; AITA, R. Propriedades físicas e cobertura pedológica de uma topossequência numa secção de vertente no distrito de Pains, município de Santa Maria – RS. **Revista Geonorte**, Manaus :UFAM, v.2, n.4, p.634-645, 2012.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n.6, p.1097-1104, 2003.

FARIA, A. F. G.; SANTOS, A. C.; SANTOS, T. M.; BATISTELLA FILHO, F. Influência do manejo do solo nas propriedades químicas e físicas em topossequência na bacia do rio Araguaia, estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa: v.34, p.517-524, 2010.

FARIA, A. P. A dinâmica de nascentes e a influência sobre os fluxos nos canais. **A Água em Revista**, Rio de Janeiro, v. 8, p. 74-80, 1997.

FARIA, L. C; ADRIANO JÚNIOR, F. C.; TONELLO, K. C.; VELENTE, R. O. A. Reflexos das alterações no Código Florestal Brasileiro em Áreas de Preservação Permanentes de duas propriedades rurais em Itu e Sarapuú, SP. **Rev. Ambiente. Água**, Taubaté, vol. 9 n.3, 2014.

FELIPPE, M. F. **Caracterização e tipologia de nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte (MG) com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FELIPPE, M. F. **Gênese e dinâmica de nascentes: contribuições a partir da investigação hidrogeomorfológica em região tropical.** Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES, J. R., A. P. Análise da variabilidade da vazão das nascentes no Parque das Mangabeiras (Belo Horizonte - MG) em relação aos seus condicionantes ambientais. In: **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, v.13., Viçosa-MG. Anais. Viçosa: UFV, 2009.

FELIPPE, M. F., MAGALHÃES JÚNIOR, A. Conflitos conceituais sobre nascentes de cursos d'água e propostas de especialistas. Belo Horizonte: **Geografias**, v. 9, n. 1, 2013.

FELIPPE, M. F., MAGALHÃES JÚNIOR, A. Espacialização e caracterização das nascentes em unidades de conservação de Belo Horizonte- MG. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2017.

FERNANDES BARROS, O. N. **Análise Estrutural e cartografia detalhada de solos em Marília, estado de São Paulo: ensaio metodológico.** São Paulo. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

FERNANDES BARROS, O. N. **Formação de horizontes pedológicos em solos sobre basalto- Londrina, PR, Brasil - e ação biológica no intemperismo.** Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

FERNANDES BARROS, O.N; CASTRO, S.S; MANFREDINI, S., PELLERIN, J.; TOLEDO, G.S.; QUEIROZ NETO, JP. Caracterização e representação de volumes pedológicos em Marília-São Paulo. **Revista do Departamento De Geografia**, v.2, p.73-80, 2011.

FERNANDES, M. M.; SILVA, T. R.; FERREIRA, R. A.; PINTO, A. S.; MAGALHÃES, J. S.;

SOUZA, I. B. A. Aporte de serapilheira em reflorestamento misto. **Acta Biológica Catarinense**, Joinville, v.5, n.3, p.90-97,2018.

FERREIRA, E. P. **Gênese e classificação de solos em ambiente cárstico na Chapada do Apodi**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica (RJ), 2013. p.107

FERREIRA, F. P.; AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; GIRELLI, D. Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul – Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.2, p.381-388, 2007.

FERREIRA, M. E. Avaliação da fertilidade empregando o sistema IAC de análise de solo. **Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária – UNESP, Jaboticabal**,1990.

FERREIRA, M.J.; PEREIRA, I.M.; BOTELHO, S.A.; MELL, C.R. Avaliação da regeneração natural em nascentes perturbadas no município de Lavras, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p.109-129, 2009.

FERREIRA, R. P.; MOREIRA, A. M.; RASSINI, J. B. Toxidez de alumínio em culturas anuais. São Carlos,; Pecúria Sudeste, **EMBRAPA**, p.35, 2006.

FERREIRA, S. T. **Avaliação da relação entre a condutividade hidráulica do solo saturado com parâmetros físicos de um latossolo vermelho distrófico submetido a dois diferentes manejos**. Dissertação (Mestrado em Ciências - Física) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008. p.101

FICAGNA JUNIOR, E. B., DIAS, W. R., RIBEIRO, E. S. Funcionamento hídrico da cobertura pedológica de uma cabeceira de curso d'água afluente do rio São Lourenço em Campo Verde – MT. **Revista Biodiversidade**, UFMT, v.14, n.1, p.31-48, 2015.

FIGUEIREDO, C. C.; SANTO, G. G.; PEIREIRA, S.; NASCIMENTO, J. L.; ALVES, J. R. J. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.2, p.146-151, 2009.

FILIZOLA, H. **O papel da erosão geoquímica na evolução do modelado da bacia de Taubaté**. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, SP,1993.

FILIZOLA, H. F.; BARRETO LUIZ, A. J. Tempo de cultivo contínuo de cana de açúcar e influência nas características físicas e carbono orgânico de Latossolos vermelhos distróficos em Guaira/SP. **Revista de Estudos Ambientais (Online)**, Blumenau, v.20, n. 2, p.21-36, 2018.

FIORI, A. Fatores que influem na análise de vertentes e no movimento de massa em encostas. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n.43, 1995.

FIORI, J. P. O. **Avaliação de métodos de campo para a determinação de condutividade hidráulica em meios saturados e não saturados**. Dissertação (Mestrado em Geociências aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília, 107p., 2010.

FIORI, J. P. O.; CAMPOS, J. E. G.; ALMEIDA L. Variabilidade da condutividade hidráulica das principais classes de solos do estado de Goiás. **Geociências**, Rio Claro, v. 29, n.2, p. 229-235, 2010.

FONTANA, A.C. **Sistemas pedológicos do compartimento basáltico da bacia do rio Pirapó, PR – Brasil**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2020. p.199.

FRAGA C. G. **Introdução ao Zoneamento do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná**. São Paulo,. Dissertação (Mestrado em Geologia Geral) - Instituto de Geociências,

Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1986. p.125.

FRANÇA JUNIOR, P.; VILLA, M. E. C. D., Análise macroscópica nas cabeceiras de drenagem da área urbana de Umuarama, região noroeste - Paraná/Brasil. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria (UFSM), v.17, n.1, 2013.

FRUET, J. G. W. **Análise da fragilidade ambiental: subsídios para a gestão de uso e ocupação dos solos nas bacias hidrográficas urbanas de Marechal Cândido Rondon-PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2016. p.119.

FURIAN, S. **Morphogénèse/pedogénèse em milieutropical humide de la Serra do Mar, Brésil : contribution de l'altération et de la pedogénèse à une dynamique actuelle**. Tese (Doutorado em Ciências da Terra) - Université de Caen, 1995.

FÜHR, J. O. M. **Aplicabilidade do código florestal em APPs fluviais urbanas: estudo na cidade de Marechal Cândido Rondon - PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 167p., 2015.

GARCIA, C. H. P. **Características mineralógicas, químicas e físicas de solos com horizonte plúntico no município de Iranduba-AM**. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008. 98p.

GASPAROTTO, F. A. **Avaliação Ecotoxicológica e Microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba-SP**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 90p., 2011.

GENNARO, L. A.; SOUZA, Z.M.; SILVA, L. F.S .; COOPER, M.; CAMPOS, M. C. C. Estrutura do solo sob feijão irrigado e diferentes manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, p.608-614, 2015.

GENNARO L. A, SOUZA Z. M, WEILL M. A. M, SOUZA G. S, ALVES M. C. Soil physical and microbiological attributes cultivated with the common bean under two management systems. **Revista Ciência Agrônômica**, Ceará (UFC), v.45, n.4, p. 641-649, out-dez, 2014.

GOMES, P. M. **Diagnóstico e avaliação ambiental das nascentes da Serra dos Matões, município de Pedro II, Piauí**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Rio Claro, 2015. 206p

GOMES, P. M.; MELO, C.; VALE, V. S. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 17, n. 32, p. 103–120, 2005.

GOMES, R. P.; CAMPOS, M. C. C.; BRITO, W. B. M.; CUNHA, J. M.; MUNIZE, A. W.; SILVA, L. S.; SOUZA, E. D.; OLIVEIRA, I. A.; FRIETAS, I. A. Variability and spatial correlation of aggregates and organic carbon in indian dark earth in Apuí, Region, AM. Uberlândia: **Biosci. J.**, v. 34, n. 5, p. 1188-1199, Sept./Oct. 2018.

GONZAGA NETO, L.; SOARES, J. M. A cultura da goiaba. Coleção Plantar, 27. Brasília: **EMBRAPA**, 1995.

GUERRA, A. J.; O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v.13, p.43 - 52, 1990.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. **Bertrand Brasil**, Rio de Janeiro, 340p., 1999.

GUIDICINI, G.; CAMPOS, J.O. Notas sobre a morfogênese dos derrames basálticos. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo (SBG): v.17, p.15-28, 1968.

GHIDIN, A. A.; MELO, V. F.; LIMA, V. C.; LIMA, J. M. J. C. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná II– relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v,30, n.2, p. 307-319, 2006.

GRAÇA, C. H. Vulnerabilidade à contaminação das águas superficiais e subsuperficiais da bacia hidrográfica do rio Pirapó – Paraná. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2019.

GROPPO, M.; PIRANI, J. R. Rutaceae. In: CAVALCANTI, T. B. (Org.). **Flora do Distrito Federal**, Brasil. Brasília, DF: EMBRAPA Recursos Genéticos e Biotecnologia, v.6, p. 63-86, 2007.

GÜLSER, C. EKBERLI, I. CNADEMIR, F. DEMIR, Z. Spatial variability of soil physical properties in a cultivated field. **Eurasian Journal of Soil Science**, v.5, n.3, p. 192-200, 2016.

HAIDA, K. S. HAAS, J.; MELLO, S. A.; HAIDA, K. S.; ABRÃO, R. M.; SAHDA, R. Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante de Goiaba (*Psidium guajava* L.) Fresca e Congelada. **Revista Fitos**, Rio de Janeiro, v.9, n.1, p.1-72, Jan-Mar 2015.

HANKE, D. Gênese, interação organo-mineral e estabilidade de agregados de solos desenvolvidos de basalto. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p.101, 2012.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, p.1055-1061, 2012.

HORTON, R. E. “Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrographical approach to quantitative morphology”. **Geological Society of America Bulletin**, GSA: v.56, n.2, p.275-370, 1945.

IAPAR - **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, 41p, 1948.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Manual técnico de uso da terra. 3 ed. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2013.

INGARAMO, O. E. Indicadores físicos de la degradación del suelo. Tese (Doutorado em Edafologia) - Universidade da Coruña, La Coruña, 2003.298p.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Download dos dados SRTM**. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso>. Acesso em novembro 2018.

INPE - (Instituto de Pesquisas Espaciais). **Projeto TOPODATA**. 2011. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em novembro de 2018.

ITCG – **Instituto de Terras, Cartografias e Geociências. Carta de Solos e Hidrografia**: 2013. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo>.

JANJAR, C. **Estudo morfopedológico do município de Marechal Cândido Rondon, Região Oeste do Estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, 2010. p.99

JESUS, J. B.; OLIVEIRA, L. S.; GAMA, D. C. Composição florística e caracterização do estado de conservação de nascentes no centro-leste da bacia hidrográfica do rio Itapicuru, semiárido da Bahia. **Floresta**, Curitiba, v.48, n.2, p.245-254, 2018.

JUHÁSZ, C. E. P.; CURSI, P. R.; COOPER, M.; OLIVEIRA, T. C.; RODRIGUES, R. R. Dinâmica físico-hídrica de uma topossequência de solos sob savana florestada (cerradão) em

- Assis, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa: v.30, p.401-412, 2006.
- JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A. **Escoamento de nascentes associado à variabilidade espacial de atributos físicos e uso do solo em uma bacia hidrográfica de cabeceira do Rio Grande**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, MG, Lavras, 2006. p.84.
- KAISER, D. R. **Nitrato na solução do solo e na água de fontes para consumo humano numa microbacia hidrográfica produtora de fumo**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.p.114.
- KARLING, G. **Estudo da morfologia e estrutura da cobertura pedológica em cabeceira de drenagem na área rural de Cidade Gaúcha**. Maringá, Dissertação (Mestrado em Geografia - Análise Ambiental) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2000.
- KERTZMAN, F. F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um Latossolo roxo provocadas pela compactação do solo**. Tese de Doutorado – Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo, São Paulo,1996. p.153.
- KLEIN, C.; VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. **Caracterização física de um Nitossolo Vermelho do Extremo Oeste Catarinense sob diferentes sistemas de uso. Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.20, p. 118-125, 2014.
- KLEPKA, V. Qualidade da Água na Bacia do Rio Pirapó: Uma Análise das Condições Bióticas e Abióticas. **Diálogos & Saberes**, Mandaguari, v.7, n.1, p.9-17, 2011.
- KOCH, F. F.; KAUFFMANN, C.; BICA, J. B.; ADAMI, F. S.; STEVENS, J. F.; ECKHARD, C. L.; MARMITT, L. G.; OLIVEIRA, E. C. Análise de água superficial para consumo humano em um município do Rio Grande do Sul. **Revista Caderno Pedagógico**, Lajeado (RS), v.14, n.1, 2017.
- KORCHAGIN, J. **Fósforo, Potássio e Cobre em Neossolo sob cultivo centenário de videira**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). UPF, Passo Fundo, p.71, 2014.
- LAHMAR, R., AUROUSSEAU, P., BRESSON, L.M. Analyse de contenu d'une carte pédologique en horizons: lesformules de sol. **Science du Sol**, 27 (1), 45 – 48.1989.
- LANZANOVA, M. E. **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005. p.132.
- LANZANOVA, M. E.; NICOLOSOLL, R. S.; LOVATOLLL, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADOLL, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. Viçosa, v.31, n.5, 2007.
- LEAL, M. S.; TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; MINGOTI, R. Caracterização hidroambiental de nascentes. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté: v. 12, p.146–155, 2017.
- LEÃO, A. B.; ANDRADE, A. R. S.; CHAVES, L. H.; GUERRA, H. O. C. Variabilidade espacial de fósforo em solo do perímetro irrigado Engenheiro Arcoverde, PB. **Revista Ciência Agrônômica**, Ceará (UFC)v.38, n.1, p.1-6, 2007.
- LEMOS, J. O. **Caracterização de Gleissolos com e sem tiomorfismo da região litorânea do estado de Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013.
- LEMOS, R. C., SANTOS, R. D. **Manual de método de trabalho de campo**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 36p.

LEPSCH, I. F. 19 Lições de pedologia. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2011.

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

LIMA, C. L. R.; Pauletto, E. A.; Gomes, A. S.; Silva, J. B. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.199-205, 2003.

LIMA, H. N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. Tese (Doutorado em Solo – Nutrição e Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LIMA, A. M. N. Mineralogia e química de três solos de uma toposequência da bacia sedimentar do alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.59-68, 2006.

LIMA, J. A. **Morfopedologia aplicada a interpretação da dinâmica hídrica de duas nascentes na alta bacia do rio São Lourenço**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

LIMA, J. S. S.; SOUZA; G. S.; SILVA, S. A. Distribuição espacial da matéria orgânica, grau de floculação e argila dispersa em água em área de vegetação natural em regeneração e pastagem. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.3, p.539-546, 2013.

LIMA, P. **Mais de 620 emendas a MP do código florestal**. Disponível em: <<http://www12.senado.gov.br/codigoflorestal/news/mais-de-620-emendas-a-mp-do-codigoflorestal>>.

LIMA, F. V.; SILVINO, G. S.; MELO, R. S. S.; LIRA, E.C. RIBEIRO, T. S. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área de encosta sob processo de degradação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.28, n.4, p.53-63,2015.

LIMA, H. N. **Gênese, química mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. Tese (Doutorado em Solos – Nutrição e Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001. p. 176.

LIU, A.; MA, B. L.; BOMKE, A. A. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. Madison: **Soil Science Society of America Journal**, v.69, n.2, p.2041-2048, 2005.

LOPES, J. C. J. **Água, fator limitante ao desenvolvimento: a região de Maringá – Paraná**. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá,2001.

LORENZI. H. Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 3ª edição. Nova Odessa: **Instituto Plantarum**, 2000.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 4ª ed. Nova Odessa: **Instituto Plantarum**, v.1, 2002.

LORENZI. H. Árvores brasileiras: manual de identificação. 5ª ed. Nova Odessa: **Instituto Plantarum**, v.1, p.384, 2008.

LOSS, A.; PEREIRAL, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira [online]**, Brasília: EMBRAPA, v.46, n.10, p.1269-1276, 2011.

- LUCIANO, R. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A.; BATTISTELLA, B.; WARMLING, M.T. Atributos físicos relacionados à compactação de Solos sob vegetação nativa em região de altitude no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.1733-1744, 2012.
- LYNN, W. C.; PEARSON, M. J. **The color of soil**. The Science Teacher, v. 67, n. 5, p. 20, 2000.
- MACEDO, R. S. **Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos com horizonte antrópico (terra preta de índio) em área de várzea do rio Solimões**. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2009.
- MACHADO, M. R.; PIÑA-ROGRIGUES, F. C. M.; PEREIRA, M. G. Produção de serapilheira como bioindicador de recuperação em plantio adensado de revegetação. **Árvore**, Viçosa (SIF), v.32, p.143-151, 2008.
- MACIEL, C. G.; MUNIZ, M. F. B.; SANTOS, Á. F.; LAZAROTTO, M. Detecção, transmissão e patogenicidade de fungos em sementes de angico-vermelho (*Parapiptadenia Rigida*). Botucatu: **Summa Phytopathol**, Botucatu, v. 38, n. 4, p. 323-328, 2012.
- MAGALHÃES, V. L. **Os sistemas pedológicos e a paisagem na bacia da Sanga Clara Marechal Cândido Rondon - PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.
- MAGALHÃES, V. L. **Gênese e evolução de sistemas pedológicos em unidades de paisagem do município de Marechal Cândido Rondon-PR**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.
- MAGALHÃES, V. L.; CUNHA, J. E.; NÓBREGA, M. T. Análise do sistema poroso e hídrico de uma vertente constituída por “Latossolo/Nitossolo”. **Perspectiva geográfica**, Marechal Cândido Rondon (PR), v.10, n.12, 2015.
- MALAQUIAS, G. B.; CÂNDIDO, B. B. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes do município de Betim, MG: análise macroscópica. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, Florianópolis (SC), v.3, n.2, 2013.
- MANASSES, F.; ROSA FILHO, E. F.; HINDI, E. C.; BITTENCOURT, L. A. V. Estudo hidrogeológico da Formação Serra Geral na região sudoeste do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, p.64-65, 2011.
- MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá (PR), v.24, n.5, p.1335-1340, 2002.
- MARANGON, F. H. S. **Hidrogeomorfologia de bacias de zero-ordem de ocorrência de nascentes**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- MARCATTO, F. S.; SILVEIRA, H. Relação entre as propriedades físico-hídricas dos solos e os tipos de uso da terra como subsídio ao manejo e conservação do solo e da água na bacia hidrográfica do rio Pirapó - PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife (UFPE),v.09, n.06, p.1769- 1783, 2016.
- MARCATTO, F. S. A.; SILVEIRA, H. Relação entre as propriedades físicas e hídricas e os tipos de uso da terra em Neossolos Regolíticos da bacia hidrográfica do rio Pirapó- PR. **Caderno de Geografia**, Minas Gerais, v.27, n.50, abr. de 2017.
- MARCON, T. R. **Atividade antioxidante na emergência e crescimento inicial de mudas de Parapiptadenia Rigida (Benth.) Brenan em substratos alternativos com diferentes fontes**

**de carbono.** Tese de (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.p.83.

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta Ambiente.** [online], Rio de Janeiro, v.22, n.2, pp.171-181,2015.

MARQUES, F.A.; RIBEIRO, M.R.; BITTAR, S.M.B; LIMA NETO, J.A.; LIMA, J.F.W.F.L. Caracterização e classificação de Cambissolos do arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol.31, p.1023-1034, 2007.

MARQUES, F.A.; RIBEIRO, M.R.; BITTAR, S.M.B.; TAVARES FILHO, A.N.; LIMA, J.F.W.F. Caracterização e classificação de Neossolos da ilha de Fernando de Noronha (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 31: 1553-1562, 2007.

MARQUES, J.D.O.; TEIXEIRA, W.G.; REIS, A.M.; CRUZ JUNIOR, O.F. MARTINS, G.C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. **Acta Amazônica**, Amazonas (INPA), v.38, p.193-206, 2008.

MARTINEZ, M. **Aplicação de parâmetros morfométricos de drenagem na bacia do rio Pirapó: o perfil longitudinal.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade estadual de Maringá, Maringá, 2005.p.96.

MARTINS, S.V. (Ed.) **Restauração ecológica de ecossistemas degradados.** Viçosa: Editora UFV, 2012, 293p.

MATIAS, S. S. R.; BORBA, J.A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R.; CAMARA, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 331- 338, 2009.

MARTINS, V.M. **Caracterização morfológica e dos fluxos hídricos dos solos da cabeceira de drenagem do córrego bom Jesus em cidade gaúcha-PR.** Dissertação (Mestrado em Geografia - Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MATTOS JÚNIOR, D. NEGRI, J.D.; FIGUEIREDO, J.O.; POMPEU JÚNIOR, J.. CITROS: principais informações e recomendações de cultivo. **Boletim Técnico 200 (IAC)**. 17 de março de 2005.

MEDEIROS, F.B.; MARCATTO, F.S.; SILVEIRA, H.; NÓBREGA, M.T. Avaliação da estabilidade de agregados e a vulnerabilidade à erosão ao longo de uma vertente no município de Araruna, região noroeste do Paraná-Brasil. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v.28, n.55, 2018.

MEDEIROS, P. S. C. **Processos pedogenéticos, caracterização e classificação de solos em topossequência granítica na região sudeste de Porto Alegre.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. p.66.

MEINZER, O.E. Large springs in the United States. U.S. Washington: **Geological Survey Water-Supply Paper 557**, 1927.

MELO, A. F. D.; SOUZA, C. M. M.; REGO, L. G. S.; LIMA, N. S.; MOURA, I. N. B. M. Pedogênese de Chernossolos derivados de diferentes materiais de origem no oeste potiguar. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v.13, p. 229-235, 2017.

MELO, M.F.F.; ZICKEL, C. Os gêneros *Zanthoxylum* L. e *Esenbeckia* Kunth (Rutaceae) no estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, Alta Floresta (MT), p. 73-90,2004.

MENEZES, M.D.; JUNQUEIRA JÚNIOR, J.A.; MELLO, C.R.; SILVA, A.M.; CURTI, N.;

- MARQUES, J.J. Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha – Serra da Mantiqueira (MG). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 82, p. 175-184, jun. 2009.
- MESQUITA, M.G.B.F. **Caracterização estatística da condutividade hidráulica saturada do solo**. Tese (Doutorado em Solos - Nutrição e Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, 2001.p.110.
- MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n.3, p 963-969, 2004.
- METZNER, A.F.; CENTURION, J. F.; MARCHIORI JÚNIOR, M. Relação entre grau de floculação e atributo do solo. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, Ribeirão Preto- SP, Anais, 2003.
- METZGER, J. P. O Código Florestal tem base científica? **Natureza & Conservação**, Associação Brasileira de Ciência Ecológica e Conservação (ABECO), v. 8, n. 1, p. 1–5, 2010.
- MEURER, E.J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. 4. ed. Porto Alegre: Genesis, 2010.
- MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping particularly for Eats African soils. **Soil Research, suppl. Proc. Int. Soc. Soil Sci.** v.4, n.3, p. 183-198, 1935.
- MINEROPAR. **Atlas Geológico do Estado do Paraná**. Curitiba. 2001.
- MONTEIRO, J. S. **Indicadores de fragilidade à erosão no apoio à definição de áreas de preservação permanente em rios**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014, p. 172.
- MONTEIRO, J. S.; CRUZ, J. C.; PADILHA, D. G.; BAUMHARDT, E.. Permanent Preservation Areas and their environmental services. **Journal Biotechnology Biodiversity**. Gurupi:UFT, v.4, n.4, p. 299-309, 2013.
- MOREIRA, P. R.; SILVA, O. A. Produção de serapilheira em área reflorestada. **Revista Árvore**. Universidade Federal de Viçosa, v. 28, núm. 1, p. 49-59, 2004.
- MORETI, D.; ALVES, M. C.; PEROZINI, A. C.; PAZ GONZÁLEZ, A.; SILVA, E.C. Condutividade hidráulica e resistência à penetração do solo influenciada por diferentes sistemas de manejo. **Cadernos do Laboratório Geológico de Lage**, João Pessoa: UFP, v.3, p.29-42, 2006.
- MORO, D. Á. Desenvolvimento econômico e dinâmica espacial da população no Paraná contemporâneo. In: **Boletim de Geografia da Universidade Estadual de Maringá**,1998.
- MOURA, D.B. **Caracterização de Plintossolos Argilúvicos na planície do rio Araguaia**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015. p.92.
- MOURA, J. R. S.; PEIXOTO, M. N. O.; SILVA, T. M. Geometria do relevo e estratigrafia do quaternário como base a tipologia de cabeceiras de drenagem em anfiteatro – médio Vale do Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.21, n.3, p.255-265, 1991.
- MOURA, J.R.S., SILVA, T.M., Complexos de rampa de colúvio. In: CUNHA, S. B., GUERRA, A.J.T. **Geomorfologia do Brasil**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2001.
- MUCHAILH *et al.* Metodologia de planejamento de paisagens fragmentadas visando a formação de corredores ecológicos. **FLORESTA**, Curitiba, v. 40, n. 1, p. 147-162, 2010.
- NAKASCHIMA, M. **Gênese dos Nitossolos Vermelhos férricos na Bacia do Córrego Miringuava, em Maringá – PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de São

Paulo, São Paulo, 2013.p.148.

NAKASCHIMA, M.; BARREIROS, A.M.; ALVES, G.B.; QUEIROZ NETO, J.P. Dos solos à paisagem: uma discussão teórico-metodológica. **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia**, ANPEGE, v.13, n.20, p.30-52,2017.

NASCIMENTO, D. T. F.; ROMÃO, P.A.; SALES, M. M.; VARGAS, C. A. L.; AMARAL, C. A. L. Mapeamento da suscetibilidade e potencialidade a processos erosivos laminares e lineares ao longo do duto OSBRA da Petrobras. **Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 4, p.585-597, 2016.

NAZAR, T. I. S. M.; RODRIGUES, S. C. Análise comparativa de geocoberturas em três vertentes no Chapadão do Diamante, Serra da Canastra-MG, Brasil. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte; v.30, Número Especial 1, 2020.

NEIVERTH, C. A. **Lixiviação de Nitrato e Amônio em colunas indeformadas de solos de uma pedossequência do estado do Paraná**. Tese (Doutorado Solos – Nutrição e Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2013.

NERY *et al.* Aplicação do Novo Código Florestal na Avaliação das Áreas de Preservação Permanente em Topo de Morro na Sub-Bacia do Rio Canoas no Município de Montes Claros/MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.06, n.06, p.1673-1688, 2013.

NÓBREGA, M. T. CUNHA, J. E. A Paisagem, os Solos e a Suscetibilidade á Erosão. **Espaço Plural**, Marechal Cândido Rondon, ano XII, nº 25, p. 62-73,2011.

NÓBREGA, M.T.; SERRA, E.; SILVEIRA, H.; TERASSI, P.M.B.; BONIFÁCIO, C.M. Landscape structure in the Pirapó, Parapanema 3 and 4 Hydrographic Unit, in the state of Paraná. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v.75, n.4, 2015.

NORIEGA, P, RÖPKE C. D.; CAMILO, C.M.; FREITAS, P. C. D, BARROS, B. M. Avaliação por análise fatorial das condições da extração do 4-nerolidilcatecol de *Pothomorphe umbellata* (L). Miq. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v.41, n.2, p.261-9, 2005.

OLIVEIRA, A. M. S. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios: o exemplo do reservatório de Capivara, rio Parapanema**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo,1994.

OLIVEIRA FILHO, ARY T.; CARVALHO, D. A.; FONTES, M. A. L.; VAN DEN BERG, E.; CURTI, N.; CARVALHO, W. A.C. Variações estruturais do compartimento arbóreo de uma floresta semidecídua alto-montana na chapada das Perdizes, Carrancas, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, Sociedade Botânica de São Paulo (SBSP), V.27, n.2, p.291-309,2004.

OLIVEIRA, I.A.; CAMPOS, M.C.C.; SOARES, M.D.R.; AQUINO, R.E.; MARQUES JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, E.P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háplico, sob diferentes usos na Região Sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, p.1103-1112, 2013.

OLIVEIRA, A. S.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.. Dinâmica da água em áreas de recarga de nascentes em dois ambientes na Região Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária Ambiental [online]**, Rio de Janeiro, vol.25, n.1, pp.59-67, 2020

OLIVEIRA, F. D., BUARQUE, D. C., VIERO, A. C., MERTEN, G. H., CASSOL, E. A.; MINELLA, J. P. Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 337-346, 2012.

OLIVEIRA, F. G.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S.S.; FERRAZ, F. T. Caracterização hidroambiental como indicador de qualidade de água em nascentes. **Caminhos de Geografia**

**Uberlândia**, Uberlândia, v.21, n.74, p. 276–294, 2020.

OLIVEIRA, J. T.; MOREAU, A. M. S. S.; PAIVA, A. Q.; MENEZES, A. A.; COSTA, O. V. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa: v.32, p.2821-2829, 2008.

OLIVEIRA, M.F.; COLONNA, I.; PRATES, H.T.; MANTOVANI, E.C.; GOMIDE, R.L.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S. Sorção do herbicida imazaquin em Latossolo sob plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira [Online]**, Brasília: EMBRAPA: v.39, n.8, p.787-793,2004,

OLIVEIRA, M.N.D. **Funcionamento físico-hídrico em duas topossequências sob floresta e pastagem em sistema agroextrativista na Amazônia Oriental**. Tese (Doutorado em Solos – Nutrição e Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2014.

PAES, J. L. A.; RUIZ, H. A.; FERNANDES, R. B. A.; FREIRE, M. B. G. S. F.; BARROS, M. F. C.; GENELÍCIO, C. R. Dispersão de argilas em solos afetados por sais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.11, p.1135–1142, 2013.

PAISANI, J. C.; PONTELLI, M. E.; GEREMIA, F. Cabeceiras de drenagem na Bacia do Rio Quatorze – Formação Serra Geral (WS do Paraná): distribuição espacial, propriedades morfológicas e controle estrutural. **Revista Ra E Ga**. Curitiba: UFPR, n.12, p.211-219, 2006.

PAIVA, A. Q.; SOUZA, L. S.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L. M. propriedades físico-hídricas de solos de uma topossequência de tabuleiro do estado da Bahia. **Revista Pesquisa agropecuária de Brasília**, Brasília:EMBRAPA, v.35, n.11, p.2295-2302, nov. 2000.

PALMA, V. H.; DEDECEK, R.A.; CURCIO, G. R.; WIGO, M.R.; OGATA, R. S.; RAMOS, M. R. Efeito do tipo de vegetação e comprimento de rampa em enxurrada simulada no Bioma Cerrado, Distrito Federal e Goiás. **IN: Congresso Florestal Paranaense, Curitiba**. Novas tecnologias florestais: anais. [Curitiba: Associação Paranaense de Empresas de Base Florestal, 2015.

PARREIRA, R. B. Sistema de transformação de solos hidromórficos-Cambissolos na superfície de cimeira do Planalto do Espinhaço Meridional- Diamantina/MG. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. p.120.

PASSARIN, A.L.; RODRIGUEIRO, E.L.; ROBAINA, C.R.P.; MEDINA, C.C. Caracterização de agregados em um Latossolo Vermelho Distroférrico típico submetido a diferentes doses de vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1255-1260, 2007.

PARFITT, J.M.B; TIMM, L.C.; PAULETTO, E.A.; SOUSA, R.O.; CASTILHOS, D.D.; AVILA, C.L.; RECKZIEGEL, N.L. Spatial variability of the chemical, physical and biological properties in lowland cultivated with irrigated rice. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.819-830, 2009.

PAULA, A. L. **Argila dispersa em água em Latossolo após longo tempo de plantio direto**. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.

PAULA, P.F. **Levantamento fitogeográfico da vegetação de cerrado no interflúvio Pirapó/Bandeirantes, Sabáudia-PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

PAVAN, M.A. *et al.* Manual de análise química de solo e controle de qualidade. Londrina: **Instituto Agrônomo do Paraná**, 1992.

PAVAN, M.A. Análises químicas do solo: parâmetros para interpretação. Londrina: **Instituto**

**Agrônomo do Paraná**, 1991.

PEDRON, F.A. **Mineralogia, morfologia e classificação de saprolitos e Neossolos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PEDRON, F.A.; AZEVEDO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D.; STÜRMER, S.L.K. & MENEZES, F.P. Morfologia e classificação taxonômica de Neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas da formação Serra Geral no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 33:119-128, 2009.

PEDRON, F.A.; FINK, J.R.; DALMOLIN, R.S.D.; AZEVEDO, A.C. Morfologia dos contatos entre solo-saprolito-rocha em Neossolos derivados de arenitos da Formação Caturrita no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.1941- 1950, 2010.

PEDRON, F.A.; FINK, J.R.; RODRIGUES, M.F.; AZEVEDO, A.C. Condutividade e retenção de água em Neossolos e saprolitos derivados de arenito. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.1253-1262, 2011.

PELLERIN, J.; VIEIRA, A.F.G.; LIMA, M.S.B.; ESTEVES, M.B. análise tridimensional da cobertura pedológica de uma pequena depressão fechada: município De Biguaçu / Santa Catarina / Brasil. In: **VI Encontro De Geógrafos Da América Latina, Buenos Aires** (Argentina). Anais Eletrônicos: Sessão Temas livres 1/n.579. Buenos Aires, 1997b.

PENIDON, A.B.; SILVA, M.W.B. Guia Fitoterápico. **Facimp**, 2007.

PEREIRA, L.C. Uso e conservação de nascentes em assentamentos rurais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

PEREIRA, R.A. **Caracterização, classificação e potencialização de uso dos solos do IFRR / Campus Novo Paraíso**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2014.

PEREIRA, V. J.; SANTANA, D. G. Coefficient of variation of normal seedlings obtained from the validation of methods for the seed germination testing of 20 species belonging to the family Leguminosae. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 161-170, 2013.

PICCIRILLO, E.M.; MELFI, A.J.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; ERNESTO, M.; MARQUES, L.S.; NARDO, A.J.R.; PACCA, L.G.; ROSENBERG, A.; STOLFA, D. Petrochemistry of continental flood basalt-rhyolite suites and related intrusives from the Parana Basin (Brazil). In: MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M. (Editors). São Paulo: **The Mesozoic flood volcanism of the Parana Basin**, 1988.

PIMENTA, J. A.; L. B. ROSSI; J. M. D. TOREZAN; A. L. CAVALHEIRO; E. BIANCHINI. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de um reflorestamento e de uma floresta estacional semidecidual no Sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Alta Floresta, v.25, n.1, p.53-57, 2011.

PINESE, J. P. P.; NARDY, A. J. R. **Contexto geológico da formação Serra Geral no terceiro planalto Paranaense**. I Encontro geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense -ENGEOPAR. Paraná, 2003.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G. B.; ANJOS, L.H.C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil & Tillage Research**, v 77, p.79-84, 2004.

PINTO, L.V.A, BOTELHO,S,A.; DAVIDE, A.C.; FERREIRA, E. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65,

p. 197-206, jun. 2004.

PINTO, S. I. C.; MARTINS, S. V.; BARRROS, N. F. de; DIAS, H. C.; KUNZ, S. H. Influence of environmental variables on the shrub and tree species distribution in two Semideciduous Forest sites in Viçosa, Minas Gerais, Brazil. **Revista de Biología Tropical**, Universidade de Costa Rica, v. 56, n. 3, p. 1557 - 1569, 2008.

PIRANI, J.R.; GROppo, M. Rutaceae. In: **Lista de espécies da Flora do Brasil**. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

PIRES, A. C. D. **Interação dos metais  $Zn^{+2}$  e  $Pb^{+2}$  com os constituintes orgânicos e minerais de solos de Curitiba, PR**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

PRADO, R. M.; CENTURION, J. F.; Alterações na cor e no grau de flocculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 197-203, 2001.

PREVEDELLO, E.S.V.; KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; A funcionalidade do sistema poroso do solo em floresta de eucalipto sob Argissolo. Piracicaba: **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 557-566, dez. 2013.

PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: **Nobel**, 2002,

QUEIROZ NETO, J. P. de. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica: Uma Experiência de Ensino e Pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo: USP, p. 77-90, 2002.

QUEIROZ NETO, J. P. O papel da pedogênese no modelado do relevo: busca de novos paradigmas. In: **VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física II. Seminário Ibero-Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra**, maio de 2010.

RAIJ, B.V. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba: **Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa**, 1981.

RAIJ, V.B. **Avaliação da fertilidade do solo**. 2ª edição. Piracicaba: **Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa**, 1983

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; MELO, L. C. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A.C. carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.2051-2059, 2008.

RAUBER; L. R. Estrutura do solo em condições de pastejo bovino em pastagem natural de altitude. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Lages, 2020.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Monole Ltda. 1990.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2.ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1996.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa maria, v.27, p.29-48, 2003.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ciência do Solo**, SBCS, v.5, p.49-134, 2007.

REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; CABEDA, M. S.V . Selamento superficial e infiltração de

água em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, p.289-298, 1992.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M. da; CABEDA, M.S.V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.2, p.283-290, 1993.

REINERT, D. J; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.32, p. 1805-1816, 2008.

REINERT, D.J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. **Departamento de Solos**, Santa Maria: UFSM, 2006.

REIS, A.; BECHARA, F.C; ESPÍNDOLA, M. B; VIEIRA, N. K.; SOUZA, L.L. Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessionais. **Natureza e conservação**, Associação Brasileira de Ciência Ecológica e Conservação, v.1, n.1, p 28-36, abril 2003.

RESENDE, M.; CURI, N.; RESENDE, S.B; CORRÊA, G.F. KER, J.C. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 4. ed. Viçosa, MG: NEPUT, 2002.

RIBEIRO, C. A. A. S; SOARES, V. P.; OLIVEIRA, A. M.S.; GLERIANI, J.M. O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.2, p.203-212, 2005.

RIBEIRO, E. AW. **Cadernos de biogeografia: técnica de mensuração em espécie arbórea**. Presidente Prudente: UNESP, v 1, 2011.

RIBEIRO, G. F. **Estudo dos fatores do meio físico que influenciam a capacidade de infiltração das águas da bacia hidrográfica Vargens de Caldas, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, , 2010.

RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.G.B.F.; SAMPAIO, F.M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras - MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.4, p.1167-1175, 2007.

RIBEIRO, K.D.; Menezes, S.M.; MESQUITA, M.G.B.F.; SAMP, F.M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. Lavras: **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, jul./ago., 2007.

RIGON, O. **As transformações históricas e a dinâmica atual da paisagem da bacia hidrográfica do rio Pirapó- PR (1970-2010)**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012..

RIGON, O; PASSOS, M.M. Estudo Fisiográfico da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapó-PR. **Geografia**. Londrina, v. 23, n. 1. p. 35 – 56, 2014.

RIZARDI, A.S.; RIGHES, A.A.; KEMERICH, P.D.C.; SILVA, R.F.; SANTOS, A.; BORBA, W.F. Atributos físicos e fluxo de água em solos da bacia hidrográfica do rio Vacará-Mirim – RS. Revista Monografias Ambientais. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas**, Santa Maria, v. 13, N. 5, p. 3690-3701, 2014.

ROCHA, A. **Morfopedologia e fragilidade ambiental nos fundos de vale do trecho superior do córrego Guavirá Marechal Cândido Rondon-PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão – PR, 2011.

- ROCHA, A. **As Vertentes Características e os Sistemas Pedológicos como Instrumentos de Análise para a Identificação das Fragilidades e Potencialidades Ambientais na Bacia Hidrográfica do Paraná 3**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade estadual de Maringá, Maringá, 2016.
- ROCHA, A. S.; TIZ, G. J. CUNHA, J. E. Caracterização Dos Processos Erosivos Em Cabeceiras De Drenagens Da Área Periurbana Da Cidade De Marechal Cândido Rondon-Pr. In: 8º Simpósio Brasileiro de Controle de Erosão. São Paulo: **ABGE**, 2009.
- ROCHA, A.; TIZ, G.J.; CUNHA, J.E.; WELTER, V.. Influência da Urbanização em Cabeceiras de Drenagens do Rio Pioneiro na Cidade de Palotina, Região Oeste do Estado Do Paraná. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, Viçosa, 2009.
- RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, Y. S.; GALVÃO, F.; HATSCHBACH, G. G. As Unidades Fitogeográficas do Estado do Paraná. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, n. 24, p. 75-42, 2002.
- RODOLFO, A. M.; TEMPONI, L. G.; CÂNDIDO J. R. Levantamento de plantas exóticas na trilha do Poço Preto, PN do Iguaçu, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 6, p. 22-24, 2008.
- RHOTON, F. E.; DUIKER, S.W. Erodibility of a soil drainage sequence in the loess uplands of Mississippi. **Catena**, 75, p.164–17,2008.
- RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. **EMBRAPA Monitoramento por Satélite**, Campinas, 2010. 26 p.
- ROSA FILHO, F.E.; HINDI, C.E.; BITTENCOURT, A.V.L.; MANTOVANI, L.E.; Aquíferos do Estado do Paraná. Curitiba: **Edição do Autor**, 2011.
- ROSA FILHO, E.F.; HINDI, E.C.; ROSTIROLLA, S.P.; FERREIRA, F.J.F.; BITTENCOURT, A.V.L. Sistema Aquífero Guarani – considerações preliminares sobre a influência do Arco de Ponta Grossa no fluxo das águas subterrâneas. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, n. 17, p. 91-112, 2003.
- RUBIRA, F. G.; BARREIROS, A.M.; VILLELA, F.N.J.; PEREZ FILHO, A. Pedogeomorphological systems in the interpretation of the evolution of quaternary landscapes in humid tropical climates. **Mercator**, Fortaleza, v. 18, 2019.
- RUELLAN, A.; DOSSO, M. **Regards sur le sol**. Paris : Les Éditions Foucher, 1993.
- SALOMÃO, F. X. T. **Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização e cartografia aplicada ao controle preventivo urbano e rural**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
- SALTON, J.C.; MIELNICZKUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRICIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.11-21, 2008.
- SANTANA, M. A. **Avaliação dos fatores responsáveis pela fragilidade dos solos à erosão na região de Marília**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- SANTANA, M. A.; QUEIROZ NETO, J.P. Fatores responsáveis pela sensibilidade à erosão linear em Marília. **Revista Do Departamento De Geografia**, São Paulo: v.9, p.21-33, 1995.
- SANTOS, D.; SOUZA, E.G.; NÓBREGA, L.H.P.; BAZZI, C.L.; GONÇALVES JÚNIOR, A.C.G. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de

soja. Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n.8, p.843–848, 2012.

SANTOS, E.O.J.; GONTIJO, I.; SILVA, M.B; PARTELLI, F.L. Sampling design of soil physical properties in a conilon coffee field. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 41, p. 1-13,2017.

SANTOS, I. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia Para o desenvolvimento, 2001.

SANTOS, I. **Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos: mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SANTOS, J.C.B.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; CORRÊA, M.M.; RIBEIRO, M.R.; ALMEIDA, M.C.; BORGES, L.E.P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p. 683-695, 2012.

SANTOS, L.C. **Pedogênese no topo do Platô de Bauru (SP): o caso da Bacia do Córrego da Ponte Preta**. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SANTOS, L. W.; CASTRO, N.F.I. Uso da terra versus áreas de nascentes: análise de impactos com utilização de geotecnologias no sudoeste amazônico –Acre – Brasil. **Revista Geonorte**, Manaus, v.2, N.4, p.1777 – 1787, 2012.

SANTOS, M.C.; SILVA, M.S.L.; ALMEIDA, B.G.; KLAMT, E.; CAVALCANTI, A.C. Caracterização micromorfológica e considerações sobre a gênese de solos de tabuleiro do semiárido do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.1031-1046, 2002.

SANTOS, P.G. **Mineralogia, gênese e relações pedo geomórficas de solos desenvolvidos de litologias das formações Pirambóia, Sanga-do Cabral e Guará na região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2015.

SANTOS, R. D. *et al.* Manual de descrição e coleta de solo no campo, 5ª Ed. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2005.

SANTOS, *et al.* Mapeamento Geomorfológico do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Curitiba, v.7, p. 3-12, 2006.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5ª ed. revisada e ampliada, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 101p, 2005.

SCHERPINSKI, C.; URIBE-OPAZO, M.A.; VILAS BOAS, M.A.; SAMPAIO, C.S.; JOHANN, J.A. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.32, p. 7-13, 2010.

SCHWINN, A. C.; SCHWERTMANN U. Color identification of iron oxides and hydroxysulfates: use and limitations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 5, p. 1463-1471, 1999.

SCHUEDA, C. F. **Parâmetros técnicos legais para o estabelecimento das áreas de preservação permanente em cursos d'água**. Trabalho de conclusão de curso. (MBA em Gestão Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.p.76

SCHUMACHER, A.V.; SCYMCZAK, D.A.; TRUBY, P. LONDERO, E.K.; MARAFIGA, J. Aporte de serapilheira e nutrientes em uma floresta estacional decidual na região central do Rio

Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 532-541, 2018.

SCIPIONI, M.C.; LONGHI, S.J.; ARAÚJO, M.M.; REINERT, D.J. Regeneração natural de um fragmento da floresta estacional decidual na reserva biológica do Ibicuí- Mirim (RS). **FLORESTA**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 675-690,2009.

SEMA - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Estudo de viabilidade de plantio florestal com espécies nativas comerciais no estado de São Paulo**. Curitiba, PR. abril de 2011.

SEMA-SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Bacias hidrográficas do Paraná: série histórica**. 1 ed. Curitiba: Governo do estado do Paraná, 2013.

SEMA-SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Bacias hidrográficas do Paraná: série histórica**. 1 ed. Curitiba: Governo do estado do Paraná, 2015.

SERRA, E. Reflexões sobre a origem da crise agrária no norte do Paraná. Maringá: **Boletim de Geografia**, v.19, n.1, p. 45-58, 2001.

SIEFERT E SANTOS. Identificação De Áreas Hidrológicamente Sensíveis Por Meio De Modelagem Hidrológica E Da Distribuição Espacial De Solos E Vegetação Em Ambientes Hidromórficos. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.27, n.1, p. 141-155, jan/abr/2015.

SILVA, A. A. **Toxicidade de alumínio em trinta genótipos de Panicum maximum Jacq. cultivados em solução nutritiva**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP), Piracicaba,1997. p. 146.

SILVA, A. M.; ALVARES, C. A. Levantamento de informações e estruturação de um banco de dados sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo. **Geociências**, São Paulo (UNESP), v.24, n.1, p.33-41, 2005.

SILVA, A. C.;TORRADO, P. V.;PÉREZ, M. G.;MARTIN-NETO, L.;VASQUEZ, F. M. Relações entre matéria orgânica do solo e declividade de vertentes em topossequência de Latossolos do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.1059-1068, 2007.

SILVA, D. L.A. **Solos e gênese da cerosidade numa topossequência com baixa a alta Atividade da fração argila**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

SILVA, D.V. **Distribuição da Vegetação (Período de 1973 a 2011) das Bacias Hidrográficas dos Rios São Francisco Verdadeiro e São Francisco Falso (Oeste do Paraná) e Considerações Sobre o Código Florestal**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2016.

SILVA, I.F; MIELNICZUK. J.; Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22 p.311-317, 1998.

SILVA, F.C. da (org.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: **EMBRAPA**. Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999.

SILVA, F. T. S. **Relação de atributos do solo com a estabilidade de agregados**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2014.

SILVA, G. A. **Dinâmica hidrogeomorfológica e cenários sazonais em nascentes do Rio São**

**Francisco, na Serra da Canastra, Minas Gerais.** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

**SILVA, J. R. Fatores condicionantes da agregação em solos sob diferentes usos e desenvolvimento pedogenético.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2015.

**SILVA, L. F. Pedogênese e classificação de Planossolos em diferentes regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul.** Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

**SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; ROSA, J.D.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.** Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.329-337, 2006.

**SILVA, M.L.N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M.; MARQUES, J.J.G.S.M. & CARVALHO, A.M.** Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília: EMBRAPA, v.33, p.97-103, 1998.

**SILVA NETO, J.C.A.** Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno. **Geografia**, Londrina, v. 22, n. 1.p.05-25, 2013.

**SILVA, T. G. N., COSTA GAMA, R., TEIXEIRA, L. G., SANTOS, G. R., SOUSA, R. M., SOUZA, P. B.** Diagnóstico ambiental de uma área de proteção permanente (APP), Formoso do Araguaia–TO. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Betim, v.16, n. 2, 2018.

**SILVA, V. R.; REINERT, D.; REICHERT, J. M.** Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa: v. 24, p. 191-199, 2000.

**SISTEMA DE INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS. Instituto de Água e Terra do Paraná.** Disponível em: <http://www.sih-web.aguasparana.pr.gov.br>. Acesso em: janeiro de 2021.

**SOUSA, A.A. Caracterização da bacia do rio Iguaçú, a jusante do município de reserva do Iguaçú, como área de descarga do aquífero Guarani.** Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

**SOUSA, F. A. A contribuição dos solos originados sobre granitos e rochas alcalinas na condutividade hidráulica, na recarga do lençol freático e na suscetibilidade erosiva – um estudo de caso na alta bacia hidrográfica do rio dos Bois em Iporá-GO”.** Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia,2013.

**SOUSA, F.A.; RODRIGUES, S.C.** Estimativa de recarga do lençol freático em solos sobre granito. **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v.10, n.2 , p-1-15,2014.

**SOUSA JUNIOR, J. G. A.; DEMATTÊ, J. A. M.** Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.449-456, 2008.

**SOUZA, K. I. S.; CHAFFE, P.L.B.; PINTO, C.R.S.C.; NOGUEIRA, T.M.P.** Proteção ambiental de nascentes e afloramentos de água subterrânea no Brasil: histórico e lacunas técnicas atuais. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 33, n.1, p. 76-86, 2019.

**SOUZA NETO, W.M. Avaliação da distribuição espacial de zona de armazenamento de água em nascente perene de microbacia instável Barra de Guaratiba, RJ.** Trabalho de

Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

SOUZA, P.B. Diagnóstico ambiental de uma área de Proteção Permanente (APP), Formoso do Araguaia – TO. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Betim, v. 16, n. 2, 2018.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n.1, p. 27-34, 2003.

SOUZA, Z. M. de; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Influência da pedofoma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 1, 2004.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; PACHECO, L.P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental [online]**, Campina Grande, vol.17, n.12, p.1301-1309, 2013.

STOLF, D. F.; MOLZ, S. Avaliação microbiológica da água utilizada para consumo humano em uma propriedade rural de Taió – SC. Saúde e Meio Ambiente. **Revista Interdisciplinar**, Mafra, v. 6, n. 1, p.96-106, 2017.

STÜRMER, S.L.K. **Infiltração de água em Neossolos Regolíticos do Rebordo do Planalto do Rio Grande Do Sul**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria, 2008.p.104.

STÜRMER, S.L.K.; DALMOLIN, R.S.D.; AZEVEDO, A.C.; PEDRON, F.A.; MENEZES, F.P. Relação da granulometria do solo e morfologia do saprolito com a infiltração de água em Neossolos Regolíticos do rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.7, p.2057-2064, 2009.

SUZUKI, L.E.A.S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

SUZUKI, L.E.A.S.; LIMA, C.L.R.; REINERT, J.; REICHERT, J.M.; PILLON, C.N. Estrutura e armazenamento de água em um Argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, p.94-106, 2014.

TEIXEIRA, L.B; OLIVEIRA, R.F.; GERMANO; V.L.C.; FURLAN JÚNIOR, J. Comunicado Técnico - Composição Química de Composto de Lixo Orgânico. Comunicado Técnico. Belém: **Urbano de Barcarena**, setembro, 2002.

TERASSI, P. M. B. **Variabilidade Pluviométrica e a Erosividade na Unidade Hidrográfica Pirapó, Paranapanema III e IV, Paraná**. Dissertação (Mestrado em Geografia - Análise Ambiental) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

TERASSI, P. M. B.; SILVEIRA, H. Aplicação de sistemas de classificação climática para a bacia hidrográfica do rio Pirapó- PR. **Revista Formação**, Presidente Prudente, v. 1, n. 20, p.111-12, 2013.

TERASSI, P.M.B.; SILVEIRA, H. BONIFÁCIO, C.M. Variação da estabilidade de agregados e as suas relações com a vulnerabilidade dos solos ao longo de uma vertente na região noroeste do Paraná. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 166-176, 2014.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Europe Journal of Soil Science**, v.33, n.2, p.141-163, 1982.

- TIZ, J. CUNHA, J.E., Causas e efeitos da erosão hídrica em solos da cidade de Marechal Cândido Rondon-PR. **Revista Perspectiva Geográfica**, Marechal Cândido Rondon, v.10, n. 12, 2015.
- TODD, D. K. **Hidrologia de águas subterrâneas**. São Paulo: E. Blucher, 1959.
- TOGNON, A.A.; DEMATTÊ, J.L.I.; DEMATTÊ, J.A.M. Teor e distribuição da matéria orgânica em Latossolos das regiões da Floresta Amazônica e dos Cerrados do Brasil Central. **Revista Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, n. 3, p.343-354, 1998.
- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.
- TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, J.C.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.1023-1031, 2004.
- VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de nascentes: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2005.
- VALERA, C.A **Avaliação do novo código florestal: as áreas de preservação permanente – APPS, e a conservação da qualidade do solo e da água superficial**. Tese (Doutorado em Agronomia- Ciência do Solo) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2017.
- VALERIANO, M. de M. e CARVALHO JUNIOR, O. A. de. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, União da Geomorfologia Brasileira, ano 4, nº 1, p. 17-29, 2003.
- VALERIANO, M. M. **Topodata: Guia para Utilização de Dados Geomorfológicos Locais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2008.
- VERDADE, F. da Costa. Influência da matéria orgânica na capacidade de troca de cátions do solo. **Bragantia [online]**, Campinas, v.1, p.35-42, 1956.
- VIANA, E.T.; BATISTA, M.A. TORMENA, C.A.; COSTA, A.C.S.; INOUSE, T.T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.2105-2114, 2011.
- VIDAL TORRADO, P. **Pedogênese e morfogênese no Distrito de Tupi (Piracicaba - SP)**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 1994.
- VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.4, p.145-192, 2005.
- VILLA, J.F.D; FRANÇA JÚNIOR, P. Estabilidade dos agregados e a relação com a argila na bacia hidrográfica do ribeirão Água Iguaçu. **Revista GeoPantanal**, Corumbá: (UFMS/AGB), n. 23, p. 259-274, 2017.
- VILLA, E. B.; PEREIRA, M. G.; ALONSO, J. M.; BEUTLER, S. J.; LELES, P. S. S. Aporte de serapilheira e nutrientes em área de restauração florestal com diferentes espaçamentos de plantio. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.1, p. 90-99, 2016.
- VOGEL, H.L.M; SCHUACHER, M.V.; TRUBY, P. Deposição de serapilheira e nutrientes por espécies nativas em uma floresta estacional decidual em Itaara, RS, Brasil. **FLORESTA**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 129 - 136, 2012.

WARMILING, M.T.; ALBUQUERQUE, J.A.; ALMEIDA, J.A.; WARMILING, M.I. Characteristics of Soils in Highland Wetlands as a Subsidy to Identifying and Setting their Limits. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v.41, p. 1-21, 2017.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. **In: HILLEL, D., ed. Applications of soil physics.** New York: **Academic Press**, p.319-344, 1980.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira [online]**, Brasília: EMBRAPA, v.40, n.5, p.487-494, 2005.

WERLANG, M.K. **Configuração da rede de drenagem e modelado do relevo: conformação da paisagem na zona de transição da bacia do Paraná na depressão central do Rio Grande do Sul.** Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

WERLANG, M.K.; FACCO, R.; AITA, A. R. WERLANG, A.P. Cobertura pedológica em topossequência de vertentes na área experimental do departamento de solos/ campus da Universidade Federal de Santa Maria. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 35 n. 2 dez. 2013,

XU, X.; NIEBER, J. L. & GUPTA, S.C. Compaction effects on the gas diffusion coefficients in soil. **Soil Sci. Soc., Am. J.**, v.56, p.1743-1750, 1992.

ZANATTA, F.A.S.; CUNHA, C.M.L.; BOIN, M.N. Análise da aplicação do atual e antigo código florestal na alta bacia do ribeirão areia dourada, marabá paulista (SP). **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n.36, p. 203-214, 2014.

ZAPAROPLI, F.C.M. NÓBREGA, M.T. Processos Erosivos na Cabeceira do Ribeirão Pinguim - Sarandi/Maringá. **In: Simpósio Nacional de Geomorfologia.** Goiânia - GO, 2006.

ZAPAROLI, F.C.M. **As transformações pedológicas identificadas na topossequência sítio São José na bacia do córrego Aratu, Florai – PR.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.p.143.

ZAPAROLI, F. C. M.; GASPARETTO, N. V. L. Distribuição de solos e suas relações com o relevo em uma vertente no município de Florai-Pr. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 49-63, 2010.

ZOU, K.H.; TUNCALI, K.; SILVERMAN, S.G. Correlation and simple linear regression. **Radiology**, v. 227, n.3, 2003.

## ANEXOS

### Anexo 1 – Descrição morfológica das Topossequência da cabeceira de drenagem 1

Topossequência do eixo A - Trincheira 1 (TR1)

Data: 28/10/2018

Classificação: Neossolo Litólico

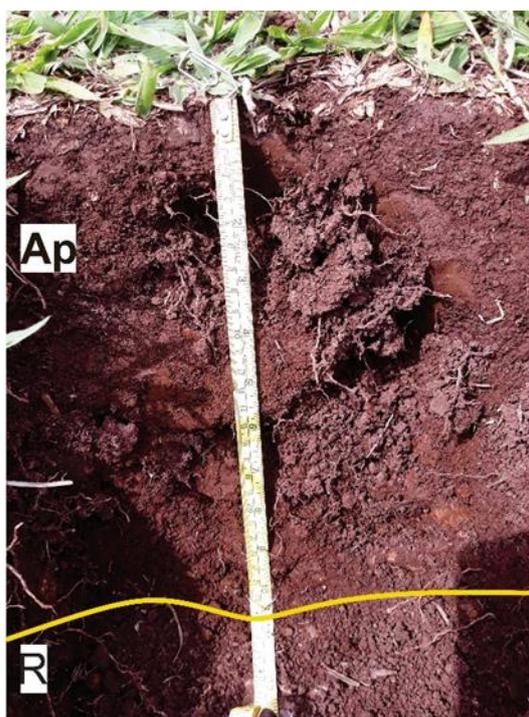
Município: Mandaguari

Localização: Próximo a Vila Belém

Situação do declive: topo da vertente

Material de Origem: Basalto

Uso atual: Pastagem



Ap (0-27 cm) - Cor 2,5YR 2,5/2; textura Argilosa; estrutura moderada a forte, média, granular a bloco subangular, consistência solta a macia, muito friável, plástica e pegajosa, transição clara e plana; raízes muito finas e abundantes

R (27cm+) - Rocha sã não intemperizada (não coletada)

Topossequência do eixo A - Trincheira 2 (TR2)

Data: 28/10/2018

Classificação: Neossolo Litólico

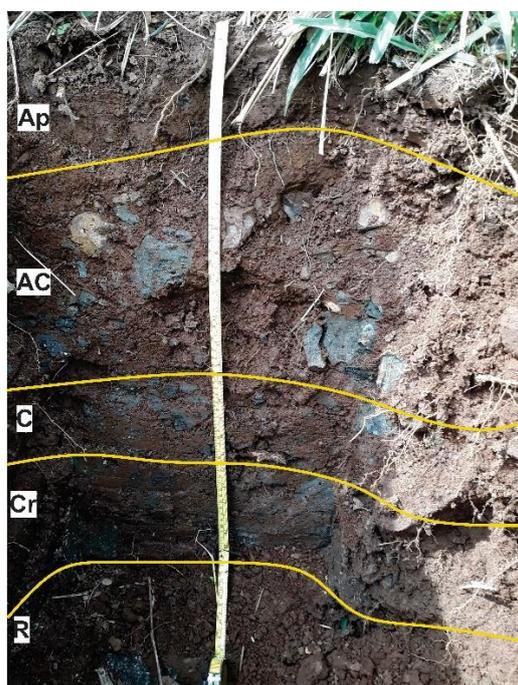
Município: Mandaguari

Localização: Próximo a Vila Belém

Situação do declive: baixa vertente

Material de Origem: Basalto

Uso atual: Vegetação arbórea



Ap (0-10 cm) - Cor 2,5YR, textura siltosa, estrutura forte, pequena a média, granular, consistência solta a macia, muito friável, muito plástica e muito pegajosa, transição clara e ondulada; raízes muito finas, finas, média e abundantes.

AC (10-37 cm) - Cor 2,5YR3/6; textura siltosa; estrutura fraca a moderada, pequena a média, blocos subangulares, consistência solta, muito friável, plástica e pegajosa, transição clara, plana; raízes muito finas e abundantes.

C (37- 49 cm) - Constituído por cascalho e calhaus parcialmente intemperizados

Cr (49-70 cm) - Constituído por cascalho e calhaus pouco intemperizados. Presença de estrutura de rocha original

R (70+ cm) - Rocha sã não intemperizada (não coletada)

Topossequência do eixo B - Trincheira 1 (TR1)

Data: 28/10/2018

Classificação: Neossolo Litólico

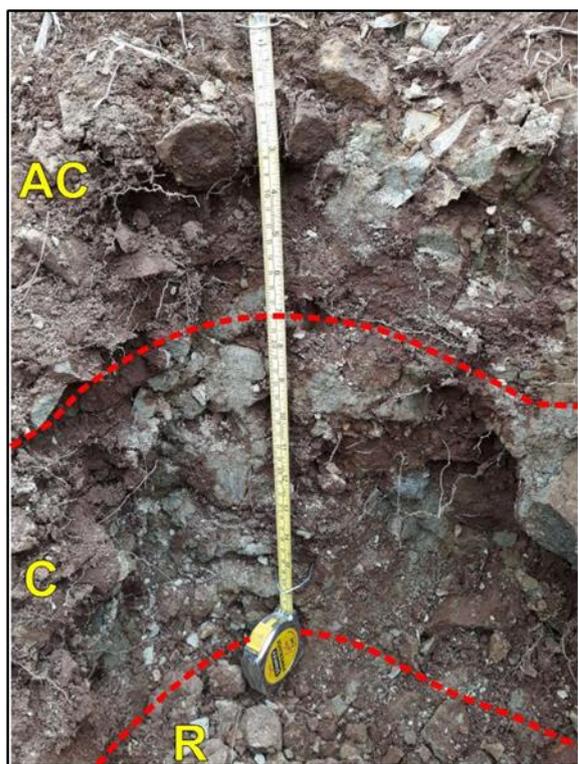
Município: Mandaguari

Localização: Próximo a Vila Belém

Situação do declive: baixa vertente

Material de Origem: Basalto

Uso atual: Vegetação arbórea



AC (0-18 cm) - Cor 2,5YR 3/4; textura siltosa, estrutura forte, pequena a média, granular a blocos angulares; consistência macia, muito friável, muito plástica e muito pegajosa; transição clara e ondulada; raízes muito finas, finas e abundantes. Fragmentos de rochas alteradas

C (18-44 cm) - Cor 10 YR 6/2, constituído por cascalho e calhaus

R (44+ cm) - Rocha pouco alterada (não coletada)

Topossequência do eixo C - Trincheira 1 (TR1)

Data: 28/10/2018

Classificação: Neossolo Regolítico

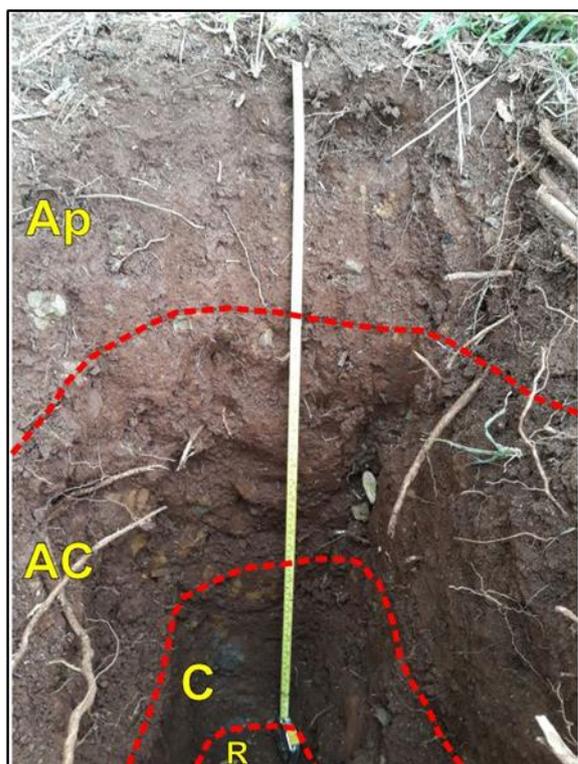
Município: Mandaguari

Localização: Próximo a Vila Belém

Situação do declive: média vertente

Material de Origem: Basalto

Uso atual: Vegetação arbórea



Ap (0-28 cm) - Cor 2,5YR 3/6; textura siltosa; estrutura forte, média, granular; consistência macia, muito friável, muito plástica e muito pegajosa, transição clara e irregular; raízes muito finas, finas, médias, abundantes

AC (28-61 cm) - Cor 10 YR 4/6, textura siltosa; estrutura moderada, pequena a média, blocos angulares a granular, consistência solta, muito friável, muito plástica e muito pegajosa, transição clara, ondulada; raízes muito finas, finas; médias; comuns

C (61-80cm) - Cor 10YR 6/6. Fragmentos de rochas oxidadas.

R(80+cm) - Rocha pouco alterada (não coletada)

Topossequência do eixo D - Trincheira 1 (TR1)

Data: 28/10/2018

Classificação: Neossolo Litólico

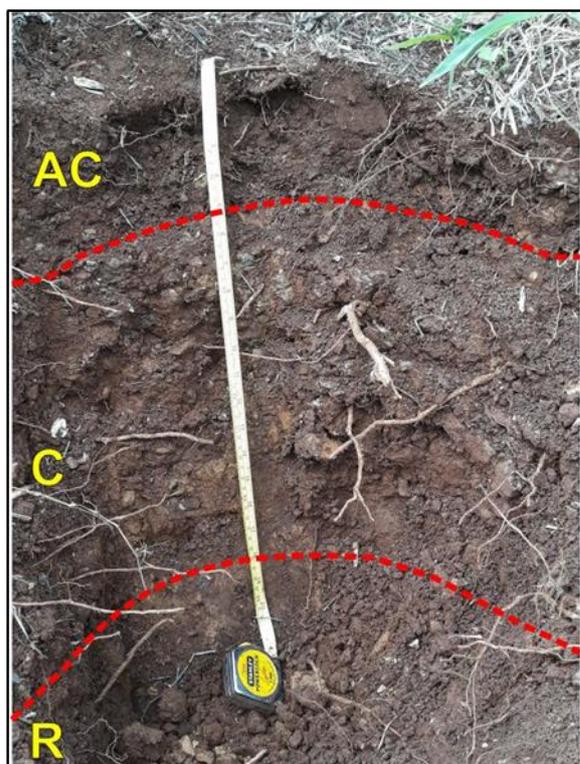
Município: Mandaguari

Localização: Próximo a Vila Belém

Situação do declive: baixa vertente

Material de Origem: Basalto

Uso atual: Vegetação arbórea



AC (0-13 cm) - Cor 2,5YR; 4/4; textura siltosa; estrutura forte pequena, granular; consistência solta, muito friável, muito plástica e muito pegajosa; transição clara e ondulada; raízes muito finas, finas, médias, comuns

C (13-46cm) - Pouco afetado por processos pedogenéticos (cascalho e calhaus)

Rr (46+cm) - Rocha pouco intemperizada (não coletada)

Topossequência do eixo E - Trincheira 1 (TR1)

Data: 28/10/2018

Classificação: Neossolo Litólico

Município: Mandaguari

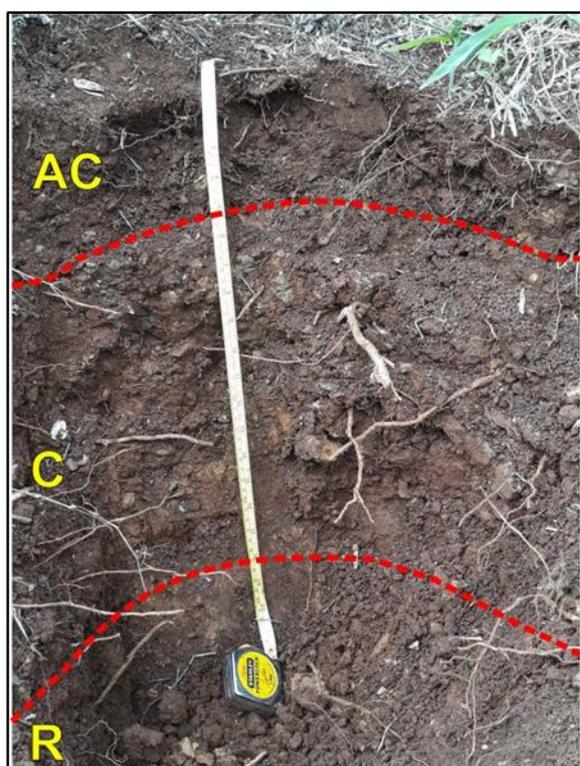
Localização: Próximo a Vila Belém

Situação do declive: baixa vertente

Relevo: montanhoso

Material de Origem: Basalto

Uso atual: Vegetação arbórea



AC (0-12 cm) - Cor 2,5YR 4/4; textura siltosa; estrutura forte, Pequena a média, Granular a blocos angulares; consistência solta, muito friável, muito plástica e muito pegajosa; transição clara e ondulada.

C (12-70 cm) - Cor 10YR5/3; 10YR7/8; 10YR6/6 (cascalhos e calhaus). Fragmentos de rochas muito resistentes

R-(70+cm) - Rocha são não intemperizada (não coletada)

## ANEXO 2 – Descrição morfológica das Topossequências da cabeceira de drenagem 2

Topossequência do eixo A - Trincheira 1 (TR1)

Data: 13/12/2019

Classificação: Neossolo Litólico

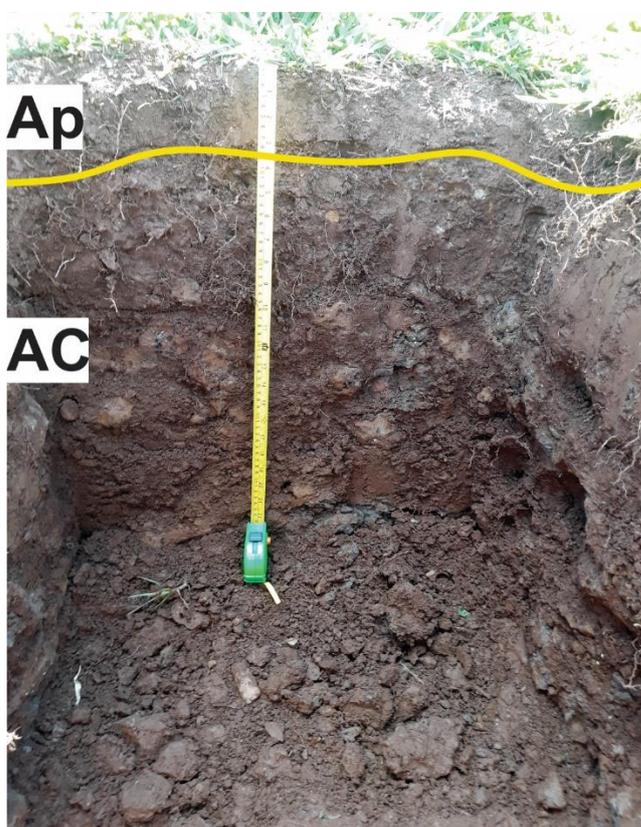
Município: Mandaguari

Localização: Próximo a Vila Belém

Situação do declive: topo da vertente

Material de Origem: Basalto

Uso atual: Pastagem



Ap (0-9 cm) - Cor 2,5YR 2,5/4; textura siltosa; estrutura forte, média, granular; consistência macia, muito friável, plástica e pegajosa; transição gradual ondulada; raízes muito finas e fasciculadas, abundantes, grande atividade biológica

AC(9-38cm) - Cor 2,5YR 3/4; textura siltosa; estrutura moderada a forte; pequena a média; granular; consistência solta, macia, muito friável, muito plástica e muito pegajosa; transição gradual e ondulada; raízes finas e fasciculadas

R(38+cm) - Rocha sã não intemperizada (não coletada)

Topossequência do eixo A - Trincheira 2 (TR 2)

Data: 21/02/2020

Classificação: Plintossolo

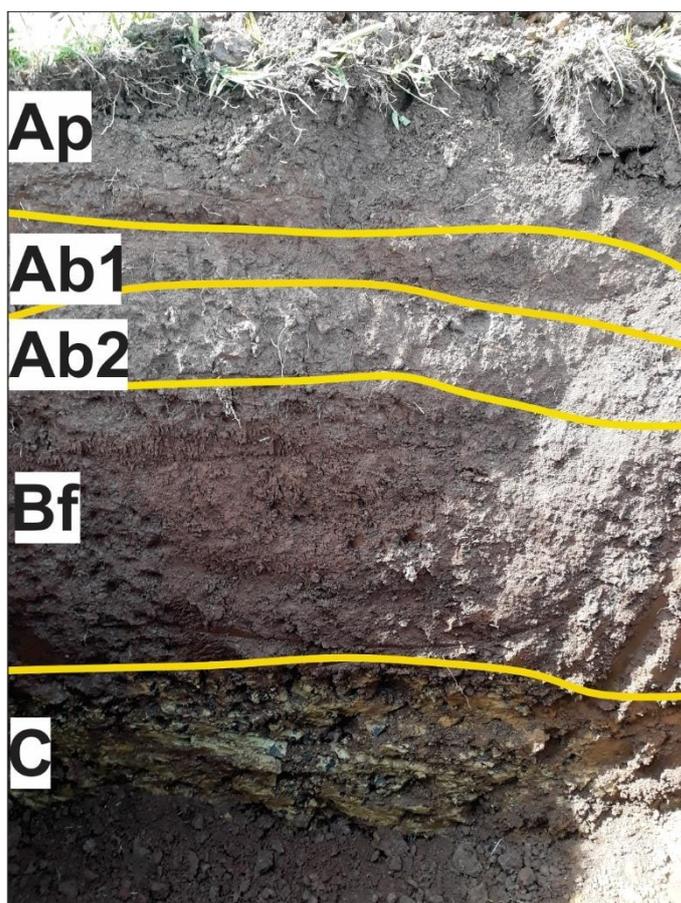
Município: Mandaguari

Localização: Próximo a Vila Belém

Situação do declive: média vertente

Material de Origem: Basalto

Uso atual: Pastagem



Ap (0-20 cm) - Cor 2,5YR4/2; textura argilosa; estrutura forte, média, granular; consistência macia, friável, muito plástica e muito pegajosa; transição clara e ondulada; raízes finas e médias.

Ab1 (20-28 cm) - Cor 2,5YR4/2; textura argilosa; estrutura forte, média, granular; consistência macia; friável, muito plástica e muito pegajosa; transição clara e ondulada; raízes finas e médias

Ab2 (28-50 cm) - Cor 10YR3/2; textura argilosa; estrutura forte, média a grande, blocos angulares e subangulares; consistência ligeiramente dura, firme, muito plástica e muito pegajosa; transição gradual e ondulada; raízes poucas raízes, finas

Bf (50-124 cm) - Cor 10YR4/4; textura muito argilosa ; estrutura forte, média a grande, blocos angulares e prismáticos; consistência macia, friável, muito plástica e muito pegajosa; transição clara e ondulada; cerosidade forte e abundante. Concreções ferruginosas, manchas, mosqueados, plintitas.

C (124 - 160)- 10 YR 8/8; transição ondulada e difusa, pouco afetado por processos pedogenéticos (não coletado).

R (160+) – rocha sã (não coletada)

Topossequência do eixo A - Trincheira 3 (TR 3)

Data: 21/02/2020

Classificação: Plintossolo

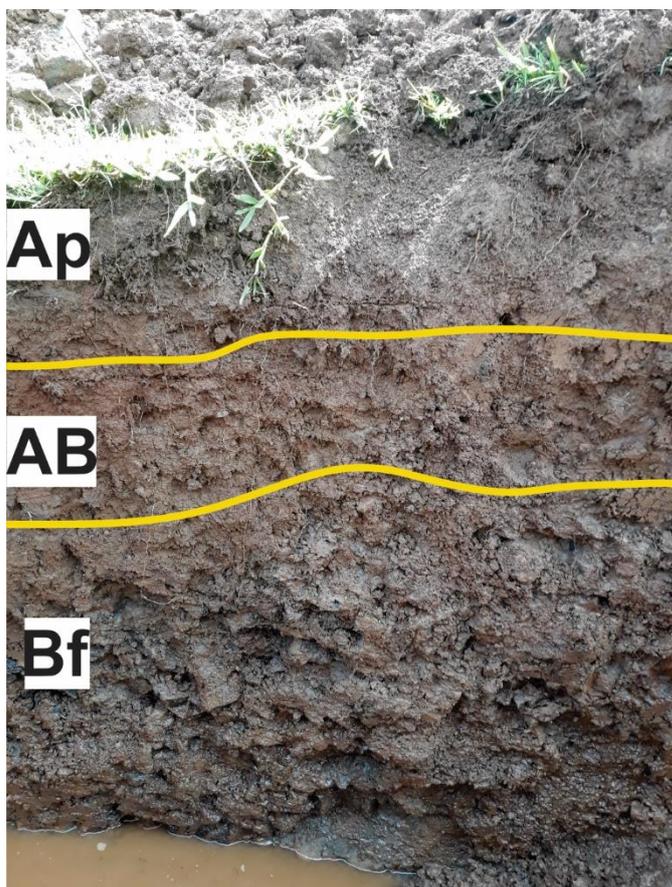
Município: Mandaguari

Localização: Próximo a Vila Belém

Situação do declive: baixa vertente

Material de Origem: Basalto

Uso atual: Pastagem



Ap (0-19 cm) - Cor 2,5YR3/2; textura argilosa; estrutura, forte, pequena, média, granular; consistência macia, friável, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição gradual e ondulada; raízes finas e fasciculadas

AB (19-30cm) - Cor 2,5YR3/4; textura argilosa; estrutura forte, pequena a média, granular passando a blocos angulares; consistência macia; muito friável, muito plástica e muito pegajosa; transição clara e ondulada; raízes finas, fasciculadas, concreções ferruginosas, manchas, mosqueados, plintitas

Bf (30-52 cm) - Cor 10YR4/4; textura argilosa; estrutura forte, grande, granular passando a blocos angulares; consistência ligeiramente dura, firme, muito plástica e muito pegajosa; transição difusa e ondulada; raízes finas, médias, concreções ferruginosas, manchas, mosqueados, plintitas

C (52-60) – Presença de rocha muito alterada (não coletado). Contato fragmentário.

R (60 + cm) – Rocha fragmentada (não coletada).

Topossequência do eixo B - Trincheira 1 (TR 1)

Data: 13/12/2019

Classificação: Neossolo Litólico

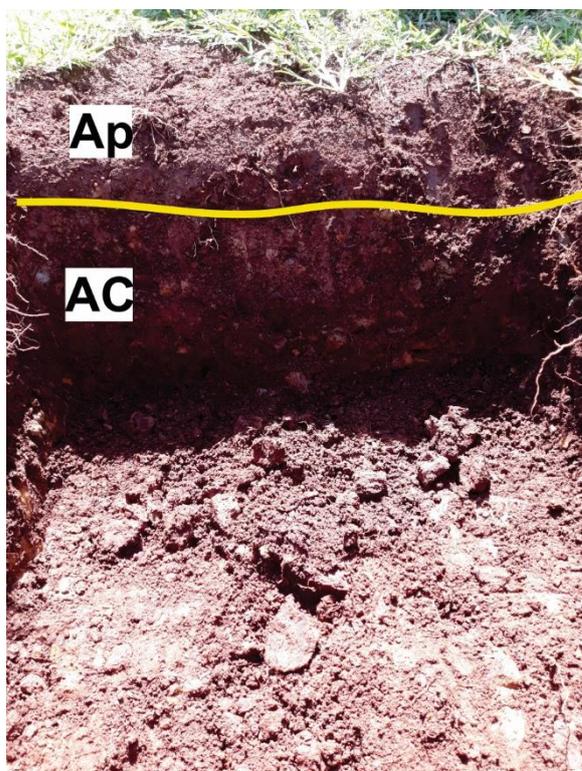
Município: Mandaguari

Localização: Próximo a Vila Belém

Situação do declive: baixa vertente

Material de Origem: Basalto

Uso atual: Pastagem



Ap (0-11 cm) - Cor 2,5YR2,5/2; textura siltosa; estrutura, forte, pequena, média, granular; consistência macia, muito friável, plástica e pegajosa; transição clara, ondulada; raízes abundantes  
AC (11-35 cm) - Cor 2,5YR3/4; textura siltosa; estrutura fraca, pequena a média, granular; consistência macia; muito friável, plástica e pegajosa; transição clara, ondulada; raízes finas, fasciculadas  
R(35+cm) - Rocha sã não intemperizada (não coletada)

Topossequência do eixo B - Trincheira 2 (TR 2)

Data: 13/12/2019

Classificação: Chernossolo

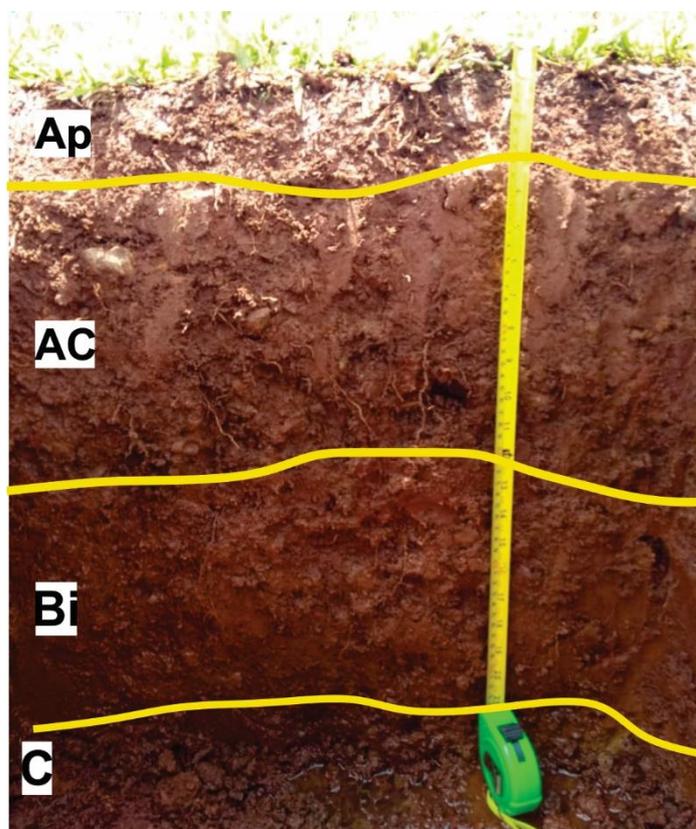
Município: Mandaguari

Localização: Próximo a Vila Belém

Situação do declive: baixa vertente

Material de Origem: Basalto

Uso atual: Pastagem



Ap (0-10) - Cor 2,5YR2/2; textura argilosa; estrutura forte, pequena, granular; consistência solta, muito friável, plástica e pegajosa; transição gradual, ondulada; raízes muito finas e fasciculadas

AC (10-31 cm) - Cor 5YR3/2; textura argilosa; estrutura fraca, média, granular; consistência solta; muito friável, plástica e pegajosa; transição clara, ondulada; raízes médias, finas, fasciculadas

Bi (31-59 cm) - Cor 2,5YR3/6; textura muito argilosa ; estrutura forte, média, blocos angulares; consistência solta, muito friável, muito plástica e muito pegajosa; transição clara, ondulada; raízes médias, finas, fasciculadas

C (59 -70 cm) - Pouco afetado por processos pedogenéticos (não coletado)

R (70+) - Rocha fragmentada (não coletada)

Topossequência do eixo B - Trincheira 3 (TR 3)

Data: 13/12/2019

Classificação: Plintossolo

Município: Mandaguari

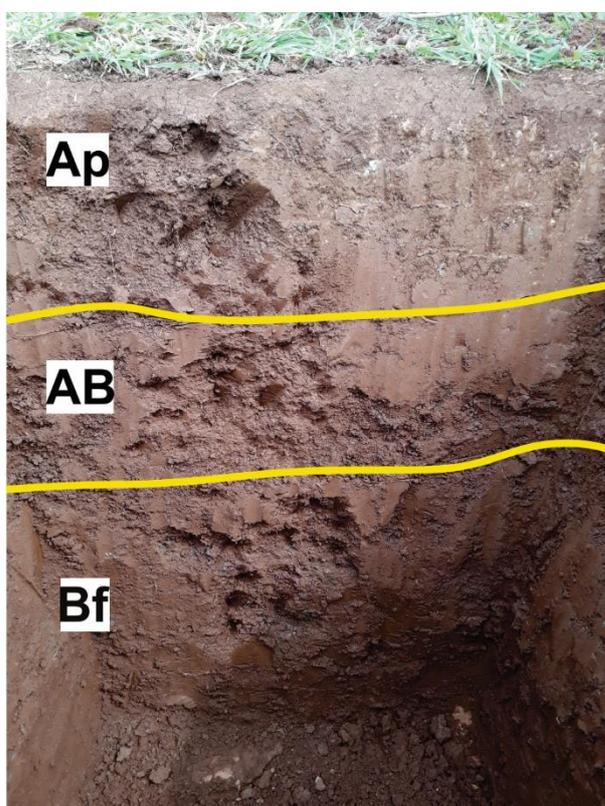
Localização: Próximo a Vila Belém

Situação do declive: baixa vertente

Relevo: plano

Material de Origem: Basalto

Uso atual: Pastagem



Ap (0-22 cm) - Cor 2,5YR4/4; textura argilosa; estrutura, moderada, pequena, média, granular passando a blocos subangulares; consistência macia, muito friável, muito plástica e muito pegajosa; transição gradual e plana; raízes muitas finas e fasciculadas

AB (22-43 cm) - Cor 10YR3/3; textura muito argilosa; estrutura forte, média a grande, blocos angulares e prismáticos; consistência ligeiramente dura; friável, muito plástica e muito pegajosa; transição difusa e plana; raízes pouquíssimas finas, fasciculadas, manchas, mosqueados, concreções ferruginosas, plintitas..

Bf (43-95 cm) - Cor 10YR3/4; textura muito argilosa; estrutura forte, média a grande, blocos angulares e subangulares passando a prismáticos; consistência dura, firme, friável, muito plástica e muito pegajosa; transição clara, ondulada; raízes finas, médias; cerosidade moderada, comum, concreções ferruginosas, manchas, mosqueados, plintitas.

R (95+cm) - Rocha fragmentada (não coletada)

Topossequência do eixo C - Trincheira 1 (TR 1)

Data: 13/12/2019

Classificação: Neossolo Litólico

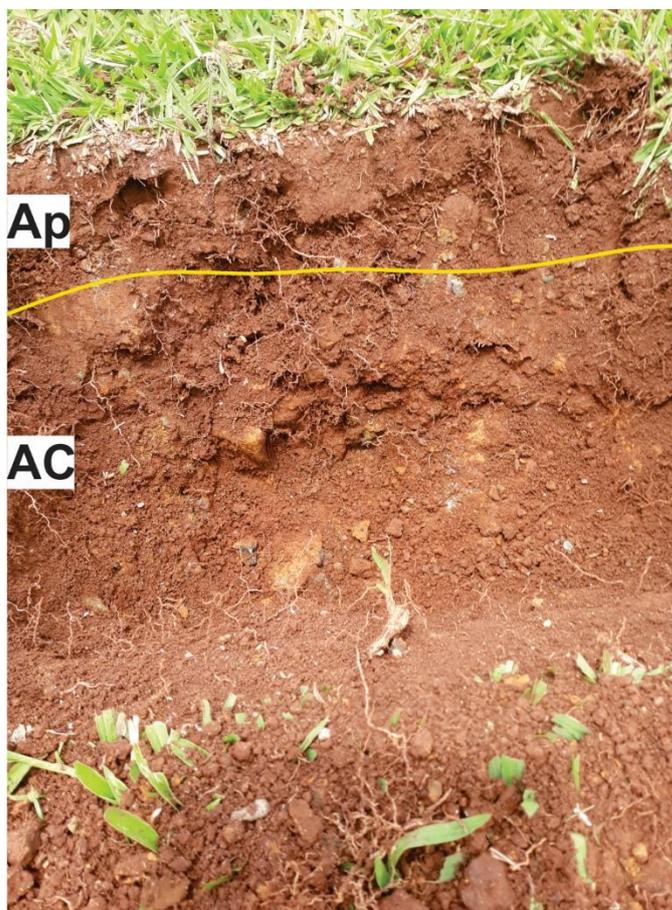
Município: Mandaguari

Localização: Próximo a Vila Belém

Situação do declive: baixa vertente

Material de Origem: Basalto

Uso atual: Pastagem



Ap (0-9 cm) - Cor 2,5YR3/4; textura siltosa; estrutura, forte, pequena, média, granular; consistência macia, friável, plástica e pegajosa; transição clara, ondulada; raízes finas muitas

AC (9-33 cm) - Cor 2,5YR3/6; textura siltosa; estrutura fraca a moderada, pequena a média, granular; consistência macia; friável, plástica e pegajosa; raízes finas

R(33+cm) - Rocha sã (não coletada)

Topossequência do eixo C - Trincheira 2 (TR 2)

Data: 21/02/2020

Classificação: Plintossolo

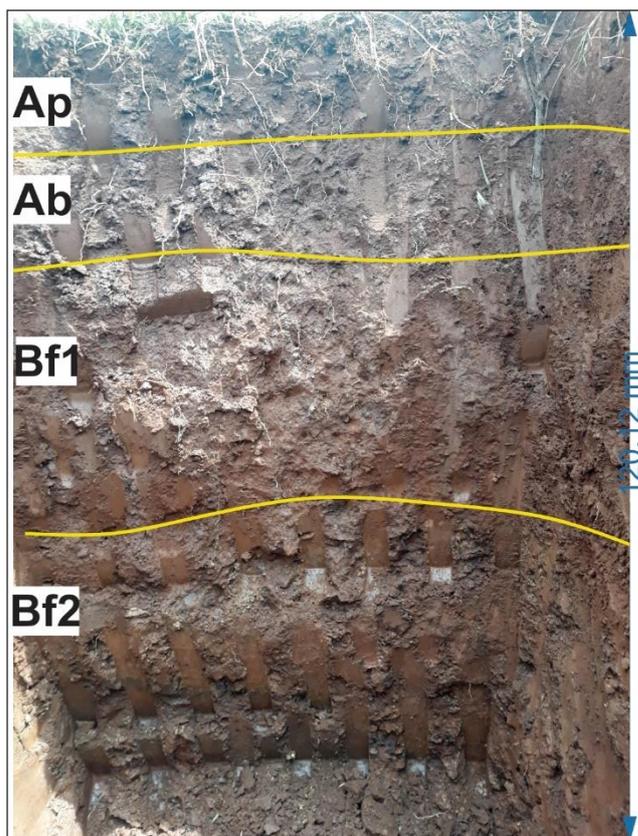
Município: Mandaguari

Localização: Próximo a Vila Belém

Situação do declive: média vertente

Material de Origem: Basalto

Uso atual: Pastagem



Ap (0-12 cm) - Cor 2,5YR3/2; textura argilosa; estrutura, forte, pequena a média, granular; consistência macia, friável, plástica e pegajosa; transição gradual, plana; raízes muito finas, finas, abundantes

Ab(12-23 cm) - Cor 2,5YR3/4; textura argilosa; estrutura moderada, pequena a média, blocos angulares e subangulares; consistência ligeiramente dura; firme, plástica a muito plástica e pegajosa a muito pegajosa; transição clara e ondulada; raízes abundantes, médias finas, poucas muito finas

Bf1(23-47 cm) - Cor 2,5YR3/4; textura argilosa; estrutura forte, grande, blocos angulares e prismáticos; consistência ligeiramente dura, firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana e difusa; raízes moderadas; cerosidade fraca e comum concreções ferruginosas, machas, mosqueados, plintitas.

Bf2(47-105 cm) - Cor 10YR3/4; textura muito argilosa; estrutura forte, grande, blocos angulares e prismáticos; consistência ligeiramente dura, firme, muito plástica e muito pegajosa; transição plana, gradual; raízes poucas; cerosidade forte abundante, concreções ferruginosas, machas, mosqueados, plintitas.

C(105-147cm) - Cor 5 YR 5/8 e 2/8; pouco afetado por processos pedogenéticos (não coletado)

R (147+ cm) - Rocha fragmentada (não coletada)

Topossequência do eixo C - Trincheira 3 (TR 3)

Data: 21/02/2020

Classificação: Plintossolo

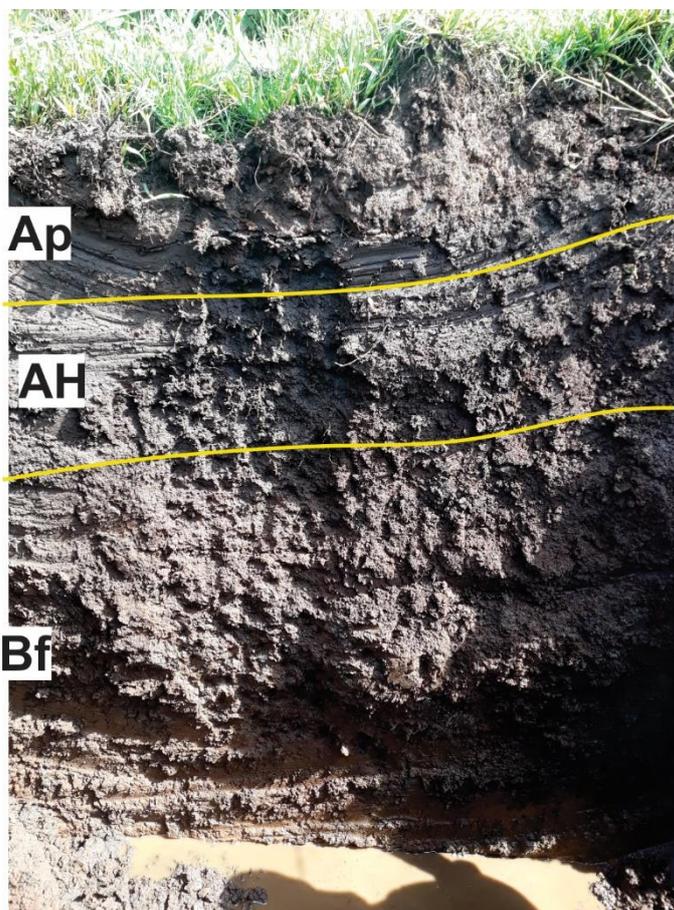
Município: Mandaguari

Localização: Próximo a Vila Belém

Situação do declive: média vertente

Material de Origem: Basalto

Uso atual: Pastagem



Ap(0-17cm) - Cor 2,5YR2,5/0; textura argilosa; estrutura, forte, média, granular; consistência macia, friável, plástica e pegajosa; transição gradual, plana; raízes muitas finas, finas, fasciculadas

AH (17-41 cm) - Cor 10YR2/1; textura argilosa; estrutura moderada, pequena a média, blocos angulares e subangulares; ligeiramente duro; firme, plástica a muito plástica, pegajosa a muito pegajosa; transição clara e ondulada; raízes pouquíssimas, fasciculadas

Bf(41-130 cm) - Cor 10YR3/4; textura muito argilosa; estrutura forte, média, blocos angulares passando a prismáticos; consistência ligeiramente dura, firme, muito plástica e muito pegajosa; transição clara, plana; raízes finas e médias; cerosidade fraca e comum, concreções ferruginosas, machas, mosqueados, plintitas.

C (130 - 165 cm) - Cor 5 YR 5/8 e 2/8; fragmentado (não coletado), transição plana e clara

R- (165+) Rocha fragmentada (não coletada)

### Anexo 3- Amostras coletadas para realização de análises da cabeceira de drenagem

Anexo 3.1- Mosqueados de coloração amarelada, cinza escuro e plintitas no horizonte Ab da TR2 do Eixo A



Anexo 3.2- Manchas de coloração amarelada, cinza escuro e plintita no horizonte Bf da TR3 eixo C



Anexo 3.3- Amostras de plintita do horizonte Bf da TR3 do Eixo B



Anexo 3.4 – Matriz com plintitas do horizonte Bf 2 da TR2 do Eixo C



Anexo 3.5- Manchas de coloração amarelada, cinza escuro e plintitas e no horizonte Bf da TR3 eixo C



Anexo 3.6- Agregado com plintitas do horizonte Bf da TR3 do Eixo B



Elaboração: A autora (2021).

