

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS EM TOPOSSEQUENCIA SOBRE  
MATERIAL DE ORIGEM SEDIMENTAR NO MUNICÍPIO GRAVATAI, RIO  
GRANDE DO SUL**

Daniel Nunes Krum  
(Dissertação de Mestrado)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS EM TOPOSSEQUENCIA SOBRE  
MATERIAL DE ORIGEM SEDIMENTAR NO MUNICÍPIO GRAVATAI, RIO  
GRANDE DO SUL**

Daniel Nunes Krum  
Engenheiro agrônomo (URI – Santiago)

Dissertação apresentada  
como um dos requisitos à obtenção  
do Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS), Brasil  
Fevereiro de 2022

Krum, Daniel Nunes  
CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS EM TOPOSSEQUENCIA SOBRE  
MATERIAL DE ORIGEM SEDIMENTAR NO MUNICÍPIO GRAVATAI,  
RIO GRANDE DO SUL / Daniel Nunes Krum. -- 2022.  
96 f.  
Orientador: Paulo César Nascimento.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de  
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-RS,  
2022.

1. Gênese do solo. 2. Caracterização do solo. I.  
Nascimento, Paulo César, orient. II. Título.


DANIEL NUNES KRUM  
Engenheiro Agrônomo - URI

## DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de  
**MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO**  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em:  
Pela Banca Examinadora


Homologado em:  
Por




PAULO CÉSAR DO NASCIMENTO  
Orientador-PPG Ciência do Solo

Documento assinado digitalmente  
 **ELVIO GIASSON**  
Data: 30/10/2024 13:53:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

ELVIO GIASSON  
PPG Ciência do Solo/UFRGS  
(Plataforma MConf/UFRGS)

Documento assinado digitalmente  
 **ALBERTO VASCONCELLOS INDA JUNIOR**  
Data: 09/11/2024 11:19:46-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


ALBERTO VASCONCELLOS INDA JUNIOR  
PPG Ciência do Solo/UFRGS  
(Plataforma MConf/UFRGS)

Documento assinado digitalmente  
 **LUIZ FERNANDO SPINELLI PINTO**  
Data: 31/10/2024 09:54:42-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

LUIZ FERNANDO SPINELLI PINTO  
PPG em Manejo e Conservação do Solo  
e da Água/UFPel  
(Plataforma MConf/UFRGS)

Documento assinado digitalmente  
 **ALBERTO VASCONCELLOS INDA JUNIOR**  
Data: 09/11/2024 11:21:10-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

ALBERTO VASCONCELLOS INDA JUNIOR  
Coordenador do  
Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo

Documento assinado digitalmente  
 **CARLOS ALBERTO BISSANI**  
Data: 01/11/2024 21:29:31-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

CARLOS ALBERTO BISSANI  
Diretor da Faculdade  
de Agronomia

Dedico esta obra a minha família e a  
minha namorada, que  
são as razões de todas as coisas  
boas da minha vida,  
sem eles nada disso seria possível.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus pela oportunidade de viver esse momento especial e que jamais será esquecido.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de estudo.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor, Paulo César do Nascimento pela orientação e amizade durante os dois anos de mestrado.

A colega de grupo de pesquisa, Edsleine Ribeiro da Silva, pela amizade e ajuda nos trabalhos laboratoriais e de campo.

Ao colega de mestrado Gustavo Frosi, pela amizade e ajuda nas análises mineralógicas.

Ao meu amigo e colega de longa data, Lucas Nascimento Brum, pela amizade e ajuda desde os tempos de graduação.

A todos meus familiares que sempre me apoiaram e torceram por mim.

A minha namorada Mariele e seus familiares que sempre me incentivaram e torceram pelo meu sucesso.

As minhas irmãs Bárbara e Débora, por sempre me apoiarem e incentivarem na realização deste sonho.

Aos meus pais, Jairo e Roselaine de maneira mais que especial, por toda educação, incentivo, amor, apoio, respeito e por todas as inúmeras coisas que me proporcionaram ao longo de toda minha vida. Com todo meu amor e por toda minha vida, obrigado.

Por fim e não menos importante, a todos os professores e demais colegas do PPG pelos ensinamentos, amizade e apoio. Obrigado.

# CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS EM TOPOSSEQUENCIA SOBRE MATERIAL DE ORIGEM SEDIMENTAR NO MUNICÍPIO GRAVATAI, RIO GRANDE DO SUL<sup>1</sup>

Autor: Daniel Nunes Krum

Orientador: Paulo César do Nascimento

## RESUMO

O entendimento dos processos de formação dos solos, bem como a sua distribuição na paisagem, serve como subsídios para a elaboração e condução de planos de manejo e conservação dos solos. Portanto, os objetivos deste trabalho basearam-se no entendimento das relações existentes entre solo, ambiente e fatores de formação e a compreensão da gênese dos solos a partir da descrição morfológica e de análises físicas, químicas e mineralógicas. Foram realizadas descrições morfológicas em três perfis de solos, localizados no município de Gravataí, região metropolitana de Porto Alegre e coletado material para a determinação da granulometria, índice de uniformidade (VU), complexo sortivo, diluições seletivas utilizando ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) e oxalato ácido de amônio (OAA) para a determinação de Fe e Al. Também, foram realizadas análises de fluorescência de raios X (FRX) na terra fina seca ao ar (TFSA) e análises de difratometria de raios X (DRX) nas frações areia, silte e argila. As características observadas nos perfis estudados evidenciam a influência do relevo e a posição na paisagem na gênese dos solos. No Perfil 1 houve a ocorrência dos processos pedogenéticos de lessivagem e laterização. O Perfil 2 também apresentou o processo pedogenético de lessivagem. Já no Perfil 3, o processo pedogenético predominante é a gleização. O maior grau de intemperismo foi observado no Perfil 2, conforme a alta relação Fed/FeFRX e valores de Ki diminuindo em profundidade. O mesmo foi observado no Perfil 1, porém, quando comparado ao Perfil 2, a relação Fed/FeFRX foi menor e os valores de Ki em profundidade foram ligeiramente maiores. O Perfil 3 apresentou uma baixa relação Fed/FeFRX e altos valores de Ki, indicando um menor grau de desenvolvimento.

Palavras-chave: Gênese, concreções ferruginosas, processos pedogenéticos.

---

<sup>1</sup>Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. (84p.) – fevereiro, 2022.

# CHARACTERIZATION OF SOILS IN TOPOSSEQUENCY ON MATERIAL OF SEDIMENTARY ORIGIN IN THE MUNICIPALITY OF GRAVATAI, RIO GRANDE DO SUL<sup>1</sup>

Author: Daniel Nunes Krum

Adviser: Paulo César do Nascimento

## ABSTRACT

The understanding of the processes of soil formation, as well as its distribution in the landscape, serves as subsidies for the elaboration and conduction of soil management and conservation plans. Therefore, the objectives of this work were based on the understanding of the existing relationships between soil, environment and formation factors and the understanding of the genesis of soils from the morphological description and physical, chemical and mineralogical analyses. Morphological descriptions were carried out in three soil profiles, located in Gravatai municipality, Porto Alegre metropolitan region and material was collected for the determination of granulometry, uniformity index (VU), sorption complex, selective dilutions using dithionite-citrate-bicarbonate (DCB) and ammonium acid oxalate (OAA) for the determination Fe and Al. Also, X-ray fluorescence analyzes (FRX) were performed on the air-sex fine earth (TFSA) and X-ray diffraction (XRD) analyzes on the sand, silt and clay fractions. The characteristics observed in the studied profiles evidence the influence of the relief and the position in the landscape in the genesis of the soils. In Profile 1 there was the occurrence of pedogenetic processes of lessivage and laterization. Profile 2 also presented the pedogenetic process of lessivage. In Profile 3, the predominant pedogenetic process is gleization. The highest degree of weathering was observed in Profile 2, according to the high Fed/FeFRX ratio and Ki values decreasing in depth. The same was observed in Profile 1, however, when compared to Profile 2, the Fed/FeFRX ratio was lower and the Ki values at depth were slightly higher. Profile 3 showed a low Fed/FeFRX ratio and high Ki values, indicating a lower degree of development.

Keywords: Genesis, ferruginous concretions, pedogenetic processes.

---

<sup>1</sup>Master's Dissertation in Soil Science – Soil Science Graduate Program, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. (84p.) – February, 2022.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
2.1. Meio biofísico do município de Gravataí .....	3
2.2 Processos pedogenéticos .....	6
<b>3. HIPÓTESE.....</b>	<b>10</b>
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
5.1. Descrição do local.....	12
5.2. Descrição dos solos .....	14
5.3. Preparo das amostras.....	15
5.4. Análises físicas .....	15
5.5. Análises químicas .....	16
5.6. Análises mineralógicas .....	18
5.7. Classificação dos solos.....	18
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>19</b>
6.1 Morfologia dos solos .....	19
6.2. Caracterização física dos solos .....	32
6.3. Caracterização química dos solos .....	41
6.4. Fluorescência de raios x .....	45
6.5. Dissoluções seletivas.....	50
6.6. Caracterização mineralógica.....	53
<b>7. ASPECTOS SOBRE A GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS .....</b>	<b>61</b>
<b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>74</b>

## RELAÇÃO DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Descrição morfológica dos perfis de solo. ....	20
<b>Tabela 2.</b> Propriedades físicas dos perfis de solo. ....	33
<b>Tabela 3.</b> Propriedades químicas dos perfis de solo. ....	42
<b>Tabela 4.</b> Composição química dos perfis determinados por fluorescência de raios x. ....	48
<b>Tabela 5.</b> Valores de óxidos extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) e óxidos extraídos pelo oxalato ácido de amônio (OAA), na fração TFSA dos solos. ....	51

## RELAÇÃO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de localização dos perfis de solo. ....	12
<b>Figura 3.</b> Perfil 1 (ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abrupto) e seus respectivos horizontes. ....	22
<b>Figura 4.</b> Concreções ferruginosas do horizonte Btc1. ....	24
<b>Figura 5.</b> Concreções ferruginosas do horizonte Btc2. ....	25
<b>Figura 6.</b> Coloração das concreções ferruginosas encontradas no horizonte Btc2.....	26
<b>Figura 7.</b> Concreções ferruginosas do horizonte Bt3. ....	27
<b>Figura 8.</b> Perfil 2 (ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico abrupto) e seus respectivos horizontes.....	28
<b>Figura 9.</b> Perfil 3 (GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico luvissólico) e seus respectivos horizontes. ....	30
<b>Figura 11.</b> Perfil de verificação da ocorrência de concreções ferruginosa .....	32
<b>Figura 12.</b> Relação areia fina/areia total do perfil 1.....	35
<b>Figura 13.</b> Valores de argila natural e argila total no perfil 1. ....	36
<b>Figura 14.</b> Relação areia fina/areia total do Perfil 2. ....	37
<b>Figura 15.</b> Relação argila natural/argila total do Perfil 2.....	38
<b>Figura 16.</b> Relação areia fina/areia total do Perfil 3. ....	39
<b>Figura 17.</b> Relação argila natural/argila total do Perfil 3.....	40
<b>Figura 18.</b> Difratoograma de raios X da areia (a), silte (b) e argila (c) do Perfil 1. Qz – quartzo; Ft – feldspato; Ct – caulinita; Gt – goethita; Hm – hematita; An – anatásio. ....	54
<b>Figura 19.</b> Difratoograma de raios X das concreções do horizonte Btc2 do Perfil 1. Qz - quartzo; Ct - caulinita; Gt - goethita.....	55

<b>Figura 20.</b> Difratoograma de raios X do material de origem do Perfil 1. Qz - quartzo; Ct - caulinita; Gt – goethita; Ft – feldspato.....	56
<b>Figura 21.</b> Difratoograma de raios X da areia (a), silte (b) e argila (c) do Perfil 2. Qz – quartzo; Ft – feldspato; Ct – caulinita; Gt – goethita; Hm – hematita; An – anatásio. ....	57
<b>Figura 22.</b> Difratoograma de raios X da areia (a), silte (b) e argila (c) do Perfil 3. Qz – quartzo; Ft – feldspato; Ct – caulinita; Gt – goethita; Hm – hematita; An – anatásio; 2:1 – argilominerais 2:1. ....	59
<b>Figura 23.</b> Barranco utilizado para a descrição e coleta do Perfil 1. ....	76
<b>Figura 24.</b> Equipe de trabalho na preparação para descrição e coleta do Perfil 1.....	77

## RELAÇÃO DE APÊNDICES

<b>Apêndice 1.</b> Descrição morfológica do perfil 1 e imagens do local de descrição e coleta. ....	74
<b>Apêndice 2.</b> Descrição morfológica do perfil 2 e imagens do local de descrição e coleta. ....	78
<b>Apêndice 3.</b> Descrição morfológica do perfil 3 e imagens do local de descrição e coleta. ....	82

## 1. INTRODUÇÃO

O município de Gravataí pertence à região metropolitana de Porto Alegre, possui uma população de mais de 255 mil habitantes e com 96% da população vivendo no perímetro urbano (IBGE, 2010). Mesmo assim o município possui grandes áreas sendo utilizadas com atividades agropecuárias, o que torna as informações referentes às classes de solos e o uso dos mesmos de grande importância para o município. No que se refere aos solos do município, tem-se apenas informações sobre os solos da região Norte, conforme trabalho realizado por Finato (2013). Porém, o sudeste do município de Gravataí não possui informações detalhadas a respeito das classes de solos. Tal informação é de grande importância, visto que esta região sudeste apresenta grandes áreas de produção agropecuária e está próxima ao rio Gravataí, onde as áreas desta região drenam suas águas em direção ao rio.

O solo é um recurso natural não renovável que desempenha diversas funções relacionadas à manutenção do meio ambiente, além de ser recurso fundamental na produção de alimentos e desenvolvimento econômico (Lal, 2008). Assim, torna-se indispensável o seu estudo devido à tamanha importância do mesmo para o desenvolvimento dos seres vivos e equilíbrio da natureza (Brady & Weil, 2013). A utilização do solo na produção de alimentos tem um papel de grande importância e por isso o seu uso e manejo devem ser feitos de maneira correta, respeitando as restrições do mesmo, para que não se perca a sua capacidade produtiva. Sendo assim, saber as potencialidades e as limitações de cada tipo de solo permite o desenvolvimento de formas de uso e manejo que mantenham sua capacidade de exercer papéis ecossistêmicos como: fornecer matérias-primas, ciclar nutrientes, sequestrar carbono, filtrar a

água, além de reduzir contaminantes e regular inundações (Kopittke et al., 2019, Dominati et al., 2014).

Um dos recursos utilizados para o conhecimento dos solos e a relação com o ambiente é o estudo de uma topossequência, que nada mais é do que uma sequência de tipos de solo distribuídos de maneira contínua e ordenada conforme a topografia da paisagem (Bocquier, 1973), sob um mesmo material de origem ou não (Kampf e Curi, 2012).

As topossequências ocorrem em diferentes posições na paisagem e são compostas por diferentes elementos, tais como: interflúvio ou topo, ombro, encosta, sopé e sopé colúvio-aluvial. Esses diferentes elementos podem se repetir ou alguns deles estarem ausentes (Ruhe, 1960). Esses estudos são de grande importância no que diz respeito à gênese dos solos, pois pode-se observar diferentes classes de solos ao longo da mesma, onde a formação destes solos tem uma distribuição lógica. Assim, os solos localizados no topo são, na maioria das vezes, mais profundos e desenvolvidos, pois estão em uma posição mais plana na paisagem em relação aos demais, enquanto os de ombro, encosta e sopé, são menos desenvolvidos, nesta ordem. Já os solos ocorrentes na posição sopé colúvio-aluvial são pouco desenvolvidos ou não, pois os solos desta posição dependem do material erodido das porções mais altas da paisagem, ou seja, está diretamente ligado ao regime hídrico onde a topossequência está localizada (Kampf e Curi, 2012). Por fim, estudar topossequências faz com que pensemos em como a área que circunda a mesma se comporta em diferentes condições durante o ano e assim podemos inferir sobre práticas e usos destes solos.

Portanto, com base nas informações supracitadas, este trabalho visa uma melhor compreensão a respeito da formação e distribuição das classes de solos no sudeste do município de Gravataí, bem como servir de base para estudos futuros.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Meio biofísico do município de Gravataí**

O município de Gravataí faz parte da região metropolitana de Porto Alegre (RMPA) e está localizado na direção nordeste, em relação a RMPA, onde a mesma está situada em uma zona de transição entre as principais regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul. Desta maneira, a área ocupada pelo município de Gravataí, em sua maioria, apresenta feições na paisagem pertencentes à Planície Costeira, com a presença de materiais sedimentares recentes, pouco consolidados. Porém, ao norte, encontra-se a borda da Bacia do Paraná, onde se tem a província geomorfológica da Depressão Central e o início da Bacia de Pelotas.

A região sudeste do município de Gravataí está inserida principalmente na Bacia de Pelotas, que é composta por depósitos sedimentares erodidos outrora de terras altas adjacentes, tais como: Depósitos de Planície Lagunar, Depósitos Eluviais e Coluviais e Depósitos Aluvionares, e são conhecidos como Depósitos Gravitacionais de Encosta. Porém, tem-se a presença de algumas formações pertencentes a Bacia do Paraná: Formação Palermo do Grupo Guatá e Grupo Passa Dois, formado pelo Subgrupo Estrada Nova e Formação Rio do Rasto. Sendo assim, de acordo com Roisenberg et al (2008), os materiais que dão origem aos solos da região sudeste de Gravataí são de origem sedimentar.

Os Depósitos de Planície Lagunar apresentam na sua composição areias siltico-argilosas com diferentes tamanhos, de cor amarela-acastanhada, com formas maciças ou com laminação plano-paralela, e são formadas basicamente por grãos de quartzo de granulometria fina e média (até 0,25 mm)



e areia grossa com diâmetros entre 0,5 e 1,5 mm. É comum a presença de concreções pedogenéticas com formações carbonáticas e ferruginosas, sendo que em alguns locais estas formações aparecem em maior proporção, formando camadas, refletindo assim, a ocorrência de condições paleoclimáticas semiáridas. Os Depósitos Eluviais e Coluviais são resultados de processos de deposição gravitacional, que geram a ocorrência de diamictitos e conglomerados envoltos por uma matriz lamítica. Os sedimentos que compõem estes depósitos são muito pouco selecionados e apresentam uma diversificada composição: areias conglomeráticas, areias siltico-argilosas de cores vermelhas, seixos, blocos e matacões de arenitos e basalto. A morfologia desses leques aluviais foi modificada durante os períodos climáticos mais úmidos, e formaram rampas nas bordas das formações sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná.

Os Depósitos Aluvionares preenchem a calha do Rio Gravataí e a sua planície de inundação. Este depósito é formado por materiais inconsolidados, tais como: cascalhos, areias grossas a finas e sedimentos siltico-argilosos mal selecionados. Em alguns locais de maior altitude, associados às encostas ocorrem areias mal selecionadas com fragmentos de arenito e basalto.

A Formação Palermo do Grupo Guatá é caracterizada pela presença de siltitos e arenitos muito finos e interlaminados, com coloração clara e bem estratificada, comumente com cores esbranquiçadas à cinza claro esverdeada, bem como coloração alaranjada, quando o mesmo sofreu alterações. Em alguns locais deste material, podem ocorrer nódulos argilosos avermelhados.

O Subgrupo Estrada Nova é dividido em Formações Teresina e Serra Alta. A Formação Teresina é formada por argilitos, folhelhos e siltitos cinza-escuros e esverdeados, intercalados com arenitos muito finos, cinza-claros. Já a formação Serra Alta é formada por siltitos, argilitos e folhelhos não-betuminosos, formados a partir de acumulação em ambiente marinho. A Formação Rio do Rasto, que aflora nas posições com menor altitude, demonstra contato concordante com a Formação Pirambóia e discordante com o Subgrupo Estrada Nova. Na sua composição ocorre a presença de arenitos finos a muito finos, de cor avermelhada, arroxeadas e esbranquiçada, friáveis e

com matriz argilosa, advindo da decomposição dos feldspatos intercalados com argilitos e siltitos de coloração avermelhada e arroxeada.

De acordo com RADAMBRASIL (1986) e com base na geologia, a geomorfologia do município de Gravataí apresenta duas unidades geomorfológicas: Planície Alúvio-Coluvionar e Planície Lagunar.

A primeira corresponde à superfície plana, com uma rampa suavemente inclinada para leste, porém, em alguns trechos é descontínua, ficando localizada entre a Planície Lagunar a leste e as áreas das Regiões Geomorfológicas Planaltos das Araucárias e Sul Riograndense a oeste. Sendo assim, a mesma pertence a uma área de transição entre influências continentais e marinhas. Nas áreas sob influência continental, nas partes terminais de rampas de pedimentos, predominam partes planas e côncavas. Também, nas partes de maior altitude, ocorrem formas de topo plano. Já a Planície Lagunar é caracterizada por apresentar uma área plana, homogênea, sem dissecação.

A vegetação do município de Gravataí, segundo RADAMBRASIL (1986), pode ser dividida, basicamente, em duas classes: Floresta Estacional Semidecidual e Áreas das Formações Pioneiras. A primeira classe é subdividida em quatro classes, porém, o município de Gravataí apresenta uma delas, que é a Floresta Submontana, onde desenvolve-se em altitudes de 30 a 400 m acima do nível do mar e nas áreas de encostas e topos, sob relevo ondulado e forte ondulado. Já as Áreas das Formações Pioneiras, são divididas em duas classes, porém só as Áreas de Influência Fluvial fazem parte do município de Gravataí, onde se desenvolveram nas várzeas, sob relevo plano.

Estudos envolvendo solos no município de Gravataí (Finato et al., 2015) e na Região Metropolitana de Porto Alegre (Almeida et al., 1997; Nascimento et al., 2011; Medeiros et al., 2013; Silva Neto, et al., 2015; Silva, et al., 2015; Medeiros, et al., 2020) vem sendo desenvolvidos com o intuito de auxiliar no uso e manejo, bem como na preservação deste recurso.

De maneira geral, sem a realização destes estudos, os dados de solos levantados por Brasil et al. (1973), RADAMBRASIL (1986) e Streck et al. (2018) seriam as únicas fontes de informação. Conforme estes estudos e de acordo com Santos et al. (2018), as classes de solos que ocorrem no município de Gravataí são: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (Unidade de

mapeamento Gravataí) e Planossolo Háplico Eutrófico (Unidades de mapeamento Vacacaí). Também, em menor proporção, tem a ocorrência de:

Argissolo Vermelho Distrófico (Unidade de mapeamento Rio Pardo) e Gleissolo Melânico Eutrófico (Unidade de mapeamento Colégio).

## 2.2 Processos pedogenéticos

Os processos pedogenéticos que ocorrem no solo estão associados aos fatores de formação, bem como na intensidade que um ou mais fatores estão agindo entre si. Sendo assim, na região sudeste do município em estudo, podemos verificar na literatura, bem como em saídas de campo, que se tem a predominância de Argissolos, Planossolos e Gleissolos.

Os Argissolos apresentam um processo pedogenético específico bastante característico que é a lessivagem, que tem como subprocessos a eluviação e a iluviação. O processo pedogenético da lessivagem nada mais é do que a suspensão e translocação das partículas de argila, principalmente argila fina, óxidos e material orgânico fino no interior do solo. Sendo assim, os horizontes superficiais perdem estes compostos que estão em suspensão (eluviados) para os horizontes subsuperficiais (iluviados) (Kämpf e Curi, 2012). Estes compostos vão ocupando os poros de menor tamanho e conseqüentemente criando um horizonte com características diferentes do horizonte subjacente. Quando esta diferença apresentada, no que se refere ao teor de argila, for significativamente superior ao horizonte subjacente, tem-se a formação do horizonte B textural (Bt).

Na formação do horizonte Bt também pode ocorrer um processo pedogenético um pouco menos atuante, chamado de ferrólise, que está associado a solos que apresentam drenagem imperfeita, ou seja, com ciclos de molhamento e secagem, que por sua vez, apresentam oxidação e redução do íon Fe. Na oxidação, quando ocorre a mudança do  $Fe^{2+}$  para  $Fe^{3+}$ , tem-se a liberação do íon  $H^+$ , que tem a capacidade de deslocar cátions da estrutura desses minerais, desestabilizando esses últimos (van Ranst e Coninck, 2002) e assim a translocação da argila para camadas inferiores faz com que os horizontes subjacentes apresentem textura com maior teor de areia. Os solos que apresentam este processo, geralmente, apresentam mosqueados e baixos

valores de pH, além de um horizonte com mudança textural abrupta em relação ao horizonte subjacente. Tais processos mencionados anteriormente estão presentes nas duas principais classes de solos do município em estudo: Argissolos e Planossolos.

Na parte sudeste do município de Gravataí, onde o relevo é plano e muito próximo ao lençol freático, ocorre a presença acentuada de solos imperfeitamente drenados com ciclos alternados de molhamento e secagem, o que favorece a formação de solos com gradiente textural.

O processo pedogenético de gleização, que está presente nos Gleissolos se refere a remoção ou redução dos óxidos de Fe por meio da atividade microbiana em ambiente anaeróbio. Com a falta de O<sub>2</sub> para ser o receptor final de elétrons, que é resultado da queima/oxidação da matéria orgânica realizada pela atividade dos microorganismos, os mesmos utilizam os compostos inorgânicos que oxidaram como receptores de elétrons, e assim reduzindo-os e deixando o ambiente reduzido de maneira uniforme (Kämpf e Curi, 2012).

Os compostos que foram reduzidos, tais como óxidos de Mn e Fe, são solúveis em água e podem migrar da solução do solo até sítios oxidados, precipitando novamente. Sendo assim, solos que apresentam processos de gleização apresentam cores escuras e acinzentadas, devido à falta de óxidos de ferro que são responsáveis pelas colorações avermelhadas e amarelas.

Os processos de redução ocorridos nos Gleissolos podem ser no sentido ascendente, onde o lençol freático se eleva até ou próximo a superfície ou no sentido descendente, através da água da chuva ou de irrigação (Kämpf e Curi, 2012).

### **2.3 Solos desenvolvidos sobre depósitos sedimentares**

Os depósitos sedimentares são formados a partir da deposição de materiais (minerais e orgânicos) transportados pela água, gelo ou vento, ou seja, as características e a composição dos depósitos sedimentares são bastante diversificadas (Suguio, 2003). Desta maneira, os solos desenvolvidos a partir de depósitos sedimentares também apresentam características (químicas, físicas e mineralógicas) bastante diferenciadas, originando solos

com características diferentes. Entretanto, estas diferenciações ocorrem de acordo com a intensidade da ação dos demais fatores de formação do solo.

Assim como um mesmo material de origem sedimentar pode vir a desenvolver diferentes classes de solos, também pode ocorrer a formação de uma classe de solo, com diferenciação no segundo, terceiro e quarto nível categórico. Tal fato foi verificado em estudo realizado por Coelho et al. (2010) nas restingas da planície costeira do Estado de São Paulo, onde os autores estudaram 24 Espodossolos em três cidades diferentes. Os autores concluíram que a diferenciação na morfologia e no grau de evolução dos Espodossolos se deu a partir da variação da topografia e oscilação do nível do lençol freático.

Bernini et al. (2013) estudando uma topossequência com três perfis de solos desenvolvidos sobre depósitos sedimentares da Formação Solimões no Estado do Acre, observaram que os solos apresentam baixo grau de desenvolvimento pedogenético, devido a presença de argilominerais 2:1 e minerais primários nas frações areia e silte. Os autores classificaram os solos como ARGISSOLO VERMELHO Álitico plíntico, ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico plíntico e CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típicos.

No estudo realizado por Benedetti et al. (2011) no Estado de Roraima, os mesmos estudaram 11 perfis de solo desenvolvidos sobre depósitos sedimentares da Formação Boa vista, numa área de 624,8 há, com diferença de altitude entre o ponto mais baixo para o mais alto de 100 m (60 e 160 m) e constataram que todos os perfis são caulíníticos e distróficos. Também, identificaram uma estreita relação entre os solos com o relevo, material de origem e vegetação. As classes de solos encontradas na área de estudo foram: Latossolo amarelo e vermelho, Argissolo vermelho e vermelho amarelo, Plintossolo pétrico e Gleissolo háplico.

Em estudo realizado no Pantanal, no município de Corumbá, Mato Grosso do Sul, Oliveira et al. (2021) estudaram dois perfis de solos, Gleissolo e Chernossolo, desenvolvidos sobre os sedimentos carbonáticos da Formação Pantanal. Os dois perfis apresentaram, saturação por bases elevada, níveis elevados de Si e baixo grau de desenvolvimento pedogenético. Os mesmos também comentam que a dinâmica da água associada as propriedades químicas foram os principais agentes na formação destes solos.

Pereira et al. (2022) estudando dois perfis de solos (Planossolo e Latossolo) desenvolvidos sobre a planície litorânea sedimentar denominada Baixada de Sepetiba, no município de Seropédica, Rio de Janeiro, verificaram uma diferenciação significativa nas características dos solos, com diferença de altitude de 3 m entre os perfis. Os autores concluíram que a natureza e a intensidade dos processos pedogenéticos na área de estudo, foram fortemente influenciados pela posição dos mesmos na paisagem e o material de origem.

No trabalho desenvolvido por Silva et al. (2019) na região centro-leste do Rio Grande do Sul, o mesmo estudou dois Planossolos desenvolvidos sobre dois diferentes materiais de origem sedimentar. Os autores verificaram que mesmo sob diferentes materiais de origem, os solos pertencem a mesma classe de solo e foram formados pelos mesmos processos pedogenéticos.

A diversidade dos solos formados sobre materiais sedimentares, de acordo com o material de origem, o clima e o relevo, indicam a importância e o interesses de se conhecer melhor e avaliar as relações com o ambiente, para os solos da região sudeste do município de Gravataí. Isso se ressalta pela localização próxima de centros urbanos, mas ainda com ocupação em atividades agrícolas, o que aumenta a pressão e a possibilidade de impactos ambientais.

### **3. HIPÓTESE**

As características dos solos estudados na região sudeste do município de Gravataí seguem o mesmo padrão observado em estudos realizados na região norte, ou seja, solos mais intemperizados e com boa drenagem nas áreas de cotas mais altas e solos imperfeitamente drenados e com menor grau de desenvolvimento pedogenético nas áreas mais baixas da paisagem. A diversidade geológica, combinada com o relevo, acarretou na formação de classes de solos com diferentes processos pedogenéticos, e conseqüentemente com características morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas distintas.

## **4. OBJETIVOS**

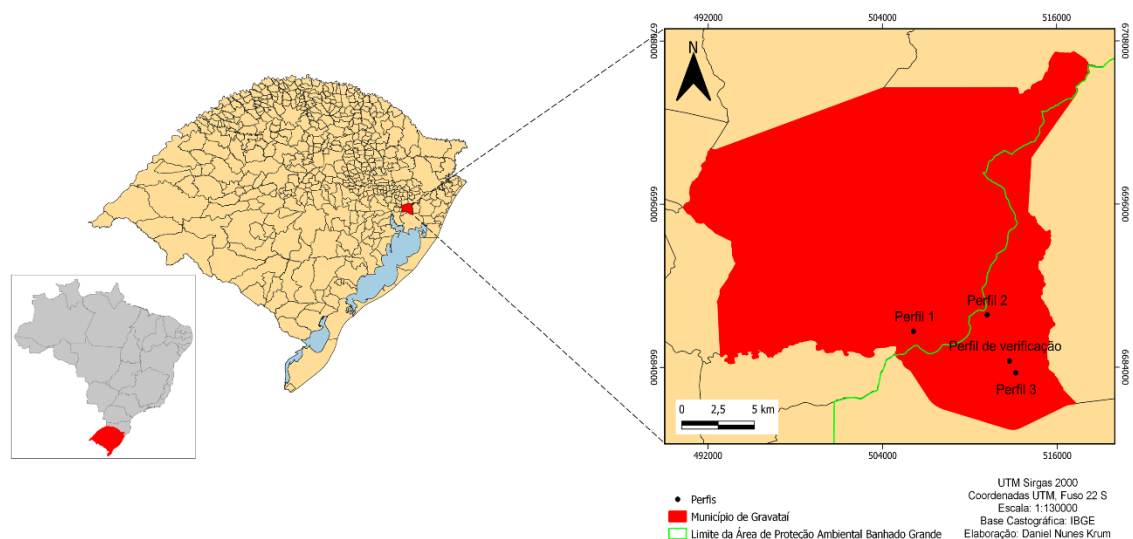
Entender as relações existentes entre solo e ambiente, bem como compreender a gênese dos solos a partir da descrição morfológica e de análises físicas, químicas e mineralógicas, em perfis de solos representativos da região Sudeste do município de Gravataí.



## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1. Descrição do local

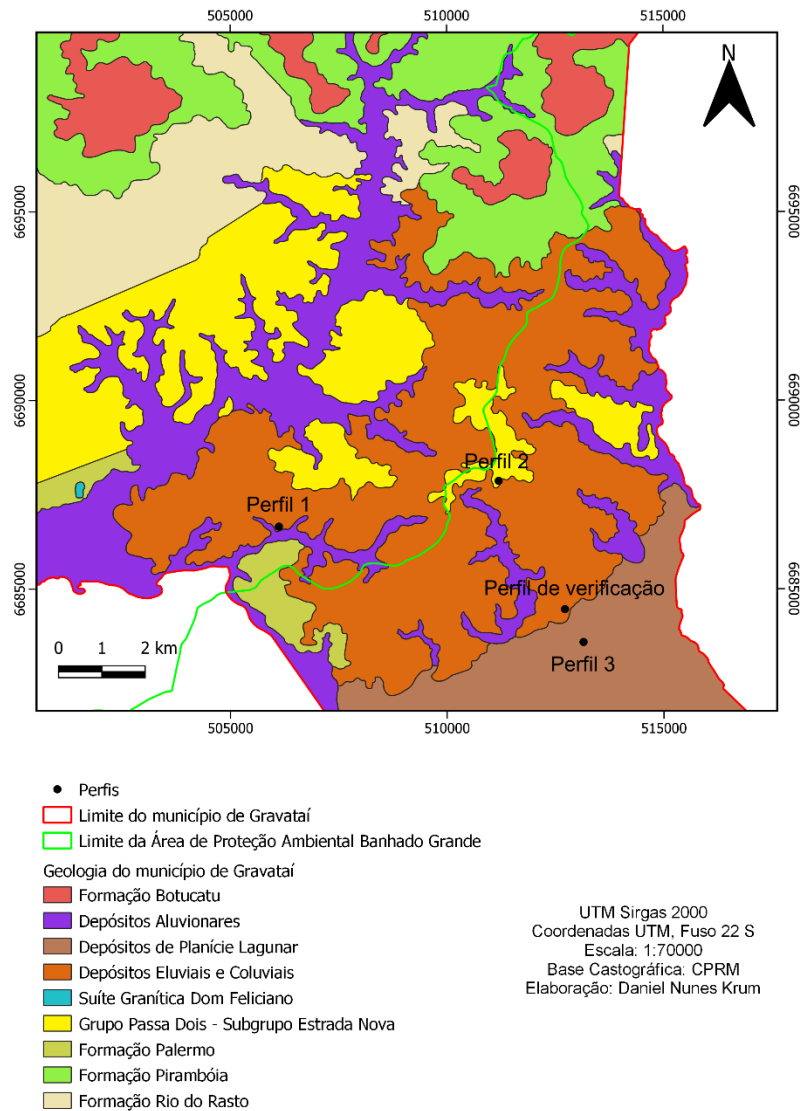
O trabalho foi realizado numa topossequência na região sudeste do município de Gravataí-RS (Figura 1), no entorno da Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande. De acordo com a classificação de Köppen, o clima nesta área é o de Cfa, ou seja, subtropical, caracterizado por apresentar chuvas em todos os meses do ano e por ter uma temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e do mês mais frio entre 3° e 18 °C.



**Figura 1.** Mapa de localização dos perfis de solo.

A geologia do local é formada, predominantemente pelo Domínio Bacia de Pelotas, formado por depósitos sedimentares. Estão localizadas nesta Bacia Sedimentar os Depósitos de Planície Lagunar, Depósitos Eluviais,

Coluviais, Depósitos Aluvionares, Formação Rio do Rasto e Subgrupo Estrada Nova. Esses três tipos de depósitos têm na sua composição diferenças bastante significativas, pois os sedimentos que os formam possuem características distintas (Roisenberg et al., 2008) (Figura 2). Os perfis ficaram dispostos um em cada material de origem, o que corrobora com a afirmação de que o município apresenta uma considerável diversidade geológica (Figura 2).



**Figura 2.** Mapa de localização dos perfis de solo e seus respectivos materiais de origem.

O relevo da área estudada varia de ondulado a plano, onde tem-se áreas dissecadas de relevo suave ondulado nas áreas de maior altitude, e nas

áreas de menor altitude tem-se relevo plano com áreas susceptíveis ao alagamento (Streck et al., 2018) (RADAMBRASIL, 1986).

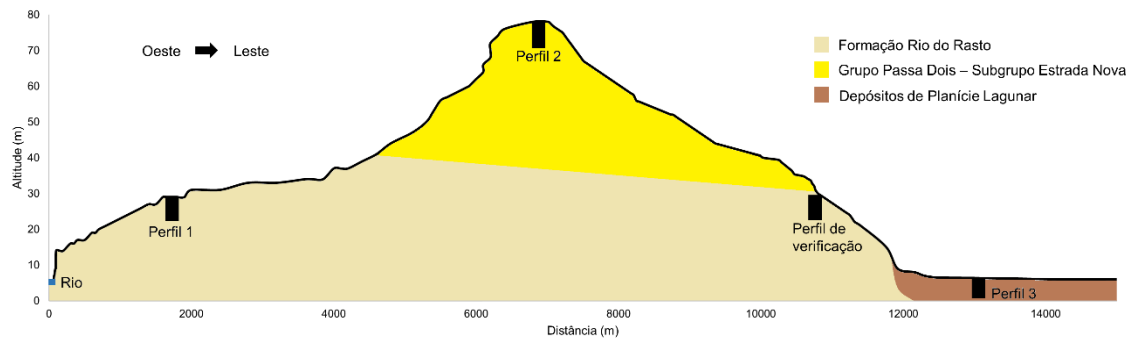
As principais classes de solos ocorrentes na região são os Argissolos e os Planossolos, mas em menor proporção tem-se a ocorrência de Gleissolos (Streck et al., 2018).

As informações referentes a localização dos perfis, bem como características do local de coleta, estão descritas nos Apêndices 1, 2 e 3.

## **5.2. Descrição dos solos**

Foi realizada uma prospecção inicial na área a ser estudada, com o intuito de identificar os tipos de solos e adquirir informações referentes aos ambientes encontrados na área de estudo. Após a obtenção dessas informações, foram selecionados três perfis de solos que são mais representativos da região.

No trabalho de campo foi realizada a descrição morfológica dos três perfis de solos, bem como a coleta de amostras dos principais horizontes, conforme Santos et al. (2015). Os perfis estudados foram descritos em diferentes posições de uma topossequência, de forma a representar diferentes situações na paisagem, com reflexos em grau de desenvolvimento e características pedoclimáticas (Figura 3). O Perfil 1 está localizado nas coordenadas 506118.30 E e 6686655.05 S UTM, numa altitude de 28 m e 6% de declividade, sob relevo suave ondulado, numa posição de terço médio da encosta. De acordo com Roisenberg et al. (2008) e CPRM (2008) este solo desenvolveu sobre Depósitos Eluviais e Coluviais, porém, foi observando-se o material de origem logo abaixo do perfil, o mesmo apresenta semelhança com a Formação Rio do Rasto. O Perfil 2 está localizado nas coordenadas 511193.33 E e 6687865.24 S UTM, numa altitude de 78 m e 4% de declividade, sob relevo suave ondulado, no topo da paisagem. Já o Perfil 3 localiza-se nas coordenadas 513147.00 E e 6683591.00 S UTM, numa altitude de 6 m e declividade de 1%, sob relevo plano, numa área de várzea.



**Figura 3.** Localização dos perfis estudados na paisagem e seus respectivos materiais de origem.

Devido as características diferenciadas apresentadas no Perfil 1, optou-se por fazer uma prospecção maior na região, levando em consideração a geologia, o relevo e a elevação. Sendo assim, observou-se que as características observadas no Perfil 1, também foram observadas em outro local da região (Perfil de verificação), evidenciando a ocorrência espacial representativa na área, e não local destas características. O Perfil de verificação localiza-se nas coordenadas - 512721.30 E e 6684462.57 S UTM.

### 5.3. Preparo das amostras

Após o trabalho de campo, as amostras foram destorroadas, secas ao ar e peneiradas utilizando uma malha de 2 mm, onde foi obtida a terra fina seca ao ar (TFSA), que é a porção do solo que passa pela peneira. Por fim, a partir da TFSA, foram realizadas as análises físicas, químicas e mineralógicas.

### 5.4. Análises físicas

As análises granulométricas, realizadas pelo método da pipeta, bem como a argila dispersa em água e o grau de flocculação foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo da UFSM, conforme procedimentos descritos em Teixeira et al. (2017).

A partir destes dados, foram calculados alguns parâmetros, tais como: a relação silte/argila; o grau de flocculação da argila  $[(\text{argila total} - \text{argila dispersa em água}) / \text{argila total}] \times 100$ . Também foram feitos cálculos sobre a

relação areia fina/areia total (AF/AT) e o valor de uniformidade ( $VU = [(\text{silte} + \text{AF}) / (\text{AT} - \text{AF})]_{\text{horizonte superficial}} / [(\text{silte} + \text{AF}) / (\text{AT} - \text{AF})]_{\text{horizonte subjacente}} - 1,0$ ), pois são critérios utilizados na identificação da mudança ou não do material de origem no perfil do solo, ou seja, se houve ocorrência de descontinuidade litológica ou não (Schaetzl, 1998).

### 5.5. Análises químicas

Foram analisados os teores das bases trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ), o  $\text{Al}^{3+}$  trocável, a acidez ativa (pH em água), o carbono orgânico total e os teores de enxofre e de fósforo, no Laboratório de Análises de Solo da Faculdade de Agronomia da UFRGS, conforme procedimentos descritos em Teixeira et al. (2017). As demais análises que foram realizadas também seguiram as metodologias descritas em Teixeira et al. (2017).

O pH do solo em água e em KCl foram determinados por meio da medição de eletrodo imerso em suspensão solo-líquido 1:2,5. O  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  foram extraídos pelo deslocamento com solução saturada por sal neutro KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. O  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  foram extraídos em solução ácida diluída de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup>. Os teores das bases trocáveis e do  $\text{Al}^{3+}$  foram determinados por leitura em aparelho de espectrofotometria de emissão por plasma (ICP). O fósforo disponível foi obtido com a solução de Mehlich 1 e o teor determinado por colorimetria. A acidez potencial foi determinada com a utilização da solução extratora de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> tamponado a pH 7,0. A titulação foi realizada com a solução NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup> e a fenolftaleína como indicador. O teor de carbono orgânico foi determinado por combustão úmida com fervura durante cinco minutos, e oxidando a matéria orgânica com dicromato de potássio em meio sulfúrico, onde foi determinado com titulação de  $\text{Fe}_2\text{SO}_4$  0,1 mol L<sup>-1</sup>.

A partir destes dados foram calculados: a soma das bases trocáveis ( $\text{SB} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$ ), a capacidade de troca de cátions ( $\text{T} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ), a saturação por alumínio [ $\text{m}\% = 100 \times \text{Al}^{3+} / (\text{S} + \text{Al}^{3+})$ ], a saturação por sódio ( $\text{PST}\% = 100 \times \text{Na}^+ / \text{CTCpH}_{7,0}$ ) e a saturação por bases ( $\text{V}\% = 100 \times \text{S} / \text{CTCpH}_{7,0}$ ).

A dissolução seletiva com ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) de sódio foi feita com o objetivo de determinar o teor de Fe livre no solo em óxidos de ferro pedogênicos de alta e baixa cristalinidade. A extração foi feita com 0,2 g de TFSA em 40 mL de solução ditionito-citrato bicarbonato de sódio, com três adições de ditionito (0,33 g a cada adição) a cada 15 minutos, sob aquecimento de 80 °C, onde foram feitas duas extrações sucessivas. O extrato foi obtido após centrifugação a 3.000 rpm por 15 minutos (Mehra & Jackson, 1960). A extração por Oxalato de Amônio foi feita com solução 0,2 mol L<sup>-1</sup>, ajustada a pH 3,0 com ácido oxálico bihidratado (AOB), em ausência de luz. Por ser extrator mais fraco, é capaz de extrair o Fe apenas dos óxidos de baixa cristalinidade e complexado à matéria orgânica ao complexar o Fe, permanecendo íntegros os óxidos e argilominerais cristalinos (Schwertmann, 1964). Também, o AOB dissolve os aluminossilicatos de baixa cristalinidade, e o oxalato complexa o Al presente nestes minerais. Para a extração foram utilizados 0,2 g de solo e adicionados 40 mL de oxalato de amônio, onde foi agitado durante 2 horas no escuro. O extrato foi obtido após centrifugação a 2.000 rpm por 5 minutos (Costa & Btgham, 2009; Teixeira et al., 2017; IBGE, 2015).

O Fe, constituinte dos óxidos pedogênicos, e dissolvidos por DCB (Fed) foi determinado em EAA. Já o oxalato de amônio (Feo), foi determinado no extrato por ICP. O mesmo foi feito para o Al pela dissolução seletiva com DCB (Ald) e oxalato ácido de amônio (Alo). O teor destes elementos em termos de óxido estrutural foi obtido por meio de fórmula molecular conforme Teixeira et al. (2017).

Foi realizada a determinação semi-quantitativa da composição química elementar dos solos por fluorescência de raios-X (FRX) na Universidade Federal de Lavras. As amostras foram finamente moídas, misturadas com cera para confecção de pastilhas e analisadas semi-quantitativamente em aparelho WDXFR S8 Tiger (Bruker), trabalhando a 4 kW, 60 kV e 170 mA.

## 5.6. Análises mineralógicas

A difratometria de raio X (DRX) foi realizada em amostras das frações areia, silte e argila dos horizontes mais importantes. A fração areia foi separada por tamisação úmida. A fração argila foi coletada por sifonamento em proveta de 1 L após tempo necessário para a sedimentação do silte, de acordo com a Lei de Stokes. A argila foi floclulada com  $\text{CaCl}_2$  2 mol  $\text{L}^{-1}$  e lavada por duas vezes com solução álcool-água 1:1, posteriormente foi seca em estufa a 50 °C e moída em almofariz de ágata. O silte foi coletado e seco a 50 °C, após ser submetido à agitação (com tempo de 5 min para a sedimentação do silte) e sucessivas lavagens para a eliminação da argila sobrenadante na proveta. As amostras de areia e silte foram irradiadas no intervalo de 4 a 50° 2 $\theta$ , com velocidade de varredura de 2° 22 min. Já para as amostras de argila (não orientada), foram irradiadas no intervalo de 2 a 50° 2 $\theta$ , com velocidade de varredura de 1° 45'. Para as amostras em pó foram pesados 0,73 g de argila, 0,64 g de silte e 1,09 g de areia

A identificação dos minerais a partir das reflexões obtidas foi realizada considerando-se as tabelas de identificação de Brindley & Brown (1980) e Resende et al. (2011).

## 5.7. Classificação dos solos

Após os trabalhos de campo e com os resultados das análises físicas, químicas e mineralógicas, foi feita a classificação dos solos da topossequência, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018).

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1 Morfologia dos solos**

As características morfológicas dos três perfis de solo descritos estão apresentadas na Tabela 1. A descrição completa dos perfis pode ser verificada nos Apêndices 1, 2 e 3, onde estão dispostas informações referentes a localização detalhada, relevo local e regional, declive, altitude, cobertura vegetal, rochiosidade e pedregosidade, erosão, drenagem e vegetação.



**Tabela 1.** Descrição morfológica dos perfis de solo.

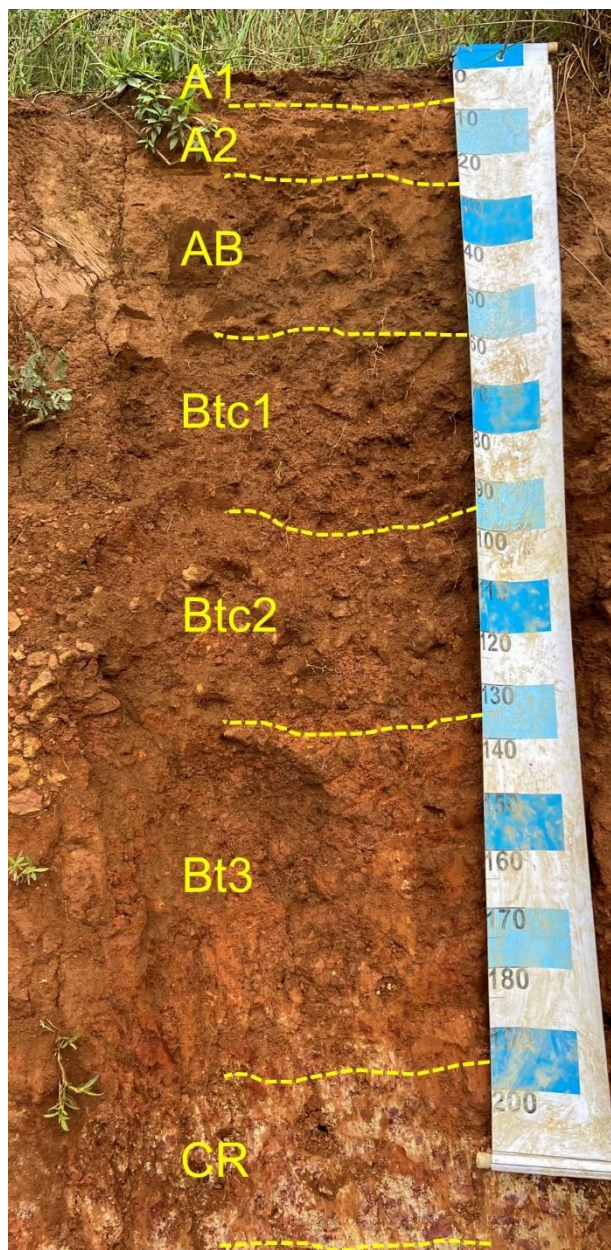
Hor. <sup>1</sup>	Prof <sup>2</sup>	Cor úmida		Transição	Estrutura <sup>4</sup>	Consistência molhada <sup>5</sup>
		Matriz	Mosq <sup>3</sup>			
<b>Perfil 1 – ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abráptico</b>						
<b>A1</b>	0-6	7,5YR 3/3	-	clara e plana	fr, pq, gra	mt.fri, lg.pla, lg.peg.
<b>A2</b>	6-28	7,5YR 4/6	-	clara e plana	fr/mo, pq/me, bsa	fri, lg.pla, lg.peg.
<b>AB</b>	28-60	7,5YR 3/4	-	clara e plana	mo, me, bsa	fri, lg.pla, lg.peg.
<b>Btc1</b>	60-96/102	5YR 4/6	-	clara e ondulada	fr, pq/me, bsa	fri, pla, peg.
<b>Btc2</b>	96/102-135/140	2,5YR 4/6	10 YR 5/6	clara e ondulada	mo, pq/me, bsa	fri, lg.pla, peg.
<b>Bt3</b>	135/140-190/195	2,5YR 4/6	7,5R 2,5/4	clara e ondulada	mo/fo, gr, bsa	fri, pla, peg.
<b>CR</b>	190/195-220+	2,5YR 5/6	5 YR 6/1 7,5 R 3/4	-	fo, gr, bsa	fri, lg.pla, lg.peg.
<b>Perfil 2 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico abráptico</b>						
<b>A1</b>	0-14	7,5YR 3/4	-	clara e plana	fr, pq/me, gra	fri, lg.pla, lg.peg.
<b>A2</b>	14-42	7,5YR 4/3	-	gradual e plana	fr, pq/me, gra	fri, lg.pla, lg.peg.
<b>AB</b>	42-58	5 YR 4/4	-	clara e plana	fr/mo, me, bsa	fri, lg.pla, lg.peg.
<b>BA</b>	58-115	7,5YR 3/3	-	gradual e plana	fr, me, gra/bsa	fri, lg.pla, peg.
<b>Bt1</b>	115-162	5YR 3/4	-	clara e plana	fr, me, gra/bsa	mt.fri, lg.pla, peg.
<b>Bt2</b>	162-200+	5YR 4/6	-	-	fr, me, gra/bsa	fri, lg.pla, mt.peg.

<sup>1</sup>Hor: horizonte. <sup>2</sup>Prof: profundidade. <sup>3</sup>Mosq: mosqueado; va: variegado. <sup>4</sup>fr: fraca; mo: moderada; fo: forte; pq: pequena; me: média; gr: grande; bsa: blocos subangulares; gra: granular; gru: grumosa. <sup>5</sup>n: não; lg: ligeiramente; mt: muito; pla: plástica; peg: pegajosa; fri: friável; fi: firme.

Hor. <sup>1</sup>	Prof <sup>2</sup>	Cor úmida Matriz	Mosq <sup>3</sup>	Transição	Estrutura <sup>4</sup>	Consistência molhada <sup>5</sup>
<b>Perfil 3 – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico Iuvissólico</b>						
<b>A1</b>	0-25	10YR 4/3	-	clara e plana	mo, me, bsa/gra	fri, lg.pla. e lg.peg.
<b>A2</b>	25-45	10YR 4/2	-	clara e plana	ma, gr/mo, bsa	fri, lg.pla. e lg.peg.
<b>AB</b>	45-68	10YR 3/2	-	gradual e plana	ma, gr/mo, bsa	fri, lg.pla. e lg.peg.
<b>BA</b>	68-90	10YR 3/2	-	gradual e plana	mo, gr, bsa	fri, lg.pla. e lg.peg.
<b>Btg1</b>	90-115	10YR 3/1	7,5YR 5/8	-	mo, gr, pri	fri, pla. e peg.
<b>Btg2*</b>	115-155	10YR 3/2	7,5YR 5/8	-	-	fri, pla. e lg.peg
<b>BC*</b>	155-165+	10YR 4/2	7,5YR 5/8	-	-	fri, lg.pla. e lg.peg

<sup>1</sup>Hor: horizonte. <sup>2</sup>Prof: profundidade. <sup>3</sup>Mosq: mosqueado; va: variegado. <sup>4</sup>fr: fraca; mo: moderada; fo: forte; pq: pequena; me: média; gr: grande; bsa: blocos subangulares; gra: granular; gru: grumosa. <sup>5</sup>n: não; lg: ligeiramente; mt: muito; pla: plástica; peg: pegajosa; fri: friável; fi: firme.

O Perfil 1 está localizado no terço médio da paisagem, sob relevo suave ondulado (6% de declividade) e apresenta sequência de horizontes A1 – A2 – AB – Btc1 – Btc2 – Bt3 - CR (Figura 3). Seguindo a classificação de grau ou nitidez e forma de transição entre os horizontes proposta por Santos et al (2015), a transição entre o horizonte A1 e A2, bem como de A2 para AB e de AB para Btc1 foi classificada como clara e gradual, respectivamente. Já a transição entre os demais horizontes foi classificada como clara e ondulada, nesta ordem.



**Figura 2.** Perfil 1 (ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abruptico) e seus respectivos horizontes.

Neste perfil, as cores do solo úmido variaram de 7,5YR, passando por 5YR até o 2,5YR, ou seja, conforme a profundidade foi aumentando o solo foi passando de uma cor mais amarelada para uma mais avermelhada. Sendo assim, este solo possui uma variação no teor e tipo de óxidos de ferro em seus horizontes, onde nos três primeiros horizontes a cor foi classificada como 7,5YR, indicando uma maior presença de goethita ( $\text{FeOOH}$ ), demonstrando uma cor mais amarelada. Já no horizonte Btc1, com cor 5YR, tem-se a ocorrência de uma cor vermelho-amarelada, indicando um equilíbrio entre os óxidos de ferro, que são os principais responsáveis pela coloração dos solos. E nos demais horizontes a cor foi 2,5YR, ou seja, mais avermelhada, indicando uma maior presença de hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Solos com coloração amarelada, além de um maior teor de goethita, indicam que o mesmo se desenvolveu sob condições bioclimáticas úmidas e com menores temperaturas. Entretanto, solos hematíticos, ou seja, com coloração avermelhada, se desenvolveram sob condições de baixa umidade e altas temperaturas (Kampf & Schwertmanns, 1983). O teor destes óxidos no solo é originário do material de origem, sendo assim, tornam-se importantes indicadores de intemperismo no solo (Inda Jr. & Kampf, 2003).

Em relação à estrutura do solo, a mesma se apresentou variando entre fraca e moderada em todos os horizontes, sendo classificada como forte no horizonte CR. O tamanho das estruturas do solo variou entre pequenas e médias, sendo grandes no horizonte Bt3 e CR. Já a forma das estruturas, em todos os horizontes ela foi classificada como blocos subangulares, porém no horizonte A1 ela foi classificada como granular, o que está relacionado ao alto número de raízes e conseqüentemente a valores elevados de carbono orgânico.

Quanto a consistência úmida do solo, a mesma apresenta relação direta com a textura do solo, o que pode ser verificado com o manuseio das amostras a campo. À medida que a profundidade ia aumentando, a consistência do solo ia passando de muito friável para friável, assim como os níveis de plasticidade e pegajosidade iam aumentando. Portanto, a consistência molhada do solo demonstra claramente a sua relação com a textura do solo.

Nos horizontes Btc1, Btc2 e Bt3 foi observada a presença de concreções ferruginosas. No horizonte Btc1 as concreções são extremamente duras, pequenas e esféricas, de coloração avermelhada. Estas concreções compõem cerca de 15% deste horizonte (Figura 4).



**Figura 3.** Concreções ferruginosas do horizonte Btc1.

Já no horizonte Btc2, as concreções são de tamanhos variados, mas sendo sempre maiores que as do horizonte sobrejacente e ocupam mais de 50% deste horizonte (Figura 5).



**Figura 4.** Concreções ferruginosas do horizonte Btc2.



As concreções maiores tem em torno de 10 cm e as menores 4 cm e apresentam estrutura angular. As maiores são duras, mas consegue-se quebrar algumas com as mãos e quando quebradas apresentam coloração amarelada, característica de um material ferruginoso oxidado (Figura 6).



**Figura 5.** Coloração das concreções ferruginosas encontradas no horizonte Btc2.

Já as menores e algumas próximas a 10 cm são extremamente duras, sendo necessário alguma ferramenta para quebra-las. Quando são quebradas, percebe-se uma coloração avermelhada, próxima ao roxo, indicando a presença de um material pobre em CO e rico em Fe, ou Fe e Al (Anjos et al., 2007) (Figura 7).

O Fe existente nessas concreções demonstra ser de origem pedogênica, ou seja, formado *in situ*, através da lixiviação de Fe em solução a partir de posições de maior altitude, por fluxos laterais, (Kämpf & Curi, 2012). Tais características também foram observadas por Santos et al. (2006) e Rosolen et al. (2017), pois os materiais de origem estudados pelos mesmos também possuem baixos teores de Fe. Também, estes autores observaram teores de Fe mais elevados nos horizontes superficiais, indicando que este Fe também é proveniente de áreas com maiores altitudes que tiveram seus solos erodidos.

As concreções do horizonte Bt3 são bem duras, porém, são menores e apresentam a mesma forma e ocorrem em menor quantidade em relação ao horizonte Btc2 (Figura 7).



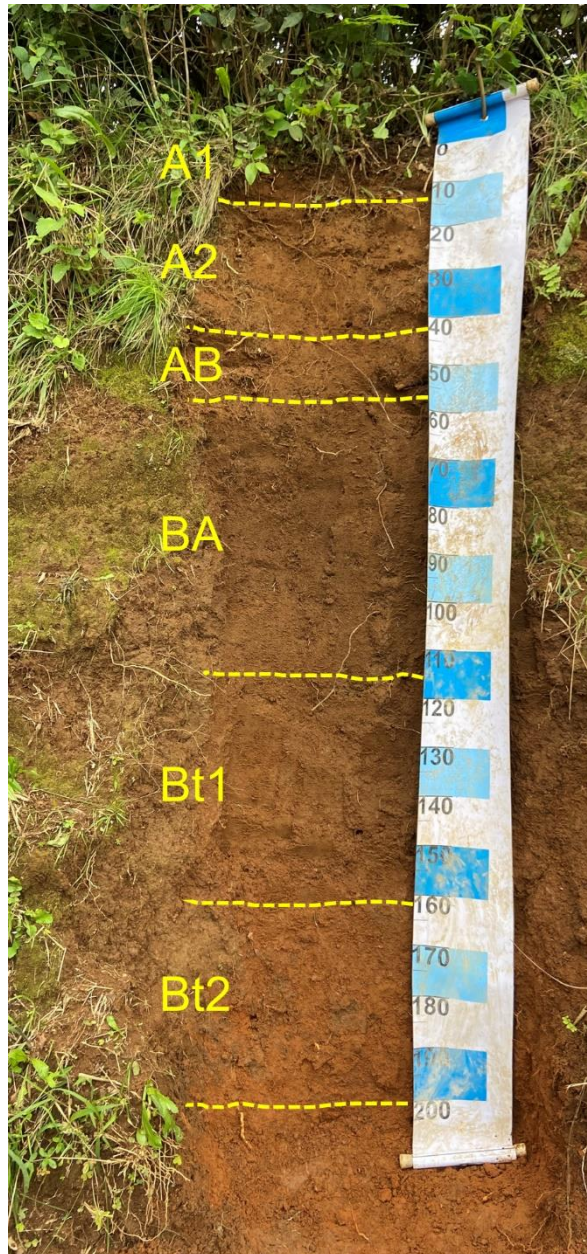
**Figura 6.** Concreções ferruginosas do horizonte Bt3.

Tal característica do horizonte Btc2 remete a um horizonte concrecionário, por ser constituído de mais de 50%, por volume, de material grosseiro (predominantemente petroplintita), nódulos ou concreções de Fe e Al e ter mais de 30 cm de espessura (Santos et al., 2018).

Também foi observada a ocorrência de concreções no horizonte Bt3, mas em pequena proporção, o que acabou não caracterizando o mesmo como horizonte concrecionário.

Já o Perfil 2 localiza-se no terço superior da paisagem, sob relevo suave ondulado (4% de declividade), com sequência de horizontes A1 – A2 – AB – BA – Bt1 – Bt2 (Figura 8).





**Figura 7.** Perfil 2 (ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico abrúptico) e seus respectivos horizontes.

Conforme a classificação de grau ou nitidez e forma de transição entre os horizontes elaborada por Santos et al (2015), a transição entre o horizonte A1 e A2, bem como de AB para BA e de Bt1 para Bt2 foi classificada como clara e plana, nesta ordem. As transições entre os horizontes A2 e AB, e BA e Bt, foram classificadas como gradual e plana. Este perfil teve uma variação de cores do solo úmido entre 7,5YR e 5YR. Com base nas cores verificadas no campo e na localização deste perfil, podemos inferir que o mesmo possui uma maior concentração de goethita em comparação ao P1, pois a coloração em P1 vai ficando mais avermelhada em profundidade, e

neste perfil as cores se mantêm mais uniformes. Também, pode-se verificar isso fazendo uma comparação entre os cromas, e assim perceber que o P1 é mais cromático, ou seja, com cores mais intensas (Santos et al., 2018).

No horizonte BA, o mesmo apresentou cor 7,5YR 3/3, diferindo do horizonte sobrejacente e dos horizontes subjacentes. Tal cor pode estar atrelada a presença de maiores teores de carbono orgânico.

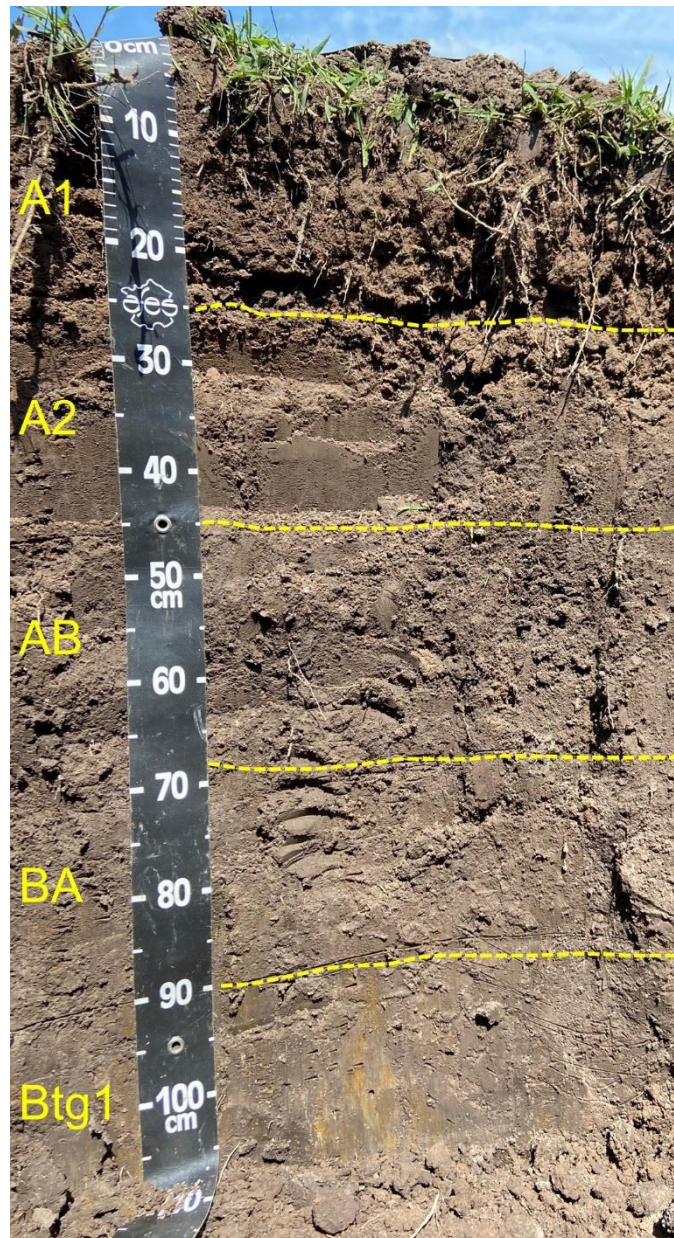
No que se refere a estrutura do solo, a mesma foi classificada como fraca em todos os horizontes, porém no horizonte AB, além de fraca ele apresentou algumas estruturas que foram classificadas como moderada. Em relação ao tamanho das estruturas, nos horizontes A1 e A2 elas foram classificadas como pequenas, mas também foram encontradas estruturas médias, mas em menor quantidade. Já nos demais horizontes elas foram classificadas como de tamanho médio. A forma das estruturas deste perfil, nos horizontes A1 e A2 foram classificadas como granular e nos demais horizontes foi granular e blocos subangulares.

A consistência úmida foi friável em todos os horizontes, exceto o horizonte Bt1 que é muito friável. A plasticidade foi classificada como ligeiramente plástica em todos os horizontes e a pegajosidade variou de ligeiramente pegajoso a muito pegajoso, aumentando de acordo com a profundidade. Tais informações referentes à consistência molhada seguiram de acordo com a textura do solo.

O horizonte BA apresentou características morfológicas que satisfazem aos critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018) para a classificação deste horizonte como de caráter sômbrico. Tal característica foi percebida por se tratar de um horizonte com 57 cm, com drenagem livre e dessaturado, valor e cromas mais baixo que o horizonte sobrejacente e não apresenta características de horizonte espódico, tão pouco de horizonte A enterrado, pois o mesmo aparece de forma contínua na paisagem.

Por fim, o Perfil 3 se encontra no terço inferior da paisagem, sob relevo plano (1% de declividade) e demonstra sequência de horizontes A1 – A2 – AB – BA – Btg1 – Btg2 – BC (Figura 9).





**Figura 8.** Perfil 3 (GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico luvissólico) e seus respectivos horizontes.

De acordo com a classificação de grau ou nitidez e forma de transição entre os horizontes proposta por Santos et al (2015), a transição entre os horizontes A1 e A2, e A2 para AB foi classificada como clara e plana, respectivamente. Já a transição entre os horizontes AB e BA, e BA para Btg1 foi classificada como gradual e plana. Neste perfil, os demais horizontes foram coletados através de tradagens, por isso não houve a classificação dos mesmos quanto ao grau ou nitidez e forma de transição. A cor 10YR foi diagnosticada ao longo de todo o perfil com valores variando entre 3 e 4 e croma, em grande parte do perfil sendo 2. Também, foi verificada a presença

de mosqueados na cor 7,5YR 5/8, o que indica processos de redução com reoxidação localizada do Fe.

A estrutura deste perfil variou de moderada a maciça, sendo o A1, BA e Btg1 moderada e A2 e AB maciça. Em relação ao tamanho das estruturas, as mesmas foram aumentando conforme a profundidade. No horizonte A1 a estrutura é média, em A2 e AB é grande e moderada, e em BA e Btg1 é grande. Já em relação à forma das estruturas, no horizonte A1 foi classificado como blocos subangulares e granular, e nos horizontes A2, AB e BA foi classificado como blocos subangulares. Porém, no horizonte Btg1 a forma da estrutura foi classificada como prismática, indicando assim argila de atividade alta e presença de argilominerais 2:1, devido às características do local onde o perfil está inserido, bem como dos ciclos de umedecimento e secagem que o mesmo está sujeito (Capeche, 2008).

Já em relação à consistência úmida, a mesma foi friável em todos os horizontes. No que se refere a plasticidade, a mesma variou entre ligeiramente plástica e plástica, sendo esta última de ocorrência nos horizontes Btg1 e Btg2. Por fim, a pegajosidade foi classificada como ligeiramente pegajosa em todos os horizontes, menos no Btg1, que foi classificado como pegajosa. Assim como os demais perfis, a consistência molhada deste perfil teve estreita relação com a textura do solo.

No horizonte Btg1 percebeu-se a ocorrência de superfícies de fricção (*slickensides*), que nada mais são do que superfícies alisadas e lustrosas que formam estrias nas estruturas do solo, devido ao deslizamento e atrito da massa do solo de acordo com a expansão do material argiloso quando umedecido (Santos et al., 2018).

Por fim, o Perfil 1, por apresentar concreções ferruginosas e ter uma característica bastante particular para a região de estudo, despertou o interesse na verificação da sua distribuição em outros locais da região. Após a classificação dos três perfis e uma nova saída de campo, verificou-se que a presença das concreções ocorre em locais com características específicas, tais como: altitude em torno dos 30 metros, material origem formado por depósitos eluviais a colúviais e posição na paisagem no terço médio da encosta. A localização do Perfil de verificação de ocorrência das concreções, ficou entre o Perfil 2 e o Perfil 3 (Figura 3, Figura 11).





**Figura 9.** Perfil de verificação da ocorrência de concreções ferruginosa

## 6.2. Caracterização física dos solos

Os resultados da análise granulométrica dos perfis estudados estão apresentados na Tabela 2. Observa-se um incremento expressivo de argila em profundidade no P1 e no P2, indo ao encontro ao observado no campo. Já no P3, a variação no conteúdo de argila foi bem baixa, não havendo diferenciação entre os horizontes que pudesse culminar numa característica marcante para a classificação de solos. Nos três perfis em estudo, na maioria dos horizontes, tem-se a presença de altos teores de areia total e silte, demonstrando as características dos materiais de origem destes solos.

No Perfil 1 pode-se observar um aumento significativo de argila do horizonte AB (franco arenoso) para o Btc1 (argila), partindo de 19% para 47%.

Conforme a Tabela 2, a relação silte/argila no horizonte B deste perfil foi de 0,48, ou seja, apresentou alto grau de intemperismo, pois a relação é menor que 0,6 (Santos et al., 2018).

Tabela 2. Propriedades físicas dos perfis de solo.

Hor.	Prof. Cm	Cascalho	AT <sup>1</sup>	AG <sup>2</sup>	AF <sup>3</sup>	Silte	Argila	AN <sup>4</sup>	GF <sup>5</sup>	Silte/Argila	VU <sup>6</sup>
..... % .....											
<b>Perfil 1 - ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abruptico</b>											
<b>A1</b>	0-6	0	48	19	29	30	22	7,7	64,7	1,41	0,09
<b>A2</b>	6-28	0	61	21	40	21	18	2,5	85,7	1,22	-0,10
<b>AB</b>	28-60	0	57	18	39	24	19	3,8	80,0	1,27	-0,12
<b>Btc1</b>	60-96/120	15	34	11	23	19	47	11,7	75,0	0,42	-0,10
<b>Btc2</b>	96/120-135/140	50	29	9	20	19	52	22,2	57,3	0,36	0,55
<b>Bt3</b>	135/140-190/195	10	43	17	26	23	34	21,8	36,8	0,65	-0,28
<b>CR</b>	190/195-220+	0	33	15	18	38	29	16,6	43,6	1,30	-
<b>Perfil 2 - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico abruptico</b>											
<b>A1</b>	0-14	0	53	22	31	25	22	5,09	76,53	1,16	-0,22
<b>A2</b>	14-42	0	46	16	30	23	31	10,22	66,61	0,75	0,16
<b>AB</b>	42-58	0	50	19	31	23	27	6,36	76,24	0,86	0,02
<b>BA</b>	58-115	0	52	19	32	22	26	10,16	60,16	0,88	-0,24
<b>Bt1</b>	115-162	0	33	11	21	20	46	15,51	66,54	0,43	0,01
<b>Bt2</b>	162-200+	0	33	11	21	21	46	10,88	76,52	0,44	-

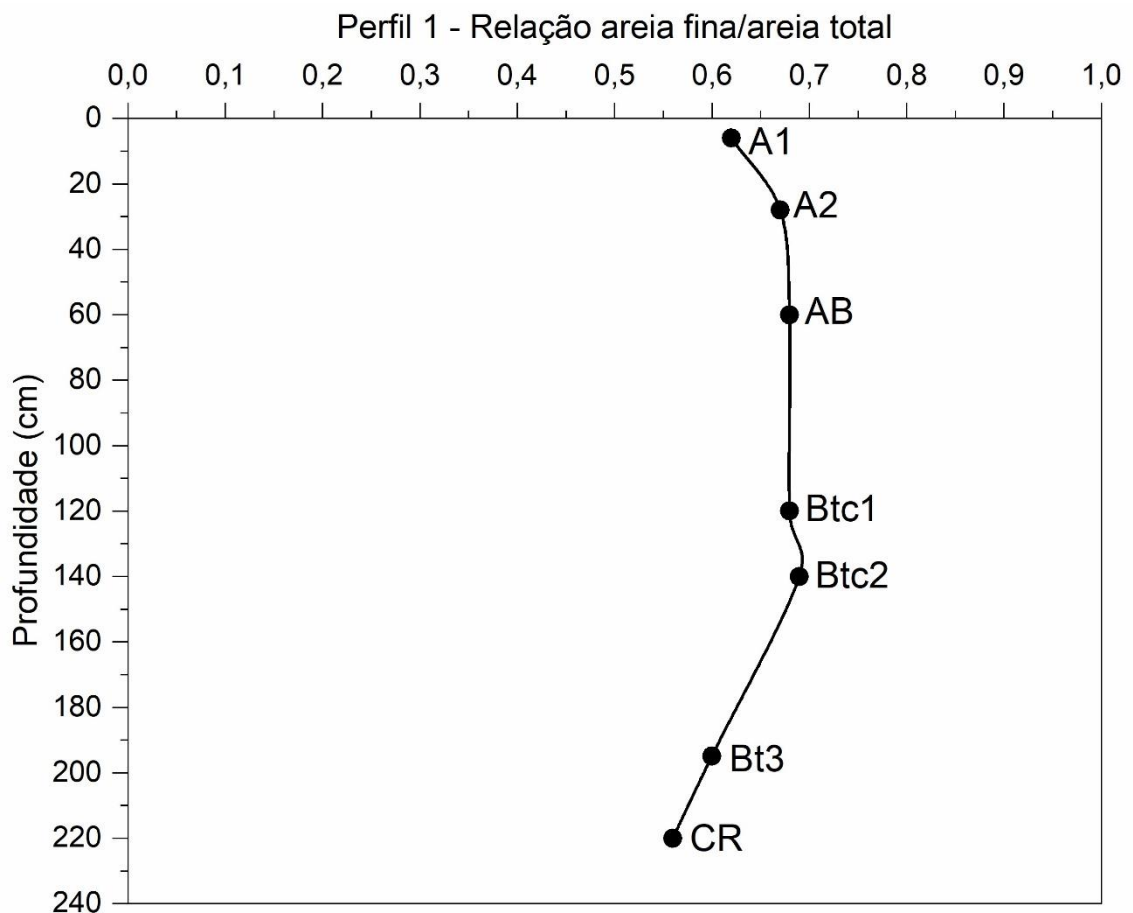
<sup>1</sup>Areia total; <sup>2</sup>Areia grossa; <sup>3</sup>Areia fina; <sup>4</sup>Argila Natural; <sup>5</sup>Grau de flocação:  $([Argila-Argila\ Natural]/[Argila]*100)$ ; <sup>6</sup>Valor de uniformidade:  $\{[(Silte+AF)/(AT-AF)]_{HORIZONTE\ SOBREJACENTE} / [(Silte+AF)/(AT-AF)]_{HORIZONTE\ SUBJACENTE} - 1,0\}$ ;

## Continuação...

Hor.	Prof. cm	Cascalho	AT <sup>1</sup>	AG <sup>2</sup>	AF <sup>3</sup>	Silte	Argila	AN <sup>4</sup>	GF <sup>5</sup>	Silte/Argila	VU <sup>6</sup>
..... % .....											
<b>Perfil 3 - GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico luvisólico</b>											
<b>A1</b>	0-6	2	54	27	27	37	9	5,2	49,8	4,10	-0,20
<b>A2</b>	6-28	1	50	23	27	41	9	5,1	50,1	4,49	0,24
<b>AB</b>	28-60	1	52	27	25	38	10	6,4	50,0	3,67	-0,03
<b>BA</b>	60-96/120	1	49	25	24	36	15	10,3	38,6	2,32	-0,06
<b>Btg1</b>	96/120-135/140	3	44	22	22	35	21	15,5	24,8	1,17	0,05
<b>Btg2</b>	135/140-190/195	3	47	24	23	35	18	14,2	15,5	1,94	-0,14
<b>BC</b>	190/195-220+	2	46	24	22	45	9	14,1	14,1	5,00	-

<sup>1</sup>Areia total; <sup>2</sup>Areia grossa; <sup>3</sup>Areia fina; <sup>4</sup>Argila Natural; <sup>5</sup>Grau de flocculação: (Argila-Argila Natural/Argila); <sup>6</sup>Valor de uniformidade:  $\{[(\text{Silte}+\text{AF})/(\text{AT}-\text{AF})]_{\text{HORIZONTE SOBREJACENTE}} / [(\text{Silte}+\text{AF})/(\text{AT}-\text{AF})]_{\text{HORIZONTE SUBJACENTE}} - 1,0\}$ ;

Conforme Bortoluzzi et al. (2008), a relação entre areia fina/areia total (Figura 12), bem como o Valor de Uniformidade (VU) (Tabela 2), são indicadores de descontinuidade litológica, ou seja, indicam se o solo em estudo se desenvolveu a partir de um mesmo material de origem ou se a sua composição apresenta materiais depositados de outros locais. Sendo assim, este perfil apresentou valor médio de relação areia fina/areia total de 0,64 e variou menos de 0,10 entre os horizontes sobrejacentes e subjacentes. O VU variou de -0,28 a 0,55, ficando abaixo do valor mínimo de 0,6, que é classificado por Schaetzl (1998) como valor mínimo para descontinuidade litológica. Sendo assim, este perfil não apresenta evidências de descontinuidade litológica.



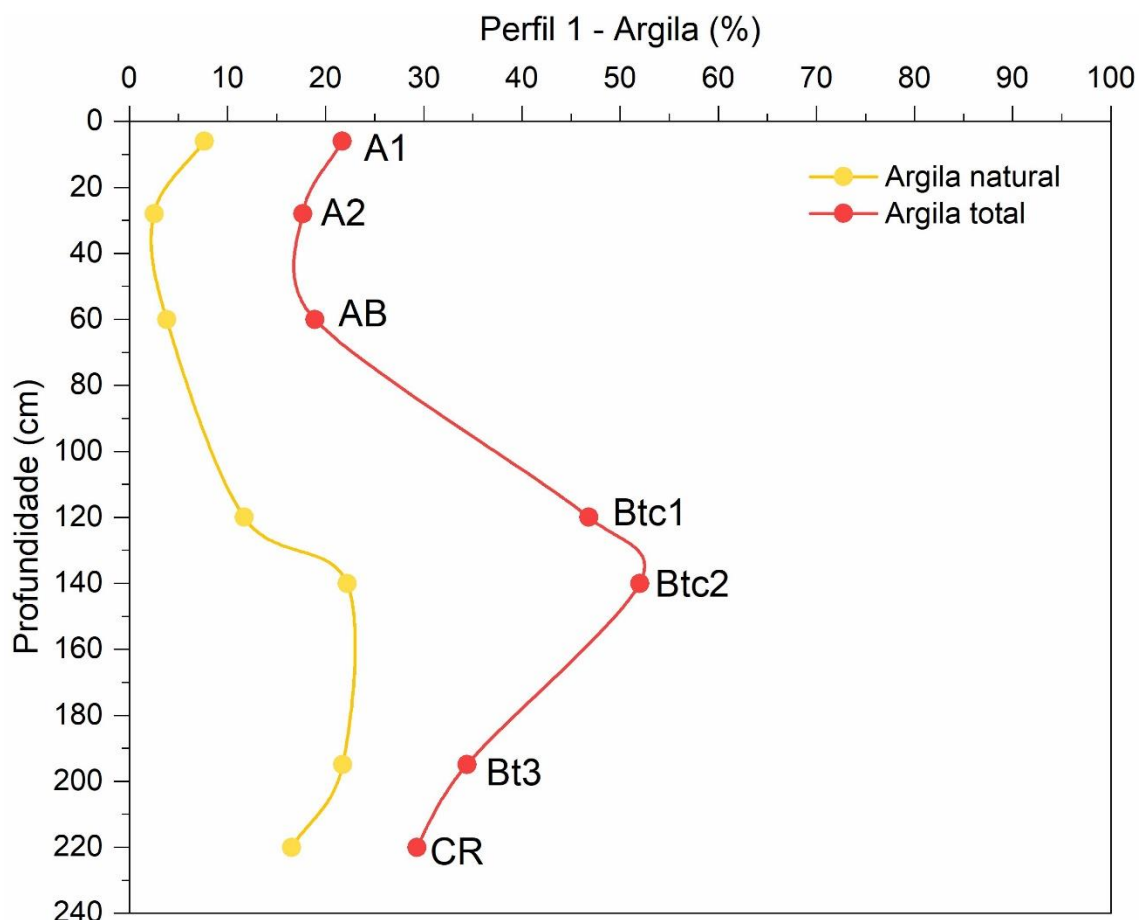
**Figura 10.** Relação areia fina/areia total do perfil 1.

Os valores de Grau de Floculação (GF), indicados na Tabela 2, demonstram-se elevados para os cinco primeiros horizontes, apresentando valores menores nos horizontes Bt3 e CR. Já os valores de argila natural e grau de dispersão aumentam em profundidade. O GF elevado se refere a



capacidade das partículas de argila se unirem e formarem microaregados, ou seja, de se unirem através de forças de atração. Conforme Santos et al. (2010), menores teores de GF no horizonte superficial contribui para a remoção seletiva das argilas através da translocação das mesmas, contribuindo para a formação do horizonte Bt.

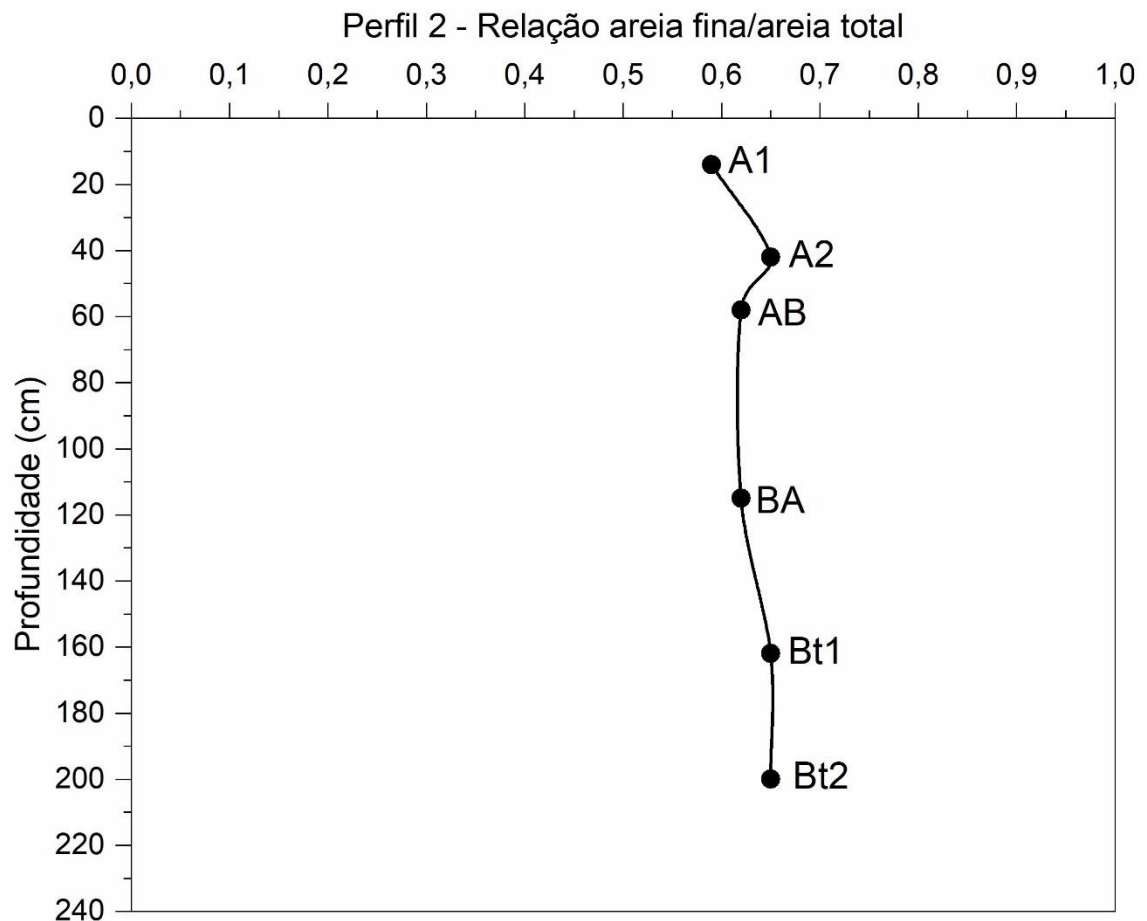
Também, os altos valores de GF que ocorrem nos cinco primeiros horizontes podem estar relacionados com altos valores de cátions trivalentes e divalentes ou com o Ponto de Carga Zero (PCZ), onde o pH do solo está próximo ao seu PCZ (Meurer, 2017). O valor de PCZ próximo ao pH do solo indica que as cargas negativas e positivas do solo apresentam valores próximos, ou seja, indicando uma condição mais propícia para a floculação (Fontes et al., 2001). Almeida Neto et al. (2009) indicam que, a partir dos valores de AN pode-se inferir sobre o grau de estruturação do solo, onde solos com maior GF apresentam-se mais estruturados (Figura 13). Sendo assim, solos mais intemperizados, por apresentar maior GF, podem apresentar estrutura mais forte.



**Figura 11.** Valores de argila natural e argila total no perfil 1.

Já no Perfil 2, também houve a presença de horizonte B textural, com mudança textural abrupta, saindo de 26% do horizonte BA para 46% do horizonte Bt1. Portanto, este perfil também foi classificado como Argissolo. A relação silte/argila do horizonte B neste perfil foi de 0,59, pode ser indicativo de alto grau de intemperismo.

Neste perfil, o valor médio da relação areia fina/areia total foi de 0,63 e variou menos que 0,10 entre o horizonte subjacente e o horizonte sobrejacente. O VU variou de -0,24 a 0,16, ficando abaixo do valor de 0,6. Sendo assim, este perfil também não apresenta descontinuidade litológica (Figura 14).

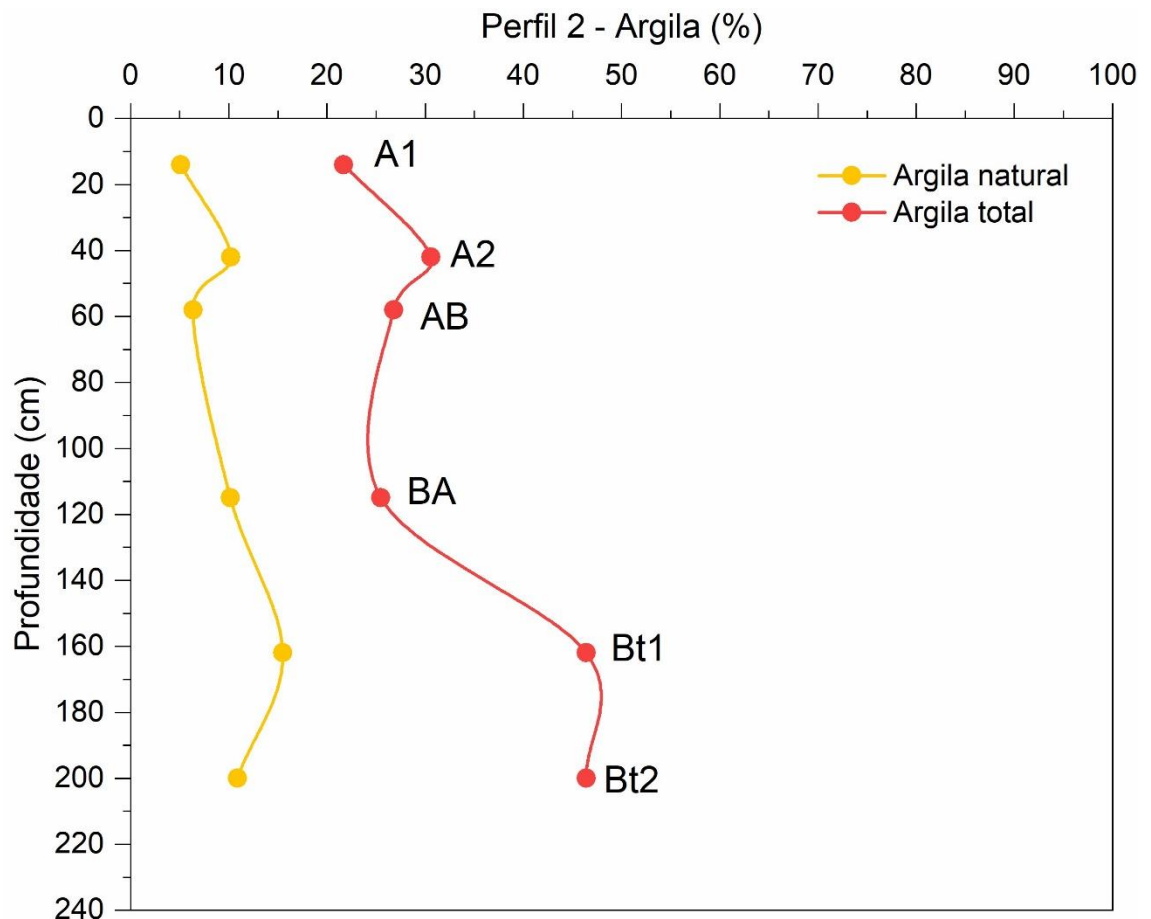


**Figura 12.** Relação areia fina/areia total do Perfil 2.

Por se tratar de um Argissolo, esperava-se que este perfil apresentasse valores discrepantes de GF quando comparados os horizontes A e B, porém, isso não foi verificado, pois o GF variou entre 60,16 e 76,53% ao longo do perfil. Sendo assim, por apresentar características morfológicas de um

perfil bastante intemperizado, pode-se inferir que os valores de GF foram pouco variáveis devido a altos valores de  $Al^{3+}$  e CO, bem como de óxidos (Reichert e Norton, 2005; Hillel, 2003).

Desta maneira, este perfil apresentou valores de AN pouco discrepantes, variando de 5,09% no horizonte A1 e 15,51% no horizonte Bt1. O valor mais baixo de AN no horizonte A1 se deve ao fato de que este horizonte é o que mais tem CO, devido à alta presença de raízes, e através disso, combinado com os teores mais elevados de GF do perfil e o menor teor de argila, é o horizonte mais estável entre todos, ou seja, pouco susceptível a processos erosivos (Demattê et al., 1996) (Figura 15).



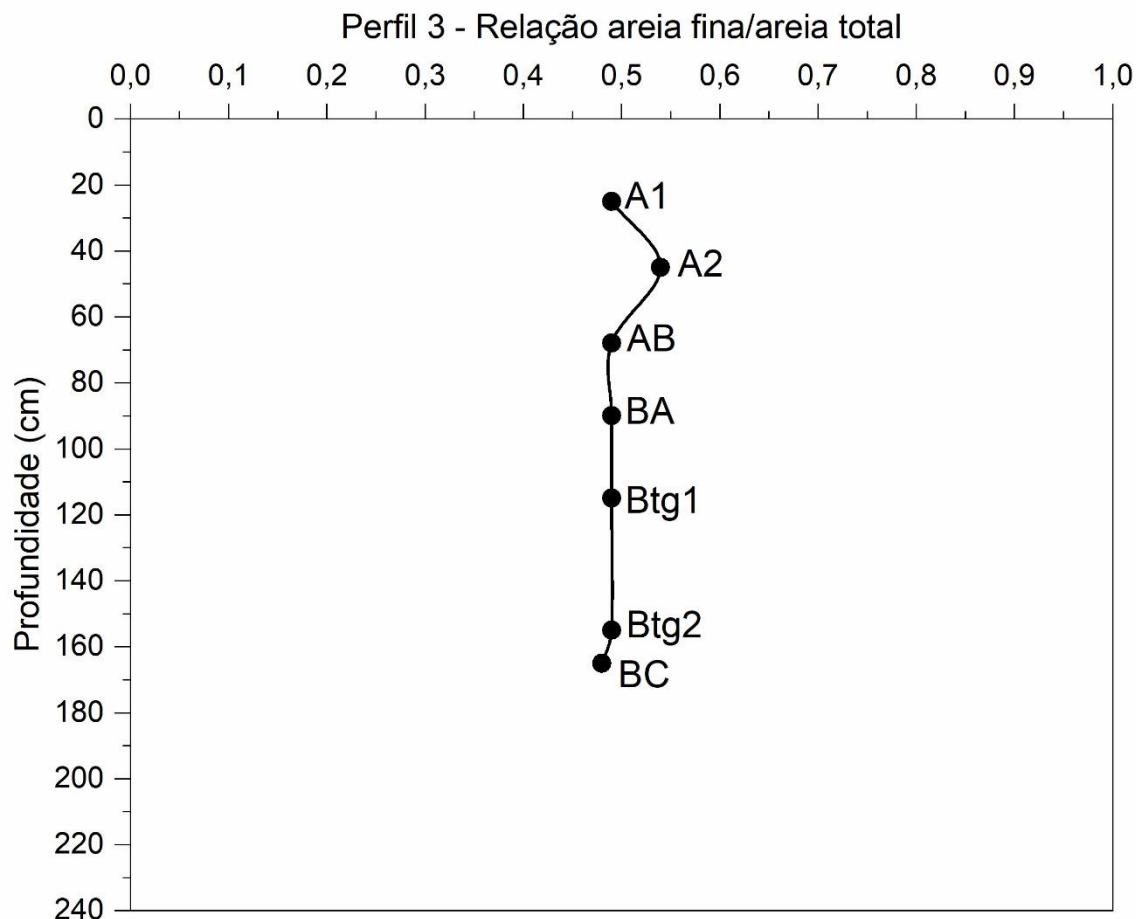
**Figura 13.** Relação argila natural/argila total do Perfil 2.

Diferente dos demais perfis, o Perfil 3 possui características distintas, pois o mesmo encontra-se em um ambiente hidromórfico. Entretanto, mesmo estando inserido em um ambiente sujeito a alagamentos durante boa parte do ano, não apresentou horizonte B plânico. Sendo assim, este perfil possui horizontes com cor, valor e croma que podem ser enquadrados como

horizonte glei, sendo característico dos Gleissolos, por isso, este solo foi classificado como tal.

Neste perfil, a relação silte/argila no horizonte B foi de 2,73, ou seja, superior a 0,7, demonstrando assim que este perfil é pouco intemperizado.

O valor médio da relação areia fina/areia total foi 0,50 e variou menos que 0,10 entre o horizonte subjacente e o horizonte sobrejacente. Já o VU apresentou valor mínimo de -0,20 e máximo de 0,24, também ficando abaixo do valor de 0,6 (Figura 16). Portanto, este perfil também não apresenta descontinuidade litológica.

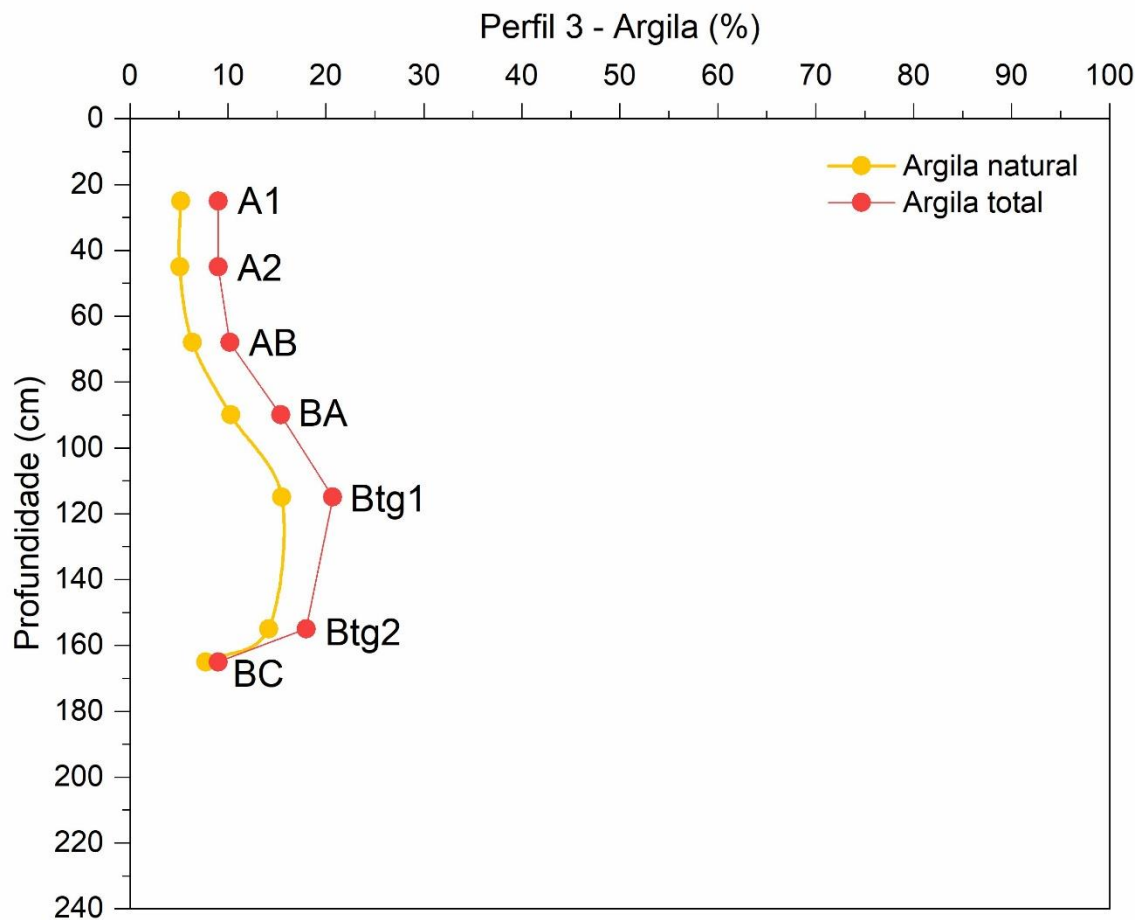


**Figura 14.** Relação areia fina/areia total do Perfil 3.

Em relação ao GF, o mesmo foi diminuindo em profundidade. Tal fato pode estar ocorrendo devido as características do local de ocorrência deste perfil, pois o mesmo se encontra em uma área de depósito, onde recebe materiais de áreas de cotas mais elevadas. Sendo assim, pode-se inferir que esta diminuição em profundidade do GF esteja atrelada a maior presença em

profundidade de cátions monovalentes com propriedades dispersantes, tal como o  $\text{Na}^+$ , bem como a oxirredução do Fe para  $\text{Fe}^{2+}$ , o que ocasiona na dispersão das argilas e a desestabilização dos agregados do solo (Lepsch et al., 1977).

Os maiores valores de AN foram encontrados nos horizontes Btg1 e Btg2, indo ao encontro da premissa de que horizontes com maior teor de argila tem maiores valores de AN (Figura 17).



**Figura 15.** Relação argila natural/argila total do Perfil 3.

### **6.3. Caracterização química dos solos**

Na Tabela 3, são apresentadas as características químicas dos perfis estudados. Por se tratar de um estudo relacionado a gênese e classificação de solos, os resultados da atividade da fração argila, carbono orgânico, porcentagem de saturação por alumínio, porcentagem de sódio trocável e saturação por base, são interpretados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018).

**Tabela 3.** Propriedades químicas dos perfis de solo.

Hor.	pH		Complexo sortivo								Enxofre	Fósforo		C org <sup>4</sup> g kg <sup>-1</sup>	m <sup>5</sup> .....%.....	PST <sup>6</sup>	V <sup>7</sup>
	H <sub>2</sub> O	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SB <sup>1</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	T <sup>2</sup>	ATA <sup>3</sup>	S	P				
			..... cmolc kg <sup>-1</sup> .....								.....mg dm <sup>-3</sup> .....						
<b>Perfil 1 – ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abruptico</b>																	
A1	5,4	4,5	3,8	2,9	0,08	0,09	6,9	0,2	3,30	10,2	46,9	7,9	6,0	11,6	3	1,1	64
A2	4,9	4,2	1,1	0,8	0,05	0,04	2,0	0,9	3,63	5,6	31,8	7,8	0,8	7,0	31	1,7	32
AB	4,9	4,1	0,9	0,6	0,05	0,04	1,6	1,5	4,70	6,3	33,2	5,1	0,6	9,4	48	1,6	22
Btc1	4,8	4,0	1,7	1,1	0,06	0,04	2,1	3,3	7,35	10,3	21,9	6,9	0,6	8,7	61	1,1	25
Btc2	5,1	4,0	1,5	1,3	0,06	0,03	2,9	3,3	7,01	9,9	19,0	6,1	0,3	5,2	53	1,0	26
Bt3	5,2	4,0	0,9	1,0	0,05	0,03	2,0	2,3	4,26	6,2	18,1	4,9	0,4	2,9	54	1,2	28
CR	5,1	4,0	0,9	1,2	0,05	0,03	2,2	2,6	3,15	5,3	18,2	4,7	0,6	1,2	54	1,0	37
<b>Perfil 2 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico abruptico</b>																	
A1	4,9	4,1	1,9	1,8	0,07	0,14	3,91	0,9	5,51	9,4	43,4	5,8	14,0	15,1	19	1,5	37
A2	4,7	3,9	0,5	0,6	0,04	0,04	1,18	2,5	6,44	7,6	24,9	6,7	0,9	7,5	68	1,1	13
AB	4,6	3,8	0,5	0,4	0,04	0,04	0,98	2,7	5,96	6,9	25,9	7,0	3,3	6,4	73	1,1	12
BA	4,5	3,9	0,4	0,3	0,04	0,02	0,76	3,0	5,81	6,6	25,7	6,6	0,3	5,8	80	1,1	10
Bt1	4,6	3,8	0,6	0,6	0,04	0,03	1,27	4,8	7,76	9,0	19,5	11,0	0,2	5,8	79	0,7	12
Bt2	4,6	3,9	0,5	0,8	0,03	0,03	1,36	4,2	6,62	8,0	17,2	32,0	1,5	3,5	75	0,5	15

<sup>1</sup>S: soma das bases; <sup>2</sup>CTCef: capacidade de troca de cátions efetiva (média: 5,1-15,0; baixa: ≤ 5,0); <sup>3</sup>CTC<sub>pH7</sub>: capacidade de troca de cátions a pH 7; <sup>4</sup>ATA: atividade da fração argila (alta: ≥ 27, baixa: < 27); <sup>5</sup>C org.: carbono orgânico; <sup>6</sup>m: saturação por alumínio; <sup>7</sup>PST: porcentagem de sódio trocável; <sup>8</sup>V: saturação por bases (eutrófico: ≥ 50; distrófico: < 50).

## Continuação...

Hor.	pH		Complexo sortivo								Enxofre	Fósforo		m <sup>5</sup>	PST <sup>6</sup>	V <sup>7</sup>	
	H <sub>2</sub> O	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SB <sup>1</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	T <sup>2</sup>	ATA <sup>3</sup>	S	P				C org <sup>4</sup>
			..... cmolc kg <sup>-1</sup> .....								.....mg dm <sup>-3</sup> .....		g kg <sup>-1</sup>				
<b>Perfil 3 – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico Iuvissólico</b>																	
<b>A1</b>	5,0	4,0	1,6	0,6	0,06	0,04	2,3	1,2	2,85	5,7	63,2	4,0	2,3	5,7	34	1,1	40
<b>A2</b>	5,0	3,9	1,9	0,6	0,08	0,03	2,6	0,8	3,00	6,2	68,8	2,9	1,4	4,0	23	1,3	42
<b>AB</b>	5,1	3,9	2,4	1,1	0,09	0,02	3,6	0,9	3,39	7,7	75,0	3,1	0,7	4,1	20	1,2	47
<b>BA</b>	5,3	3,9	4,0	2,2	0,19	0,02	6,4	0,9	3,77	10,9	70,8	3,7	0,5	4,1	12	1,7	59
<b>Btg1</b>	5,7	3,9	7,2	4,3	0,32	0,04	11,9	0,1	3,05	15,5	74,8	3,1	0,7	0,1	1	2,1	77
<b>Btg2</b>	5,6	4,0	6,1	3,7	0,30	0,03	10,1	0,1	2,43	13,0	72,4	1,8	0,3	0,1	1	2,3	78
<b>BC</b>	6,0	4,2	8,4	5,4	0,38	0,03	14,2	0	1,14	15,6	172,9	2,2	0,2	0	0	2,4	91

<sup>1</sup>S: soma das bases; <sup>2</sup>CTCef: capacidade de troca de cátions efetiva (média: 5,1-15,0; baixa: ≤ 5,0); <sup>3</sup>CTC<sub>pH7</sub>: capacidade de troca de cátions a pH 7; <sup>4</sup>ATA: atividade da fração argila (alta: ≥ 27, baixa: < 27); <sup>5</sup>C org.: carbono orgânico; <sup>6</sup>m: saturação por alumínio; <sup>7</sup>PST: porcentagem de sódio trocável; <sup>8</sup>V: saturação por bases (eutrófico: ≥ 50; distrófico: < 50).



No Perfil 1, o pH em água nos horizontes A, Btc2, Bt3 e CR foi classificado como de acidez média e os demais horizontes como de acidez elevada. Os valores de pH em KCl foram menores que 5 em todos os horizontes. Com isso, a partir do cálculo do  $\Delta\text{pH}$  ( $\text{pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$ ) o valor encontrado foi negativo em todos os horizontes. Sendo assim, este perfil não apresenta caráter ácrico, pois há o predomínio de cargas negativas na sua composição.

Solos ácidos, com pH menor que 5,5 são conhecidos por apresentarem teores de alumínio tóxico para as plantas, fazendo com que as mesmas não expressem o seu máximo potencial produtivo. Conforme mencionado por Kisnieriené & Lapeikaité (2015), a concentração de alumínio e a sua forma no solo está diretamente relacionada com o pH e com as propriedades que compõem o solo. Estes autores ainda comentam que conforme o pH do solo vai baixando, as formas do alumínio no solo vão se modificando para formas mais tóxicas as plantas. Entretanto, em solos com acidez muito elevada (pH em água menor que 4,3), o alumínio trivalente ( $\text{Al}^{3+}$ ) é o que está mais presente no solo (Nogueiro et al., 2015). No que se refere a classificação dos solos, este perfil não atendeu aos requisitos mínimos para ser enquadrado como de caráter aluminico, ou seja, não apresentou teor de  $\text{Al}^{3+} \geq 4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ,  $\text{m}\% \geq 50\%$  e/ou saturação por bases (V%) menor que 50% (Santos et al., 2018).

Porém, no horizonte diagnóstico desta classe de solo (horizonte Bt), os valores de saturação por bases (V%) ficaram abaixo de 50%, indicando assim que este solo apresenta caráter distrófico.

No Perfil 2, o pH em água foi diminuindo de acordo com a profundidade do solo, partindo de 4,9 do horizonte A1 indo até 4,6 no horizonte Bt2. Porém, no horizonte BA, o pH em água foi de 4,5, onde o mesmo apresentou cor 7,5YR 3/3 na descrição morfológica. A cor escurecida do horizonte BA em relação aos demais horizontes não foi explicada por um maior teor de carbono orgânico, visto que seu valor é igual ao horizonte subjacente e menor que o horizonte sobrejacente. Entretanto, tal cor pode estar relacionada a complexos organo-metálicos que migraram da superfície e se depositaram no topo do horizonte Bt, indicando assim uma migração posterior a formação do horizonte Bt (Almeida, et al., 2009). Também, tal cor pode estar associada a

vegetação e condições climáticas pretéritas, visto que a vegetação que predominava na Terra no passado era as gramíneas e a temperatura era mais fria (Caner, et al., 2003). Também não foi observado a presença de carvões, que poderiam indicar a presença de carbono pirogênico.

Os valores de pH em KCl variaram de 4,1 a 3,8, indicando a predominância de cargas negativas.

Os valores de  $Al^{3+}$  nos horizontes Bt1 e Bt2 aumentaram de acordo com o aumento da profundidade, chegando a valores superiores ao mínimo exigido para ser classificado como de caráter alumínico. Também, os valores de m% e V% foram superiores ao máximo exigido para apresentar tal caráter.

Para o Perfil 3, os valores de pH em água aumentaram de acordo com a profundidade, variando de 5,0 no horizonte A1 para 6,0 no horizonte BC. Já o pH em KCl teve pouca variação, entre 4,2 e 4,0. Portanto, este solo apresenta predominância de cargas negativas, assim como os demais perfis.

Este perfil apresentou argila de atividade alta, com valores aumentando de acordo com a profundidade, indicando assim um menor grau de intemperismo. Este fato está atrelado a posição da paisagem onde o perfil se encontra e isso também tem influência no que se refere ao aumento das bases do solo em profundidade. Desta maneira, pode-se inferir que os teores e a distribuição dos cátions no perfil do solo têm influência do relevo, o que é evidenciado pela posição da paisagem onde o mesmo se encontra, posição esta que recebe o aporte de cátions solúveis em água advindos de posições de cotas mais altas (Montanari et al., 2010).

Já em relação a saturação por bases deste perfil, o mesmo foi classificado como eutrófico, pois apresentou valores superiores a 50% no horizonte B (Santos et al., 2018).

#### **6.4. Fluorescência de raios x**

Na Tabela 4, podem ser verificados os resultados da análise de fluorescência de raios X (FRX). A utilização da técnica de fluorescência de raios x (FRX) consiste na identificação dos elementos químicos presentes em uma amostra e a sua concentração. A análise é baseada na emissão de raios x e a detecção da radiação emitida pelos elementos químicos. Os elementos

possuem características específicas de absorção de energia, por isso pode-se fazer a identificação e a quantificação dos mesmos (Beckhoff, 2006).

A utilização da técnica de FRX teve o intuito de quantificar de maneira mais precisa os teores totais dos elementos no solo, bem como reduzir os riscos à saúde provocados pela análise do ataque sulfúrico. Sendo assim, os resultados da análise de FRX, quando comparada ao ataque sulfúrico, são maiores, pois a análise de FRX é baseada na reflexão dos raios desse comprimento de onda na superfície das partículas, enquanto os extratores químicos utilizados na análise do ataque sulfúrico possuem limitações e acabam não quantificando os teores totais. Como exemplo disso, os solos arenosos apresentam teores de silício elevados e sendo superiores no FRX, quando comparado ao ataque sulfúrico, pois a análise de FRX consegue fazer a leitura do quartzo e o ataque sulfúrico não consegue dissolvê-lo.

Os Perfis 1 e 2 apresentam características semelhantes, visto que se trata de dois Argissolos. Os teores de  $\text{SiO}_2$  diminuem em profundidade, assim como  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ , demonstrando a lixiviação das bases do solo e o avançado estágio de intemperismo. Em relação ao  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , os mesmos aumentam em profundidade e tem estreita relação com o teor de argila. Entretanto, o Perfil 1, no horizonte Btc2, apresenta altos teores de Fe e baixos teores de Si e Al, muito diferente do material de origem, reforçando o caráter pedogênico dessas concreções.

Assim como os Perfis 1 e 2, o Perfil 3 apresentou diminuição nos teores de  $\text{SiO}_2$  em profundidade. Entretanto, os teores de  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  aumentaram em profundidade, corroborando com os resultados das análises químicas, ou seja, demonstrando que o Perfil 3 está localizado em uma área de deposição, que recebe materiais erodidos de áreas de maiores altitudes, os quais infiltram no solo e se concentram nas camadas mais profundas.

Os valores de MnO foram baixos em todos os perfis, demonstrando baixa concentração deste elemento no material de origem. Já o teor de  $\text{TiO}_2$  foi alto em todos os horizontes dos Perfis 1 e 2, confirmando as demais informações indicativas de alto grau de intemperismo. Porém, o Perfil 3 também possui valores elevados de  $\text{TiO}_2$  e isso pode ser explicado através da posição

que o perfil está inserido na paisagem, ou seja, os sedimentos que não depositados nestas áreas são compostos também por  $TiO_2$ .

O  $K_i$ , é um indicativo do grau de intemperismo dos solos e o mesmo é calculado a partir dos resultados de  $SiO_2$  e  $Al_2O_3$  extraídos por ataque sulfúrico (Teixeira et al., 2017). Porém, com base nos resultados do valor de  $K_i$ , calculado a partir dos teores de  $SiO_2$  e  $Al_2O_3$  analisados por FRX, os Perfis 1 e 2 apresentam resultados similares aos encontrados por Santos et al., (2010), demonstrando uma diminuição destes valores em profundidade, indicando assim um maior grau de intemperização dos solos. Já no Perfil 3 apresenta valores muito superiores aos encontrados nos demais perfis, pois o mesmo está em uma posição da paisagem de intemperização mais lenta, com lixiviação limitada (Santos et al., 2010).

**Tabela 4.** Composição química dos perfis determinados por fluorescência de raios x.

Horizonte	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Ki <sup>1</sup>	Kr <sup>2</sup>
	----- g kg <sup>-1</sup> -----									
<b>Perfil 1 – ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abrupto</b>										
<b>A1</b>	566,4	50,3	80,1	14,3	24,1	2,8	0,3	9,8	12,0	8,6
<b>A2</b>	592,9	40,3	84,1	11,7	19,6	1,4	0,1	10,2	12,0	9,2
<b>AB</b>	592,1	45,6	82,9	12,3	17,5	1,4	0,1	11,5	12,1	9,0
<b>Btc1</b>	507,2	89,3	121,3	9,5	17,5	2,3	0,3	11,3	7,1	4,8
<b>Btc2</b>	462,0	98,6	111,1	0,0	15,3	2,0	0,1	9,3	7,1	4,5
<b>Bt3</b>	535,5	74,9	101,8	12,0	17,6	2,0	0,1	10,3	8,9	6,1
<b>CR</b>	589,1	55,0	104,1	8,2	15,8	2,9	0,1	12,8	9,6	7,2
<b>Material de Origem</b>	587,6	26,0	144,5	8,2	17,4	1,9	0,1	8,0	6,9	6,2
<b>Concreções Btc2</b>	330,0	335,6	96,0	12,0	19,6	1,7	0,1	7,0	5,8	1,8
<b>Perfil 2 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Ta Alumínico abrupto</b>										
<b>A1</b>	585,2	38,3	89,2	13,7	19,5	1,1	0,4	12,2	11,2	8,8
<b>A2</b>	568,1	46,3	99,9	13,2	18,8	0,5	0,3	12,8	9,7	7,5
<b>AB</b>	574,3	41,9	98,4	12,7	17,2	0,2	0,3	13,2	9,9	7,8
<b>BA</b>	578,4	41,3	103,9	8,0	16,9	0,2	0,1	14,3	9,5	7,6
<b>Bt1</b>	517,3	71,1	129,2	7,5	17,5	1,0	0,3	13,7	6,8	5,0
<b>Bt2</b>	516,4	73,9	138,1	7,5	17,5	1,0	0,3	13,8	6,4	4,7

Ki<sup>1</sup>: relação molar 1,7 x (SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), sendo silício e alumínio determinados por fluorescência; Kr<sup>2</sup>: SiO<sub>2</sub>/0,6[(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/1,02) +(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/1,6)], sendo silício, alumínio e ferro determinados por fluorescência.

**Continuação...**

Horizonte	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	MnO	TiO <sub>2</sub>	Ki <sup>1</sup>	Kr <sup>2</sup>
	----- g kg <sup>-1</sup> -----									
	<b>Perfil 3 – GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico Iuvissólico</b>									
<b>A1</b>	652,1	15,4	52,3	11,7	18,8	1,6	0,1	13,2	21,2	17,8
<b>A2</b>	654,4	14,4	49,5	9,8	18,6	1,4	0,1	13,0	22,5	19,0
<b>AB</b>	675,0	17,0	43,4	13,5	17,4	1,4	0,1	14,2	26,4	21,1
<b>BA</b>	626,1	23,0	52,3	18,8	19,5	1,4	0,1	13,5	20,3	15,9
<b>Btg1</b>	614,1	32,1	62,3	9,2	20,0	1,6	0,1	12,7	16,7	12,6
<b>Btg2</b>	618,6	28,6	57,2	12,3	20,6	1,8	0,1	13,2	18,4	13,9
<b>BC</b>	597,2	40,0	63,1	14,0	18,6	1,9	0,1	12,0	16,1	11,5

Ki<sup>1</sup>: relação molar  $1,7 \times (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ , sendo silício e alumínio determinados por fluorescência; Kr<sup>2</sup>:  $\text{SiO}_2/0,6[(\text{Al}_2\text{O}_3/1,02) + (\text{Fe}_2\text{O}_3/1,6)]$ , sendo silício, alumínio e ferro determinados por fluorescência.

## 6.5. Dissoluções seletivas

Na Tabela 5, podem ser verificados os resultados de Fe e Al extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) e oxalato ácido de amônio (OAA). A extração de Fe por DCB parte do princípio de que ocorrerá a redução do Fe presente nos óxidos pedogênicos de alta e baixa cristalinidade. Já o OAA complexa apenas o Fe nas formas de baixa cristalinidade.

A relação entre os teores de ferro nas formas pedogênicas (Fed) com os teores totais de ferro (FeFRX), podem servir como indicadores da intensidade de intemperismo do solo, ou seja, quanto maior este valor, maior o grau de intemperismo do solo. No Perfil 1, esta relação foi diminuindo em profundidade e voltou a aumentar no horizonte Bt3. O aumento do valor da relação Fed/FeFRX no horizonte Bt3 pode estar atrelada a presença de óxidos de ferro de alta cristalinidade. A relação Feo/Fed foi inferior a 0,1, indicando o predomínio de formas cristalinas (Meyeres et al., 2012). Estas relações são coerentes com a localização do perfil, pois encontram-se no terço médio da encosta e com condições favoráveis a formação de óxidos cristalinos. A relação Feo/Fed também pode ser utilizada com indicativo de regime hídrico, visto que em áreas bem drenadas, o valor da sua relação é baixo, quando comparado a solos de várzea. As concreções ferruginosas do horizonte Btc2 demonstraram um baixo valor da relação Fed/FeFRX, indicando um menor grau de intemperismo em relação aos demais horizontes, bem como o predomínio de minerais primários de ferro na sua composição (Pereira & Anjos, 1999; Santos, et al., 2010). O valor de Feo/Fed foi baixo, devido à baixa concentração de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> extraído por OAA. Entretanto, a concentração de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> extraído por DCB foi muito alta, evidenciando a presença de óxidos pedogênicos de alta cristalinidade.

**Tabela 5.** Valores de óxidos extraídos por ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB) e óxidos extraídos pelo oxalato ácido de amônio (OAA), na fração TFSA dos solos.

Horizonte	DCB		OAA		Feo/Fed <sup>1</sup>	Fed/FeFRX
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
----- g kg <sup>-1</sup> -----						
<b>Perfil 1 – ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abruptico</b>						
<b>A1/A2</b>	11,5	29,7	1,0	1,9	0,06	0,66
<b>Btc1</b>	-	32,1	2,1	1,6	0,05	0,36
<b>Btc2</b>	12,7	32,4	1,9	1,5	0,05	0,33
<b>Bt3</b>	6,3	32,8	0,9	0,9	0,03	0,44
<b>Material de origem</b>	-	10,5	0,6	0,8	0,08	0,40
<b>Concreções Btc2</b>	-	66,5	0,7	0,6	0,01	0,20
<b>Perfil 2 – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico abruptico</b>						
<b>A1/A2</b>	6,1	33,8	0,9	0,7	0,02	0,80
<b>BA</b>	8,1	25,8	1,3	1,2	0,05	0,62
<b>Bt1</b>	-	38,9	1,3	0,7	0,02	0,55
<b>Bt2</b>	8,6	43,0	1,4	1,2	0,03	0,58
<b>Perfil 3 - GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico luvissólico</b>						
<b>A1/A2</b>	-	4,1	0,6	1,5	0,37	0,28
<b>AB</b>	-	4,7	0,8	1,3	0,29	0,27
<b>BA</b>	-	6,1	0,4	1,4	0,23	0,26
<b>Btg2</b>	-	8,4	0,3	1,2	0,14	0,30

<sup>1</sup>Ferro extraído por oxalato ácido de amônio/Ferro extraído por DCB. <sup>2</sup>Alumínio extraído por oxalato ácido de amônio/Alumínio extraído por DCB.



O Perfil 2 apresentou valores altos da relação Fed/FeFRX, sendo superior ao do Perfil 1, bem como valores da relação Feo/Fed inferiores a 0,1. Os resultados de Fed/FeFRX já eram esperados, pois a posição na paisagem onde o Perfil 2 está inserido, juntamente com as características morfológicas, físicas e químicas, evidenciam que este perfil é altamente intemperizado.

Já o Perfil 3, no geral, apresentou os menores valores da relação Fed/FeFRX, diminuindo em profundidade. Estes baixos valores indicam menor grau de intemperismo em relação aos demais perfis. Conforme Costa & Bigham (2009), em ambientes mal drenados, ocorre uma rápida oxidação do  $Fe^{2+}$  a  $Fe^{3+}$ , favorecendo a formação de óxidos de baixa cristalinidade. Sendo assim, valores mais elevados de Feo/Fed demonstram uma maior participação destes óxidos, indicando um ambiente com condições redutoras e adequadas para ao processo pedogenético de gleização. Entretanto, no horizonte Btg2 o valor de Fed/FeFRX aumentou e o Feo/Fed diminuiu, assim, pode-se inferir que houve uma maior participação de formas cristalinas de óxidos de ferro, ficando evidente pela presença de mosqueados. Desta maneira, Duarte et al. (2000) verificaram que solos com drenagem deficiente apresentam em seus mosqueados minerais de ferro com cristalinidade superior aos encontrados na matriz do solo.

De maneira geral, os maiores valores de Feo foram encontrados nos horizontes superficiais, onde o teor de carbono orgânico é maior. Também, a posição na paisagem onde o solo está inserido, bem como a classe textural, pode estar favorecendo o acúmulo de material orgânico e assim contribuindo para a ocorrência de formas de ferro de baixa cristalinidade (Montanari et al., 2010). Sendo assim, ao passo que a profundidade do solo aumenta, a proporção entre as formas de ferro com alta cristalinidade se sobressaem em relação às com baixa cristalinidade, devido, entre outros fatores, pelo conteúdo de carbono orgânico.

A dissolução seletiva utilizando o extrator DCB é capaz de extrair o alumínio que está realizando a substituição isomórfica com o ferro nos óxidos de ferro (Coelho & Vidal-Torrado, 2003).

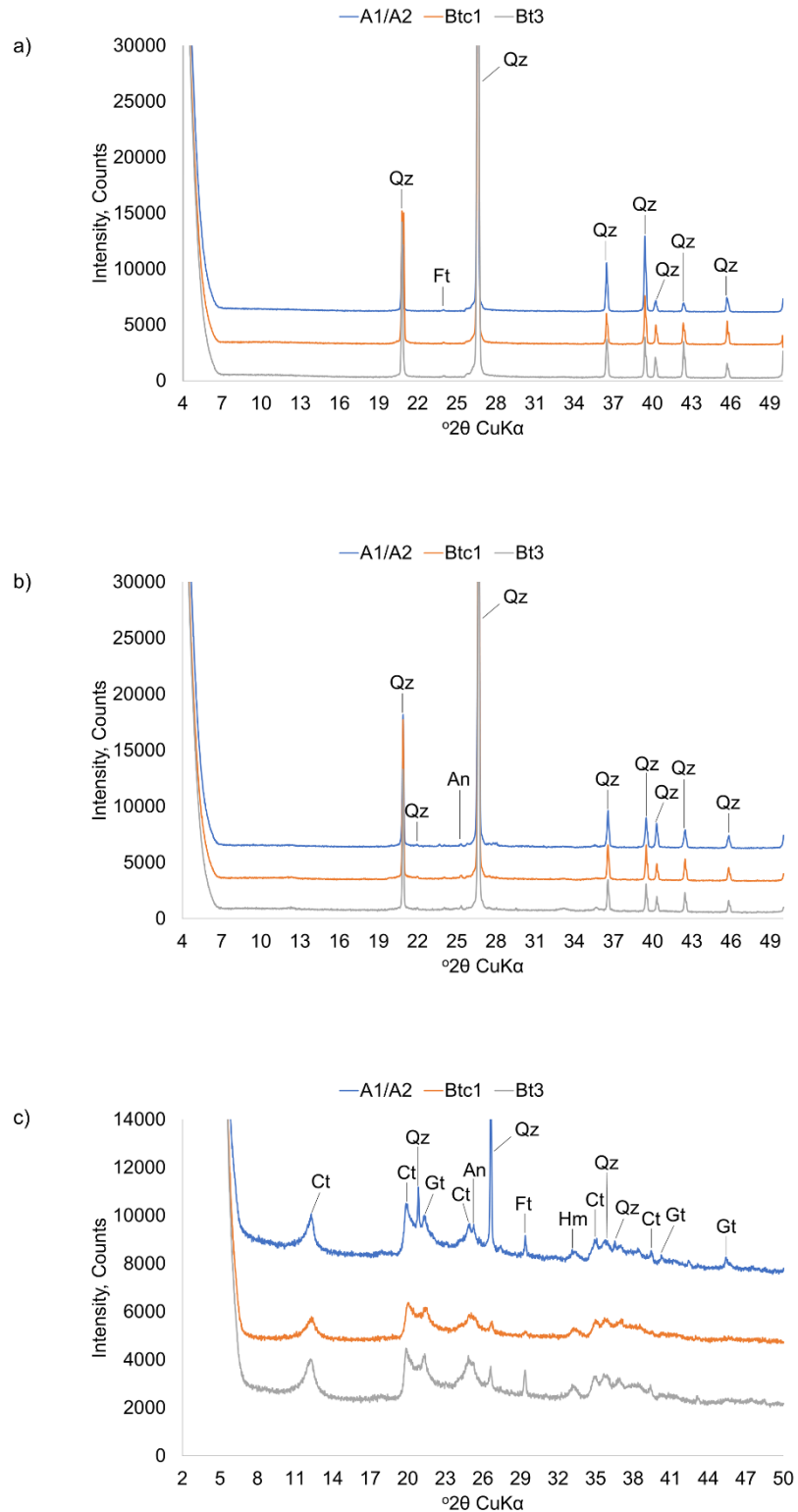
## 6.6. Caracterização mineralógica

Nos difratogramas de raios X (DRX) das frações areia e silte dos solos estudados, observa-se o predomínio de quartzo e feldspato. Já na fração argila destes solos, além da presença de quartzo e feldspato, ocorre em maior proporção relativa caulinita e goethita. O quartzo, devido a sua composição química ( $\text{SiO}_2$ ) e ser um tectossilicato, tem alta resistência ao intemperismo, por isso o mesmo aparece em todas as frações dos solos.

O feldspato, mesmo sendo um tectossilicato, apresenta menor estabilidade no solo, devido à substituição isomórfica de  $\text{Si}^{4+}$  por  $\text{Al}^{3+}$  na lâmina tetraedral e por isso torna-se mais facilmente intemperizado (Kampf et al., 2009; Resende et al., 2011). Desta maneira, a sua ocorrência é mais expressiva em solos menos intemperizados.

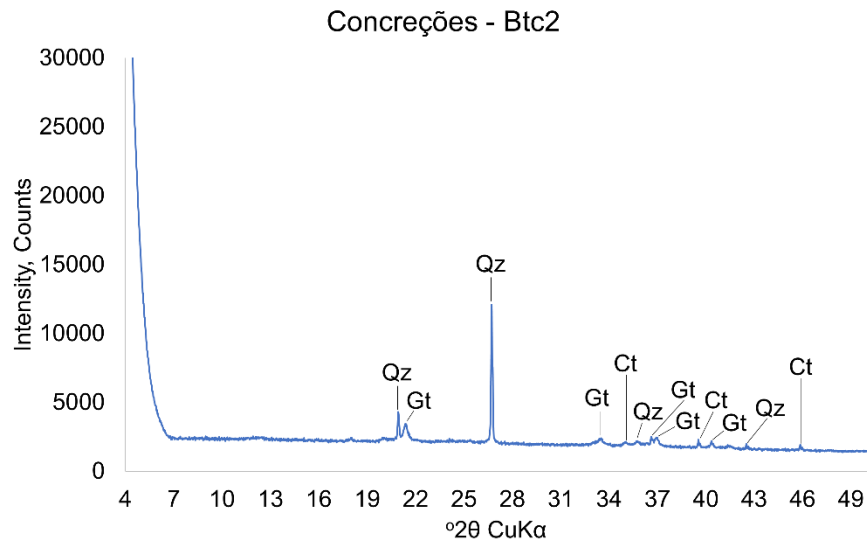
Nos DRX do Perfil 1 (Figura 18) não ocorreram diferenças na composição mineralógica dos horizontes, somente no grau de intensidade dos minerais. Na fração areia tem-se o predomínio do mineral quartzo, com ocorrência em menor proporção de feldspato.

Na fração silte também predomina o mineral quartzo, porém houve a presença do mineral anatásio ( $\text{TiO}_2$ ), que é um mineral que resiste fortemente ao intemperismo, sendo comumente encontrado em solos mais intemperizados (Melo et al., 2001). Já a fração argila é composta em maiores proporções por caulinita e quartzo. Em menores proporções, tem-se a ocorrência de feldspato, anatásio, goethita e hematita. As proporções relativas de ocorrência destes minerais vão ao encontro as informações já mencionadas em relação aos ambientes de formação destes solos, bem como a sua coloração.



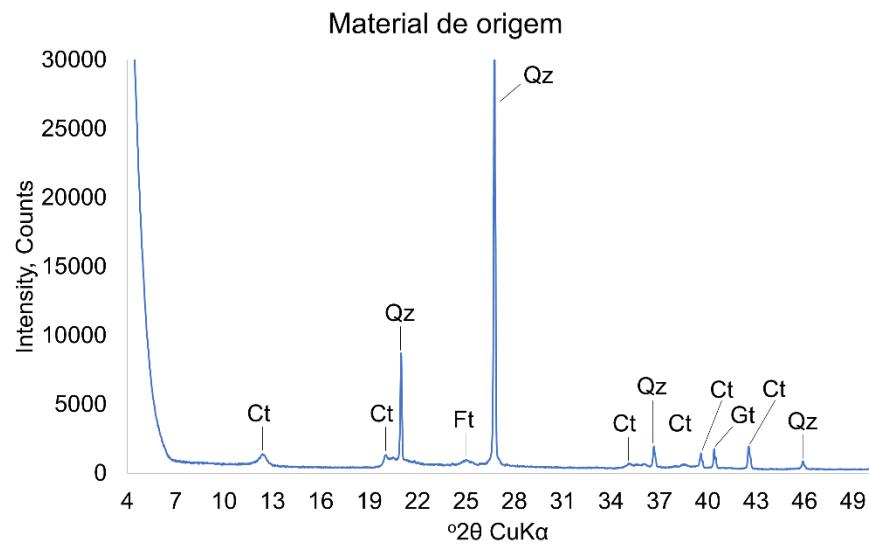
**Figura 16.** Difratoograma de raios X da areia (a), silte (b) e argila (c) do Perfil 1. Qz – quartzo; Ft – feldspato; Ct – caulinita; Gt – goethita; Hm – hematita; An – anatásio.

O DRX das concreções do horizonte Btc2 (Figura 19) demonstra a presença de quartzo, caulinita e goethita, ou seja, as concreções são formadas, basicamente por óxidos de ferro, corroborando com as observações de campo.



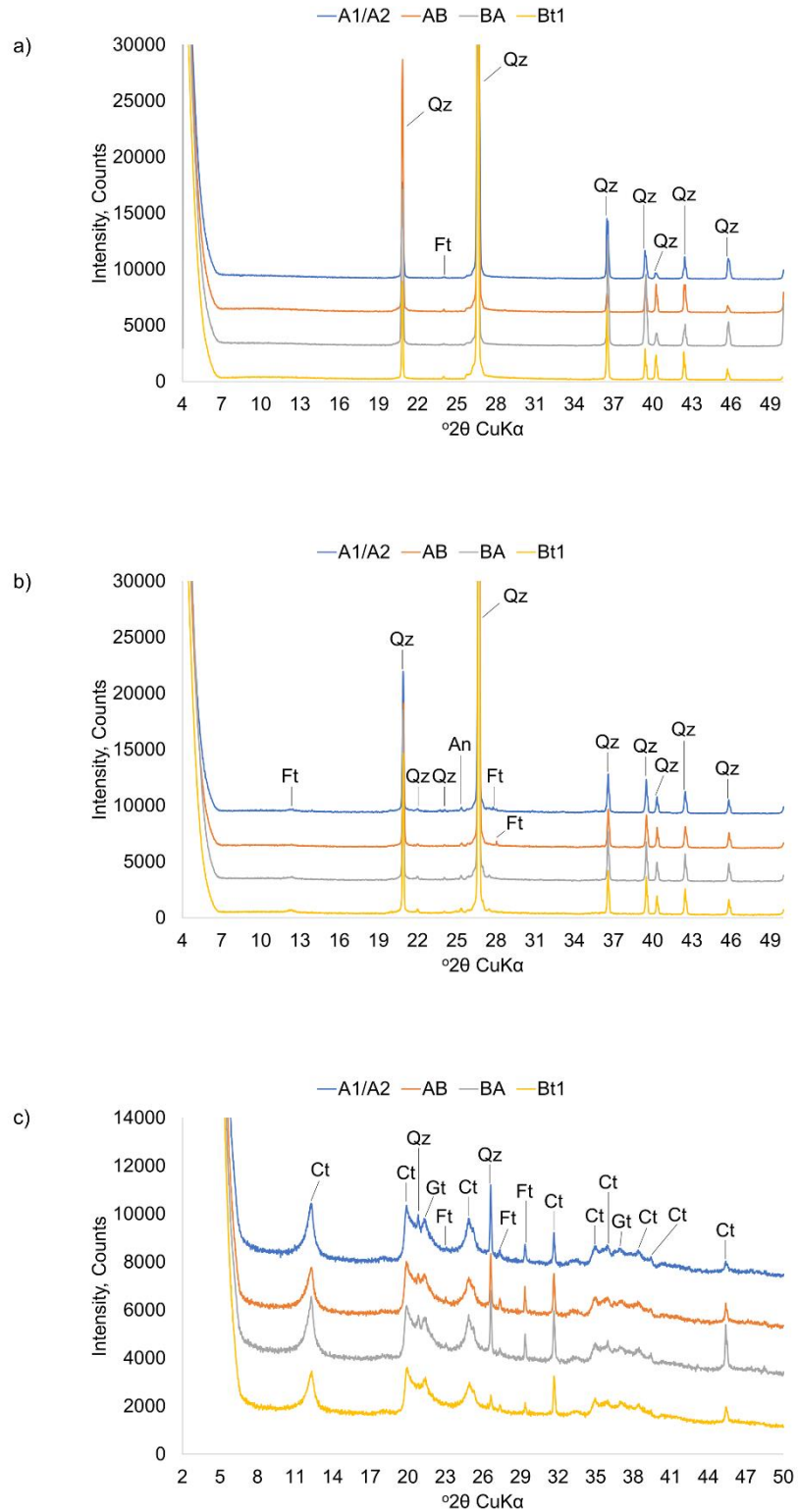
**Figura 17.** Difratoograma de raios X das concreções do horizonte Btc2 do Perfil 1. Qz - quartzo; Ct - caulinita; Gt - goethita.

Assim como o DRX das concreções do horizonte Btc2, o material de origem deste perfil apresentou predomínio de quartzo, caulinita e goethita na sua composição (Figura 20). Mas também houve a ocorrência de feldspato em menor proporção.



**Figura 18.** Difratoograma de raios X do material de origem do Perfil 1. Qz - quartzo; Ct - caulinita; Gt – goethita; Ft – feldspato.

No DRX do Perfil 2, assim como no Perfil 1, o quartzo aparece em todas as frações do solo (Figura 21). Em relação a areia, este perfil apresenta picos de intensidade de quartzo maiores que os do Perfil 1, indicando assim uma maior concentração relativa deste mineral.

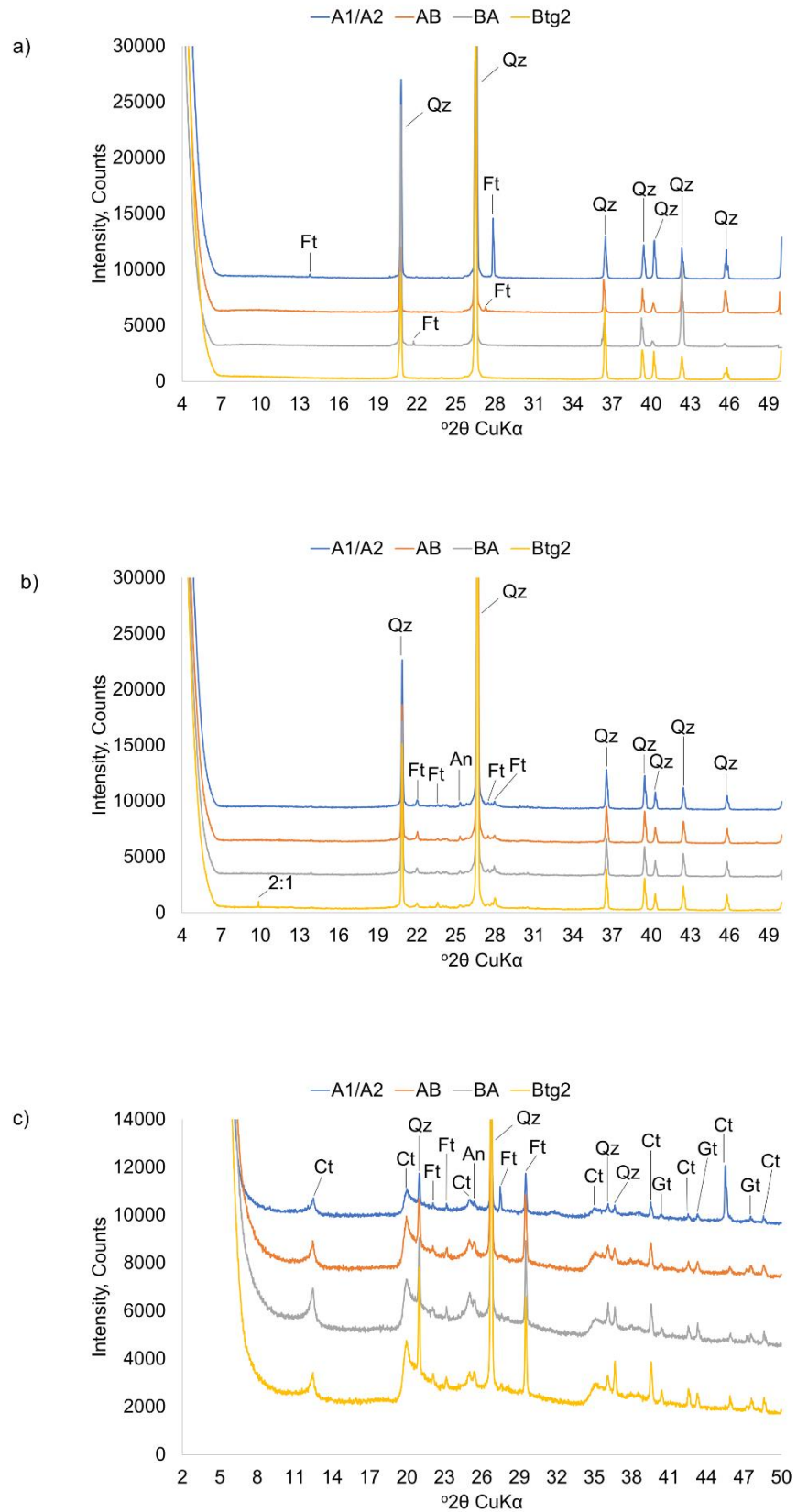


**Figura 19.** Difratoograma de raios X da areia (a), silte (b) e argila (c) do Perfil 2. Qz – quartzo; Ft – feldspato; Ct – caulinita; Gt – goethita; Hm – hematita; An – anatásio.

O silte no Perfil 2 apresenta reflexos de feldspato mais intensos em relação ao Perfil 1. A argila neste perfil, quando comparada ao Perfil 1, tem a presença mais acentuada de caulinita em relação a goethita, pois o local de formação deste solo apresenta características de intensa lixiviação e intemperismo químico (Melo e Wypych, 2009).

Por fim, o DRX do Perfil 3, por ser um solo menos intemperizado e estar em uma posição da paisagem que recebe materiais de cotas mais altas, o mesmo apresenta algumas diferenças mineralógicas. No DRX da fração areia (Figura 22) é possível observar uma maior presença de feldspatos em relação aos demais perfis, evidenciando o seu menor grau de desenvolvimento.

Na fração silte, também ocorre um aumento na proporção de feldspato, porém, no horizonte Btg2 tem-se a presença de um argilomineral 2:1, característico de solos mal drenados e pouco desenvolvidos (Azevedo et al., 2012). Já na fração argila, os minerais presentes são os mesmos do Perfil 1 e 2, porém a presença deles é menor, conforme as menores intensidades dos picos. Entretanto, observa-se um aumento relativo em profundidade dos picos de caulinita e goethita, indicando assim um processo de oxidação. Isto também pode ser verificado a partir do aumento da quantidade de mosqueados em profundidade.



**Figura 20.** Difratoograma de raios X da areia (a), silte (b) e argila (c) do Perfil 3. Qz – quartzo; Ft – feldspato; Ct – caulinita; Gt – goethita; Hm – hematita; An – anatásio; 2:1 – argilominerais 2:1.



No que se refere a influência da mineralogia na fertilidade dos solos, os óxidos de Fe e a caulinita, que são predominantes nos solos desenvolvidos na região sul do Brasil (Schaefer et al., 2008), tem uma importante participação na fertilidade do solo.

A caulinita, basicamente, é formada a partir de um intenso intemperismo químico juntamente com a lixiviação parcial de cátions de caráter básico e sílica (Melo e Wypych, 2009), por isso, solos cauliniticos, na sua forma natural, são ácidos e com baixa CTC (Giasson, 2017). Isto pode ser observado quando comparamos as Figuras 19, 22 e 23 com a Tabela 3, onde os horizontes dos solos com maiores concentrações relativas de caulinita são os que apresentam valores de pH mais baixos e menores valores de SB, assim como maiores teores de H+Al.

A goethita é um óxido de ferro que imprime cor amarelada aos solos e sua ocorrência é mais evidente em regiões frias e úmidas com altos teores de matéria orgânica e pH ácido, assim como no Rio Grande do Sul (Inda Junior et al., 2017). A sua ocorrência se dá a partir de rochas com baixa concentração de Fe e a sua formação surge a partir do intemperismo dos minerais primários, por isso, em solos jovens a sua presença é mais acentuada (Curi e Franzmeier, 1984; Costa e Btgham, 2009). Do ponto de vista da fertilidade química, solos com altos teores de goethita adsorvem mais fortemente os nutrientes, principalmente o P, dificultando o acesso pelas plantas (Borggaard, 1983).

Conforme Inda Junior et al. (2017), os feldspatos são comumente encontrados nas frações areia e silte, mas podem aparecer na fração argila e são divididos em feldspatos potássicos e feldspatos calco-sódicos. No que se refere a fertilidade do solo, o intemperismo dos feldspatos libera nutrientes para as plantas, tais como  $K^+$  e  $Ca^{2+}$ . A partir disso, fazendo uma comparação entre as Figuras 19, 22 e 23 e a Tabela 3, pode-se observar que o Perfil 3 é o que apresenta os maiores valores de  $Ca^{2+}$  e  $Na^+$  e os Perfis 1 e 2 os que apresentam os maiores valores de  $K^+$ . Assim, podemos inferir que os feldspatos calco-sódicos predominam no Perfil 3 e que os feldspatos potássicos predominam nos Perfis 1 e 2.

## **7. ASPECTOS SOBRE A GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS**

O Perfil 1 apresenta características morfológicas de um perfil com alto grau de intemperismo, evidenciado pela relação silte/argila. Também é profundo e com estrutura bem desenvolvida, mesmo com a ocorrência de concreções ferruginosas. Este perfil não apresentou mudança litológica, visto que o valor de uniformidade foi menor que 0,6 e a relação areia fina/areia grossa entre os horizontes foi menor que 0,10. No que se refere as características químicas, o mesmo possui baixa atividade da argila no horizonte diagnóstico, bem como caráter distrófico. Os valores baixos da relação Feo/Fed corroboram com a afirmação de que este perfil apresenta alto grau de intemperismo. A mineralogia deste perfil também demonstrou características de um solo bem desenvolvido, juntamente com os resultados das dissoluções seletivas. Tais características estão associadas à posição na paisagem, pois a mesma permitiu que ocorresse uma boa drenagem, com intensificação do intemperismo e lixiviação das bases.

O horizonte A deste perfil foi classificado como A moderado, pois não se enquadrou nos demais horizontes diagnósticos superficiais. O aumento do teor de argila em profundidade, caracterizou este perfil como de mudança textural abrupta. Sendo assim, pode-se inferir que neste perfil ocorra a presença do processo pedogenético de lessivagem. Também, devido a ocorrência de concreções ferruginosas, a presença do processo pedogenético de laterização é evidente. Sendo assim, o Perfil 1 foi classificado como Argissolo no primeiro nível categórico. No segundo nível, o mesmo foi classificado como Vermelho, evidenciando a participação da hematita na

coloração do perfil, mesmo que em baixa concentração. O caráter distrófico no terceiro nível categórico demonstra a baixa fertilidade do solo, corroborando com o alto grau de intemperismo e com a mineralogia caulinítica e goethítica da fração argila. Por fim, o quarto nível categórico, o mesmo foi classificado como abrúptico, devido a mudança textural abrupta. Porém, o quarto nível categórico, por se tratar mais especificamente de características morfológicas do perfil, o mesmo não apresenta características suficientes para enquadramento do Perfil 1.

Com base nas análises, nas observações de campo e na literatura, constatou-se que o Perfil 1 trata-se de um solo poligenético, ou seja, o seu desenvolvimento se deu em diferentes condições pedoclimáticas. Tais condições podem estar atreladas a eventos climáticos pretéritos, a evolução da paisagem e também a diversidade da composição do material de origem. Também, isso pode ser constatado pela formação de concreções que diferem bastante do material de origem, em termos de constituição química, apesar de uma constituição mineralógica semelhante. As variações pedoclimáticas podem ser relacionadas a formação e consolidação das concreções, a partir de um período pretérito mais seco.

Sendo assim, a classificação final do Perfil 1 foi ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abrúptico, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018), porém, devido as características já mencionadas, o mesmo deveria ser classificado como ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abrúptico concrecionário. Também, o Perfil 1 faz parte da Unidade de Mapeamento Rio Pardo (Brasil, 1973).

O Perfil 2 também é um perfil bastante intemperizado, visto que o valor da relação silte/argila é baixo. No que se refere a características morfológicas, este perfil apresenta outras evidências do seu alto grau de intemperismo, tais como a profundidade, estrutura e a posição de topo na paisagem, ou seja, posição de lixiviação de bases. As características químicas deste perfil também são de um solo bastante intemperizado, ou seja, pH baixo, valores de soma de bases baixo e saturação por alumínio elevada. Da mesma forma que o Perfil 1, este perfil também apresentou baixa relação Feo/Fed, indicando assim seu alto grau de intemperismo. A mineralogia deste perfil,

juntamente com os resultados das dissoluções seletivas, também demonstrou características de um solo com alto grau de intemperismo.

O horizonte A é moderado, visto que não se enquadrou nas demais definições dos horizontes diagnósticos superficiais. Assim como o Perfil 1, este perfil apresentou mudança textural abrupta, indicando assim uma possível presença do processo pedogenético de lessivagem. Sendo assim, este perfil foi classificado como Argissolo no primeiro nível categórico. No segundo nível categórico, este perfil foi classificado como Vermelho-Amarelo, pois não se enquadrou nas classificações anteriores. No terceiro nível categórico, este perfil foi classificado como Alumínico, ou seja, com caráter alumínico nos primeiros 100 cm do horizonte B. Sendo assim, outro processo pedogenético que predomina neste perfil é a ferralitização. No quarto nível categórico, este perfil foi classificado como abrupático, pois apresentou mudança textural abrupta.

Portanto, o Perfil 2 foi classificado ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico abrupático, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018), porém, devido as características já mencionadas, o mesmo poderia ter em sua classificação o caráter sômbrico. Embora o horizonte BA não tenha atendido um dos critérios para se enquadrar como horizonte sômbrico, fica evidente a diferenciação da cor deste horizonte para os demais. O Perfil 2 faz parte da Unidade de Mapeamento Gravataí (Brasil, 1973).

O Perfil 3, diferentemente dos demais é pouco intemperizado e isto pode ser verificado com o alto valor relação silte/argila, bem como pela alta atividade da argila e o valor de Ki maior que os outros perfis. As características morfológicas deste perfil evidenciam o seu baixo grau de intemperismo, principalmente no que se refere a sua textura. As características químicas deste perfil demonstram um aumento da fertilidade do solo em profundidade, pois este perfil encontra-se em uma área de depósito de materiais, ou seja, as bases lixiviadas das porções mais altas da paisagem de depositam neste perfil, infiltram e se acumulam nas camadas mais profundas, fazendo com que ocorra um aumento do pH em profundidade. Este perfil apresentou relação Feo/Fed maior que 0,1, demonstrando seu baixo grau de intemperismo. As características mineralógicas também evidenciam o baixo grau de

intemperismo e o aumento da fertilidade em profundidade, pois nos horizontes mais profundos é onde tem-se as maiores concentrações relativas de feldspatos.

O horizonte A deste perfil foi classificado como A moderado, pois não se enquadrou nos demais horizontes diagnósticos superficiais. Nos horizontes B, houve valor suficiente da relação B/A para enquadrá-los com Bt. Porém, por estar em uma posição da paisagem que fica alagada em boa parte do ano, este perfil apresentou características suficientes para ser enquadrado como um horizonte glei. Sendo assim, o processo pedogenético predominante neste perfil é a gleização e por isso foi classificado como Gleissolo. No segundo nível categórico este perfil foi classificado como Háplico, pois não se enquadrou nas classificações anteriores. Já no terceiro nível categórico foi classificado como eutrófico, pois apresentou argila de atividade alta e saturação por bases maior que 50 % na maior parte dos horizontes B e C dentro dos primeiros 100 cm. No quarto nível categórico este perfil foi classificado como luvisólico, pois o apresentou horizonte Bt coincidente com horizonte glei dentro dos primeiros 150 cm a partir da superfície e sem mudança textural abrupta.

Por fim, a classificação final do Perfil 3 foi GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico luvisólico, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018). Por fim, o Perfil 3 faz parte da Unidade de Mapeamento Colégio (Brasil, 1973).

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características observadas nos perfis estudados evidenciam a influência do relevo e a posição na paisagem na gênese dos solos, corroborando com a coloração dos horizontes e o grau de cristalinidade dos óxidos de ferro.

No Perfil 1 houve a ocorrência dos processos pedogenéticos de lessivagem e laterização, confirmados pela mudança abrupta no conteúdo de argila e altos teores de ferro nas concreções ferruginosas. O Perfil 2 também apresentou o processo pedogenético de lessivagem. Já no Perfil 3, o processo pedogenético predominante é a gleização.

O maior grau de intemperismo foi observado no Perfil 2, conforme a alta relação Fed/FeFRX e valores de Ki diminuindo em profundidade. O mesmo foi observado no Perfil 1, porém, quando comparado ao Perfil 2, a relação Fed/FeFRX foi menor e os valores de Ki em profundidade foram ligeiramente maiores. O Perfil 3 apresentou uma baixa relação Fed/FeFRX e altos valores de Ki, indicando um menor grau de desenvolvimento.

O Perfil 1 foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abruptico, entretanto, devido à alta presença de concreções ferruginosas, a classificação que melhor representaria este perfil é: ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abruptico concrecionário. O Perfil 2 foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico abruptico, porém, devido as características morfológicas, a classificação que melhor se enquadraria é ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Alumínico abruptico sômbrico.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA NETO, O. B. *et al.* Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 1571-1581, 2009.
- ALMEIDA, J. A.; KLAMT, E.; KÄMPF, N. Gênese do contraste textural e da degradação do horizonte B de um Podzólico Vermelho-Amarelo da planície costeira do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, p. 221-233, 1997.
- ALMEIDA, J. A.; CARARO, D. C.; UBERTI, A. A. A. Genesis of the sombric horizon in Ultisols (red argisols) in southern Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 405-416, 2009.
- ARAÚJO FILHO, J. C. Relação solo e paisagem no bioma Caatinga. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 14., 2011, Recife, PE. **Anais [...]**. Recife: Embrapa Solos, 2011. [p. 1-23].
- AZEVEDO, A. C. *et al.* Filossilicatos 2:1 com hidróxi entre camadas em solos: estado atual do conhecimento e das perspectivas de pesquisa. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, PA, v. 55, n. 3, p. 236-243, 2012.
- BARRIOS, E.; TREJO, M. T. Implications of local soil knowledge for integrated soil management in Latin America. **Geoderma**, Amsterdam, v. 111, p. 217- 231, 2003.
- BECKHOFF, B. *et al.* (ed.). **Handbook of practical x-ray fluorescence analysis**. Berlin: Springer, 2006.
- BENEDETTI, U. G. *et al.* Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos plioleustocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, Norte Amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 299-312, 2011.
- BERNINI, T. A. *et al.* Taxonomia de solos desenvolvidos sobre depósitos sedimentares da Formação Solimões no Estado do Acre. **Bragantia**, Campinas, v. 72, p. 71- 80, 2013.
- BORRGAARD, O. K. The influence of iron oxides on phosphate adsorption by soil. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 34, n. 2, p. 333-341, 1983.
- BORTOLUZZI, E. C.; PERNES, M.; TESSIER, D. Mineralogia de partículas envolvidas na formação de gradiente textural em um Argissolo subtropical. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 997-1007, 2008.
- BUOL, S. W. *et al.* **Soil genesis and classification**. Chichester: Wiley Blackwell, 2011. 543 p.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 685 p.

BRINDLEY, G. W.; BROWN, G. **Cristal structures of clay minerals and their X ray identification**. London: Mineralogical Society, 1980.

CAMÊLO, D. L. *et al.* Pedogenic iron oxides in iron-rich oxisols developed from mafic rocks. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 41, [art.] e0160379, 2017.

CANER, L. *et al.* Occurrence of sombric-like subsurface A horizons in some andic soils of the Nilgiri Hills (Southern India) and their palaeoecological significance. **Geoderma**, Amsterdam, v. 117, p. 251-265, 2003.

CAPECHE, C. L. **Noções sobre tipos de estrutura do solo e sua importância para o manejo conservacionista**. 51. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2008. 6 p.

CHAMBERS, R. **Rural appraisal: rapid, relaxed and participatory**. London: IDS, 1992. (Discussion paper, 311).

COELHO, M. R. *et al.* Relação solo-relevo-substrato geológico nas restingas da planície costeira do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 833-846, 2010.

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 483-494, 2003.

CORRÊA, M. M. **Óxidos de ferro e tipificação de caulinitas na gênese de solos coesos do ambiente dos Tabuleiros Costeiros**. 2005. 194 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

COSTA, A. C. S.; BIGHAM, J. M. Óxidos de ferro. *In*: ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. F. (ed.). **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2009. v. 1, p. 505- 573.

CURI, N.; FRANZMEIER, D. F. Toposequence of Oxisols from the central plateau of Brazil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 48, n. 2, p. 341-346, 1984.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Serviço Geológico do Brasil. Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Sul. *In*: **Programa geologia do Brasil**: mapas estaduais. [Caçapava do Sul]: CPRM, 2018. 1 mapa. Escala 1:750.000-SIG.

DEMATTÊ, J. A. M.; ALOISI, R. R.; DEMATTÊ, J. L. I. Sequência Latossolo Amarelo - Podzólico Amarelo - Areias Quartzosas sob material da formação barreiras na região de Tucuruí, estado do Pará. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, p. 345-356, 1994.

DOMINATI, E. *et al.* A soil change-based methodology for the quantification and valuation of ecosystem services from agro-ecosystems: a case study of pastoral agriculture in New Zealand. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 100, p. 119-129, 2014.

DOKUCHAEV, V. V. **Mapping the Russian soils**. St. Petersburg: Imperial University of St. Petersburg, 1879.



DORTZBACH, D. *et al.* Genesis and classification of soils from subtropical mountain regions of southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 40, [art.] e0150503, [p. 1-16], 2016.

FINATO, T. **Classificação técnico-científica de solos e as percepções locais em Gravataí, RS**. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Bazos River basin: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Research**, Tulsa, v. 27, p. 3-27, 1957.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 627-646, 2001.

GIASSON, E. Introdução ao estudo dos solos. *In*: MEURER, E. J. (ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2017. 266 p.

HILLEL, D. **Introduction to environmental soil physics**. New York: Academic Press, 2003.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades@**: Rio Grande do Sul: Gravataí. [Base de dados]. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

INDA JUNIOR, A. V.; KAMPF, N. Avaliação de procedimentos de extração dos óxidos de ferro pedogênicos com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1139-1147, 2003.

INDA JUNIOR, A. V.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. Composição da fase sólida mineral do solo. *In*: MEURER, E. J. (ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2017. 266 p.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**: advanced course. Madison: Department of Soil Science, University of Wisconsin, 1956.

JENNY, H. **Factors of soil formation**: a system of quantitative pedology. New York: MacGraw Hill, 1941. 281 p.

KÄMPF, N.; CURTI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 1, p. 107-138, 2000.

KÄMPF, N.; CURTI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). *In*: KER, J. C. *et al.* **Pedologia**: fundamentos. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 207-302.

KAMPF, N.; CURTI, N.; MARQUES, J. J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. *In*: ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. F. (ed.). **Química e mineralogia do Solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2009. p. 334-371.

KAMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern Brasil and their application in classification of kaolinitic soils. **Geoderma**, Amsterdam, v. 29, n. 1, p. 27-39, 1983.

KISNIERIENÉ, V.; LAPEIKAITÉ, I. When chemistry meets biology: the case of aluminium- a review. **Chemija**, Vilnius, v. 26, p. 148–158, 2015.

KLAMT, E.; KAMPF, N.; SCHNEIDER, P. **Solos de várzea no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1985. 42 p. (Boletim técnico, 4).

KOPITTKE, P. M. *et al.* Soil and the intensification of agriculture for global food security. **Environment International**, Amsterdam, v. 132, [art.] 105078, 2019.

LAL, R. Soils and sustainable agriculture. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Les Ulis, v. 28, p. 57-64, 2008.

LEMOS, R. C. (coord.). **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Recife: Ministério da Agricultura. Departamento de Pesquisa Pedológica, 1973. (Boletim técnico, 30).

LEPSCH, I. F.; BUOL, S. W.; DANIELS, R. B. Soil landscape relationships in the Occidental Plateau of São Paulo State, Brazil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 41, n. 1, p. 109-115, 1977.

LIMA, H. N. *et al.* Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da Bacia Sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 59-68, 2006.

MELO, V. F. *et al.* Características dos óxidos de ferro e de alumínio de diferentes classes de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 19-32, 2001.

MELO, V.F.; WYPYCH, F. Caulinita e Haloisita. *In*: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (ed.). **Química e mineralogia do solo: conceitos básicos: Parte 1**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v. 1. p. 427-504.

MARTINS, C. M. R. **Caracterização da região metropolitana de Porto Alegre**. Porto Alegre: Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser, 2013.

MEDEIROS, P. S. C. *et al.* Caracterização e classificação de solos graníticos em topossequência na região Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, p. 1210-1217, 2013.

MEDEIROS, P. S. C. *et al.* Genesis and classification of soils from granitic hills in southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Amsterdam, v. 98, [art.] 102494, 2020.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, Long Island City, v. 7, p. 317-327, 1960.

MEIRELES, H. T. *et al.* Relações solo-paisagem em topossequência de origem basáltica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 129-136, 2012.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 6. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2017. 266 p.

MONTANARI, R. *et al.* Caracterização mineralógica de Latossolos em diferentes feições do relevo na região de Jaboticabal, SP. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 191-199, 2010.

MOREAU, A. M. S. S. *et al.* Caracterização de solos de duas topossequências em tabuleiros costeiros do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 1007-1019, 2006.

NASCIMENTO, P. C. *et al.* **Agricultura familiar e empreendimento econômicos solidários no CONSAD Metropolitano Sul**: diagnóstico e prospecção de oportunidades. Porto Alegre: Pró-Reitoria de Extensão - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

NOGUEIROL, R. C.; MONTEIRO, F. A.; AZEVEDO, R. A. Tropical soils cultivated with tomato: fractionation and speciation of Al. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 187, n. 4, [art.] 160, 2015.

OLIVEIRA, N. S. *et al.* Mineralogy and genesis in an alkaline soil system in the southern Pantanal wetland, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, Amsterdam, v. 111, [art.] 103456, 2021.

PAVINATO, P. S.; RESOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo – decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 911-920. 2008.

PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Formas extraíveis de ferro no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 371-382, 1999.

PEREIRA, M. G. *et al.* Soil genesis on the soft slopes of ancient coastal plains, southeastern Brazil. **Catena**, Cremlingen, v. 210, [art.] 105894, 2022.

RADAMBRASIL. **Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1986. 796 p.

REICHER T, J. M.; NORTON, L. D. Surface seal morphology as affected by fluidized bed combustion bottom-ash. **Soil Technology**, Cremlingen, v. 7, p. 303-317, 1995.

RESENDE, M. *et al.* **Mineralogia de solos brasileiros**: interpretação e aplicações. 2. ed. Lavras: UFLA, 2011. 206 p.

RESENDE, M. *et al.* Princípios da classificação dos solos. *In*: KER, J. C. *et al.* **Pedologia**: fundamentos. Viçosa, MG: SBCS, 2012. p. 81-146.

ROISENBERG, A. *et al.* **Geologia da Folha Gravataí SH-22-X-C-V**. Porto Alegre: UFRGS/CPRM, 2008.

ROSOLEN, V. *et al.* Evolution of iron crust and clayey Ferralsol in deeply weathered sandstones of Marília Formation (Western Minas Gerais State, Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, Amsterdam, v. 79, p. 421-430, 2017.

RUHE, R. V. Elements of the soil landscape. *In*: TRANSACTIONS OF 7TH INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 7., 1960, Madison, Wisc., U.S.A.. **[Proceedings of the ...]**. [Vienna]: International Society of Soil Science, 1960. v. 4, p. 165–170.

SANTOS, M. D. C.; VARAJAO, A. F. D. C.; YVON, J. Geochemistry of a sedimentary lateritic kaolin deposit in Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, Amsterdam, v. 88, p. 318-320, 2006.

SANTOS, A. C. *et al.* Gênese e classificação de solos numa topossequência no ambiente de mar de morros do médio vale do Paraíba do Sul, RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 1297-1314, 2010.

SANTOS, A. C. *et al.* Genesis of soils formed from mafic igneous rock in the Atlantic forest environment. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 40, [art.] e0150056, [p. 1-21], 2016.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, R. D. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

SCHAEFER, C. E. G. R.; FABRIS, J. D.; KER, J. C. Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): a review. **Clay Minerals**, London, v. 43, n. 1, p. 137-154, 2008.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R. M. Iron oxides. *In*: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (ed.). **Minerals in soil environment**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 379-438.

SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch extraction mit ammoniumoxalat-lösung. **Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde**, Berlin, v. 105, n. 3, p. 194-202, 1964.

SILVA, L. F. *et al.* Soil variability in different landscape positions in the Porto Alegre Botanical Garden, Southern Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n. 5, p. 477-487, 2015.

SILVA, M. B. *et al.* Estudo de topossequência na baixada litorânea fluminense: efeito do material de origem e posição topográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 965-976, 2001.

SILVA NETO, L. F. *et al.* Characterization and classification of floodplain soils in the Porto Alegre Metropolitan Region, RS, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, p. 423-434, 2015.

STRECK E. V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Emater/RS, 2018.

SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Edgard Blücher, EDUSP, 2003.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise do solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TEDESCO, M. J. *et al.* **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS/Departamento de Solos, 1995.

VAN RANST, E.; CONINCK, F. Evaluation of ferrolysis in soil formation. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 53, n. 4, p. 513-519, 2002.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. *In*: VIDAL-TORRADO, P. *et al.* **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2005. v. 4, p. 145-192.

## 10. APÊNDICES

**Apêndice 1.** Descrição morfológica do perfil 1 e imagens do local de descrição e coleta.

### **Perfil 1: ARGISSOLO VERMELHO Distrófico abrupto**

Data: 24/09/2021

Localização: Gravataí RS; BR 290 km 68 sentido litoral; Barranco as margens da Estrada da Cavalhada (506118.30 E – 6686655.05 S UTM)

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: terço médio da encosta, com 6% de declive, sob cobertura de campo nativo com espinilho.

Altitude: 28 m.

Material de origem: depósitos eluviais e colúviais, sedimentos muito pobremente selecionados, constituídos por areias conglomeráticas, areias siltico-argilosas de cores avermelhadas, inconsolidadas, seixos, blocos e matações de arenitos e basalto.

Pedregosidade: não pedregosa.

Rochosidade: não rochosa.

Relevo local: suave ondulado.

Relevo regional: suave ondulado a ondulado.

Erosão: não aparente.

Drenagem: bem drenado.

Vegetação primária: Floresta estacional semidecidual.      Uso atual:  
reflorestamento com espécies exóticas (pinus e eucalipto).

Descrito e coletado por: Daniel Nunes Krum, Paulo César do Nascimento,  
Edsleine Ribeiro Silva, Marthin Zang, Miron Ferreira e Aline Teixeira.

### **Descrição Morfológica**

A1 0-6 cm; 7,5YR 3/3 (úmida); franco; fraca, pequena, granular; muito friável;  
ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

A2 6-28 cm; 7,5YR 4/6 (úmida); franco arenosa; fraca/moderada,  
pequena/média, blocos subangulares; friável; ligeiramente plástica e  
ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

AB 28-60 cm; 7,5YR 3/4 (úmida); franco arenosa; moderada, média, blocos  
subangulares; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição  
clara e plana.

Btc1 60-96/102 cm; 5YR 4/6 (úmida); argila; fraca, pequena/média, blocos  
subangulares; friável, plástica e pegajosa; clara e ondulada.

Btc2 96/102-135/140 cm; 2,5YR 4/6 (úmida) e mosqueado 10YR 5/6 (úmida);  
argila; moderada, pequena/média, blocos subangulares; friável, ligeiramente  
plástica e pegajosa; clara e ondulada.

Bt3 135/140-190-195 cm; 2,5YR 4/6 (úmida) e mosqueado 7,5R 5/4 (úmida); franco argiloso; moderada/forte, grande, blocos subangulares; friável, plástica e pegajosa; clara e ondulada. CR 190/195-220+ cm; 2,5YR 5/6 (úmida) e mosqueados 5YR 6/1 e 7,5YR 3/4; franco argiloso; forte, grande e blocos subangulares; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.



**Figura 21.** Barranco utilizado para a descrição e coleta do Perfil 1.





**Figura 22.** Equipe de trabalho na preparação para descrição e coleta do Perfil 1.

**Apêndice 2.** Descrição morfológica do perfil 2 e imagens do local de descrição e coleta.

**Perfil 2: ARGISSOLO VERMELHO Ta Alumínio abrupático**

Data: 24/09/2021

Localização: Gravataí-RS; BR-290 km 63 sentido litoral. Barranco as margens da Estrada Lomba do Vadeco. (511193.33 E – 6687865.24 S UTM)

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: terço superior da encosta, com 4% de declive, sob cobertura de campo nativo com espinilho.

Altitude: 78 m.

Material de origem: subgrupo Estrada Nova, formação Teresina é composta por argilitos, folhelhos e siltitos sinza-escuros e esverdeados com arenitos muito finos e cinza claros, formação Serra Alta é composta por siltitos, argilitos e folhelhos não betuminosos formado por acumulação marinha.

Pedregosidade: não pedregosa.

Rochosidade: não rochosa.

Relevo local: suave ondulado.

Relevo regional: suave ondulado a ondulado.

Erosão: não aparente.

Drenagem: bem drenado.

Vegetação primária: Floresta estacional semidecidual.

Uso atual: preservação da vegetação primária. Descrito e coletado por: Daniel Nunes Krum, Paulo César do Nascimento, Edsleine Ribeiro Silva, Marthin Zang, Miron Ferreira e Aline Teixeira

### **Descrição Morfológica**

A1 0-14 cm; 7,5YR 3/4 (úmida); franco argilo-arenoso; fraca, pequena/média, granular; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; clara e plana.

A2 14-42 cm; 7,5YR 4/3 (úmida); franco argilo-arenoso; fraca, pequena/média, granular; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; gradual e plana.

AB 42-58 cm; 5YR 4/4 (úmida); franco argilo-arenoso; fraca/moderada, média, blocos subangulares; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; clara e plana.

BA 58-115 cm; 7,5YR 3/3 (úmida); franco argilo-arenoso; fraca, média, granular/blocos subangulares; friável, ligeiramente plástica e pegajosa; gradual e plana.

Bt1 115-162 cm; 5YR 3/4 (úmida); argila; fraca, média, granular/blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástica e pegajosa; clara e plana.

Bt2 162-200+ cm; 5YR 4/6 (úmida); argila; fraca, média, granular/blocos subangulares; friável, ligeiramente plástica e muito pegajosa.





**Figura 3.** Local de coleta do Perfil 2.



**Figura 4.** Equipe trabalhando nas amostras do Perfil 2.

**Apêndice 3.** Descrição morfológica do perfil 3 e imagens do local de descrição e coleta.

**Perfil 3: GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico Iuvissólico**

Data: 14/10/2021

Localização: Gravataí-RS; Laboratório de Metalurgia Física (LAMEF) UFRGS – Unidade Barro Vermelho. (513147.00 E – 6683591.00 S UTM).

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: terço inferior da encosta, com 1% de declive, sob cobertura de campo nativo com espinilho.

Altitude: 6 m.

Material de origem: depósitos de planície lagunar, formado por areias síltico argilosas, mal selecionadas, constituídas basicamente por grãos incolores de quartzo, com granulometria variada.

Pedregosidade: não pedregosa.

Rochosidade: não rochosa.

Relevo local: plano.

Relevo regional: plano a suave ondulado.

Erosão: não aparente.

Drenagem: mal drenado.

Vegetação primária: floresta estacional semidecidual e formações pioneiras.

Uso atual: pastagem natural.



Descrito e coletado por: Daniel Nunes Krum, Paulo César do Nascimento, Ryshardson Geovane Pereira de Oliveira e Silva, Antony Francisco Sampaio de Sena, Miron Ferreira e Aline Teixeira.

### **Descrição Morfológica**

A1 0-25 cm; 10YR4/3 (úmida); franco; moderada, média, blocos subangulares/granular; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; clara e plana.

A2 25-45 cm; 10YR 4/2 (úmida); franco; maciça, grande/moderada, blocos subangulares; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; clara e plana.

AB 45-68 cm; 10YR 3/2 (úmida); franco arenoso; maciça, grande/moderada, blocos subangulares; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; gradual e plana.

BA 68-90 cm; 10YR 3/2 (úmida); franco; maciça, grande, blocos subangulares; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Btg1 90-115 cm; 10YR 3/1 (úmida) e mosqueado 7,5YR 5/8 (úmida); franco; moderada, grande, prismática; friável, plástica e pegajosa.

Btg2 115-155 cm; 10YR 3/2 (úmida) e mosqueado 7,5YR 5/8 (úmida); franco; friável, plástica, ligeiramente pegajosa.

BC 155-165+ cm; 10YR 4/2 (úmida) e mosqueado 7,5YR 5/8 (úmida); franco; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.



**Figura 5.** Local de ocorrência do Perfil 3.





**Figura 6.** Equipe de trabalho durante a descrição do Perfil 3.