



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS - CFH
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS – GCN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGeo

YANNA D'ANGELIS DE CARVALHO GONÇALVES

Evolução paleoambiental de depósitos quaternários continentais em Campo Alegre - SC

Florianópolis
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFH
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS – GCN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PP GEO

YANNA D'ANGELIS DE CARVALHO GONÇALVES

Evolução paleoambiental de depósitos quaternários continentais em Campo Alegre - SC

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Accioly
Teixeira de Oliveira

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Gonçalves, Yanna D'Angelis de Carvalho

Evolução paleoambiental de depósitos quaternários continentais em Campo Alegre - SC / Yanna D'Angelis de Carvalho Gonçalves ; orientador, Marcelo Accioly Teixeira de Oliveira, 2019.

142 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. Geomorfologia do Quaternário. 3. Estratigrafia. 4. Mudanças climáticas globais. 5. Evolução da paisagem. I. Oliveira, Marcelo Accioly Teixeira de . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Geografia. III. Título.

Yanna D'Angelis de Carvalho Gonçalves

Evolução paleoambiental de depósitos quaternários continentais em Campo Alegre – SC

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Geografia” e aprovada em sua forma final pelo curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 25 de setembro de 2019.

Prof. Dr. Clécio Azevedo da Silva
Coordenador do Curso
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Accioly Teixeira de Oliveira
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Prof. Dr. Luiz Fernando Scheibe
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Profa. Dra. Edna Lindaura Luiz
Universidade do estado de Santa Catarina – UDESC

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais por todo o carinho, acolhimento e apoio desde sempre e para sempre.

Agradeço ao meu companheiro Rafael Tezza por estar sempre comigo nos dias bons e ruins me amando e apoiando incondicionalmente.

Ao meu orientador, Professor Dr. Marcelo Accioly Teixeira de Oliveira, pela paciência, tempo, conhecimento transmitido e dedicação.

Aos membros da banca prof. Dr. Luiz Fernando Scheibe e Profa. Dra. Edna Lindaura Luiz pela disponibilidade e contribuições ao meu trabalho.

Agradeço aos colegas do Laboratório de Geodinâmica Superficial (LAGES), aos amigos da Geologia e Geografia por toda ajuda nas etapas de campo, troca de ideias e laboratório.

Ao Marcio pela parte cartográfica, ao Willian, Lorenza e Marcia pelas revisões e à Priscila pelo apoio psicológico.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro prestado à pesquisa realizada, através dos Processos: n. 459779/2014-1 e n. 310785/2014-6.

Ao Prof. Orlando Ednei Ferretti coordenador do laboratório de Pedologia do departamento de Geociências da UFSC, por ceder o laboratório para a realização das análises granulométricas e ao professor Jarbas Bonetti Filho coordenador do laboratório de oceanografia costeira (LOC) da Coordenadoria Especial de Oceanografia da UFSC pelo uso do HORIBA.

Agradeço a todos os amigos da vida, do escoteiro e da geo que torceram e acompanharam de perto minha jornada.

RESUMO

Este trabalho trata da dinâmica morfogenética e pedogenética no Planalto Norte de Santa Catarina no município de Campo Alegre, com o objetivo maior de realizar o estudo da evolução da paisagem quaternária a partir da descrição de três seções estratigráficas, contribuindo para a compreensão de mecanismos e variáveis ambientais locais, associadas às mudanças climáticas globais ocorridas no período geológico do quaternário. O levantamento contou com descrições de unidades litológicas e pedológicas e também com análises laboratoriais, como granulometria, datação por ^{14}C , datação por LOE e análise isotópica $\delta^{13}\text{C}$. Constataram-se nas seções estratigráficas depósitos de colúvio, colúvio-aluviais e paleossolo. Os resultados demonstraram registros estratigráficos com idades do Pleistoceno Superior ao Holoceno, relacionados aos Estágios Isotópicos Marininhos 3, 2 e 1. Há formação de linha de carvão datada em 29.900 anos AP e de paleossolo, de 26.480 anos AP; esta última indicando fase de estabilidade climática com umidade suficiente para o desenvolvimento de solo, durante o Último Máximo Glacial (UMG), no qual se esperam climas frios e secos. No limite Pleistoceno/Holoceno, há fase de morfogênese em que camadas areno-lamosas se depositaram, e em seguida fase de manutenção da pedogênese iniciando por volta de 14.700 anos AP, quando o ambiente entra em equilíbrio, com atuação da pedogênese perdurando até os dias atuais, resultando no desenvolvimento do horizonte de solo superficial atual. Conclui-se que a paisagem possui sua evolução relacionada a fases alternadas de pedogênese e morfogênese, controladas pelas mudanças climáticas associadas aos Estágios Isotópicos Marininhos 3, 2 e 1. Os resultados obtidos corroboram com os estudos prévios de estratigrafia e sedimentologia realizados na região e evidenciam que sistemas atmosféricos locais sustentaram ali certo grau de umidade durante o UMG.

Palavras-chave: Estratigrafia. Quaternário. Evolução paleoambiental. Pedogênese. Morfogênese.

ABSTRACT

This paper is about the morphogenetic and pedogenetic dynamics in the Northern Plateau of Santa Catarina in the city of Campo Alegre. Its objective is to study the evolution of the Quaternary landscape from the description of three stratigraphic sections, contributing to the understanding of local environmental mechanisms and variables associated with global climate change that occurred in the geological period of the quaternary. The data collection included descriptions of lithological and pedological units, as well as laboratory analyses, such as particle size, ^{14}C dating, LOE dating, and $\delta^{13}\text{C}$ isotopic analysis. Deposits of colluvium, colluvium-alluvial and paleosol were found in the stratigraphic sections. The results showed stratigraphic records aged from the Superior Pleistocene to the Holocene, related to Marine Isotopic Stages 3, 2 and 1. There is charcoal line formation dated at 29,900 years AP and the paleosol, dated at 26,480 years AP; the latter indicated a stability phase with sufficient humidity for soil development during the Last Glacial Maximum (LGM), when cold and dry climates are expected. In the Pleistocene/Holocene boundary, there is a morphogenesis phase where sandy-muddy layers were deposited and then the pedogenesis maintenance phase starting around 14,000 years AP, when the environment comes into balance, with the pedogenesis acting until the present day, resulting in the development of the current surface soil horizon. It is concluded that the landscape has its evolution related to alternate phases of pedogenesis and morphogenesis, controlled by climate changes associated with Marine Isotopic Stages 3, 2 and 1. The results corroborate the previous studies of stratigraphy and sedimentology carried out in the region and reinforce the idea that local atmospheric systems sustained a certain degree of moisture during the LGM.

Keywords: Stratigraphy. Quaternary. Paleoenvironmental evolution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Localização da área de estudo.	14
Figura 02: Localização das sessões estratigráficas no município de Campo Alegre – SC.	15
Figura 03: Unidades litoestratigráficas da Bacia de Campo Alegre.	17
Figura 04: Declividade da área de estudo.	19
Figura 05: Localização e vista frontal da seção estratigráfica 01 – S1	22
Figura 06: Localização e vista frontal da seção estratigráfica 02 – S2.	23
Figura 07: Localização e vista frontal da seção estratigráfica 03 – S3	24
Figura 08: Diagrama de Hjulström-Sundborg. Adaptado por Earle, S. (2014).	33
Figura 09: Oito elementos arquitetônicos fundamentais propostos por Miall (1985).	36
Figura 010: Representação esquemática e código para definição de fácies proposta por Ghibaudo (1992).	37
Figura 11: Curva de oxigênio isotópico para os últimos 140.000 anos. Fonte: Van Andel (1985).	41
Figura 12: Representação esquemática da seção estratigráfica 1 (S1), apresentando as unidades e geometrias.	45
Figura 13: Seção estratigráfica 1 dividida em três pacotes sedimentares.	46
Figura 14: Localização dos perfis descritivos (P1, P2 e P3) na seção estratigráfica 1(S1).	48
Figura 15: Amostras do perfil descritivo 1 (P1-S1) da seção estratigráfica 1 plotadas no diagrama de Folk (1954).	51
Figura 16: Amostras do perfil descritivo 1 (P1-S1) da seção estratigráfica 1 plotadas no diagrama de Flemming (2000)	52
Figura 17: Gráfico da variação do percentual de cascalho, areia e lama em relação à profundidade das amostras do perfil descritivo 1 da seção estratigráfica 1 (P1-S1).	54
Figura 18: Fácies do pacote 1 no P1-S1, segundo Ghibaudo (1992).	57
Figura 19: Fácies do pacote 2 no P1-S1, segundo Ghibaudo (1992).	58
Figura 20: Fácies que melhor representa as unidades do pacote 4 no P1-S1, segundo Ghibaudo (1992).	59
Figura 21: Amostras do perfil descritivo 2 (P2-S1) plotadas no diagrama de Folk (1954).	65
Figura 22: Amostras do perfil descritivo 2 (P2-S1) plotadas no diagrama de Flemming (2000)	66
Figura 23: Gráfico da variação do percentual de cascalho, areia e lama em relação à profundidade das amostras do perfil descritivo 2 da seção estratigráfica 1 (P2-S1)	69
Figura 24: Fácies do pacote 2 no P2-S1, segundo Ghibaudo (1992).	71
Figura 25: Fácies do pacote 4 no P2-S1, segundo Ghibaudo (1992).	72
Figura 26: Amostras do perfil descritivo 3 (P3-S1) plotadas no diagrama de Folk (1954)	79
Figura 27: Amostras do perfil descritivo 3 (P3-S1) plotadas no diagrama de Flemming (2000)	80
Figura 28: Gráfico da variação do percentual de cascalho, areia e lama em relação à profundidade das amostras do perfil descritivo 3 da seção estratigráfica 1 (P3-S1)	83
Figura 29: Fácies do pacote 2 no P3-S1, segundo Ghibaudo (1992)	86
Figura 30: Fácies do pacote 4 no P3-S1, segundo Ghibaudo (1992).	87
Figura 31: Localização das amostras de datação ¹⁴ C e isótopos na seção estratigráfica 1	90
Figura 32: Curva Índice isotópico $\delta^{18}\text{O}$ para os últimos 140.00 anos posicionamento das datações obtidas. Obs: a datação de 22.250 anos foi obtida por LOE a ser apresentado nos resultados da Seção Estratigráfica 3.	91
Figura 33: Ciclos de mudanças climáticas abruptas a partir de isótopos de ² H na antártica e ¹⁸ O na Groelândia em padrão ritmado por Eventos de Dansgaard-Oeschger (<i>D-O</i>) e de	

Heinrich (<i>H</i>). O destaque apresenta o registro do rápido aquecimento ocorrido em ambos os hemisférios entre 15.000 e 13.000 anos.	92
Figura 34: Localização das amostras de isótopos $\delta^{13}\text{C}$ e isótopos na seção estratigráfica 1	94
Figura 35: Representação esquemática da seção estratigráfica 2 – S2	100
Figura 36: Fotografia da seção estratigráfica 2 (S2)	100
Figura 37: Seção estratigráfica 2 dividida por pacotes.	101
Figura 38: Amostras da seção estratigráfica 2 (S2) plotadas no diagrama de Folk (1954)	105
Figura 39: Amostras da seção estratigráfica 2 (S2) plotadas no diagrama de Flemming (2000)	106
Figura 40: Distribuição granulométrica de amostras e pacotes sedimentares observados no perfil descritivo 1 (S2-P1).	109
Figura 41: Fácies que melhor representam as unidades do pacote 2 no P1-S2, segundo Ghibaudo (1992)	111
Figura 42: Fácies do pacote 3 no P1-S2, segundo Ghibaudo (1992).	112
Figura 43: Fácies do pacote 4 no P1-S2, segundo Ghibaudo (1992).	112
Figura 44: Representação esquemática da seção estratigráfica 3 (S3)	117
Figura 45: Fotografia da seção estratigráfica 3	118
Figura 46: Fotografia de detalhe da porção central da seção estratigráfica 3 e alguns pontos de coleta das amostras	118
Figura 47: Amostras da seção estratigráfica 3 (S3) plotadas no diagrama de Folk (1954)	121
Figura 48: Amostras da seção estratigráfica 3 (S3) plotadas no diagrama de Flemming (2000)	122
Figura 49: Gráfico do percentual de cascalho, areia e lama de amostras pontuais da seção estratigráfica 3 (S3)	124
Figura 50: Fácies descritas por Ghibaudo (1992) correspondente as unidades da seção estratigráfica 3 e posição da amostra S3-dat03 datada por LOE.	125
Figura 51: Correlação entre pacotes das seções estratigráficas 1 e 2	131
Figura 52: Perfil colunar sintético apresentando as principais características dos depósitos estudados.	133
Figura 53. Perfil colunar sintético para a região de Campo Alegre e Jaraguá do Sul – SC proposto por Oliveira <i>et al.</i> (2008b).	135

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Associação de tipo de fluxos, tipo de processos, mecanismo de interação intergranular e/ou grão/fluido e produto. Adaptado de Giannini e Riccomini (2000).	33
Quadro 02: Principais características de cada elemento arquitetônico, conforme Miall (1985; 1996), organizada por Fett Junior (2005).	36
Quadro 07: Classificação textural das amostras do P2-S1 segundo os diagramas de Folk (1954) e de Flemming (2000).....	67
Quadro 08: Compilação das características do perfil descritivo 2 da seção estratigráfica 2 (P2-S1).....	74
Quadro 09: Classificação textural das amostras do perfil P3-S1 partir dos diagramas de Folk (1954) e Flemming (2000).....	82
Quadro 10: Compilação das características do perfil descritivo 3 da seção estratigráfica 1 (P3-S1).....	88
Quadro 11: Classificação textural das amostras P1-S2 segundo os diagramas de Folk (1954) e Flemming (2000).....	107

Quadro 12: Compilação das características do perfil descritivo 1 da seção estratigráfica 2 (P1-S2).....	114
Quadro 13: Classificação textural das amostras pontuais da seção estratigráfica 3, segundo os diagramas de Folk (1954) e de Flemming (2000).	123
Quadro 14: Compilação das características da seção estratigráfica 3 (S3)	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Distribuição granulométrica de amostras das unidades deposicionais e pacotes sedimentares observados no perfil descritivo 1 (S1-P1)	49
Tabela 02: Estatísticas das amostras do perfil descritivo 1 (P1-S1).....	50
Tabela 03: Distribuição granulométrica de amostras das unidades deposicionais e pacotes sedimentares observados no perfil descritivo 2 (P2-S1).	63
Tabela 04: Estatísticas das amostras do perfil descritivo 2 (P2-S1).....	64
Tabela 05: Distribuição granulométrica de amostras e pacotes sedimentares observados no perfil descritivo 3 (S1-P3).	76
Tabela 06: Estatísticas das amostras do perfil descritivo 3 (P3-S1).....	78
Tabela 07: Resultados de datações por ¹⁴ C	90
Tabela 08: Granulometria das amostras, unidades e pacotes sedimentares correspondentes do perfil descritivo 1 (P1-S2) da seção estratigráfica 2.....	102
Tabela 09: Estatísticas das amostras do perfil descritivo 1 da seção estratigráfica 02 (P1-S2).104	
Tabela 10: Granulometria das amostras, unidades e pacotes sedimentares correspondentes das amostras pontuais da seção estratigráfica 3	119
Tabela 11: Estatísticas das amostras do perfil descritivo 1 da seção estratigráfica 03 (P1-S3)120	
Tabela 12: Resultados de datações por LOE	127

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	13
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
2.1 ASPECTOS FÍSICOS DA ÁREA DE ESTUDO	16
2.2 DESCRIÇÃO DO DEPÓSITO.....	20
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E MATERIAIS UTILIZADOS	25
3.1 COLETA E PROCESSAMENTO DE AMOSTRAS	25
3.2 REFERENCIAL GEOCRONOLÓGICO	27
3.3 CARACTERIZAÇÃO ESTRATIGRÁFICA E INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL.....	28
4 DEPÓSITOS DE ENCOSTA E EFEITOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS SOBRE A EVOLUÇÃO DO RELEVO	30
4.1 MATERIAIS E PROCESSOS QUE RECOBREM AS ENCOSTAS	30
4.2 ANÁLISE DE FÁCIES E ELEMENTOS ARQUITETURAIS	34
4.3 INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL, A PARTIR DE DEPÓSITOS SEDIMENTARES.....	38
4.4 MUDANÇAS PALEOAMBIENTAIS NO SUL DO BRASIL	39
5 RESULTADOS	44
5.1 SEÇÃO ESTRATIGRÁFICA 1	44
5.1.1 Apresentação da seção estratigráfica 1	44
5.1.2 Granulometria, classificação textural e interpretação faciológica da seção estratigráfica 1	47
5.1.3 Geocronologia da seção estratigráfica 1	89
5.1.4 Análise isotópica da seção estratigráfica 1	93
5.1.5 Balanço parcial da seção estratigráfica 1	95
5.2 SEÇÃO ESTRATIGRÁFICA 2	99
5.2.1 Apresentação da seção estratigráfica 2	99
5.2.2 Granulometria, classificação textural e interpretação faciológica da seção estratigráfica 2	102
5.2.3 Balanço parcial da seção estratigráfica 2.....	113
5.3 SEÇÃO ESTRATIGRÁFICA 3	116
5.3.1 Apresentação da seção estratigráfica 3	116
5.3.2 Granulometria, classificação textural e análise faciológica da seção estratigráfica 3.....	118
5.3.4 Geocronologia da seção estratigráfica 3	126
5.3.5 Balanço parcial da seção estratigráfica 3.....	127
5.4 CONTRIBUIÇÃO DAS SEÇÕES ESTUDADAS PARA A ESTRATIGRAFIA DO QUATERNÁRIO LOCAL	130
5.5 EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL SEGUNDO OS DEPÓSITOS ESTUDADOS ..	136
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	138
REFERÊNCIAS	140

1 INTRODUÇÃO

O Quaternário é o período mais recente da história da Terra, abarcando os últimos 2,5 milhões de anos. Este período geológico está associado à intercalação de fases glaciais, com duração média de 100.000 anos, e de fases interglaciais, com duração aproximada de 11.000 anos, as quais se alternam no último milhão de anos (SALGADO-LABOURIAU, 1994).

Em função de sua idade relativamente recente, os depósitos quaternários estão fortemente associados à topografia atual. O registro estratigráfico formado por esses depósitos possibilita, portanto, o desenvolvimento da chamada geomorfologia histórica, que tem como principal objeto de estudo a evolução recente das formas de relevo. Além disso, o registro estratigráfico é parte dos arquivos naturais associados aos efeitos de mudanças climáticas locais e globais do Quaternário (SUGUIO, 1999).

Este trabalho¹ tem como foco o estudo paleoambiental da paisagem em depósitos coluviais e aluviais em ambiente de articulação entre encostas e vales de primeira ordem. Esses depósitos servem como indicadores de padrões de evolução de encostas no relevo colinoso dos municípios de Campo Alegre e Jaraguá do Sul, no estado de Santa Catarina, inserindo-se no contexto mais amplo dos estudos do Quaternário continental. Os mesmos têm origem na alteração química (intempérica e hidrotermal) dos substratos rochosos locais. Na área específica de estudo, os mantos de intemperismo são relativamente pouco espessos, enquanto os mantos formados pela alteração hidrotermal atingem dezenas de metros. Esses mantos formam materiais friáveis, favorecendo a erosão e o transporte de sedimentos ao longo de encostas e vales. Em algumas situações, depósitos coluvionares e aluvionares constituem também recursos minerais importantes economicamente, formando fontes de extração de saibro, areias e argilas, a exemplo das dezenas de minas de caulim (formado pelo hidrotermalismo) encontradas na região sul de Campo Alegre - SC.

¹ Este trabalho teve apoio e recebeu recursos do projeto de pesquisa “Variações composicionais da vegetação em função de mudanças ambientais naturais e induzidas: estratigrafia, palinologia e sistemas de informação geográfica em áreas de campos sulinos, cerrados e caatinga”. Edital MCT/CNPq/MEC/CAPES/FNDCT – Ação Transversal/FAPs Nº 47/2010 – Sistema Nacional de Pesquisa em Biodiversidade - SISBIOTA BRASIL. desenvolvido no Laboratório de Geodinâmica Superficial do GCN, sob a coordenação do Prof. Dr. Marcelo Accioly Oliveira.

No Brasil, os depósitos quaternários são encontrados em zonas litorâneas ou associados aos cursos d'água da maioria das bacias hidrográficas. Como o país não foi afetado pelo efeito de geleiras durante as glaciações quaternárias, a principal consequência dos períodos glaciais esteve associada à ocorrência de déficits hidrológicos notáveis, implicando em ambientes mais secos do que os atuais devido à baixa generalizada da umidade atmosférica associada à queda global das temperaturas da superfície. Já durante os períodos interglaciais, caracterizados por clima global mais quente e úmido, as precipitações tendem a aumentar em territórios tropicais e subtropicais (MOURA, 1994; SUGUIO, 1999; CASSETI, 2005).

Ao tentar reconstruir a dinâmica erosiva e deposicional em ambiente de articulação entre encostas e vales fluviais, este trabalho visa a aprofundar a interpretação paleoambiental associada à transferência de depósitos ao longo de vale de primeira ordem, relacionando tal dinâmica com os efeitos das mudanças climáticas regionais e globais sobre a evolução do relevo local.

A geomorfologia e a sedimentologia como fontes de interpretação paleoambiental em áreas tropicais e subtropicais são alvo de algum ceticismo, já que é difícil fazer correlações e comparações desses registros sedimentares com dados *proxies* climáticos (MOURA e SILVA, 1998; OLIVEIRA, BEHLING e PESSENDA, 2008). O problema reside no fato de que em áreas tropicais e subtropicais há uma acelerada ação de processos intempéricos e erosivos que criam lacunas entre os depósitos sedimentares e compartimentos geomorfológicos, acarretando na baixa resolução e na ausência de estruturas sedimentares bem definidas (THOMAS; NOTT; PRICE, 2001), o que dificulta a demonstração de uma ligação entre a evolução da paisagem e as mudanças climáticas globais.

Historicamente, os estudos do período Quaternário continental no Brasil tentaram associar as glaciações quaternárias com a alternância de fases mais secas, apoiando-se em concepções dedutivas da chamada teoria morfoclimática de Bigarella (1964), a qual associava formas de relevo a depósitos correlativos (MOURA, 1994; CASSETI, 2005). Desde então, a associação entre registro estratigráfico e formas de relevo tem sido utilizada como ferramenta de interpretação evolutiva da paisagem, já que o registro sedimentar preserva informações a respeito da dinâmica erosiva e deposicional ao longo de superfícies topográficas (BIGARELLA; MOUSINHO, 1965).

Apesar da complexidade de se identificar o ambiente e os agentes de sedimentação em áreas de transição entre encosta e vale, que dificultam a reconstrução paleoambiental, estudos recentes no sul do Brasil servem de exemplos de como a interpretação de dados

sedimentológicos e geomorfológicos são registros representativos de mudanças climáticas para áreas subtropicais. Dentre esses trabalhos, pode-se citar os estudos em turfeiras de Behling *et al.* (2004), Lima (2005 e 2010) e Bockmann (2012); em depósitos fluviais de Stevaux (1994), Fett Junior (2011) e Fujita (2014); em depósitos de cabeceira de vale de Ferreira (2009); ou de depósitos coluviais de Camargo (2005), Camargo Filho (2005), Paisani (2006), Paisani *et al.* (2008), Paisani e Pontelli (2010), Guerra e Paisani (2013) e Santos Junior (Inédito). Assim, este trabalho se assemelha à maioria das pesquisas mencionadas por contribuir para o estudo estratigráfico de depósitos continentais quaternários em áreas de articulação de vale de primeira ordem e encosta, acrescentando a tais estudos um melhor entendimento sobre como a construção do relevo se deu a partir de depósitos coluviais e como alterações no padrão sedimentológico estão relacionadas com as mudanças climáticas globais.

A escolha de depósitos próximos à localidade do Cerro do Touro, em Campo Alegre, foi feita considerando a proximidade do sítio estudado com áreas nas quais já foram descritas estruturas sedimentares bem preservadas, como laminações inclinadas, cruzadas e gradações múltiplas apresentadas por Ferreira (2009); assim como paleossolos e depósitos turfosos descritos por Oliveira *et al* (2006) e Lima (2010), os quais datam, pelo menos, do Pleistoceno Superior ao Holoceno.

A caracterização dos depósitos quaternários se dá por meio de estudos cronoestratigráficos, apoiados no reconhecimento de fácies, distribuição granulométrica e geometria das camadas, elementos essenciais para se reconstituir o paleoambiente.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho é realizar a interpretação paleoambiental associada à evolução do relevo mediante o estudo de depósitos quaternários em ambiente de articulação entre encosta e vale de primeira ordem, por meio dos seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar e analisar a estratigrafia dos depósitos;
- Definir e avaliar parâmetros texturais que permitam decodificar processos deposicionais em sedimentos coluviais e aluviais;
- Interpretar resultados globais para propor uma hipótese de gênese e evolução paleoambiental da área na qual estão inseridos os depósitos.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Configuram-se como objeto de estudo desta pesquisa os depósitos compostos por sedimentos quaternários, localizados em vertente de colina na área rural ao sul do município de Campo Alegre, próximos à divisa com o município de Jaraguá do Sul (Figura 1). O local se encontra acessível por meio de corte de estrada em talude de colina, o qual se articula com vale fluvial de primeira ordem, em relevo composto por colinas desenvolvidas sobre patamares estruturais (Figuras 01, 02).

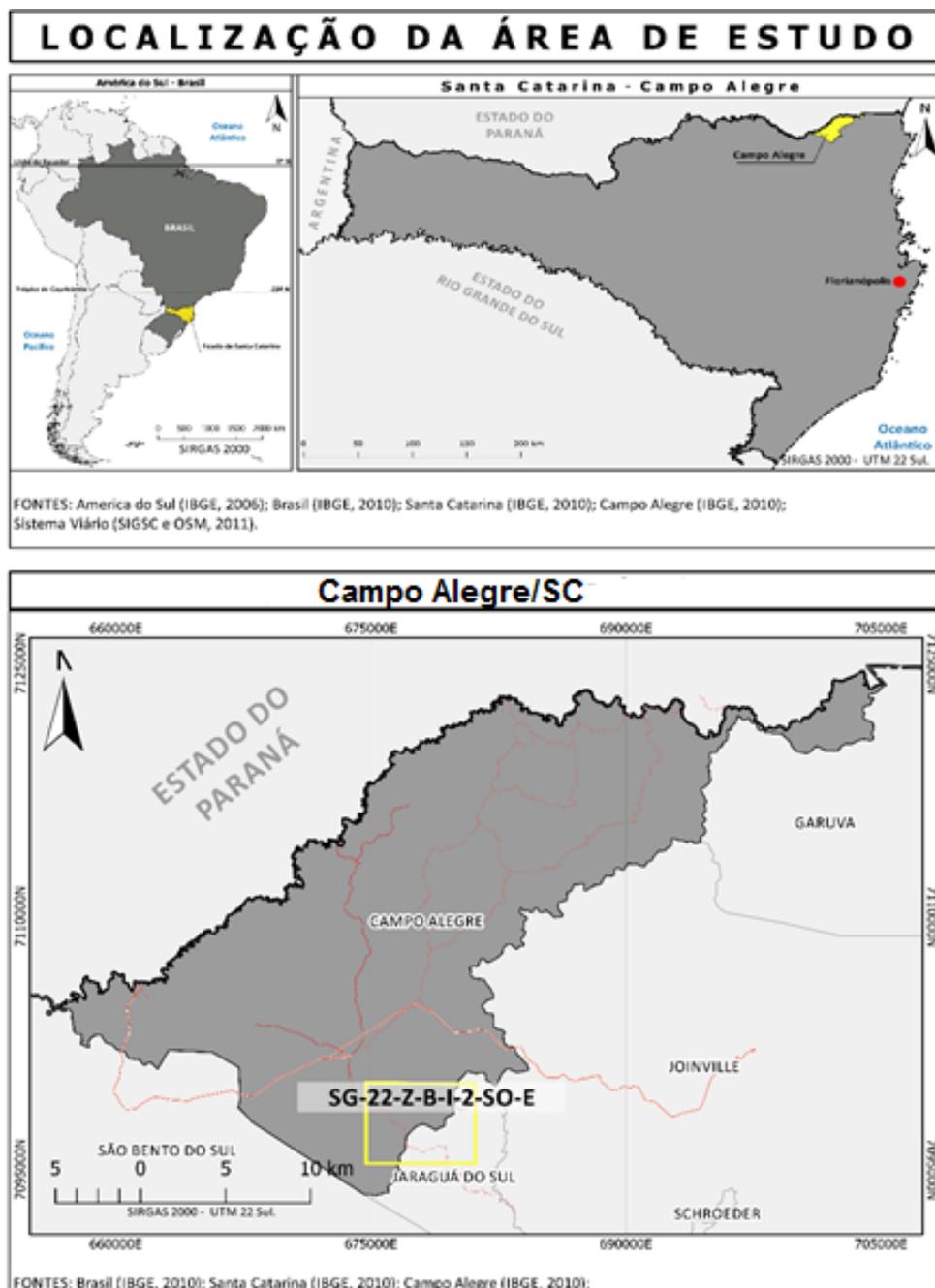


Figura 01: Localização da área de estudo.

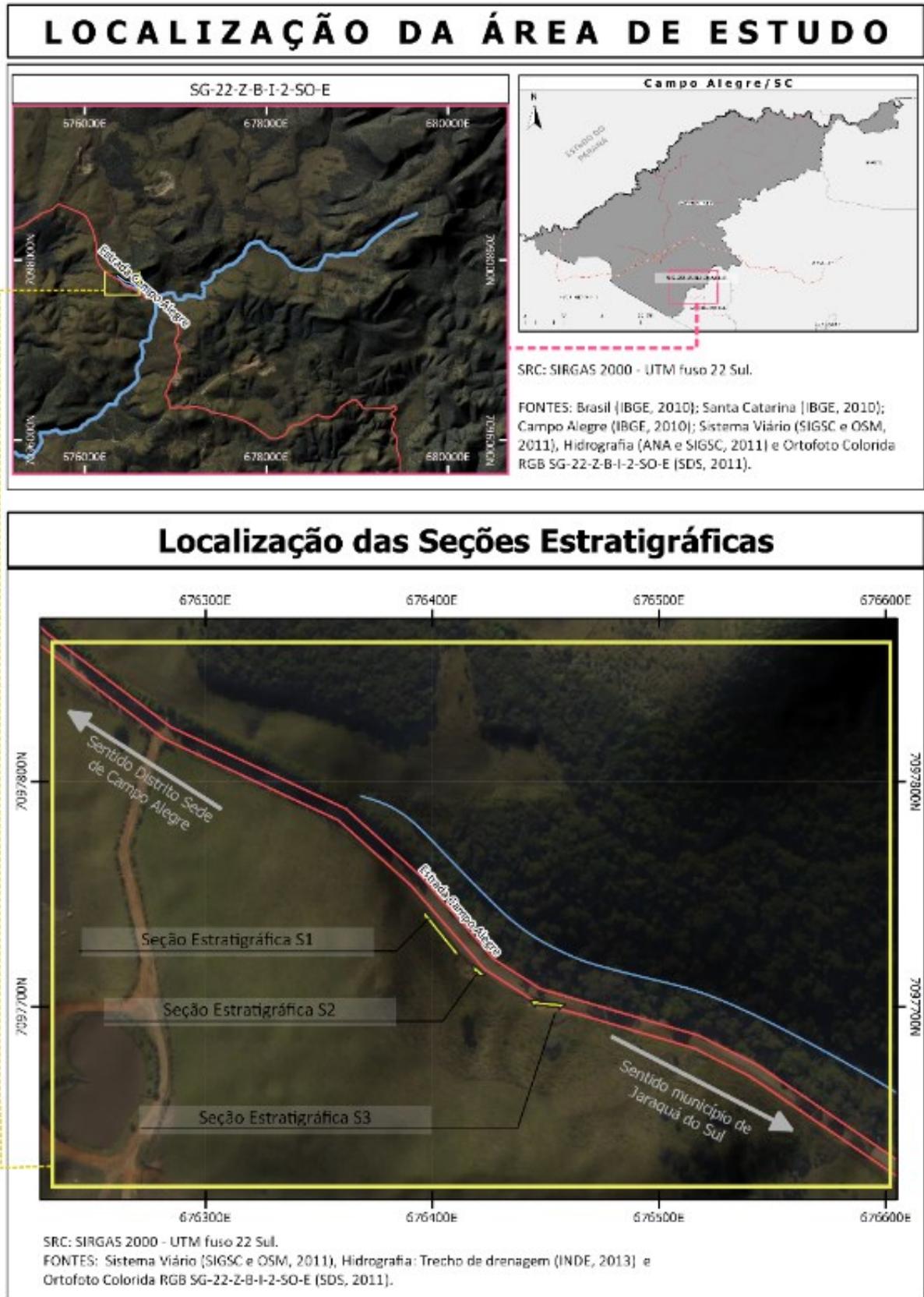


Figura 02: Localização das sessões estratigráficas no município de Campo Alegre – SC.

2.1 ASPECTOS FÍSICOS DA ÁREA DE ESTUDO

Localizado no planalto de São Bento do Sul, entre as unidades geomorfológicas Serra do Mar e Patamar de Mafra, o município de Campo Alegre encontra-se sobre rochas da bacia geológica de Campo Alegre, caracterizada como vulcano-sedimentar (EBERT, 1971:153, *apud* PELUSO JUNIOR, 1986). A bacia de Campo Alegre está inserida na porção norte da microplaca Luiz Alves, que é condicionada por estruturas deformacionais rúpteis transcorrentes, originadas a partir da interação entre as microplacas de Luiz Alves, de Curitiba e de Paranaguá (WAICHEL *et al.*, 1998). Na bacia de Campo Alegre, essas estruturas rúpteis podem ser encontradas em três sistemas de falhas normais, tendo como orientações: NE, toda a área da bacia; EW, ao norte; e NW, na porção centro-sul (BIONDI; BARTOSZECK; VANZELA, 2001) (Figura 03, página seguinte).

A bacia, formada ao final do ciclo Brasileiro, apresenta sequências vulcano-sedimentares que possuem diferentes proporções entre rochas sedimentares e vulcânicas com características estruturais e estratigráficas distintas (WAICHEL; LIMA; SOMMER, 2000). O preenchimento da bacia pode ser entendido a partir do desenvolvimento de sequências sedimentares associadas a rochas vulcânicas (570-530 Ma) (CITRONE, 1998), formadas em duas fases distintas, das quais resultaram: a) uma sequência basal constituída, fundamentalmente, por derrames e diques de traquitos que foram recobertos posteriormente por conglomerados e arenitos oriundos da erosão das bordas da bacia; e b) um conjunto de sequências explosivas/efusivas decorrentes da segunda fase da atividade vulcânica, frequentemente constituídas por brechas na base, e tufos e ignimbritos no topo. Ao final dessa segunda fase, ocorreu uma nova deposição de arenitos, siltitos e argilitos rítmicos, os quais recobriram os depósitos formados pela atividade vulcânica. Ainda na segunda fase vulcânica, verificou-se o acontecimento de eventos hidrotermais que alteraram as rochas locais. Como resultado dessa alteração hidrotermal e do intemperismo das rochas riolíticas e traquíticas, a região é rica em jazidas de caulim. As jazidas encontradas na região variam de cor, entre o branco e o verde, de acordo com o percentual dos minerais acessórios, predominantemente quartzo e/ou mica-moscovita (BIONDI; BARTOSZECK; VANZELA, 2001; MELCHIADES; MACHADO; BOSCHI, 2002).

Unidades Litoestratigráficas de Campo Alegre/SC

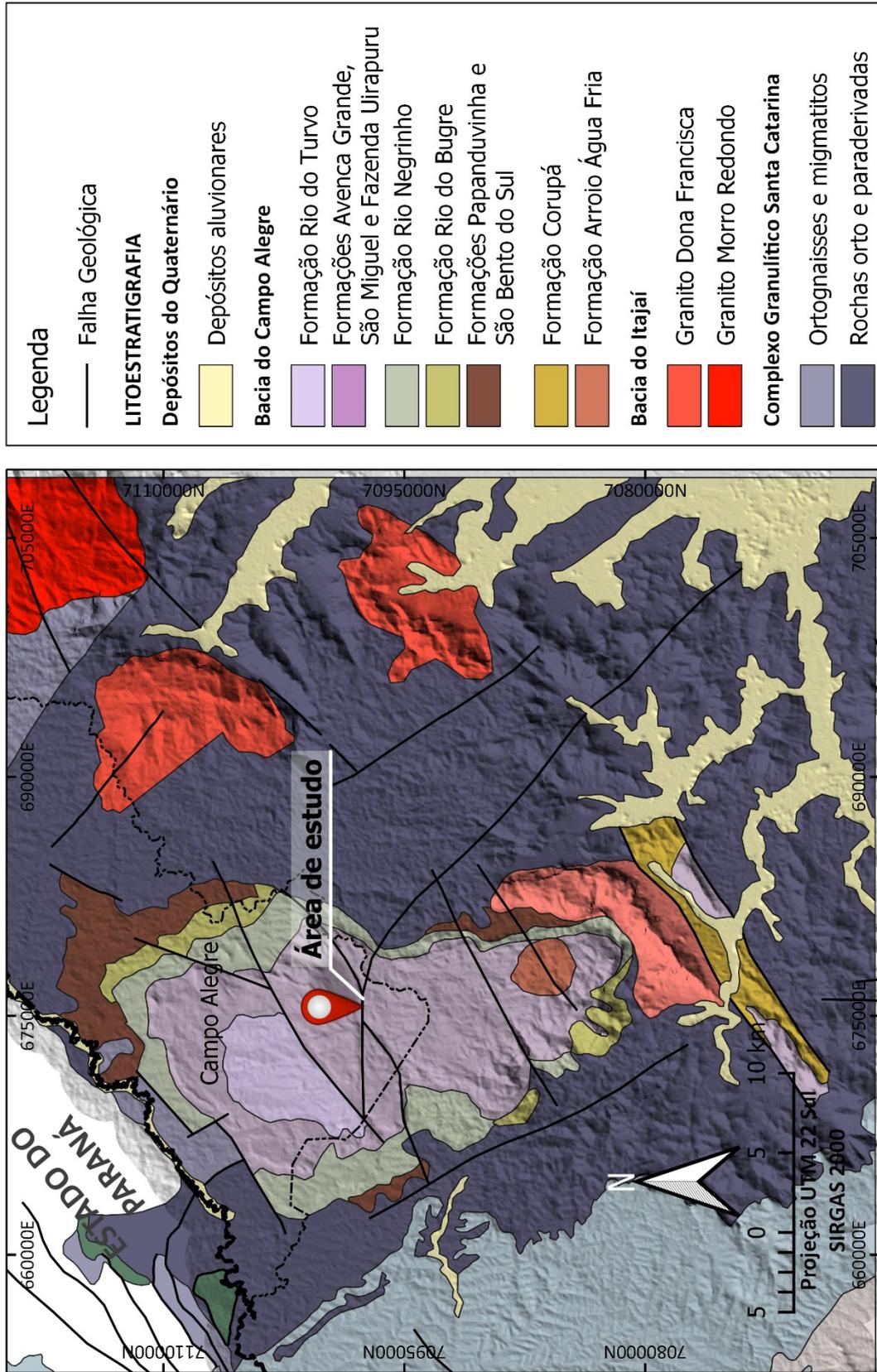


Figura 03: Unidades litoestratigráficas da Bacia de Campo Alegre.

Fontes: Litoestratigrafia (Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo - CPRM, 2004), Limites Administrativos Estaduais e Municipais (IBGE, 2010)

Segundo Ebert (1971), a Bacia de Campo Alegre engloba litologias pertencentes ao grupo Guaratubinha, no qual estão inseridas três formações: a) a Formação Bateia, localizada na parte inferior da sequência estratigráfica, formada por conglomerados polimíticos na base e por arenitos e siltitos no topo (CPRM, 2015); b) a Formação Campo Alegre, na qual predominam rochas vulcânicas englobando 1) a sequência efusiva inferior, com derrames de lava basáltica na base, e andesitos, riodacitos, dioritos intermediários e derrames e domos de lavas traquíticas no topo da sequência; 2) a sequência epiclástica e vulcanoclástica intermediária composta por siltitos, tufitos e tufos; e 3) a sequência efusiva superior composta por derrames de vulcanitos félsicos, traquitos, traquidacitos e riolitos (WAICHEL, 1998; CPRM, 2015); e, por fim, c) a Formação Rio Turvo, completando a sedimentação da bacia na porção superior com rochas epiclásticas com ou sem contribuição vulcânica, e com rochas piroclásticas (WAICHEL, 1998; CPRM, 2015).

Os depósitos estudados para este trabalho estão localizados sobre o embasamento de rochas da Formação Campo Alegre, cujas litofácies são de traquitos e quartzo-traquitos (CPRM, 2015).

Condicionado por seu arcabouço geológico, o município de Campo Alegre está inserido no domínio de dobramentos remobilizados, em região de reversos da Serra do Mar (SANTA CATARINA, 1986). O relevo é suavizado e apresenta como formas predominantes as colinas de baixa amplitude, cujas altitudes acima do nível do mar variam entre 800 e 900m, com predomínio geral de relevo do tipo tabular (PELUSO JUNIOR, 1986). Explica-se essa configuração do relevo devido à maior resistência ao intemperismo das rochas ácidas em relação às básicas, produzindo a individualização de platôs nas áreas de ocorrência dos vulcanitos (TONIOLO, 2015). Esses platôs juntamente com as falhas condicionam estruturalmente as colinas presentes na área (LIMA, 2005).

Os depósitos aqui tratados estão inseridos em ambiente característico de cabeceira de drenagem. Tais depósitos estão expostos em afloramentos artificiais do tipo corte de estrada, acessíveis utilizando a própria rodovia. Eles seguem pelo talude da colina até a formação de um anfiteatro, o qual é responsável por condicionar os movimentos gravitacionais de massa em sentido Leste-Oeste, perpendicularmente à direção do curso d'água de primeira ordem que escoia a cabeceira de drenagem conforme visualizado na Figura 04. Apesar de se esperar que os movimentos ocorram no sentido Norte-Sul, aqui, por causa da presença da colina onde há o corte produzido pela vertente, ocorrem sentido Leste-Oeste.

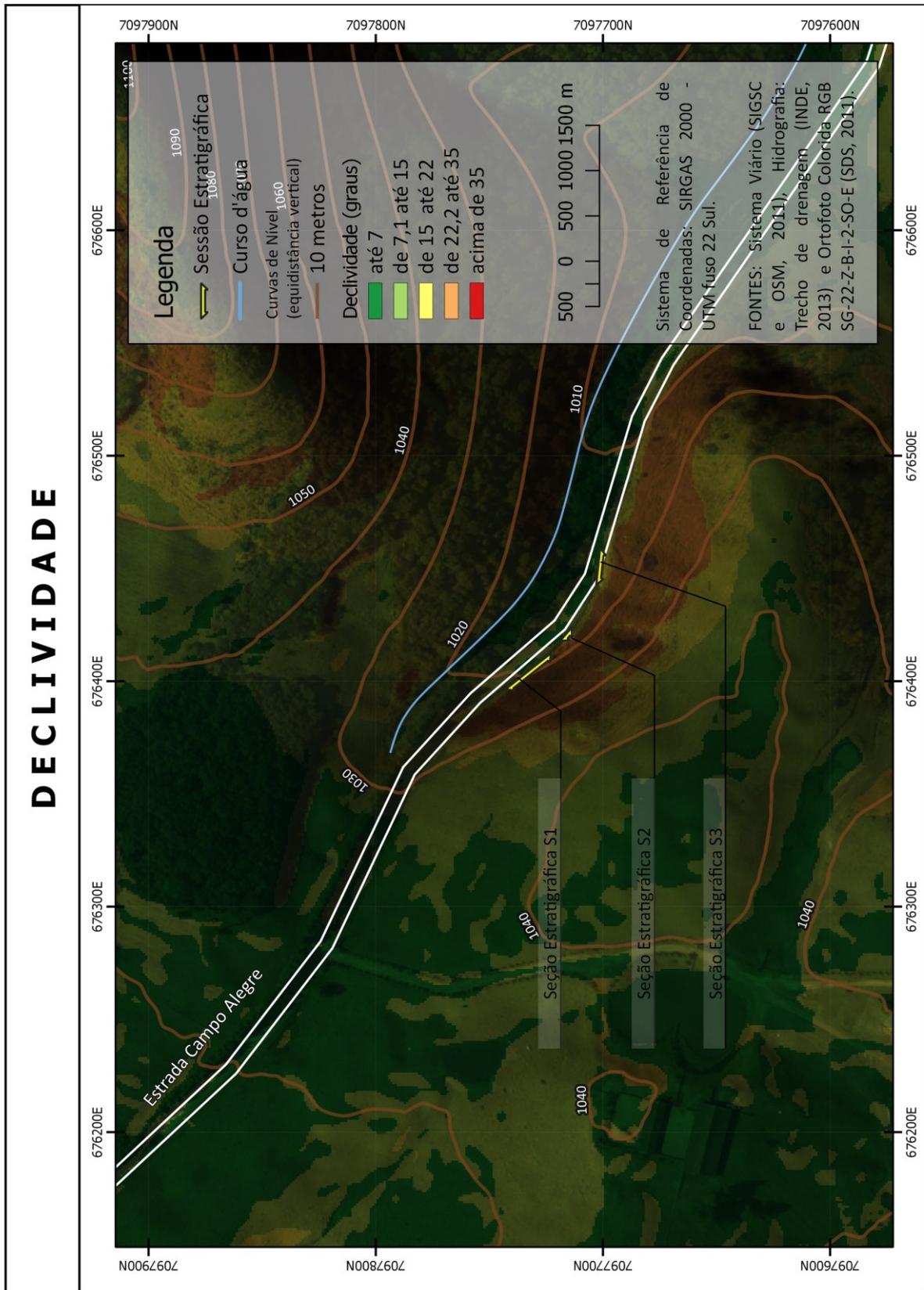


Figura 04: Declividade da área de estudo.

O relevo possui papel importante para a definição do clima local e regional. A elevada altitude do planalto influencia a manutenção das médias anuais de temperaturas em torno de 16,3°C. A pluviosidade média anual é de 1.404,9mm, bem distribuída ao longo do ano (SANTA CATARINA, 1986). A elevada disponibilidade hídrica, propiciada pelo clima atual, em associação com o relevo acidentado, facilita o trabalho erosivo das formas de relevo.

Em função desses fatores, o clima local é considerado como subtropical mesotérmico úmido *B₄B'ra'*, segundo classificação de Thornthwaite (SANTA CATARINA, 1986). A área em estudo está localizada no sul do município de Campo Alegre, possuindo comportamento de temperatura e pluviosidade diferenciado da porção centro-norte, na qual se localiza a parte urbana do município. A interação dos ventos oceânicos com o relevo local cria uma dinâmica denominada Efeito Foehn, segundo o qual o relevo local age como barreira geográfica natural, retendo umidade e baixas temperaturas a barlavento (localidade de Cerro do Touro), próxima à escarpa da Serra do Mar e causando o aumento da temperatura e diminuição da umidade a sotavento (na direção da aglomeração urbana de Campo Alegre) (FERREIRA, 2009). Em função disso, verifica-se empiricamente que as chuvas duram mais e são mais intensas na área de estudo, localizada à barlavento da cidade. Os depósitos quaternários e os solos com espessos horizontes húmicos refletem esse condicionamento orográfico (OLIVEIRA *et al.*, 2008)

As colinas locais apresentam espesso manto de alteração, resultado da convergência entre intemperismo meteórico e hidrotermal, permitindo o transporte e a acumulação de sedimentos ao longo do relevo e gerando depósitos passíveis de serem individualizados como camadas de sedimentos coluviais e aluviais, eventualmente intercalados com paleossolos e solos atuais. Os solos que ocorrem na área de estudo variam de neossolos litólicos a cambissolos, relacionados a afloramentos de rochas efusivas e de rochas sedimentares (SANTA CATARINA, 1986).

2.2 DESCRIÇÃO DO DEPÓSITO

Para a realização deste estudo, foi selecionado o depósito quaternário a ser pesquisado, exposto sob forma de corte de estrada vicinal conhecida informalmente como “Estrada Campo Alegre”, orientado no sentido norte-sul. O depósito está dividido em três seções estratigráficas distintas correlacionáveis entre si: as seções foram denominadas de seção estratigráfica 1 (S1) (Figura 05), localizada mais a norte, na estrada, no sentido Campo

Alegre; seção estratigráfica 2 (S2) (Figura 06), localizada na porção intermediária, a 9 metros da seção S1; seção estratigráfica 3 (S3) (Figura 07), localizada na porção sul da estrada, a 50 metros da seção S2.

As três seções estratigráficas possuem orientação predominantemente norte-sul e estão expostas em corte de estrada em encosta de colina, conforme ilustrado nas Figuras 04, 05 e 06. A base da seção S1 (seção principal) está apoiada em estrada com altitude média de 1.030m, com base em dados obtidos em campo. O topo da colina está localizado a oeste da estrada, e o vale de curso d'água sem toponímia, considerado de primeira ordem, localiza-se a leste da estrada. A vegetação de entorno é caracterizada por gramíneas, com vegetação arbustiva e arbórea do tipo ombrófila mista, desenvolvendo-se pelo vale.

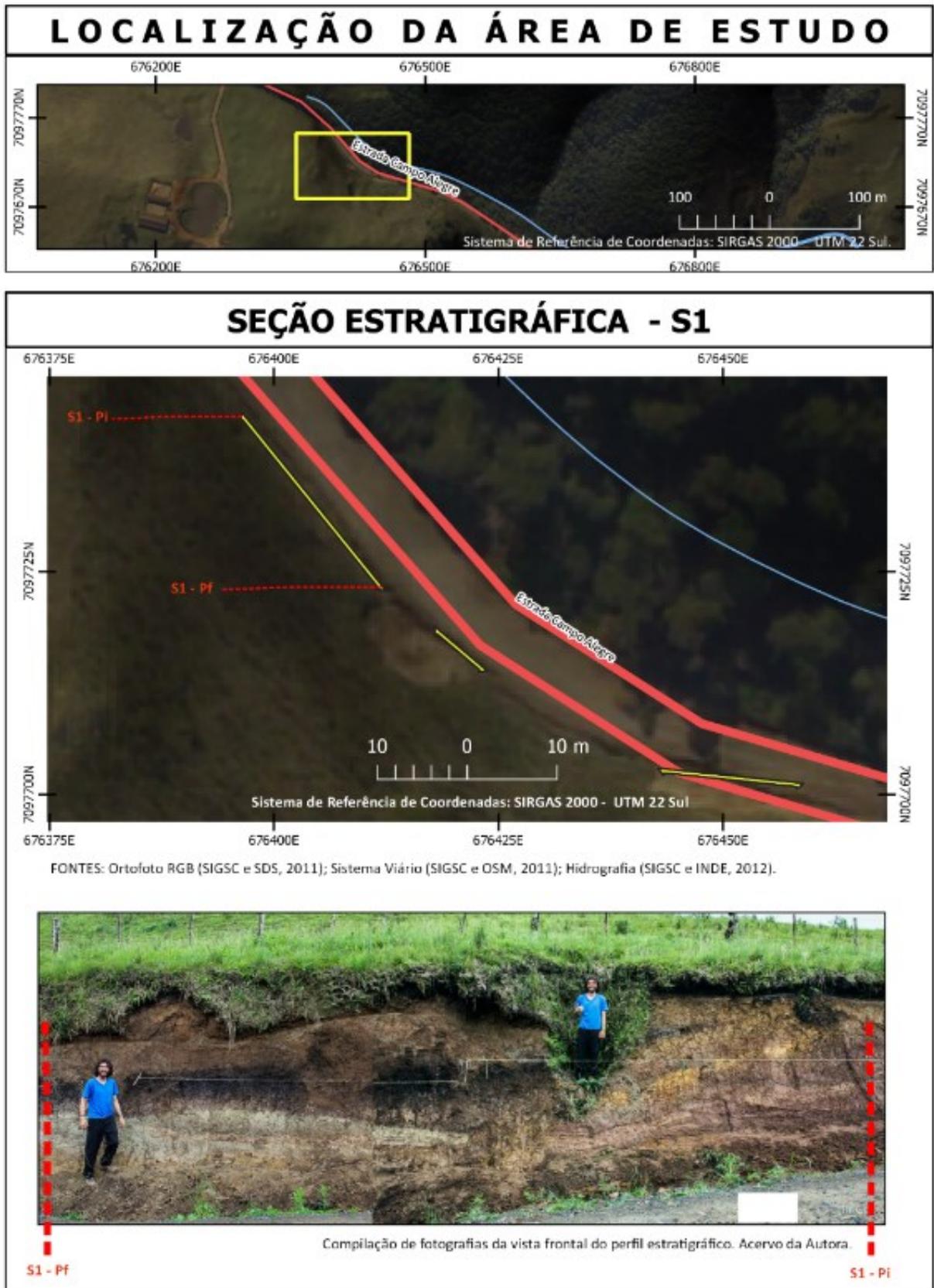


Figura 05: Localização e vista frontal da seção estratigráfica 01 – S1

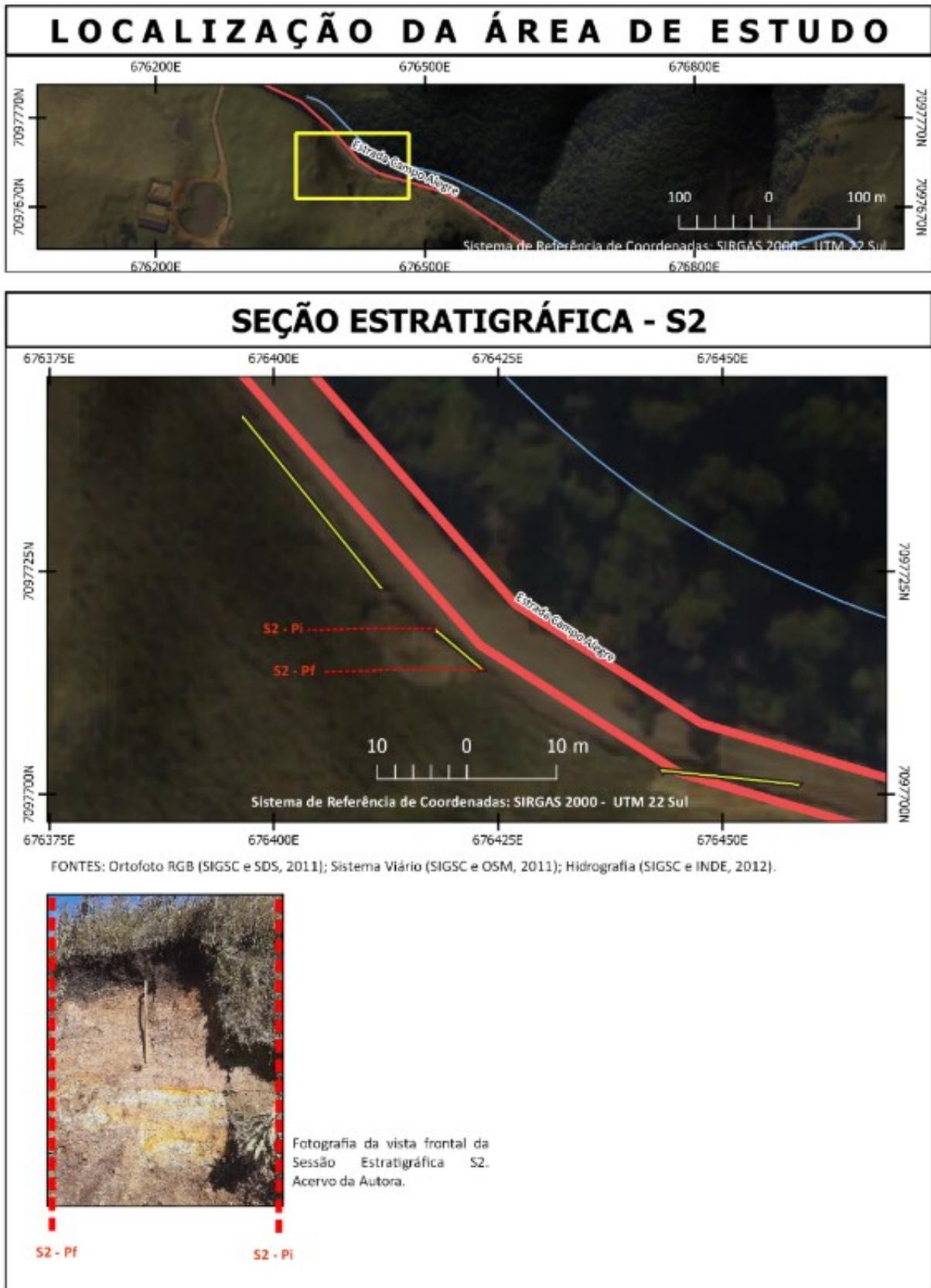


Figura 06: Localização e vista frontal da seção estratigráfica 02 – S2.

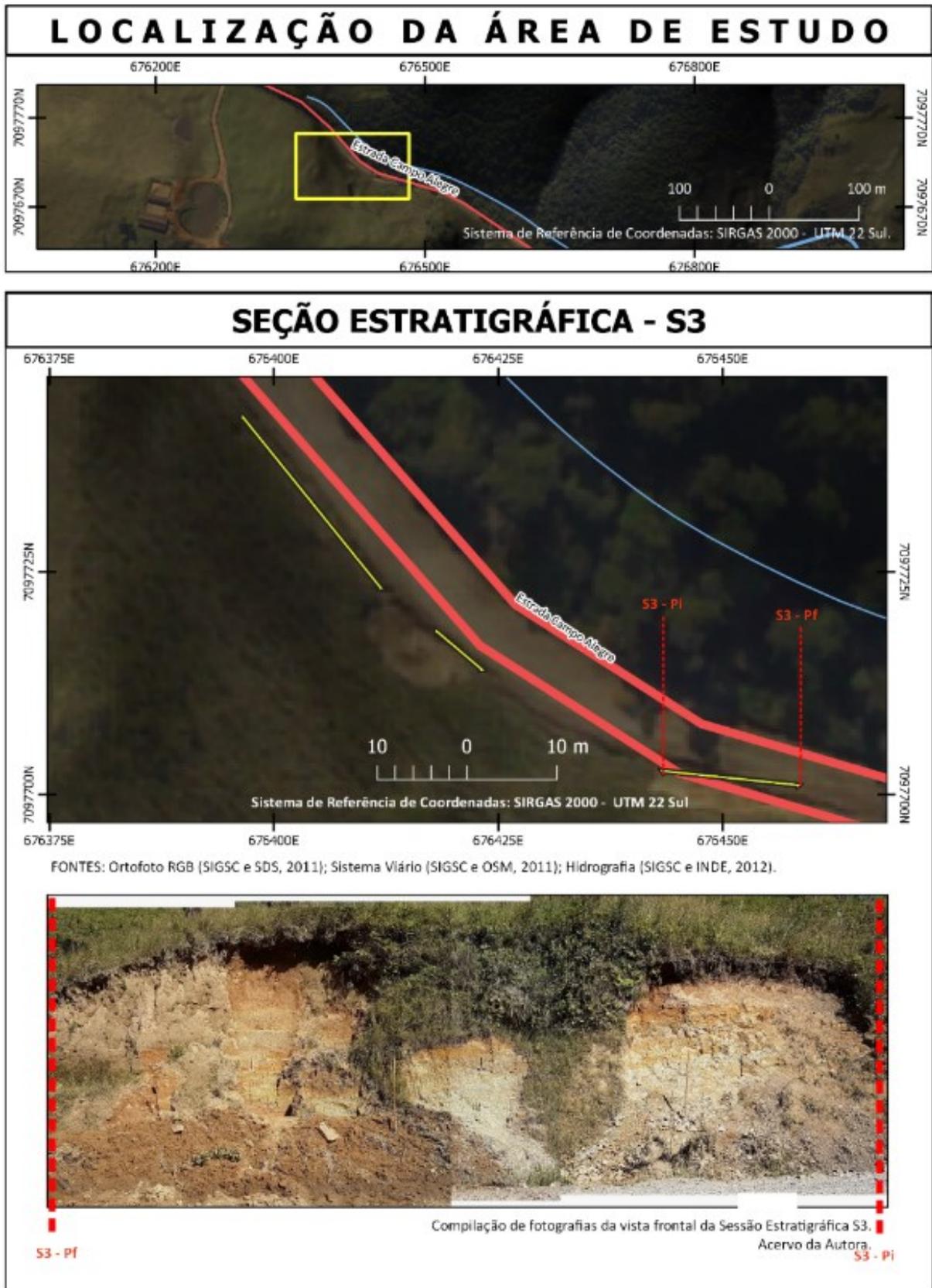


Figura 07: Localização e vista frontal da seção estratigráfica 03 – S3

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E MATERIAIS UTILIZADOS

Foram executados três levantamentos de campo, os quais permitiram: coletas de amostras seriadas (para análise granulométrica, datação e análise isotópica); e o levantamento de novos perfis descritivos para análise estratigráfica.

A seguir, detalham-se os procedimentos adotados em cada um dos levantamentos de campo.

3.1 COLETA E PROCESSAMENTO DE AMOSTRAS

Para a coleta das amostras, foi realizada a limpeza dos perfis descritivos com a ajuda de enxadão e pá. A fim de realizar a descrição das características físicas e a coleta de amostras das camadas identificadas, foram utilizados martelo pedológico, etiquetas e sacos plásticos, faca, régua, trena, tabela Munsell, e borrifador de água.

Em campo, foi feita a descrição das características dos materiais, bem como o desenho do croqui em papel milimetrado em escala, tomando as medidas a partir de linha guia nivelada, materializada sobre o depósito. Os croquis foram vetorizados no programa Inkscape e associados às fotografias obtidas em campo para melhor compreensão das geometrias das camadas.

As amostras foram coletadas para análise granulométrica ao longo de perfis descritivos. As análises granulométricas dos materiais foram realizadas no equipamento HORIBA LA 950v2. O HORIBA é um analisador de distribuição de tamanho de partícula a partir do uso de feixes de *laser* e *led*, que medem a atenuação dos feixes que atravessam a amostra em suspensão. O equipamento analisa partículas em uma faixa de tamanho entre 10 nm e 3 mm, gerando resultados distribuídos em 86 classes granulométricas. O equipamento usado é mais indicado para sedimentos finos, sem cascalho, pois não foi concebido para depósitos rudáceos.

O procedimento foi realizado no Laboratório de Geodinâmica Superficial (LOC-UFSC) com a supervisão da aluna bolsista responsável Patrícia Tortora pelo uso do HORIBA.

Para a realização da análise granulométrica, foi realizado um tratamento anterior das amostras, a partir da metodologia apresentada por Suguio (1973), no laboratório de Pedologia da UFSC. Observou-se as seguintes etapas: secagem *in natura*; avaliação do percentual visual de grânulos com base na tabela de Munsel; destorroamento manual; peneiração para separação da fração grânulos, utilizando-se peneira de 2mm; pesagem da fração grânulos; e

quarteamento da amostra sem grânulos. A fração sem cascalho é submetida à análise pelo HORIBA, o que implica nos seguintes procedimentos: 1) a limpeza do equipamento com a utilização de água filtrada; 2) a calibração do equipamento para que possíveis impurezas da água filtrada e partículas de sais do dispersante não influenciem nos resultados; e a 3) inserção de uma pequena quantidade de amostra (mensurada de acordo com a resposta do equipamento para manter a concentração de sedimentos na faixa de leitura ideal pelo equipamento). Os resultados gerados pelo HORIBA são apresentados em forma de gráficos, arquivos *txt* e *pdf*.

Devido ao alto grau de alteração dos clastos nos depósitos estudados, algumas unidades estratigráficas foram alvo de coleta de amostras indeformadas para impregnação e contagem de grãos por microscopia. Para a coleta e impregnação foi adaptada a metodologia apresentada no Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (2006), observando as seguintes etapas: 1) coleta de amostra indeformada em caixa de papelão com o auxílio de faca, que ocorre demarcando-se a amostra no perfil e cuidadosamente desbastando-se as laterais até o perfeito encaixe da caixa, a fim de identificar as amostras com as informações do perfil; 2) secagem *in natura* da amostra; 3) preparação da resina Epoxi; 4) disposição da amostra em recipiente adequado dentro do dessecador, preenchendo o recipiente com a resina; 5) criação de vácuo no interior do dessecador para que a amostra seja impregnada por capilaridade; 6) endurecimento completo da resina para corte e confecção das lâminas; e, por fim, 7) o corte, desbaste e polimento da amostra para confecção da lâmina a 30 micron de espessura.

As análises estatísticas para a determinação do tamanho médio de grão, mediana, grau de seleção e curtose de cada amostra foram geradas no programa Sysgran com base nas fórmulas de Folk e Ward (1957). Os resultados em percentuais das frações granulométricas foram organizados no Excel e plotados em diagramas ternários. A compilação dos resultados granulométricos foi realizada utilizando o diagrama de Flemming (2000) para a classificação e avaliação de sedimentos finos. O diagrama foi concebido para a classificação de sedimentos lamosos, permitindo avaliação de depósitos quaternários, como os gerados na área de estudo, e em outras localidades onde predominam mantos de intemperismo finos (OLIVEIRA *et al.*, 2003). Ao trabalhar com sedimentos lamosos, Flemming (2000) utilizou de critérios hidrodinâmicos para propor 25 classes de sedimentos a partir das frações areia e lama (silte + argila). Essas classes estão agrupadas em 6 tipos de sedimentos: 1) areia (S): < 5% lama; 2) areia levemente lamosa (A): 5 – 25% lama; 3) areia lamosa (B): 25 – 50% lama; 4) lama arenosa (C): 50 – 75 % lama; 5) lama levemente arenosa (D): 75 – 95% lama e 6) lama (E): > 95% lama. Oliveira *et al.* (2003) utilizaram com sucesso o diagrama de Flemming para

classificar sedimentos quaternários continentais de cabeceira de vale com elevado teor de lama. Em sua aplicação, Oliveira *et al.* (2003) conseguiram associar o depósito sedimentar à energia do agente de transporte e facilitar as interpretações paleohidrológicas. A escolha pela utilização desse sistema de classificação se justifica pelo caráter predominantemente lamoso dos depósitos estudados.

No entanto, os depósitos colúvio-aluvionares com cascalho foram classificados pelo uso do diagrama de Folk (1954), o qual subdivide os sedimentos grosseiros em 15 classes: C- Cascalho; Ca - cascalho arenoso; Cal - cascalho areno-lamoso; Cl - cascalho lamoso; L - lama; Lc - lama cascalhenta; L(c) - lama ligeiramente cascalhenta; La(c) - lama arenosa ligeiramente cascalhenta; La - lama arenosa; A - areia; Al - areia lamosa; Alc - areia lamo-cascalhenta; Al(c) - areia lamosa ligeiramente cascalhenta; Ac - areia cascalhenta; A(c) - areia ligeiramente cascalhenta. Folk (1954), ao propor essa classificação, utiliza o termo lodo para representar as frações finas (silte + argila), aqui adaptado para lama. A utilização das classificações ternárias de Folk (1954) e Flemming (2001) possibilita abordar todos os sedimentos característicos do depósito.

3.2 REFERENCIAL GEOCRONOLÓGICO

De modo a complementar as datações (^{14}C) já disponíveis para a área de estudo, submeteu-se três amostras a datação por radiocarbono (^{14}C). Conhecendo-se a quantidade de Carbono 14 presente na atmosfera e seres vivos, e conhecendo o tempo de meia-vida do isótopo C^{14} como sendo de 5.730 anos, é possível calcular a idade ao se medir a radioatividade residual do fóssil. O método possui como alcance temporal calculável idades entre 100 a 40.000 anos (FRANCISCO, 2011). Submeteu-se ainda uma amostra para datação por luminescência opticamente estimulada (LOE) para datação. A datação por luminescência opticamente estimulada (LOE) é um método indireto de determinação de idades de depósitos eólicos, praias e fluviais. Baseia-se na luminescência de minerais comuns que absorvem luz a partir de exposição de radiação ionizante e a emite posteriormente quando submetidos a um agente excitante (GUEDES *et al.*, 2011). A utilização do LOE se fez necessária dada a ausência de material orgânico em parte do depósito.

Foi utilizado ainda o método de isótopo Carbono 13 (C^{13}) em oito amostras retiradas de camadas orgânicas para a identificação de gêneros vegetais predominantes. Essa análise contribui para a interpretação paleoambiental ao expressar proporcionalmente a

predominância de espécies arbóreas-arbustivas ou gramíneas durante a formação da camada orgânica.

Todas as análises de Carbono foram realizadas no laboratório Beta Analytic Inc. (EUA) e a análise da amostra de LOE foi realizada pela empresa Datação, Comércio e Prestação de Serviços Ltda (São Paulo).

3.3 CARACTERIZAÇÃO ESTRATIGRÁFICA E INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL

A caracterização estratigráfica resultou da análise das propriedades físicas das unidades deposicionais, como cor, textura, estrutura, espessura e transição entre camadas. A geometria aparente das camadas e dos horizontes pedológicos foi definida em campo e representada por desenho sistemático, referenciado por nível e fotografias.

Foram construídos três perfis descritivos em diferentes pontos da seção estratigráfica S1 (Figura 14, no capítulo 5), buscando localizar e representar todas as camadas dos depósitos estudados. Traçou-se apenas um perfil descritivo para a seção S2, devido à sua extensão estreita, e outro para a seção S3. As informações dos perfis descritivos foram sistematizadas em tabela, com o detalhamento de características como: unidade de campo, fácies proposta, contatos, classe granulométrica, estrutura, descrição sedimentológica/pedológica e indicação de fotos obtidas.

A partir dos dados obtidos, foi realizada a análise de fácies e suas associações para a determinação dos ambientes de sedimentação. A análise de fácies é um método sedimentológico pelo qual se estuda as fácies: corpo sedimentar com características físicas, litológicas e biológicas únicas que o diferenciam dos corpos sedimentares adjacentes. Segundo Catuneanu (2006), a análise de fácies é fundamental para qualquer estudo estratigráfico, ao evidenciar vestígios que podem ser a chave para a reconstituição paleoambiental. No contexto estratigráfico, possui como relevância o entendimento das mudanças cíclicas nos processos que formam os sistemas de deposição (CATUNEANU, 2006).

As seções foram correlacionadas entre si, a partir do referencial topográfico expedito. Foi utilizado o nível de mão para avaliar o desnível topográfico entre seções estratigráficas adjacentes, permitindo correlacionar unidades estratigráficas em seções localizadas em diferentes pontos do relevo local. Após individualizar, caracterizar e correlacionar unidades

estratigráficas das diferentes seções abordadas, os depósitos foram analisados em termos de eventos deposicionais, segundo a geocronologia relativa e absoluta.

A interpretação paleoambiental do depósito foi realizada a partir dos resultados globais obtidos, relacionando-os com a bibliografia consultada sobre o problema da evolução do relevo continental e dos depósitos associados durante o período quaternário no Brasil.

4 DEPÓSITOS DE ENCOSTA E EFEITOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS SOBRE A EVOLUÇÃO DO RELEVO

4.1 MATERIAIS E PROCESSOS QUE RECOBREM AS ENCOSTAS

Os depósitos sedimentares são registros que expressam eventos geológicos recentes ocorridos no Quaternário e no Neogeno, e que estão associados à transferência de material entre a superfície do relevo e áreas de acumulação (SUGUIO, 2010). Enquanto registros de caráter continental, portanto, esses depósitos fornecem indícios sobre a evolução do relevo e, em escalas de maior detalhe, sobre a evolução de encostas em áreas tropicais e subtropicais do Brasil. Em geral, esses depósitos apresentam alternância de unidades colúviais, colúvio-aluviais e aluviais. Essas unidades são frequentemente alteradas por processos pedogenéticos. Também é frequente a ocorrência de paleossolos enterrados nesses registros. O conjunto das sequências estudadas reflete, portanto, os efeitos do trabalho morfogenético e pedogenético em diferentes climas do passado e em diferentes localidades, tendo como principal objeto de estudo as superfícies de articulação entre encostas e vales, com o foco centrado nos seus respectivos depósitos (BIGARELLA *et al.*, 1994; PAISANI e OLIVEIRA, 1998, CASSETI, 2005).

Como encostas são melhor desenvolvidas em relevo do tipo colinoso, podemos observar, em geral, diferentes materiais do topo para a base de colinas: a) material *in situ* (elúvio), em geral em seu cume, resultado da decomposição da rocha local; b) material transportado (colúvio), sobrepondo-se a material *in situ* na média e baixa vertente, aumentando em espessura à medida que a declividade diminui; c) e material aluvial, depositado pelos cursos d'água, preenchendo os fundos de vale (BIGARELLA *et al.*, 1994). Esses materiais compõem as chamadas formações superficiais² e podem ser definidos como segue:

- a) Elúvios são constituídos por todo material alterado por intemperismo químico e/ou físico que permanece *in situ* (GUERRA, 1989; CASSETI, 2005), formando, normalmente, contato gradacional com a rocha subjacente (CASSETI, 2005).

² Formações superficiais são aqui entendidas como todo material inconsolidado, resultante da decomposição de rochas, que tenha sofrido ou não transporte, e/ou tenha sido submetido a processos pedogenéticos.

- b) Entende-se por depósito coluvial o material indiferenciado e mal estratificado, que resulta de movimentação do manto de intemperismo através das vertentes (BIGARELLA *et al.*, 1994; MOURA e SILVA, 1998; CASSETI, 2005). A formação do depósito coluvial está associada a processos de movimentação de massa, entendidos como o deslocamento coletivo de partículas ou de parte do regolito, devido à ação da gravidade, independentemente da diversidade desses processos, de suas causas, velocidade de deslocamento e demais características. Esses processos geram depósitos ao longo de vertentes ou no sopé de montanhas e colinas (CHRISTOFOLETTI, 1980; GUIDICINI e NIEBLE, 1983; BIGARELLA, 2003). Os movimentos de massa podem ser divididos em rastejo, escorregamentos, quedas, corridas.
- c) Os depósitos aluvionares são originados a partir da deposição de sedimentos transportados pela ação dos rios e de fluxos não canalizados (GUERRA, 1989). Os sedimentos podem se depositar em leques aluviais, fundos de rio, barras e ilhas, ou leques deltaicos (RICCOMINI; GIANNINI; MANCINI, 2000). Trata-se de depósitos clásticos de tamanhos variados (GUERRA, 1989; RICCOMINI; GIANNINI; MANCINI, 2000). O transporte do material se dá principalmente por três maneiras: fluxos de detritos (formadores dos leques aluviais), carga suspensa ou por carga de fundo que transportam o sedimento através da suspensão, saltação, arrasto ou rastejamento, rolamento, tração. Esses meios de transporte são definidos pela distribuição da velocidade e da turbulência dos fluxos, que podem ser confinados ou não.
- d) Solo é a camada superficial de terra arável, possuindo vida microbiana (GUERRA, 1989). Os solos resultam da modificação física e química do chamado material parental (elúvios e sedimentos inconsolidados) por processos pedogenéticos (GUERRA, 1989). Trata-se de material superficial inconsolidado, de composição mineral e/ou orgânica, que serve de sustentação às plantas (IBGE, 2007). Os processos pedogenéticos (podzolização, laterização, salinização, gleização) provocam transformações, adições, remoções e translocações no material pedogenizado (LEPSCH, 2010), que refletem, genericamente, as principais condições ambientais associadas às diferentes classes de solo. Paleossolos são solos formados no passado geológico em ambientes distintos dos atuais. Paleossolos podem ocorrer na superfície do terreno, ou enterrados em subsuperfície (SUGUIO, 1998, IBGE, 2007). Em geral, encontra-se paleossolos

intercalados com depósitos colúviais a aluviais (CAMARGO FILHO, 2005). Em função de sua associação com ambientes pretéritos, o estudo de paleossolos possibilita fortalecer a interpretação paleoambiental associada à evolução do relevo (CASSETI, 2007).

O intemperismo e erosão das rochas e solos geram sedimentos que são transportados pela interação gravitacional entre partículas e fluidos sob a influência de propriedades como o volume, tamanho ou a massa do sedimento e a densidade dos fluidos, resultando em diferentes processos de transporte associados a dois tipos distintos de fluxo: fluxos de baixa viscosidade e fluxos densos ou gravitacionais (Quadro 01). A caracterização desses fluxos através dos seus produtos deposicionais permite interpretar ambientes de sedimentação (GIANNINI; RICCOMINI, 2000).

Tipos de fluxo	Tipos de processo	Mecanismo de interação intergranular e/ou grão/fluido (sustentação do movimento)	Produto
Fluxos de Baixa Viscosidade	Suspensão	Carreamento ou sustentação do grão acima da interface sedimento/fluido	Leito plano (Deposição ocorre na vertical; promove acúmulo gradual dos grãos e crescimento do leito sedimentar de baixo para cima)
	Saltação	Manutenção temporária do grão em suspensão em trajetória aproximadamente elíptica	Leito com morfologia de marca ondulada assimétrica
	Arrasto ou rastejamento	Deslocamento do grão subparalelo e rente à interface sedimento/fluido	
	Rolamento	Rotação do grão em torno de um eixo por sobre outros grãos da interface	
	Tração	Movimento do grão por arrasto e rolamento	Leito plano (Deposição no sentido da tensão tangencial com forte componente paralelo ao leito sedimentar)
Fluxos Densos ou Gravitacionais	Queda de rocha	Cisalhamento ao longo de fraturas e na superfície de contato de clastos rudáceos	Depósitos de olistólitos (clastos rudáceos deslocados ou ressedimentados a pequena distância)
	Deslizamento	Cisalhamento concentrado ao longo de superfícies planas de descontinuidade física	Falhas normais de alta encosta ou talude: olistólitos tabulares deslizados (<i>slide deposits</i>)
	Escorregamento	Cisalhamento concentrado ao longo de superfícies curvas de descontinuidade física	Falhas lístricas; depósitos dobrados de baixa encosta ou talude; olistólitos deformados
	Fluxo granular	Pressão dispersiva e peneiramento cinético	Lentes delgadas de areia (espessura máxima subdecimétrica) com gradação inversa e empacotamento aberto
	Fluxo de	Tensão interna	Depósitos rudáceos com organização

detritos ou de lama	(densidade/viscosidade) da matriz: empuxo e ou turbulência viscosa	incipiente
Acomodação de sedimentos liquefeitos	Descenso (compactação) de grãos e deslocamento ascendente de fluidos intersticiais	Areias com aspecto maciço ou estruturas deformacionais caóticas (convoluções)
Acomodação de sedimentos fluidificados	Escape ascendente concentrado de fluidos	Areias com estruturas em pires (<i>dish</i>), tubos de escapes de fluidos (<i>pilar</i>) e microvulcões
Corrente de turbidez	Turbulência fluidal, sob energia e concentração declinantes	Turbiditos: sucessões granodécrescentes de areia cascalhosa a argila

Quadro 01: Associação de tipo de fluxos, tipo de processos, mecanismos de interação intergranular e/ou grão/fluido e produto. Adaptado de Giannini e Riccomini (2000).

Em meio pouco viscoso (ar e água), o comportamento dinâmico de um grão depende da interação entre o campo de forças em ação e as características gerais do grão transportado, como forma, densidade, tamanho e rugosidade superficial. Essa interação causa a seleção dos grãos pelo agente de transporte, separando os grãos mais leves dos mais pesados (GIANNINI; RICCOMINI, 2000). Estruturas deposicionais resultam dessa interação primária e a sua identificação permite interpretar ambientes de sedimentação (NICHOLS, 2009) por meio da caracterização faciológica.

O tamanho do grão transportado pelos diferentes tipos de escoamento é um importante atributo a ser analisado no estudo sedimentológico. Igualmente importante é a distribuição estatística do tamanho de grãos transportados e depositados. De acordo com o grau de seleção e o tamanho médio dos grãos, é possível inferir velocidades de escoamento do fluxo, identificando limiares de erosão, transporte e deposição, como ilustra o diagrama abaixo (Figura 08):

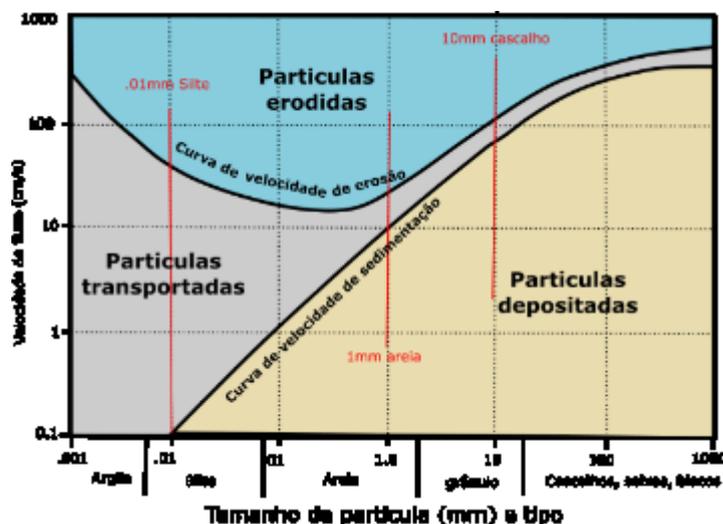


Figura 08: Diagrama de Hjulström-Sundborg. Adaptado por Earle, S. (2014).

A competência do fluxo de baixa viscosidade (o maior tamanho de grão transportado) e o grau de seleção permitem inferências sobre o ambiente de sedimentação.

Os fluxos densos ou gravitacionais ocorrem quando o fluxo deixa de ser comandado pelo fluido e passa a ser comandado pela gravidade. Os fluidos têm o papel de lubrificar a superfície, reduzindo a fricção entre a superfície de movimentação e os grãos, ou reduzir a fricção entre grãos, facilitando a ação da gravidade. A movimentação cessa quando os grãos são depositados (BOGGS, 2012). Os fluxos de detritos e fluxos de lama são considerados fluidos plásticos. A coesão é gerada a partir das partículas finas, principalmente argila (BOGGS, 2012).

4.2 ANÁLISE DE FÁCIES E ELEMENTOS ARQUITETURAIS

Neste trabalho será utilizada a definição de fácies proposta por Selley (1988), e as definições de sucessões de fácies e de associações de fácies, utilizadas por Borghi (2000). Selley (1988) apresenta de forma simplificada o conceito de fácies como a massa de sedimento ou de rocha sedimentar caracterizada e distinguida das demais pela litologia, geometria, estruturas sedimentares, padrões de paleocorrentes e teor de fósseis. A sucessão de fácies é entendida como uma relação de dimensão única e específica associada à sequência linear entre as fácies, geralmente expressa na dimensão vertical por um perfil sedimentográfico. A associação de fácies é entendida como uma relação espacial tridimensional, definida por correlações tanto verticais quanto laterais, observadas em diferentes perfis verticais ou seções sedimentográficas. O objetivo final da análise de fácies é a síntese de todas as relações observadas entre as sucessões e associações acima, conduzindo ao conceito de modelo de fácies (BORGHI, 2000).

O conceito de fácies está diretamente relacionado com o de ambiente de sedimentação. Estudos faciológicos são pautados pela lei de correlação de fácies (ou “Lei de Sucessão Vertical de Fácies”, ou ainda “Lei de Walther”), em que a correlação entre as características que revelam as origens dos sedimentos e rochas permite a definição de ambientes deposicionais e a interpretação genética de registros estratigráficos através da chamada análise de fácies (MIALL, 1985).

A correlação de fácies é a identificação das fácies em uma sucessão vertical, fazendo associações de fácies com relações genéticas e ambientais. Geralmente é representada em um

perfil colunar em 2D. Essa variação vertical de fácies, para Walker (1990), representa a migração ao longo do tempo de fácies que existiram lateralmente, sendo possível criar correlações de mudanças entre variações laterais e verticais. (BORGHI, 2000).

Elementos arquiteturais são definidos por superfícies de descontinuidades que separam as fácies e associações de fácies. Essas descontinuidades subdividem uma sequência sedimentar em pacotes geneticamente relacionados e hierarquicamente estruturados conhecidos como elementos arquiteturais (FERREIRA-JÚNIOR e CASTRO, 2008). Essas massas sedimentares caracterizadas por geometrias estratificadas, escalas e superfícies de acamamento limitantes são as características de um elemento arquitetural, resultado da própria caracterização faciológica dessas massas sedimentares (BORGHI, 2000).

Os elementos arquiteturais são as peças-chave da análise de fácies que, ao serem correlacionados, possibilitam a análise de modelos de fácies. Esses modelos por sua vez, são peças menores de uma arquitetura deposicional. Ao estudar as fácies, associações de fácies ou elementos arquiteturais, pode-se fazer comparações e interpretações devido ao caráter de ocorrência universal que esses elementos possuem (WALKER, 1990).

Ao estudar depósitos fluviais, Miall (1985) propõe quatro tipos básicos de padrões de canal (retilíneo, entrelaçado, meandrante e anastomosado), e três classificações para as formas de leito arenoso (microformas, mesoformas e macroformas). A classe das macroformas permite a definição de oito elementos arquiteturais básicos e de suas respectivas siglas (Figura 09 e Quadro 02): 1) canais (CH); 2) barras e formas de leito de cascalho (GB); 3) formas de leito arenosas (SB); 4) camadas frontais (FM); 5) depósitos de acreção lateral (LA); 6) sedimentos de fluxos gravitacionais (SG); 7) camadas tabulares de areias laminadas (LS), e 8) depósitos finos de planície de inundação (FF) (MIALL, 1985).

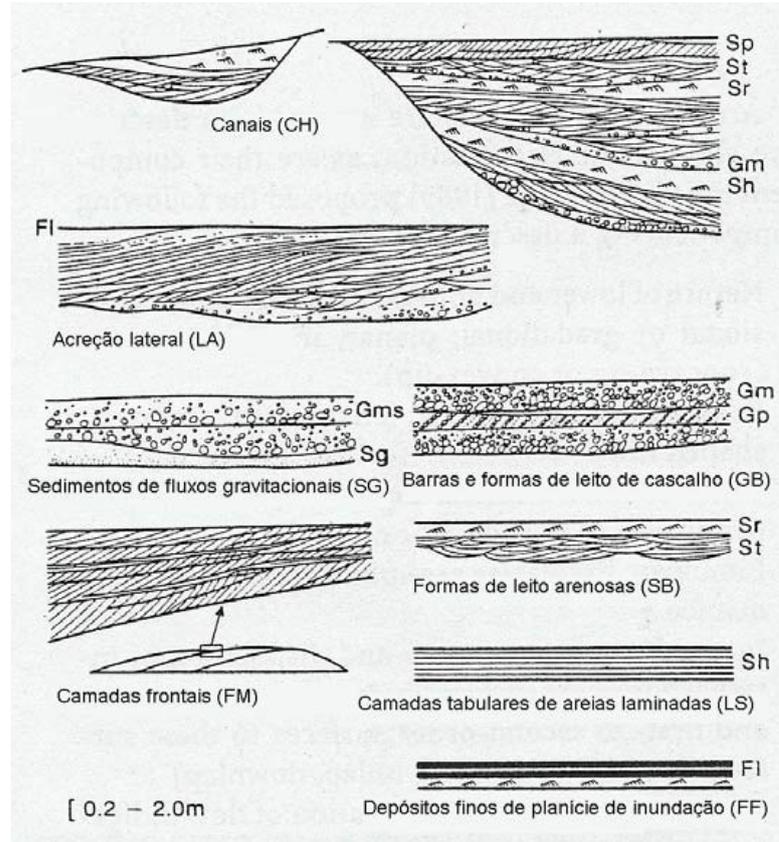


Figura 09: Oito elementos arquitetônicos fundamentais propostos por Miall (1985).

Elemento (símbolo)	Litofácies	Geometria e relações
Canal (CH)	Qualquer combinação	Dígito, lente ou camada tabular; base erosiva côncava para cima; escala e forma altamente variável; são comuns superfícies de erosão secundárias, côncavas para cima.
Barras e formas de leito de cascalho (GB)	Gh/Gp/Gt	Lente, recobrimento; geralmente corpos tabulares; comumente intercamados com elemento SB.
Formas de leito arenosas (SB)	St/Sp/Sh/SI/Sr/Ss	Lente, camada tabular, recobrimento, cunha; ocorre como preenchimento de canais, rompimento de diques marginais, pequenas barras.
Camadas frontais (FM)	St/Sp/Sh/SI/Sr/Ss	Lente disposta sobre base plana ou acanalada, com superfície de erosão interna e superfície limitante superior convexa para cima.
Acreção lateral (LA)	St/Sp/Sh/SI/Ss; menos comumente Gh/Gt/Gp.	Cunha, recobrimento, lobo; caracterizado por superfícies internas de acreção lateral.
Sedimentos de fluxos gravitacionais (SG)	Gmm/Gmg/Gci/Gcm	Lobo, recobrimento; tipicamente intercamado com elemento GB.
Camadas tabulares de areias laminadas (LS)	Sh/SI; secundariamente, Sp/Sr.	Recobrimento, mantiforme.
Depósitos finos de planície de inundação (FF)	Fm/FI	Mantiformes, finos a espessos; comumente intercamados com elemento SB.

Quadro 02: Principais características de cada elemento arquitetônico, conforme Miall (1985; 1996), organizada por Fett Junior (2005).

Para depósitos coluviais, não há modelos e códigos propostos de forma padronizada, como feito por Miall (1996) para depósitos fluviais. Por esse motivo, buscou-se adaptações que possam satisfazer essa lacuna. Trabalhos de Paisani & Geremia (2010) e Paisani; Pontelli; Calegari (2012) utilizam a classificação proposta por Ghibaudo (1992) para depósitos de fluxo gravitacionais subaquosos (correntes de turbidez). Esse autor também propõe um código de letras para as descrições de fácies (distinguidas principalmente com base no tamanho/textura do grão) e de subfácies (distinguidas principalmente por características estruturais) (Figura 10e Quadro 03). São definidas, ao todo 13 fácies (GHIBAUDO, 1992): 1) Cascalho (G); 2) Cascalho-areia dístico (GS); 3) Areia cascalhosa (GyS); 4) Areia (S); 5) Areia-lama dística (SM); 6) Lama-areia dística (MS); 7) Silte-lama dística (TM); 8) Lama-silte dística (MT); 9) Lama (M); 10) Areia lamosa (MyS); 11) Lama arenosa (SyM); 12) Cascalho lamoso (MyG); 13) Lama cascalhenta (GyM).

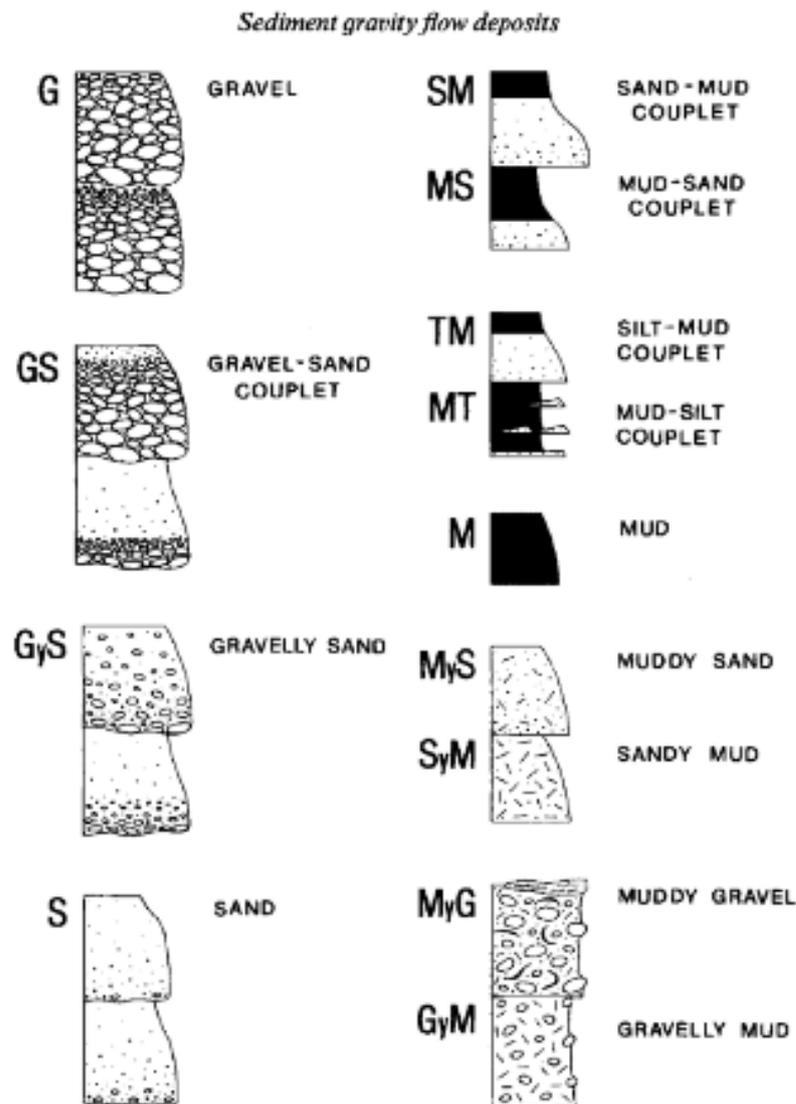


Figura 010: Representação esquemática e código para definição de fácies proposta por Ghibaudo (1992).

Litologia	Código	Intervalo deposicional	Código
Cascalho (Gravel)	G	Maciço (Massive)	m ₂ , m ₁ , m
Cascalho-areia Dístico (Gravel-sand couplet)	GS	Gradual (Graded)	g ₂ , g ₁ , g, g ₀
Areia cascalhosa (Gravelly sand)	GyS	Estratificação plana (Plane-stratified)	s ₂ , s ₁ , s
Areia (Sand)	S	Estratificação Cruzada (Cross-stratified)	x ₂ , x ₁ , x
Areia-lama dística (Sand-mud couplet)	SM	Laminação paralela (Parallel-laminated)	b/, b, d
Lama-areia dística (Mud-sand couplet)	MS	Laminação cruzada (Cross-laminated)	c, c ₀
Silte-lama dística (Silt-mud couplet)	TM	Intervalo Lamoso (Muddy interval)	E
Lama-silte dística (Mud-Silt couplet)	MT	Lama levemente laminada (Faintly laminated mud)	e ₁
Lama (Mud)	M	Lama gradual (Graded mud)	e ₂
Areia lamosa (Muddy sand)	MyS	Liquefeito (Liquefied)	q
Lama arenosa (Sandy mud)	SyM		
Cascalho lamoso (Muddy gravel)	MyG		
Lama cascalhenta (Gravelly mud)	GyM		

Quadro 03: Sumário de código descritivo para litologias e intervalos deposicionais proposta por Ghibaudo (1992). Organizado e traduzido pela autora.

O reconhecimento de fácies e de suas associações, é elemento de descrição básica de sucessões sedimentares, e permite a interpretação paleoambiental ao evidenciar o caráter genético dos depósitos (BORGHI, 2000). Esse reconhecimento é aplicado ao objeto de estudo deste trabalho.

4.3 INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL, A PARTIR DE DEPÓSITOS SEDIMENTARES

A interpretação paleoambiental a partir de depósitos sedimentares não é tarefa fácil, visto que depósitos similares podem resultar de processos e ambientes distintos. Além disso, a interpretação paleoambiental de depósitos continentais é dificultada pelo caráter episódico dos processos de erosão e sedimentação subaéreos, formando registros lacunares e de baixa resolução temporal (MELO, 2008). Apesar disso, a associação de características

granulométricas e deposicionais a eventos e a mudanças climáticas tem sido enfatizada pela literatura especializada conforme apresentado na seção seguinte.

A desintegração mecânica e a decomposição química operam simultaneamente na natureza em função dos diferentes regimes climáticos estabelecidos sobre os continentes (BIGARELLA, 1994). Em geral, aceita-se que pacotes eluviais e solos espessos se formam em ambientes relativamente estáveis, nos quais as taxas de erosão mecânica são inferiores às taxas de intemperismo e de pedogênese (BIGARELLA, 1994; GIANNINI; RICCOMINI, 2000). Já em ambientes de clima mais seco, ou com duas estações bem definidas, as taxas de processos erosivos/deposicionais tendem a suplantam taxas de produção de solo e/ou regolitos (BIGARELLA, 1994).

Camadas truncadas por cicatrizes erosivas sugerem alterações ambientais importantes, em que o equilíbrio ambiental é alterado por processos erosivos e deposicionais, como revelado por depósitos coluviais (MELO, 2008). Os depósitos aluviais são indicadores paleoambientais ainda mais consistentes, em função da capacidade de seleção dos grãos transportados e das estruturas deposicionais bem desenvolvidas, permitindo a análise de fácies (MIALL, 1985) e a sua interpretação. Além disso, depósitos fluviais apresentam três padrões deposicionais, que podem variar em função de mudanças climáticas em um mesmo local (BLUM e TÖRNQVIST, 2000): 1) agradação; 2) degradação e 3) migração lateral do canal. Porém, processos tectônicos, ou simples adaptação a estruturas rúpteis, podem ocasionar alteração desses padrões (BLUM e TÖRNQVIST, 2000).

4.4 MUDANÇAS PALEOAMBIENTAIS NO SUL DO BRASIL

A partir da compilação de diversos trabalhos realizada por Lima (2010), é possível estabelecer a cronologia de eventos erosivos/deposicionais de depósitos continentais quaternários localizados no estado de Santa Catarina e relacioná-los aos estágios isotópicos marinhos (EIM), ressaltando características paleoambientais locais associadas a mudanças climáticas de caráter global (Quadro 04).

Estágio Isotópico Marinho	Idades (C¹⁴, TL e LOE)	Condições ambientais prováveis (evidências estratigráficas)	Condições ambientais prováveis (evidências palinológicas)
1	670 a 400 anos AP (f)	Presença de turfeira formada por material vegetal pouco decomposto	Expansão dos campos sobre a floresta
	4,9 ka AP (d)	Presença de horizonte A	---

		proeminente?	
	5,7 ka AP (e)	Presença de material turfoso, intercalado com camadas aluviais	---
	6,2 ka AP (d)	Início de formação de turfeira	Predomínio de campos
	6,3 ka AP (d)	Presença de turfeira formada sobre depósitos de planície de inundação	Expansão da floresta, com presença importante de pteridófitos, briófitos (<i>Sphagnum</i>), algas e fungos
	6,6 ka (c)	Presença de lentes alúvio-colúviais finamente estratificadas	---
	7,7 ka AP (d)	Formação de horizonte A húmico?	Predomínio de campos, com presença de pteridófitos
	10,5 a 1,9 ka AP (f)	Formação de turfeira, com menor presença de camadas aluviais	Predomínio de campos até 3,8 ka AP, quando ocorre início da expansão da floresta; Importante presença de <i>Sphagnum</i>
2	15 a 11,4 ka AP (d)	Formação de turfeira	Predomínio de campos, com presença importante de pteridófitos; Expansão da floresta a partir de 11,8 ka AP
	15,3 ka AP (a)	Formação de horizonte pedológico A húmico, truncado pela erosão. Estruturas de corte e preenchimento	---
	19,1 ka AP (a)	Formação de horizonte pedológico A húmico	---
	20,1 ka AP (d)	Início da formação de turfeira sobre depósitos de planície de inundação essencialmente lamosa (presença da fração areia até 10%)	Predomínio de campos, com presença de grupos de táxons florestais (até 10%) pteridófitos, briófitos e fungos
3	27,9 ka AP (d)	Depósitos de planície de inundação com importante fração lamosa	Predomínio de campos, com presença de pteridófitos. Ausência das ervas aquáticas, grupos de táxons florestais e fungos
	34,6 ka AP (d)	Depósitos planície de inundação com importante fração arenosa; Formação de banhados	Predomínio de campos, com presença de ervas aquáticas pteridófitos e fungos, além de briófitos e grupos de táxons florestais, minoritariamente
	37 ka AP (c)	Formação de horizonte pedológico A moderado. No topo desse horizonte há evidências de erosão	---
	39,4 a 13,4 ka AP (f)	Início de formação de turfeira, intercalada a depósitos aluviais	---
	53,6 ka AP (f)	Formação de depósitos colúviais	---
	>50 a 49,3 ka AP (c)	Formação de banhados e depósitos turfosos, localmente truncados e deformados por erosão e deposição subsequente	Evidências de duas fases ambientais: Fase 1: quente e seco e Fase 2: frio e úmido
5	Entre 90 (c) e 86 ka (b)	Formação de depósitos alúvio-colúviais, impregnado com material orgânico proveniente de depósito turfoso, desenvolvido posteriormente	Predomínio de campos, com presença de grupo de táxons florestais, pteridófitos e fungos

Quadro 04: Cronologia das mudanças ambientais ocorridas durante o Quaternário Tardio de áreas planálticas do estado de Santa Catarina. Sintetizada por Lima, 2010 a partir de: Oliveira *et. al.* 2001(a); Lima, 2005 (b); Oliveira *et. al.* 2006 (c); Oliveira *et. al.* 2008 (d); Nau, 2010 (e); Oliveira *et. al.* 2012(f).

Essas evidências ilustram algumas das condições ambientais prováveis que aparentam ter influenciado na evolução do relevo em áreas planálticas de Santa Catarina, em função de mudanças climáticas globais do Pleistoceno Superior e do Holoceno. Os episódios

e eventos ilustrados podem ser correlacionados aos estágios isotópicos marinhos (Figura 11), que são utilizados em estudos do Quaternário como referencial geocronológico para mudanças climáticas globais. Contudo, é importante salientar que a polaridade entre glaciações/estadiais e interglaciais/interestadiais (BIGARELLA; MOUSINHO; SILVA, 1965) é uma simplificação que não reflete a análise mais fina de depósitos, fundamentada pelo referencial que hoje está disponível por diferentes métodos geocronológicos. Com efeito, em sua tese, Lima (2010) apresenta resultados palinológicos em turfeiras para áreas de planalto do estado de Santa Catarina e seus resultados sugerem um ambiente dominado por espécies vegetais de campos. A presença de remanescentes florestais remete um clima frio e úmido, durante o EIM 5b.

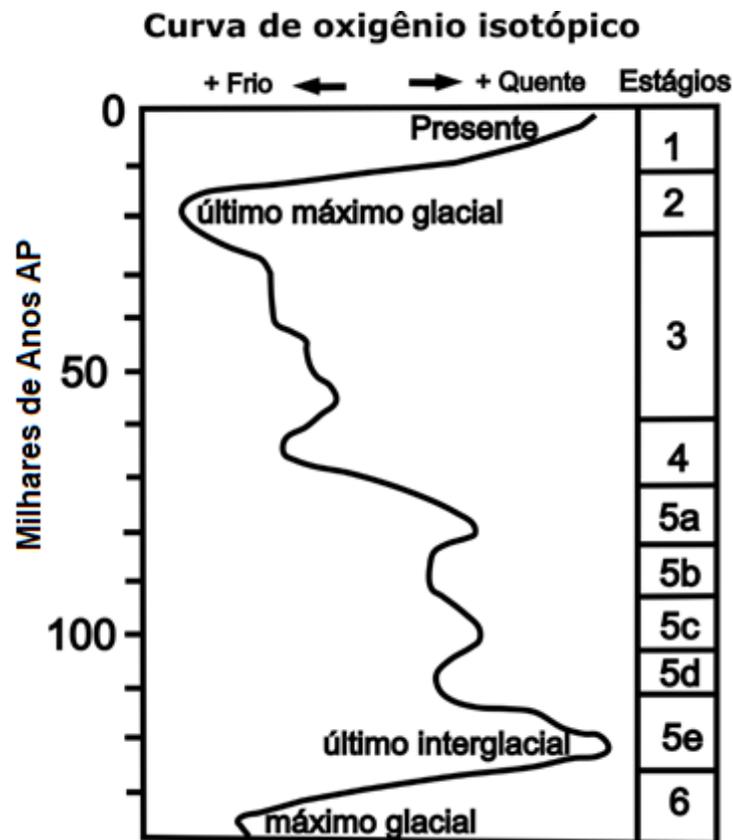


Figura 11: Curva de oxigênio isotópico para os últimos 140.000 anos. Fonte: Van Andel (1985).

Trabalhos desenvolvidos nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná demonstram a mesma associação entre depósitos continentais e mudanças climáticas globais. Registros coluviais encontrados no segundo planalto paranaense (CAMARGO, 2005); registros palinológicos, aluviais e aluvio-coluviais estudados nas áreas planálticas de Santa Catarina (LIMA, 2010), e registros isotópicos estudados no médio Vale do Itajaí, (CRUZ *et al.*, 2009), indicam aumento das precipitações durante a transição do EIM 5b para o EIM 5a, por

exemplo, causando a alternância de períodos pedogenéticos e morfogenéticos, associados ao aquecimento atmosférico.

Fett Junior (2005), ao estudar depósitos fluviais no Rio Grande do Sul, apresenta evidências de condições climáticas mais frias e secas durante o estadal do EIM 4, fundamentado no estudo da configuração de canal fluvial e no registro de antigas barras longitudinais com deposição de sedimentos grossos.

O interestadial do EIM 3 ilustra bem a ausência da polaridade frio/seco *versus* quente/úmido, uma vez que o registro sedimentar permite a identificação de alternância entre climas secos e úmidos. Essas alternâncias podem estar associadas às frequentes mudanças climáticas que marcaram esse período interestadial, em função dos eventos de Dansgaard/Oeschger (FETT JUNIOR, 2005; CAMARGO FILHO, 2005; FUJITA, 2014). Os autores descrevem para esse período depósitos coluviais e aluviais (CAMARGO, 2005; FERREIRA, 2009) e mudanças de regime fluvial do rio Paraná (PR) (STEVAUX, 1994) e do rio Pardo (RS) (FETT JUNIOR, 2005). Fases de estabilidade ambiental associadas à formação de paleossolos nesse período são descritos no segundo planalto Paranaense (CAMARGO FILHO, 2005; CAMARGO, 2005), no planalto de São Bento do Sul em Santa Catarina (FERREIRA, 2009) e na bacia do rio Pardo no Rio Grande do Sul (FETT JUNIOR, 2011).

O EIM 2 expressa o período mais frio do último ciclo glacial (Último Máximo Glacial), marcado globalmente por clima mais frio e seco que o atual. Foram observadas evidências de clima seco e frio bem definido em depósitos aluviais do Rio Paraná e em depósitos coluviais no município de Lapa localizada, no segundo planalto Paranaense (STEVAUX, 1994; CAMARGO FILHO, 2005; FUJITA 2014). Contudo, variações paleoclimáticas locais e regionais têm sido percebidas nos planaltos do sul brasileiro, onde se observaram evidências de resfriamento associado à umidade suficientemente forte para a formação de depósitos turfosos e de paleossolos húmicos, nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (BEHLING *et al.*, 2004; CAMARGO, 2005, FERREIRA, 2009; LIMA 2010, FETT JUNIOR, 2011; GUERRA; PAISANI, 2013).

A transição Pleistoceno-Holoceno foi marcada por significativo aumento de temperatura e umidade no sul do Brasil, o que possibilitou o maior desenvolvimento de depósitos turfosos (LIMA, 2010; BOCKMANN, 2012). Evidências desse aumento de temperatura também foram encontradas em depósitos de várzea do rio Paraná (STEVAUX, 1994; FUJITA 2014). Ao mesmo tempo em que o aumento de umidade e temperatura possibilitou a formação de paleossolos e turfás, gerou unidades coluviais por fluxos densos

em encostas e colmatação de paleocanais do terceiro planalto Paranaense descritas por Guerra & Paisani, 2013 indicando uma intensa fase morfogenética.

O Holoceno (EIM 1) possui tendência geral de aquecimento e aumento da umidade, fato que se mantém até os dias atuais. Contudo, vale destacar a oscilação denominada como Ótimo Climático holocênico, em torno de 7.000 e 6.000 anos AP, que está associada a temperaturas e umidade atmosférica mais elevadas do que as atuais, causando, por exemplo, o desenvolvimento da planície aluvial atual do rio Paraná (STEVAUX, 1994; FUJITA 2014); o desenvolvimento acelerado de turfeiras e dos solos em Santa Catarina (FERREIRA, 2009; LIMA, 2010; BOCKMANN, 2012), e a gênese de luvisolos encontrados na bacia do rio Pardo, Rio Grande do Sul (FETT JUNIOR, 2011).

5 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados e interpretações por seção estratigráfica, e ao final, no item 5.4, serão apresentados a correlação entre as seções e o posicionamento da estratigrafia local na estratigrafia regional.

5.1 SEÇÃO ESTRATIGRÁFICA 1

Conforme descrito nos procedimentos metodológicos, foi construído em campo croqui em papel milimetrado e foram tiradas fotos para nortear o estudo do depósito. As camadas visualizadas nas representações foram definidas em campo com base em sua cor, textura, transição entre as camadas e geometria aparente. Com base em medições de campo, no croqui, e em fotos, confeccionou-se as representações das seções estratigráficas com o objetivo de agrupar as camadas em pacotes com características similares, respeitando a sucessão dessas camadas.

5.1.1 Apresentação da seção estratigráfica 1

A seção estratigráfica 1 (S1) (Figura 12) é a seção principal do estudo devido à sua extensão e detalhamento. Medindo cerca de 19 metros de comprimento e 3,80 metros de altura na porção mais alta, apresenta camadas em sua maioria paralelas com inclinações suaves, havendo diferenças notáveis de textura e cor. Uma cicatriz erosiva, causada pela degradação do talude escavado pela abertura da estrada vicinal, trunca parcialmente as camadas no setor NW da seção.

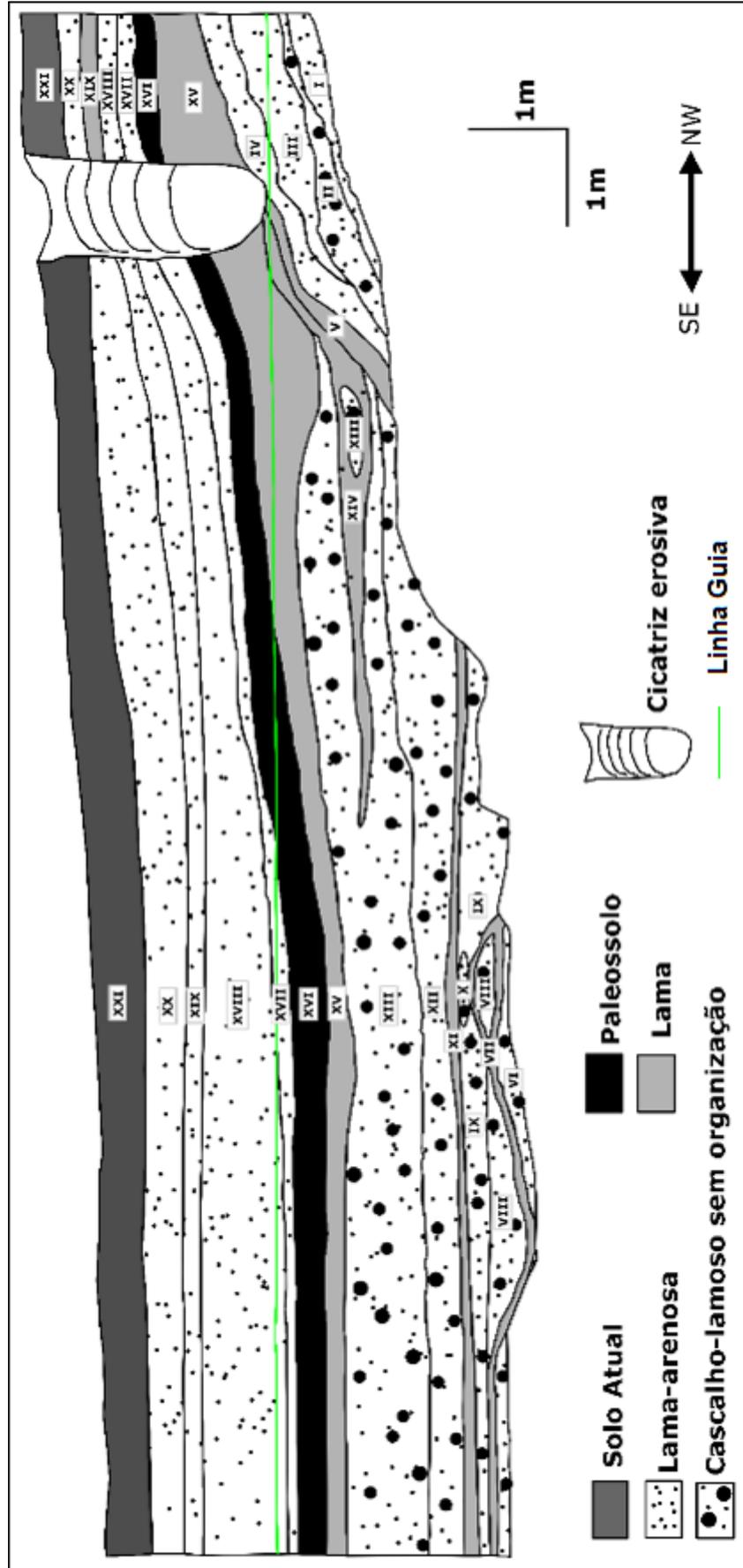


Figura 12: Representação esquemática da seção estratigráfica 1 (S1), apresentando as unidades e geometrias.

A sucessão de camadas é diferenciada nas proximidades dessa cicatriz erosiva, apresentando camadas que possuem características gerais distintas (cor, textura, geometria) em relação ao restante da seção, para SE.

A sequência de camadas foi dividida em três pacotes sedimentares, com base em suas características (Figura 13). O primeiro pacote sedimentar é definido por camadas lamoo-arenosas de cores bruno-escuras³7.5YR 3/3, 7,5YR4/6 (unidades I, III e IV), intermediadas por uma camada cascalhosa (unidade II) com matriz fina de cor bruna-7,5YR 4/4, e com grânulos de cor vermelha-amarelada 5YR 5/8 e branca-1 gley 8/N. Fechando o primeiro pacote, encontra-se uma camada lamosa de cor bruna 7.5YR 5/3 (unidade V) com forte similaridade visual e de tato com a unidade XV. Todas as camadas do pacote 1 possuem geometrias paralelas inclinadas com mergulho acentuado para SE, sobretudo na extremidade do pacote. A transição entre as camadas é gradual, com exceção da camada cascalhosa (unidade II), que possui transição abrupta com a camada sotoposta (I) e sobreposta (III).

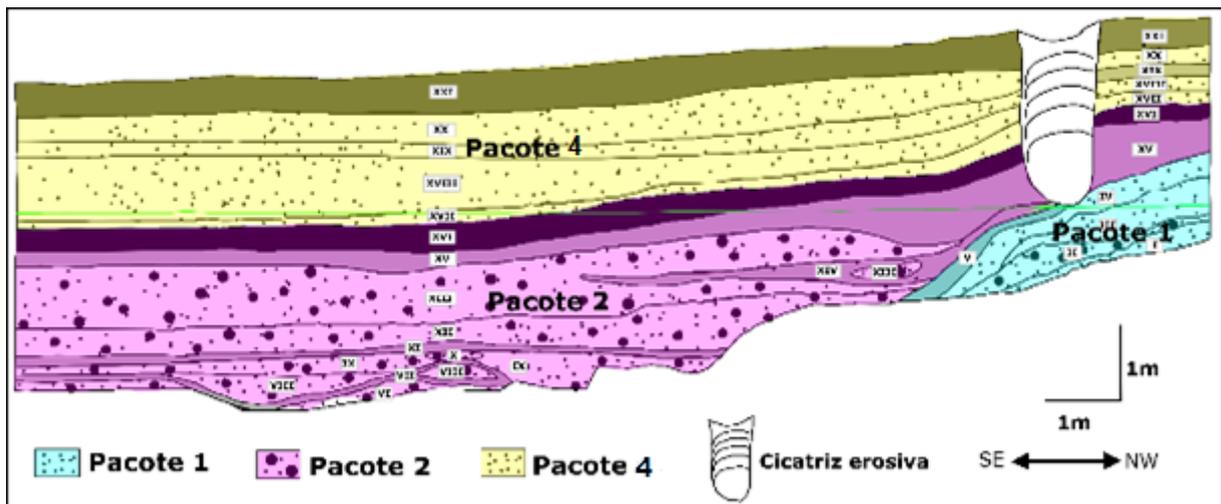


Figura 13: Seção estratigráfica 1 dividida em três pacotes sedimentares.

O segundo pacote sedimentar (abarcando as unidades VI a XVI) é composto por intercalação de camadas de textura silto-areno-cascalhosa, com cores variegadas (vermelha - 2.5YR 4/6; bruna - 7.5YR 5/3; cinzenta-esverdeada-clara-1Gley8/10GY; cinzenta-esverdeada-1Gley6/5G; cinzenta-esverdeada-clara-1Gley7/5G; verde-claro-acinzentado-1Gley8/5G; amarela-5Y 8/8; vermelha-clara-acinzentada-10R 6/2; vermelha-clara-10R 6/6.) (Unidades VI, VIII, IX e XII), e camadas de textura lamosa, de cores vermelha-clara-

³ Todas os nomes de cores foram retiradas do quadro 22 “Nomes das cores em português para os códigos do livro Munsell Soil Color Charts” do Manual técnico de pedologia do IBGE.

acinzentada - 2.5YR 6/2, oliva-clara-acinzentada - 5Y 6/3, cinzenta-olivácea - 5Y 5/2 (unidades VII, XI, XIV e XV). Essa intercalação é interrompida por uma camada de coloração escura preta-7.5YR 2.5/1 (unidade XI). As cores nessa unidade variam de bruna escura a preta, sugerindo a presença de horizonte pedológico superficial (horizonte A) enterrado. Concomitantemente às características – estrutura granular e prismática do horizonte pedológico, camada superior mais porosa com maior concentração de areia e a camada intermediária mais lamosa e cor escura com indícios de incorporação de matéria orgânica – que tendem a confirmar sua origem pedogenética, a unidade indica ocorrência de período de relativa estabilidade ambiental, pois somente sob essas condições se desenvolvem perfis de solo. Quanto à geometria, as camadas do segundo pacote são plano-paralelas com inclinação de baixo ângulo, com exceção das unidades nas proximidades da cicatriz erosiva no setor NW da seção. As transições entre as camadas silto-areno-cascalhosas (Unidades VI, VIII, IX e XII) e as lentes lamosas (unidades VII, XI e XIV) são abruptas. Já as transições entre as unidades XIII, XV e XVI são graduais.

O pacote 4, ausente na seção estratigráfica 1, é apresentado na seção estratigráfica 2.

O quarto pacote sedimentar é composto pelas unidades deposicionais XVII, XVIII e XX, classificadas, ao tato, como lamo-arenosas com cascalhos, com cor Bruna-avermelhada-2.5Y 5/4; Bruna-amarelada-clara-10YR 6/4 Bruna-amarelada-10YR 5/4 e Amarela-avermelhada-7.5YR6/6) e pela unidade XIX de textura lamo-arenosa, intercalada entre as unidades XVIII e XX. No topo desse depósito se encontra o horizonte de solo atual, caracterizado como unidade XXI, classificada ao tato como areno-lamosa de cor Bruna-escura-10YR 4/2. As geometrias das camadas são plano-paralelas com inclinação de baixo ângulo e todas as transições entre camadas são graduais.

5.1.2 Granulometria, classificação textural e interpretação faciológica da seção estratigráfica 1

Foram realizados três levantamentos de detalhe na seção estratigráfica 1 a partir de seções colunares (aqui chamados de perfil descritivo) que estão ressaltados na Figura 14. A localização desses perfis descritivos na seção estratigráfica 1 foi orientada pela correlação lateral entre as camadas da seção, verificada em campo, permitindo avaliar as características dos principais pacotes deposicionais então definidos. Descrições detalhadas de campo, coleta de amostras para granulometria e para datação foram realizadas nesses perfis, gerando os resultados que serão apresentados a seguir, por perfil analisado.

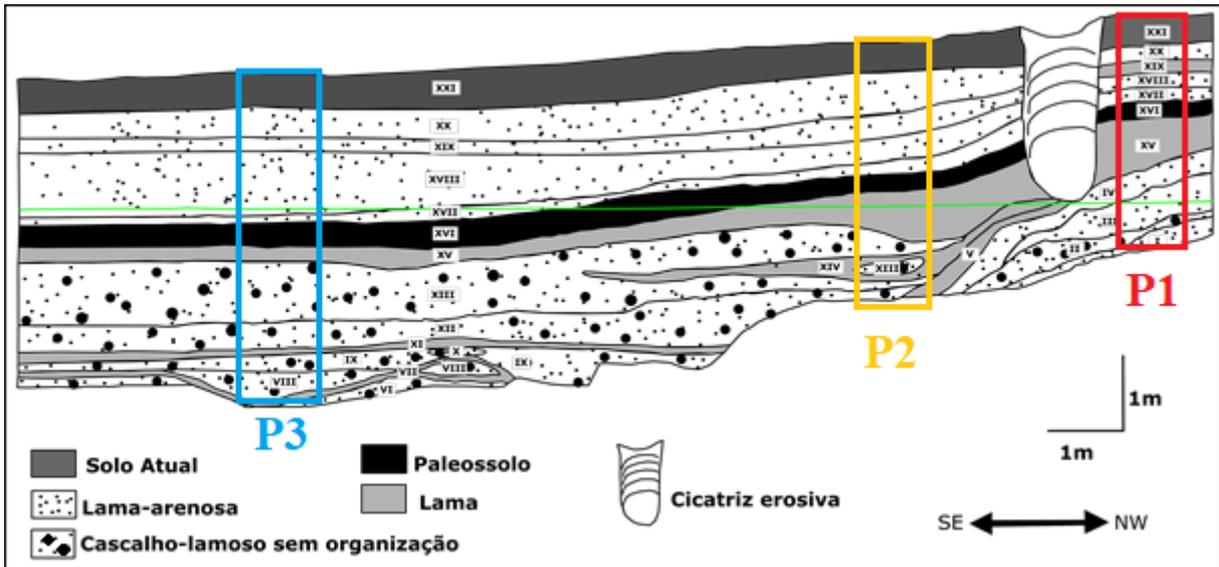


Figura 14: Localização dos perfis descritivos (P1, P2 e P3) na seção estratigráfica 1(S1).

5.1.2.1 Perfil descritivo 1

O perfil descritivo 1 da seção estratigráfica 1 (P1-S1), destacado em vermelho na Figura 14, está localizado à direita (NW) da cicatriz erosiva e é o perfil que está situado no setor mais a montante da seção estudada. Topograficamente, o perfil está em nível mais alto em relação aos demais, ilustrando o fato de a seção representar corte paralelo ao vale de primeira ordem que caracteriza a cabeceira estudada.

As amostras de granulometria do perfil 1 da seção estratigráfica 1 (P1-S1) são notadamente mais finas que as amostras analisadas no perfil 2 e no perfil 3, a serem apresentadas mais à frente. A granulometria das amostras no perfil 1 é ilustrada pela Tabela 01:

Perfil descritivo 1 (S1-P1)							
Profundidade	Amostra	Unidades	Pacotes sed.	% Granulo	% Areia	% Silte	% Argila
5	A15	XXI	P4	0	69	29	1
10	A14	XXI	P4	2	53	44	0
15	A13	XIX	P4	1	27	68	4
25	A12	XVIII	P4	2	18	71	9
40	A11	XVIII	P4	3	7	72	17
70	A10	XVII	P4	3	70	18	9
103	A09	XVI	P2	2	2	74	22
114	A08	XVI	P2	5	41	51	3
127	A07	XV	P2	9	15	69	14
148	A06	XV	P2	8	49	36	6
175	A05	V	P1	1	15	65	19
232	A04	IV	P1	1	22	70	7
260	A03	III	P1	9	54	35	2
270	A02	II	P1	25	65	9	1
285	A01	I	P1	1	61	36	1

Tabela 01: Distribuição granulométrica de amostras das unidades deposicionais e pacotes sedimentares observados no perfil descritivo 1 (S1-P1)

A partir da Tabela 1 é possível afirmar que cada unidade caracterizada em campo apresenta variação da porcentagem de grânulos, areias, silte e argila em relação às unidades sobrepostas e sotopostas. No pacote 1, as unidades I, II e III possuem transições abruptas em campo. A tabela apresenta mudanças consideráveis em poucos centímetros entre as unidades mapeadas, confirmando passagens abruptas entre camadas visualizadas em campo, como por exemplo, as passagens entre as unidades I, II, e III onde o teor de grânulos da unidade II (25%) é muito superior do mesmo teor nas unidades subjacente e sobrejacente, respectivamente 1% (unidade I) e 9% (unidade III). As transições graduais observadas em campo nas camadas lamo-arenosas do pacote 2 e 3, e das camadas lamosas dos pacotes 1, 2 e 3, não estão associadas a variações texturais importantes, como sugere a Tabela 1, provavelmente em função do padrão de amostragem realizado nesse perfil, com amostras coletadas em intervalos variados, correspondentes ao centro das unidades mapeadas. Ainda assim, é possível diferenciar camadas, principalmente se compararmos as variações de areia e silte de cada unidade com as unidades sobre e subjacentes, conforme os valores apresentados na tabela. É possível também identificar padrões de granodecrescência ascendente dentro das camadas com mais de uma amostra, como ocorre na unidade XV, que aumenta o teor de silte e argila e diminui a concentração de areia da base para o topo da

camada, configurando uma gradação normal. O mesmo acontece na unidade XVI, onde os teores de areia são maiores na base e os teores de argila e silte aumentam da base para o topo da camada. Já na unidade XIII, a base é composta por sedimentos mais finos (6% de areia e 17% de argila) e o topo composto por percentuais maiores de areia (18%). Os teores de silte e grânulo não variam muito dentro dessa camada. Em todas as unidades os teores de silte são mais expressivos do que os teores de argila.

Essa primeira análise permite inferir que os teores de grânulo, areia, silte e argila de cada unidade variam de forma suficientemente significativa para diferenciar as camadas visualizadas em campo, demonstrando, em um primeiro momento, que as observações de campo encontram suporte nos dados obtidos em laboratório. As variações gradacionais entre as camadas, percebidas em campo, são confirmadas apenas nas unidades com mais de uma amostra analisada.

Os parâmetros estatísticos do perfil descritivo 1 estão apresentados na Tabela 02, na qual pode ser observada a predominância de amostras com material muito pobremente selecionado.

Amostra	Média	Classificação	Mediana	Seleção	Classificação	Assimetria	Classificação	Curtose	Classificação
A15	2,78	Areia fina	1,763	2,61	Muito pobremente selecionado	0,494	Muito positiva	0,7106	Platicúrtica
A14	3,263	Areia muito fina	3,319	2,501	Muito pobremente selecionado	-0,01883	Aproximadamente simétrica	0,637	Muito platicúrtica
A13	5,342	Silte médio	5,956	2,015	Muito pobremente selecionado	-0,3719	Muito negativa	0,7764	Platicúrtica
A12	5,743	Silte médio	6,196	2,131	Muito pobremente selecionado	-0,2289	Negativa	1,226	Leptocúrtica
A11	6,586	Silte fino	6,576	2,028	Muito pobremente selecionado	0,01317	Aproximadamente simétrica	1,526	Muito leptocúrtica
A10	2,839	Areia fina	0,8169	3,357	Muito pobremente selecionado	0,8412	Muito positiva	0,6949	Platicúrtica
A09	7,482	Silte muito	7,183	1,529	Pobremente	0,2864	Positiva	1,502	Muito leptocúrtica
A08	4,082	Silte grosso	4,196	2,408	Muito pobremente selecionado	-0,1435	Negativa	1,272	Leptocúrtica
A07	5,49	Silte médio	5,405	2,824	Muito pobremente selecionado	-0,03146	Aproximadamente simétrica	1,833	Muito leptocúrtica
A06	3,508	Areia muito fina	3,55	2,884	Muito pobremente selecionado	0,01513	Aproximadamente simétrica	1,147	Leptocúrtica
A05	6,588	Silte fino	5,695	2,65	Muito pobremente selecionado	0,3907	Muito positiva	1,071	Mesocúrtica
A04	5,112	Silte médio	4,903	1,851	Pobremente	0,3326	Muito positiva	1,325	Leptocúrtica
A03	2,98	Areia fina	3,324	2,472	Muito pobremente selecionado	-0,1523	Negativa	0,8864	Platicúrtica
A02	0,1581	Areia grossa	-0,3655	1,792	Pobremente	0,7277	Muito positiva	0,9091	Mesocúrtica
A01	3,017	Areia fina	3,336	1,969	Muito pobremente selecionado	-0,1171	Negativa	0,8161	Platicúrtica

Tabela 02: Estatísticas das amostras do perfil descritivo 1 (P1-S1)

Os dados estatísticos não contribuem muito para a diferenciação das camadas. Contudo, o grau de seleção apresentado em todas as amostras (pobremente selecionado ou muito pobremente selecionado) sugere que o depósito foi formado em ambientes com baixo ou nenhum poder de seleção, típicos de ambientes alúvio-colúviais.

Além dos dados estatísticos, a análise granulométrica foi usada para plotar as amostras nos diagramas de Folk (1954) (Figura 15) e de Flemming (2000) (Figura 16), para a obtenção de classes texturais dos sedimentos (Quadro 6).

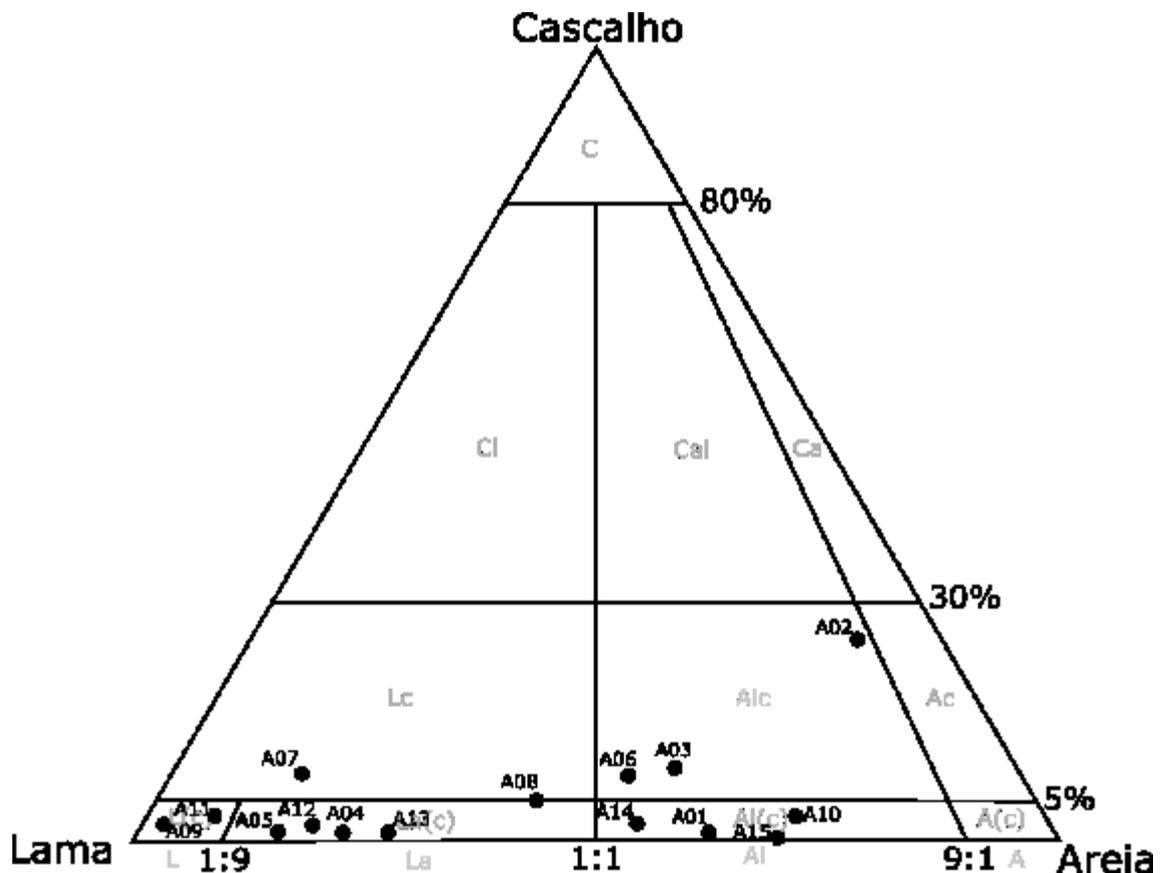


Figura 15: Amostras do perfil descritivo 1 (P1-S1) da seção estratigráfica 1 plotadas no diagrama de Folk (1954).

É possível visualizar o agrupamento das amostras na base do diagrama da Figura 15, principalmente nas classes “Lama”, “Lama arenosa ligeiramente cascalhosa” e “Areia lamosa ligeiramente cascalhosa”. Nenhuma amostra ultrapassa o limiar de 30% de cascalho. A amostra A02 está associada à lente cascalhosa que forma a unidade II, descrita anteriormente, sendo a amostra que mais se aproxima do limiar de 30% de cascalho, sendo classificada como “Areia lamo-cascalhosa”. Não é possível agrupar as amostras por pacotes no diagrama.

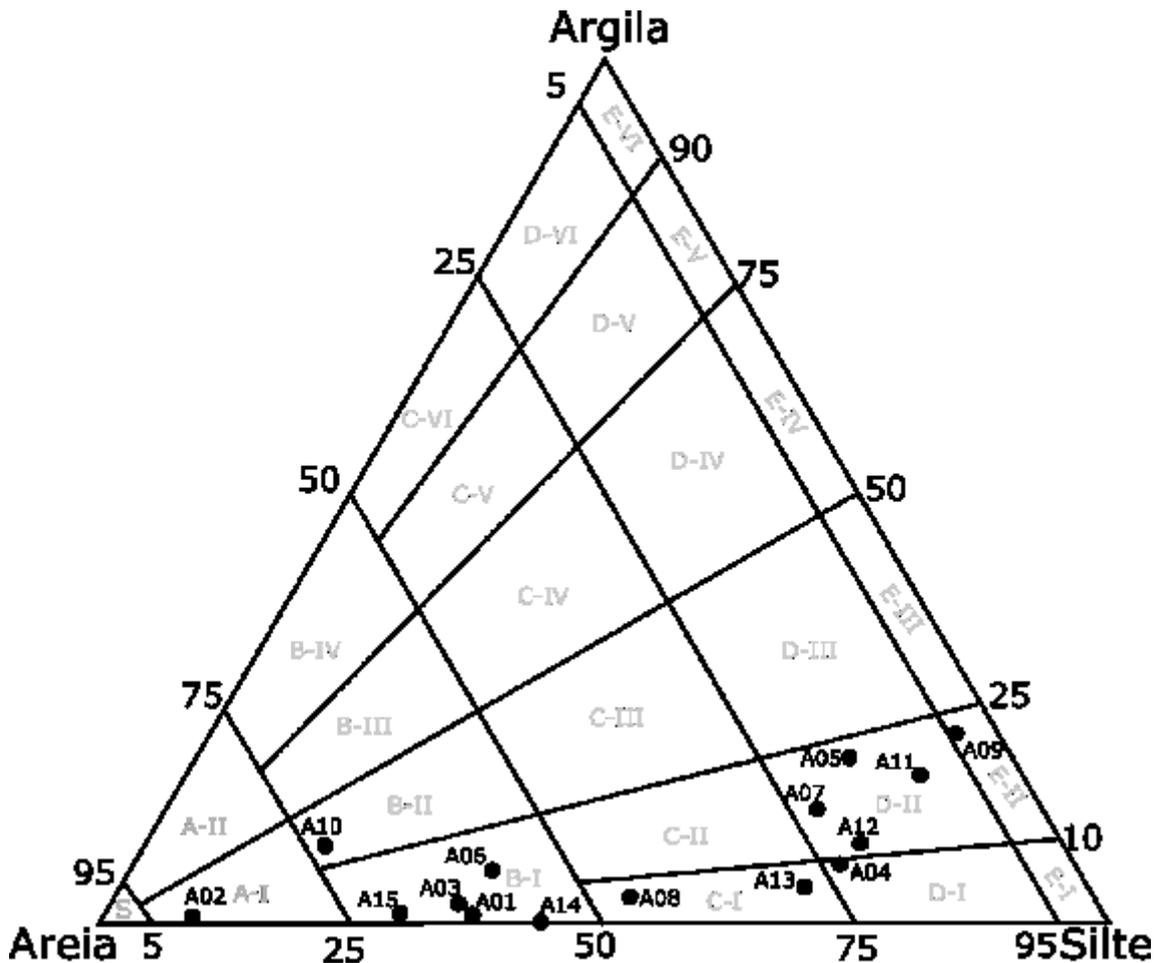


Figura 16: Amostras do perfil descritivo 1 (P1-S1) da seção estratigráfica 1 plotadas no diagrama de Flemming (2000)

O baixo teor de grânulos dessas amostras recomenda a sua análise através do diagrama de Flemming (2000) na Figura 16, pela qual as amostras lamosas se distribuem em sete classes distintas, jamais ultrapassando 25% de argila. Isto é, as camadas lamosas são mais siltosas do que argilosas, como no caso da A09 (unidade XVIII), classificada como EII – “Silte levemente argiloso”, a qual possui 95% de lama, sendo 74% silte + 21% argila. As amostras estão agrupadas nas classes AI - “Areia levemente siltosa”, BI - “Areia muito siltosa”, BII - “Areia siltosa”, CI - “Lama arenosa extremamente siltosa”, DI - “Lama levemente arenosa extremamente siltosa”, DII - “Lama levemente arenosa muito siltosa” e EII - “Silte levemente argiloso”.

Ao observar as classificações texturais do Quadro 05, é possível verificar que a classificação textural das amostras pelo diagrama de Folk (1954) não foi tão eficiente quanto a classificação de Flemming (2000) para diferenciar as unidades descritas em campo.

Amostra	Unidades	Pacotes	Classificação Folk	Classificação Flemming
A15	XXI	P4	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa
A14	XXI	P4	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa
A13	XIX	P4	Lama arenosa ligeiramente cascalhosa	Lama arenosa extremamente siltosa
A12	XVIII	P4	Lama arenosa ligeiramente cascalhosa	Lama levemente arenosa muito siltosa
A11	XVIII	P4	Lama ligeiramente cascalhosa	Lama levemente arenosa muito siltosa
A10	XVII	P4	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia siltosa
A09	XVI	P2	Lama ligeiramente cascalhosa	Silte levemente argiloso
A08	XVI	P2	Lama cascalhosa	Lama arenosa extremamente siltosa
A07	XV	P2	Lama cascalhosa	Lama levemente arenosa muito siltosa
A06	XV	P2	Lama cascalhosa	Areia muito siltosa
A05	V	P1	Lama ligeiramente cascalhosa	Lama levemente arenosa muito siltosa
A04	IV	P1	Lama ligeiramente cascalhosa	Lama levemente arenosa extremamente siltosa
A03	III	P1	Lama cascalhosa	Areia muito siltosa
A02	II	P1	Lama cascalhosa	Areia levemente siltosa
A01	I	P1	Lama ligeiramente cascalhosa	Silte argiloso

Quadro 05: Classificação textural das amostras do P1-S1 segundo Folk (1954) e Flemming (2000).

O alto teor de material fino (porcentagens de silte e argila apresentados na tabela 1) é mais bem individualizado de acordo com os critérios hidrodinâmicos descritos por Flemming (2000), resultando em uma melhor individualização das unidades deposicionais. Contudo, ao se plotar as amostras, também pelo diagrama de Folk (1954), foi possível ressaltar variações internas como gradações normal ou inversa, percebidas em campo, como a gradação normal apresentada nas amostras A11 e A12 da unidade XIII. Essas variações são visíveis no diagrama da Figura 17, que relaciona a variação granulométrica das amostras com a profundidade do perfil 1.

Nesse perfil, é válido salientar a predominância de lama, seguida por areia e, em menor quantidade, por grânulo. Ao longo de todo o perfil, areia e lama apresentam uma relação inversa. A presença de grânulo não varia muito ao longo do perfil, mantendo-se entre 0 a 10% nas profundidades de 5 a 260 cm (unidades I, II, IV, V, XIII, XV, XVI, XVII, XIX e XXI). Porém, a 270 cm de profundidade (unidade II), o percentual de grânulos chega a 25%, sendo a maior porcentagem da fração no perfil 1. A fração lama predomina com valores entre

70% a 90%. Entretanto, a fração areia se sobressai no topo do perfil (05-10 cm, unidade XXI, solo atual), nas profundidades de 70 cm (unidade XVII) e de 260-285 cm (unidades I, II e III), com percentuais de 50 a 70%. Ainda assim, o percentual de lama se destaca nas profundidades entre 15-232 cm (unidades IV, V, XIII, XV, XVI e XIX), atingindo de 60 a 90% da composição granulométrica das amostras dessas unidades.

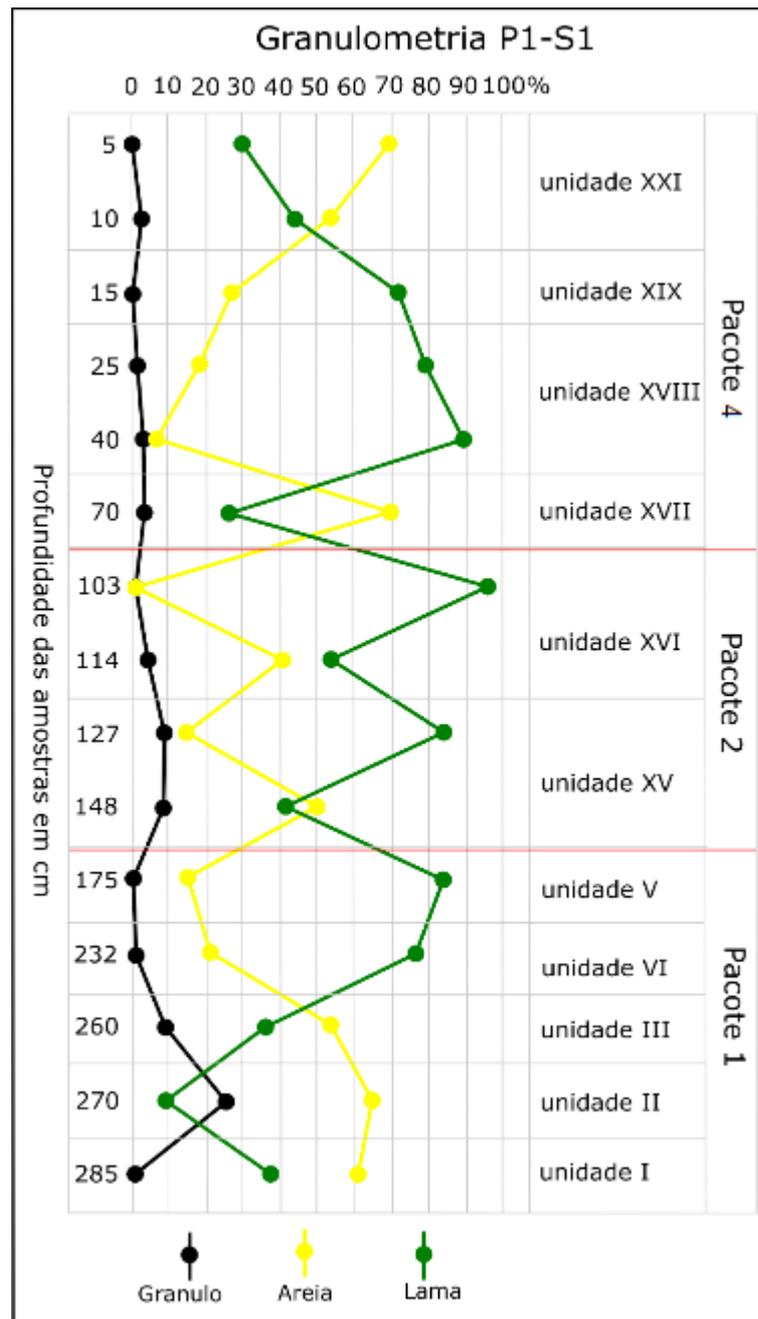


Figura 17: Gráfico da variação do percentual de cascalho, areia e lama em relação à profundidade das amostras do perfil descritivo 1 da seção estratigráfica 1 (P1-S1).

No detalhe, o pacote 1 apresenta tendência crescente da fração lama para o topo do pacote. As frações areia e grânulo apresentam em geral tendência inversa a da lama na direção do topo. A fração grânulo não varia muito no pacote 1, com exceção do que ocorre na unidade II, onde se verifica o pico de frequência no pacote, atingindo 25%. A partir das curvas do diagrama (Figura 17) é possível diferenciar todas as unidades do pacote 1, já que as porcentagens granulométricas variam consideravelmente entre as unidades.

No que toca à distinção entre os pacotes de camadas, observa-se padrão de granodecrescência ascendente do conjunto de camadas no Pacote 1 e granocrescência ascendente entre as camadas do Pacote 4.

O pacote 2 é composto pelas unidades XV e XVI, que são unidades que apresentam elevado teor de lama e areia e baixa concentração de grânulo. As curvas de cada unidade demonstram maiores teores de areia na base e maior teor de lama no topo, explicando o padrão em ziguezague através das camadas. Comparando as duas camadas, a unidade XVI é globalmente menos arenosa do que a camada XV. As unidades são distintas entre si, embora ambas indiquem distribuição granulométrica em gradação normal (aumento de finos para o topo). O conjunto acusa discreta tendência à granocrescência ascendente. Em campo, a diferenciação entre essas duas camadas foi feita com base na cor e textura ligeiramente mais lamosa da camada XVI em relação à camada XV; o que resulta confirmado pelos dados granulométricos. A unidade XVI foi descrita em campo como paleossolo, apresentando cor preta (7,5YR 2.5/1) e textura lamo-arenosa.

A granocrescência ascendente do pacote 4 é ilustrada pelas camadas lamosas na base e arenosas no topo. Nesse pacote, a unidade XVII é diferenciada das unidades sotoposta e sobreposta por apresentar acentuado teor de areia. Já as unidades XVIII, XIX e XXI seguem padrão de gradação inversa (aumento relativo do teor de grossos para o topo), com a unidade XXI acentuando a tendência, causando mesmo a inversão das curvas com teores de areia que passam a ser maiores do que os de lama no topo da unidade.

Ao compararmos os resultados do gráfico com os dos diagramas triangulares, podemos perceber que as tendências do gráfico também são refletidas nas classificações obtidas nos diagramas triangulares, principalmente no diagrama de Flemming (2000). A granodecrescência do pacote 1 é bem marcada nos diagramas triangulares. Em Folk (1954) as cinco amostras são classificadas em três classes distintas e em Flemming (2000) em quatro classes distintas, reafirmando a diferenciação entre as camadas. A diminuição do tamanho médio dos grãos que compõem as camadas do pacote 1 também é visualizada na tabela 01 onde os parâmetros estatísticos foram expostos: a partir da amostra 02 da unidade II, verifica-

se que o tamanho médio de grão é classificado como “areia grossa”, a unidade seguinte – a unidade III – tem tamanho médio de grão “areia fina”, a unidade IV apresenta “silte médio” como tamanho médio e a unidade V apresenta “silte fino” como granulometria média.

Ao compararmos as camadas do pacote 2, podemos formular como hipótese provável que sua gênese foi similar, por tanto suas curvas de distribuição granulométricas são similares quanto a sua classificação no diagrama de Folk (1954) (as amostras de ambas unidades são classificadas como “Lama cascalhosa”). A tendência à gradação normal também é expressa pela classificação de Flemming (2000) onde cada uma das amostras de cada unidade ocupa classes distintas no diagrama da Figura 17.

Essas granodecrescências e gradações se expressam também nos dados estatísticos (Tabela 01). Cabe ainda ressaltar que a amostra relacionada à camada interpretada como paleossolo é caracterizada estatisticamente como a única “pobrememente selecionada” do pacote, já que as outras são classificadas como “muito pobrememente selecionadas”.

A granocrescência ascendente das camadas do pacote 4 (Figura 17) é melhor expressa pelas unidades XVIII, XIX e XXI. Essa granocrescência também é refletida na classificação das amostras pelo diagrama de Flemming (2000) (Figura 16), indicando a passagem de material classificado como lama levemente arenosa muito siltosa até areia muito siltosa.

Ao analisar isoladamente a variação granulométrica (granocrescência ascendente) trazida pelo gráfico da Figura 17, a tendência é interpretar as unidades XVIII e XIX como sendo uma unidade, apenas. Tal fato demonstra que o gráfico, sozinho, não é efetivo no reconhecimento das diferenças entre as unidades. Entretanto, associando a análise deste mesmo gráfico aos parâmetros estatísticos e a descrição de campo, temos a justificativa para separá-las em duas unidades distintas.

Diante dos dados apresentados, é seguro afirmar que as granocrescências descendentes apresentadas nos pacotes 1 e 2 sugerem fluxos de detritos coesivos plásticos onde a resistência da matriz, empuxo e/ou turbulência podem gerar esse empacotamento, já a granocrescência ascendente apresentada no pacote 4 sugere fluxos de detritos granulares, que também são plásticos, a inversão da gradação pode ter sido provocada por pressão dispersiva ou pelo peneiramento cinético.

Pelos resultados apresentados, fica evidente a relação entre a subdivisão dos depósitos em campo e a diferenciação de camadas e pacotes de camadas pelos dados granulométricos. Ao relacionar as descrições de campo com as classificações texturais e a variação granulométrica ao longo do perfil 1, é possível visualizar a sequência estratigráfica na qual as camadas e pacotes foram empilhadas. Essa sequência, que combina fluxos com

baixo poder de seleção e apresenta estruturas gradacionais típicas de fluxos de detritos coesivos também é confirmada ao se fazer o estudo faciológico do depósito.

Em função das interpretações parciais suscitadas pelos resultados acima, foram definidas as fácies para os pacotes do perfil 1 que são apresentadas a seguir:

O pacote sedimentar 1 (em azul) é composto por mMyS (Areia lamosa maciça) que corresponde a unidade I, fácies m1MyG (Cascalho lamoso maciço suportado pela matriz) correspondente a unidade II, gMyS (Areia lamosa gradada) modificando-se para gSyM (Lama arenosa gradada) correspondente das unidades III e IV e eM (Lama) correspondente da unidade V, conforme visualizado na Figura 18:

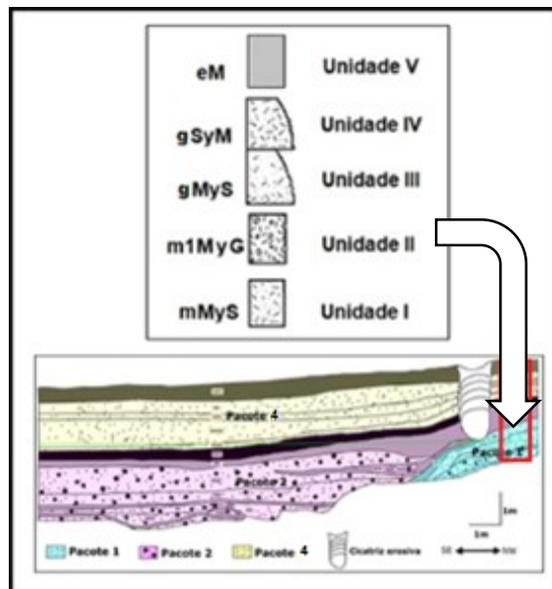


Figura 18: Fácies do pacote 1 no P1-S1, segundo Ghibaudo (1992).

- Fácies mMyS (Areia lamosa maciça): composta principalmente por areia e lama sem organização, muito pobremente selecionada. Depositadas sob forma de camadas com inclinação oblíqua.
- Fácies m1MyG (Cascalho lamoso maciço suportado pela matriz): possui cascalhos de tamanho centimétricos suportados por matriz fina (lamo-arenosa) distribuídos de forma aleatória e possuem alto grau de alteração. Não apresenta macroestruturas sedimentares e é muito pobremente selecionado. Apresenta-se como uma lente de geometria irregular e inclinação oblíqua;

- Fácies gMyS (Areia lamosa gradada): composta principalmente por areia e lama sem organização, muito pobremente selecionada. Depositadas sob forma de camadas com inclinação oblíqua. Essa fácies apresenta transição gradual para a fácies gSyM;
- Fácies gSyM (Lama arenosa gradada): camada lamosa com presença de grãos de areia. É pobremente selecionada e sem macroestruturas. Depositadas sob forma de camadas com inclinação oblíqua.
- Fácies eM (Lama): lama maciça em forma de camadas; apresenta predominância de silte. A argila e areia, muito fina, aparecem em pequena proporção. Possui espessura aproximada de 10 cm.

O pacote sedimentar 2 (em rosa) é caracterizado por camadas de textura lamoarenosa (unidade XV) sobre as quais o paleossolo (unidade XVI) se desenvolveu e apresenta fácies mMS conforme pode ser visualizado na Figura 19:

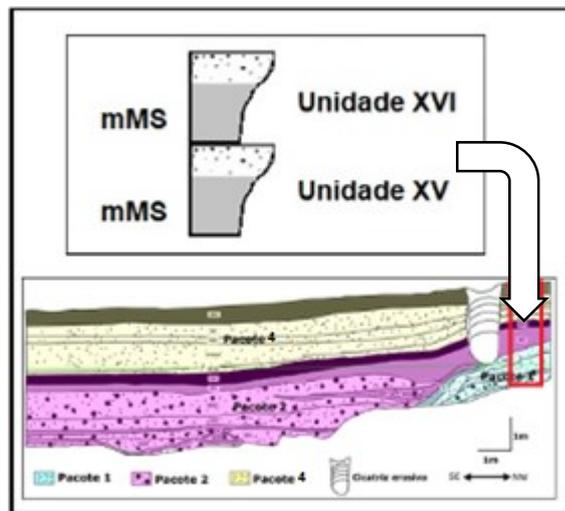


Figura 19: Fácies do pacote 2 no P1-S1, segundo Ghibaudo (1992).

- Fácies mMS (Lama-areia dística maciça): leitões bipartidos que compreendem uma menor divisão arenosa na parte superior, e uma divisão lamacenta na parte inferior, de geometria tabular. Na seção, apresenta-se associada ao paleossolo.

O pacote sedimentar 4 (em amarelo) é composto principalmente pelas fácies gMyS que se modificam verticalmente para mSyM (unidades XVII, XVIII), ao passo que a fácies eM (Unidade XIX) aparece sobreposta a essas fácies, e fechando o pacote tem-se a fácies mMyS onde o solo atual se desenvolveu, conforme visualizado na Figura 20:

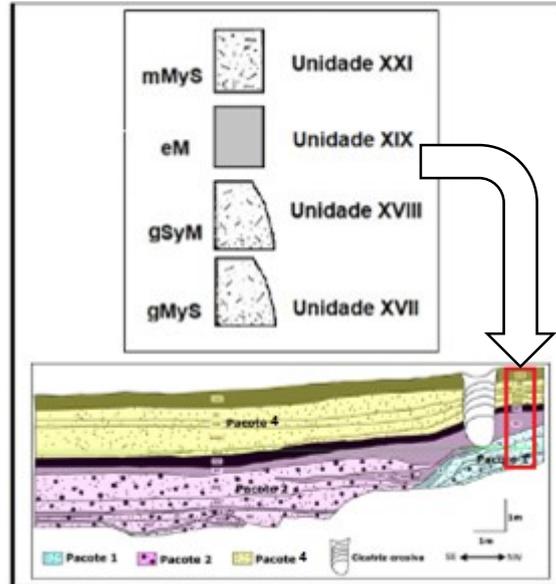


Figura 20: Fácies que melhor representa as unidades do pacote 4 no P1-S1, segundo Ghibaudo (1992).

- Fácies gMyS (Areia lamosa gradada): areias lamosas que apresentam leve gradação e estratificação planoparalela incipiente. São muito pobremente selecionadas, de geometria tabular, de espessura aproximada de 20 cm. Modificam-se verticalmente para fácies gSyM;
- Fácies gSyM (Lama arenosa gradada): camada lamosa com presença de grãos de areia. É pobremente selecionada e sem macroestruturas. Depositada sob forma de camada de geometria tabular;
- Fácies eM (Lama): lama maciça disposta em forma de camada, apresenta predominância de silte. É bem definida com espessura de poucos centímetros (entre 10 cm 12 cm).
- Fácies mMyS (Areia Lamosa maciça): é composta principalmente por areia e lama sem organização, pobremente selecionadas, possuindo geometria tabular.

Ghibaudo (1992), ao descrever os principais depósitos provocados por fluxos gravitacionais subaquosos, apresenta a correlação entre a concentração de sedimentos no fluxo e as fácies inferidas em cada tipo de processo de transporte, separando-as entre: 1) fluxos de detritos; a) fluxos de detritos coesivos (MyS, SyM, MyG, GyM), ou b) fluxos de detritos sem coesão (mG, mGys, mS); e 2) correntes de turbidez: a) de alta concentração (G, GS, GyS, S), b) moderadamente concentradas (g1SM, g1MS), ou c) baixa concentração (ISM, IMS, TM, MT, M).

Outra correlação apresentada por Ghibaudo (1992) é entre a taxa de sedimentação, a concentração do fluxo e os processos deposicionais, em que ressalta que fluxos altamente concentrados tendem a gerar estruturas massivas e, na medida em que a taxa de sedimentação decresce, encontram-se estruturas com gradação, estratificação e estratificação cruzada até alcançar as menores taxas com estruturas laminares.

As fácies descritas para o Perfil 1 representam leitos coluviais do tipo fluxos gravitacionais subaéreos dos fluxos de detritos. A elevada concentração de lama forma a matriz que suporta os grãos de grânulo e areia, permitindo classificar os fluxos como coesivos. Para Ghibaudo (1992), fácies como MyS, SyM, MyG encontradas no perfil são típicas de fluxos de detritos coesivos. A velocidade de deposição é o fator controlador do tipo de estruturas que serão formadas, definindo se serão estruturas maciças ou gradadas como as apresentadas até então. As gradações normais são frutos de fluxos de detritos e indicam rápida sedimentação de grão em grão, os quais são transportados em suspensão durante os episódios de fluxos difusos e, à medida que a intensidade do fluxo diminui, ocorre a dispersão dos grãos de areia, depositando os grãos mais grossos na base e afinando em direção ao topo. A alternância deposicional do pacote 2, onde há a intercalação de fácies MyG e eM, assemelha-se a de depósitos do tipo leque e é coerente com a dinâmica dos fluxos de detritos, visto que esse tipo de fluxo tende a se depositar em estrutura de leque.

O quadro-síntese a seguir (Quadro 06) apresenta os resultados obtidos para o perfil 1:

Perfil descritivo P1 – S1						
Pacotes	Relação de contato	Fácies	Classificação Textural	Estrutura	Descrição	Foto
P4	Gradual entre camadas e com a unidade sotoposta	mMyS eM gSyM gMyS	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa Lama arenosa ligeiramente cascalhosa	Estrutura maciça. Estratificação incipiente planoparalela com granodecrescência ascendente	Solo Atual. Forte presença de raízes, presença de poros, granular, pouco pegajoso e pouco plástico, friável, ligeiramente duro, cor 5YR 2,5/1. Maciça, pouca presença de raízes, granular e prismática, pegajoso, plástico, de fiavel a firme, ligeiramente duro e de cores brunadas (10YR 3/4; 7,5YR 2,5/3) sem bioturbação.	
P2	Gradual com a unidade sobreposta	mMS	Lama cascalhosa	Estrutura maciça.	Paleossolo, maciço, pouca presença de raiz, granular, ligeiramente pegajoso, pouco plástico, pouco friável, ligeiramente duro, cor 10YR 4/4 sem bioturbação.	
P1	Difusa entre camadas e gradual com a unidade sobreposta. Abrupta lente de cascalho com unidades sobreposta e sotoposta	mSyM eM gMyS mIMyG gSyM	Lama cascalhosa Lama ligeiramente cascalhosa	Maciça no topo, maciça na camada lamosa, Estratificação incipiente planoparalela com granodecrescência ascendente na base Lente de cascalho de baixo ângulo.	Maciça, granular e prismática, pegajoso a muito pegajoso, plástico a muito plástico, firme a muito firme, ligeiramente duro a muito duro, de cores brunadas a amareladas (7,5YR 3/3, 7,5YR4/6), sem presença de bioturbação ou raízes. Na base, entrecortada por lente de cascalho com matriz fina de cor 7,5YR 4/4 clastos de cor 5YR 5/8 e 1 gley 8/N.	

Quadro 06: Compilação das características do perfil descritivo 1 da seção estratigráfica 1 (P1-S1)

A sucessão de eventos associados aos materiais estudados no perfil 1 da sessão estratigráfica pode ser resumida como segue:

- a) camadas lamo-arenosas ocorrem intercaladas por uma lente cascalho-lamosa no primeiro pacote sedimentar, na base da sessão, no setor do perfil 1 estudado;
- b) camadas lamo-arenosas, mais arenosas na base e mais lamosas no topo se depositaram na parte intermediária da sessão, no segundo pacote sedimentar, no setor estudado;
- c) horizonte pedogenético de superfície (horizonte A) se desenvolve sobre camada lamosa (unidade XV do pacote 2), marcando período de relativa estabilidade ambiental, e definindo a passagem entre o segundo e o quarto pacotes.
- d) após a formação do paleossolo, novo período de morfogênese atuou sobre a vertente, permitindo que as camadas do pacote 4 fossem depositadas. Novo período de relativa estabilidade ambiental possibilitou a formação do solo atual, no topo do depósito.

5.1.2.2 Perfil descritivo 2

O Perfil 2 (destaque laranja na Figura 14) foi escolhido por permitir a descrição de uma lente de lama vermelha-clara-acinzentada (2.5YR 6/2), que é singular na seção estratigráfica. Tal lente lamosa está posicionada na base do perfil (unidade XIV). O perfil abarca ainda parte do pacote 2 e a totalidade do pacote 4, ao longo de 3,50 m de espessura. As amostras coletadas em campo foram processadas em laboratório para obtenção da porcentagem granulométrica das unidades deposicionais e pacotes individualizados conforme a Tabela 03.

Perfil descritivo 2 (P2-S1)							
Profundidade	Amostra	Unidade	Pacotes sed.	% Granulo	% Areia	% silte	% Argila
20	A 15	XXI	P4	2,298	61,982	34,919	0,801
47	A14	XX	P4	54,219	19,649	20,739	5,398
75	A13	XIX	P4	2,253	26,626	58,140	12,961
100	A12	XVIII	P4	11,485	31,361	43,567	13,587
115	A11	XVIII	P4	14,979	13,816	53,393	17,812
140	A10	XVIII	P4	3,398	44,272	44,775	7,554
165	A9	XVII	P4	13,251	47,824	36,018	2,906
180	A8	XVI	P2	0,010	72,820	26,170	0,990
210	A7	XV	P2	0,000	37,800	49,580	12,620
220	A6	XV	P2	0,000	21,840	52,860	25,300
250	A5	XIII	P2	20,125	28,875	32,733	18,275
280	A4	XIV	P2	0,000	4,100	57,240	38,650
295	A3	XIII	P2	35,192	51,594	7,615	3,649
310	A2	XII	P2	26,824	6,637	37,883	28,656
335	A1	XII	P2	25,139	29,600	26,104	19,157

Tabela 03: Distribuição granulométrica de amostras das unidades deposicionais e pacotes sedimentares observados no perfil descritivo 2 (P2-S1).

A distribuição granulométrica apresentada na Tabela 3 permite inferir que todas as unidades apresentam distintas porcentagens de grânulo, areia, silte e argila. Isso permite reconhecer a sua diferenciação em relação à camada sobrejacente e à camada subjacente. As unidades amostradas do pacote 2 (unidade XII a XVI) foram descritas em campo como sendo a intercalação de camadas cascalho-lamosas e lamosas. Tal intercalação pode ser observada nos valores percentuais de grânulo, areia, silte e argila. Como exemplo, basta comparar os percentuais de grânulo nas unidades cascalho-lamosas (unidades XII, XIII e XVII), que variam entre 13% a 35%, com os percentuais nas unidades lamosas (unidades XIV, XV e XVI), que é de 0%.

A lente de lama vermelha-clara-acinzentada (unidade XIV - pacote 2) se destaca ao apresentar um baixo valor percentual de areia (4%), 0% de grânulo, 57% de silte e 38% de argila, comprovando que a lente lamosa descrita no campo é, de fato, a camada de lama que mais se destaca em todo o perfil e em toda a seção. Já as unidades descritas em campo como cascalho-lamosas apresentam teores entre 20 e 35% de grânulo. O paleossolo descrito em campo desenvolveu-se sobre a unidade areno-lamosa XVI (amostra A8 – Pacote 2). Ao analisar os valores em percentual das amostras do pacote 4, as camadas apresentam teores distintos, principalmente no que diz respeito aos teores de grânulo e areia. Outra camada que se destacou em campo é a linha de pedras (*stone lines*) (Unidade XX – Pacote 4), onde 54%

de sua composição é de tamanho grânulo, sendo a amostra mais grossa tanto descrita em campo quanto vista no resultado da análise granulométrica neste perfil. A partir das camadas com mais de uma amostra, como nas unidades XII, XIII, XV e XVIII, verificam-se diferentes teores, destacando-se os teores de areia e silte. Esses valores ressaltam as diferenças dentro das camadas, que podem ser descritas como gradações e estratificações plano-paralelas incipientes. A presença de argila nas amostras das camadas que são predominantemente lamosas é mais expressiva do que as apresentadas no perfil 1.

Os parâmetros estatísticos média, mediana, assimetria e curtose são apresentados na Tabela 04 e serão usados para ajudar a diferenciar as fácies no tocante ao grau de seleção de cada amostra, tamanho médio e espalhamento em percentual dos grãos entre as classes granulométricas.

Amostra	Média	Classificação	Mediana	Seleção	Classificação	Assimetria	Classificação	Curtose	Classificação
A15	3,244	Areia muito fina	3,097	1,707	Pobrememente selecionado	0,1747	Positiva	0,8244	Platicúrtica
A14	0,953	Areia grossa	-1,844	2,775	Muito pobrememente selecionado	1,406	Positiva	0,6963	Platicúrtica
A13	5,152	Silte médio	4,898	2,352	Muito pobrememente selecionado	0,1618	Positiva	1,353	Leptocúrtica
A12	4,363	Silte grosso	4,416	3,226	Muito pobrememente selecionado	0,01919	Aproximadamente simétrica	1,342	Leptocúrtica
A11	5,192	Silte médio	5,058	3,134	Muito pobrememente selecionado	-0,002537	Aproximadamente simétrica	1,353	Leptocúrtica
A10	4,235	Silte grosso	4,132	2,27	Muito pobrememente selecionado	0,1426	Positiva	1,06	Mesocúrtica
A09	3,553	Areia muito fina	3,483	2,248	Muito pobrememente selecionado	0,004534	Aproximadamente simétrica	1,299	Leptocúrtica
A08	2,686	Areia fina	2,461	2,15	Muito pobrememente selecionado	0,1819	Positiva	0,9164	Mesocúrtica
A07	4,827	Silte grosso	4,691	2,559	Muito pobrememente selecionado	0,1754	Positiva	1,169	Leptocúrtica
A06	6,4	Silte fino	5,464	2,81	Muito pobrememente selecionado	0,3846	Muito positiva	0,8236	Platicúrtica
A05	3,73	Areia muito fina	4,105	4,243	Extremamente mal selecionado	0,02927	Aproximadamente simétrica	0,7852	Platicúrtica
A04	7,542	Silte muito fino	7,252	2,363	Muito pobrememente selecionado	0,1092	Positiva	0,6213	Muito platicúrtica
A03	0,4719	Areia grossa	-0,1595	1,934	Pobrememente selecionado	0,7617	Muito positiva	1,03	Mesocúrtica
A02	4,864	Silte grosso	5,569	4,538	Extremamente mal selecionado	-0,1268	Negativa	0,4244	Muito platicúrtica
A01	3,599	Areia muito fina	3,096	4,229	Extremamente mal selecionado	0,2562	Positiva	0,5148	Muito platicúrtica

Tabela 04: Estatísticas das amostras do perfil descritivo 2 (P2-S1).

As amostras apresentam-se como “pobrememente selecionadas”, “muito pobrememente selecionadas” e “extremamente mal selecionadas” no perfil 2, não sendo possível agrupar o grau de seleção das camadas por pacotes. De modo geral, o perfil apresenta grau de seleção típico de ambientes coluvial e aluvial, que essencialmente não possuem alto poder de seleção.

Os percentuais granulométricos foram, também, utilizados para classificar texturalmente os sedimentos analisados (Quadro 7). Foram escolhidos dois sistemas para realizar a classificação: o sistema de Folk (1954), para classificar os sedimentos cascalhosos (Figura 21), e o sistema de Flemming (2000), que melhor classifica os sedimentos lamosos (Figura 22).

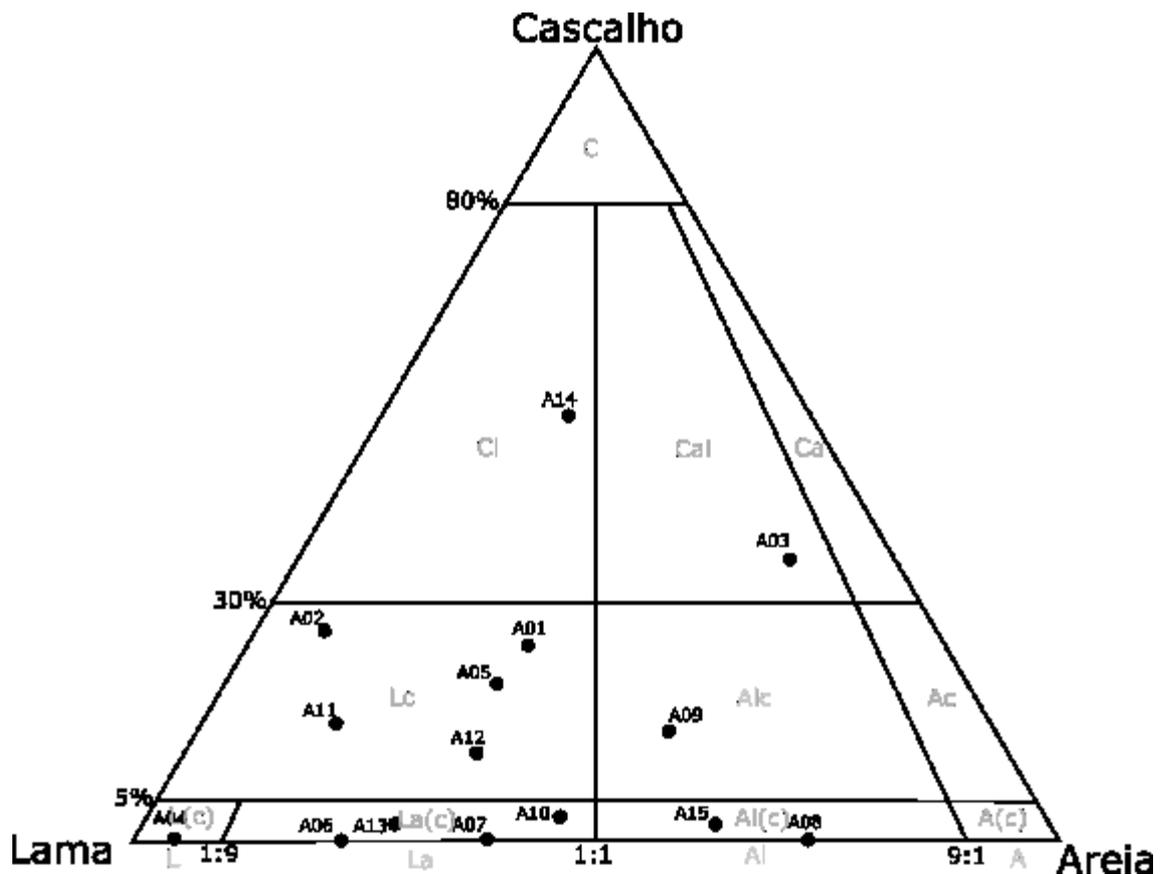


Figura 21: Amostras do perfil descritivo 2 (P2-S1) plotadas no diagrama de Folk (1954).

No diagrama de Folk (Figura 21), as amostras distribuem-se entre as classes “Lama cascalhosa”, “Lama arenosa ligeiramente cascalhosa” e “Areia lamo-cascalhosa”. As amostras do paleossolo e do solo atual (A08 – unidade XVI e A15 – unidade XXI, respectivamente) são classificadas como “Areia lamosa ligeiramente cascalhosa”. Somente a amostra A14 da Unidade XX é classificada como “Cascalho-lamosa”, que em campo foi descrita como linha de pedras (*stone lines*) e apenas uma amostra (A03 – Unidade XIII) é classificada como “Cascalho-arenosa”. A amostra A04 – Unidade XIV é classificada como “Lama” e em campo foi descrita como a lente de lama vermelha-clara-acinzentada. Não é possível agrupar as amostras por pacote, mas é possível diferenciar as unidades que se enquadram em diferentes classes texturais, conforme apresentado.

Devido à elevada porcentagem de lama e areia em relação a grânulo na maioria das amostras, utilizou-se a classificação proposta por Flemming (2000) para sedimentos lamosos (Figura 22). Como o diagrama não prevê a inclusão da fração grânulo, todas as amostras do perfil P2-S1 que continham valores de grânulos foram incorporados à fração de areia.

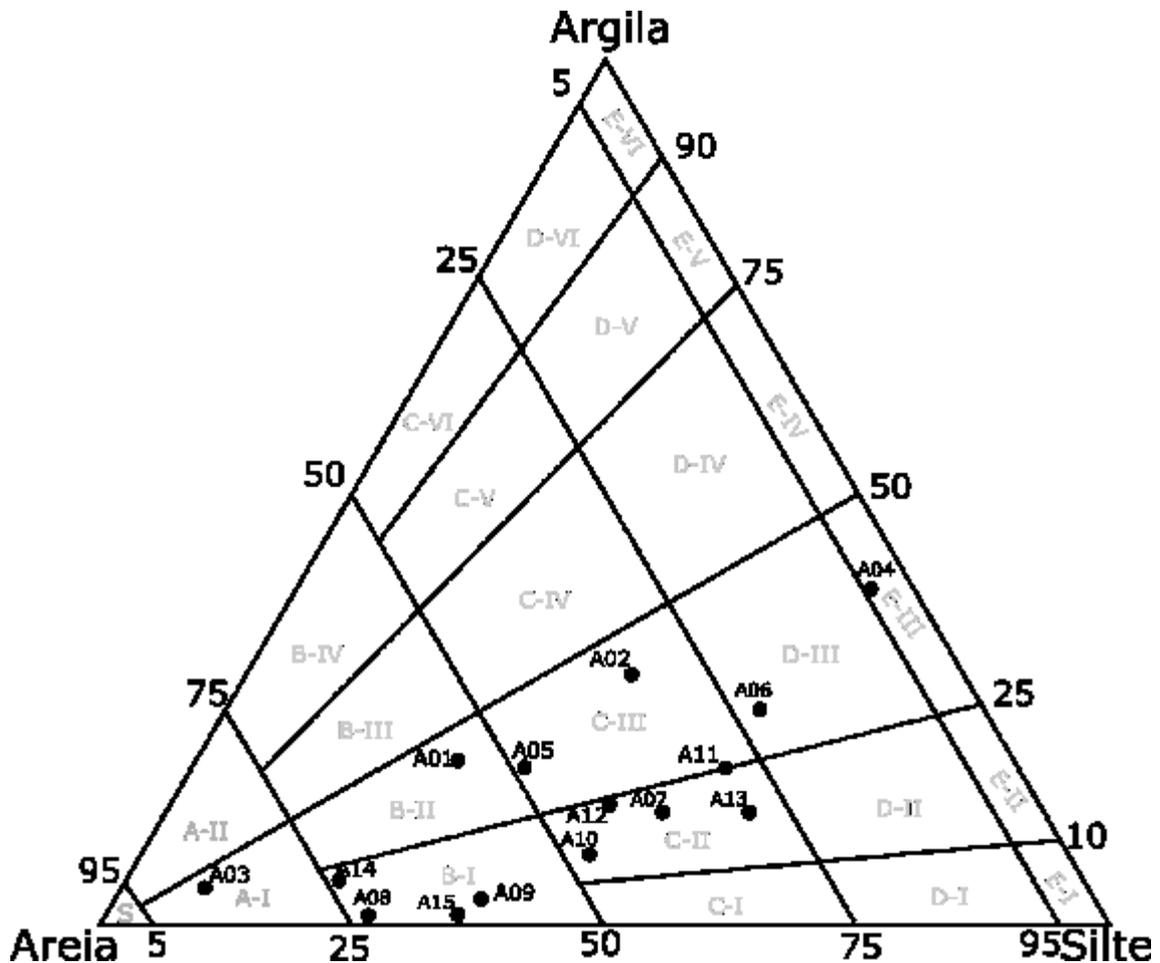


Figura 22: Amostras do perfil descritivo 2 (P2-S1) plotadas no diagrama de Flemming (2000)

As amostras estão distribuídas em faixa radial, seguindo a orientação sugerida pelo diagrama, a partir da classe “Areia”. A variação dos teores de silte está entre 10% e 95%, já a variação das argilas não ultrapassa os 50%. As amostras estão agrupadas nas classes AI - “Areia levemente siltosa”, BI - “Areia muito siltosa”, BII - “Areia siltosa”, CII - “Lama arenosa muito siltosa”, CIII - “Lama arenosa siltosa”, DIII - “Lama levemente arenosa siltosa” e EIII - “Silte argiloso”. É possível perceber a tendência das amostras do pacote 2 (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7) em estender radialmente ao centro do diagrama ocupando o espaço que amostras coluviais costumam ocupar. Já as amostras do pacote 4 apresentam tendência de distribuir-se radialmente na base do diagrama. A amostra A8, apesar de

pertencer ao pacote 2, segue o comportamento permanecendo na base do diagrama. Esse agrupamento mais ao centro ou mais na base demonstra que há uma sutil diferenciação dos processos hidrodinâmicos que depositaram as camadas do pacote 2 em relação aos processos de deposição do pacote 4. Esse agrupamento contribui para afirmar a diferença entre os dois pacotes.

Amostra	Unidade	Pacote	Classificação Folk	Classificação Flemming
A15	XXI	P4	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa
A14	XX	P4	Cascalho lamoso	Areia muito siltosa
A13	XIX	P4	Lama arenosa ligeiramente cascalhosa	Lama arenosa muito siltosa
A12	XVIII	P4	Lama cascalhosa	Lama arenosa muito siltosa
A11	XVIII	P4	Lama cascalhosa	Lama arenosa muito siltosa
A10	XVIII	P4	Lama arenosa ligeiramente cascalhosa	Lama arenosa muito siltosa
A09	XVII	P4	Areia lama-cascalhosa	Areia muito siltosa
A08	XVI	P2	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa
A07	XV	P2	Lama arenosa ligeiramente cascalhosa	Lama arenosa muito siltosa
A06	XV	P2	Lama arenosa ligeiramente cascalhosa	Lama levemente arenosa siltosa
A05	XIII	P2	Lama cascalhosa	Lama arenosa siltosa
A04	XIV	P2	Lama	Silte argiloso
A03	XIII	P2	Cascalho areno-lamoso	Areia levemente siltosa
A02	XII	P2	Lama cascalhosa	Lama arenosa siltosa
A01	XII	P2	Lama cascalhosa	Areia siltosa

Quadro 03: Classificação textural das amostras do P2-S1 segundo os diagramas de Folk (1954) e de Flemming (2000)

Ao comparar as classificações texturais e as unidades apresentadas é possível observar que cada unidade identificada em campo é, de fato, texturalmente diferente da unidade seguinte (Quadro 07). Essa diferença pode ser percebida uma vez que cada unidade corresponde a classes texturais distintas da unidade subsequente, segundo o diagrama de Folk (1954). A classificação de Folk não consegue, porém, abarcar as variações sutis que ocorrem dentro da unidade XV (A06 e A07), principalmente por essa unidade ser predominantemente composta por sedimentos finos. Essa variação é percebida na classificação de Fleming (2000), que indica – com a mudança de classe textural – as variações composicionais na unidade XV. Já na unidade XVIII, que possui maior teor de sedimentos grossos (areia e grânulo), o diagrama de Flemming (2000) não detecta essa variação de classe textural, enquanto o diagrama de Folk (1954) permite detalhar alguma diferença interna. Em ambas as unidades, XV e XVIII, essas variações sugerem depósitos com gradação normal, que podem ser associados a fluxos de detritos. Pode-se inferir que o

uso conjunto dos diagramas de Flemming (2000) e de Folk (1954) contribui para a diferenciação de unidades deposicionais distintas, bem como observar as variações internas de determinadas unidades.

A variação da textura dos sedimentos em função da profundidade é ilustrada pela Figura 23, que indica o predomínio de lama nas amostras desse perfil, seguida por areia e, em menor quantidade, por grânulo. No geral, areia e lama apresentam uma relação inversa.

A Figura 23 ilustra o segundo pacote, que contém camadas lamo-cascalhosas nas profundidades de 335 cm a 295 cm (unidades XII e XIII) e, na profundidade de 250 cm (unidade XIII), em que os teores de grânulos estão em torno de 25-35%, a contribuição da fração granulométrica areia fica entre 30 e 50%, prevalecendo as frações grosseiras. Tais camadas de textura grossa intercalam-se com camadas lamosas. A profundidade de 280 cm, que corresponde à unidade XIV, é a lente vermelha-clara-acinzentada, que possui 95% de lama. Já as profundidades de 220 cm e 210 cm correspondem a camada lamosa (unidade XV) na qual o percentual de lama está entre 60 a 75%, e os percentuais de areia estão entre 20 a 38%.

No quarto pacote, a fração de areia é mais representativa na profundidade de 165 cm (unidade XVII) com percentual de 50% e, no topo do perfil, a 20 cm (unidade XXI), com 62%. A unidade XIX contém um considerável teor de lama (71%) e 27% de areia. A unidade XX, na profundidade de 47 cm, possui importante contribuição da fração grânulo, com um pico de 54%. A profundidade 20 cm (unidade XXI) possui porcentagens similares às do paleossolo do pacote 2, com frações areia (entre 60-70%), lama (entre 30-35%), e grânulo (entre 0 e 2%) nas profundidades 180 cm e 20 cm, respectivamente paleossolo (unidade XVI) e solo atual (unidade XXI).

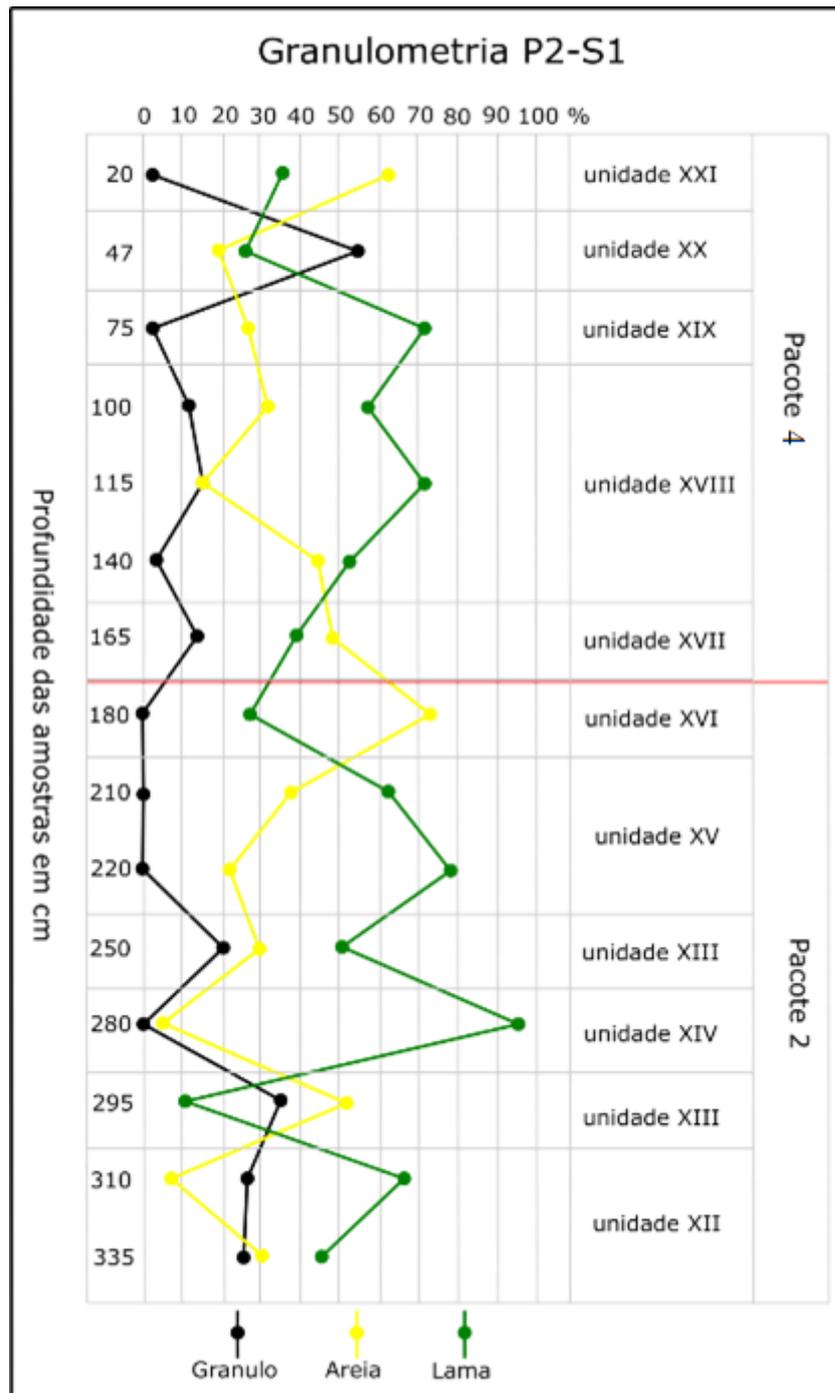


Figura 23: Gráfico da variação do percentual de cascalho, areia e lama em relação à profundidade das amostras do perfil descritivo 2 da seção estratigráfica 1 (P2-S1)

O pacote 2 apresenta como tendência o aumento da contribuição arenosa nas camadas cascalho-lamosa e a diminuição da fração grânulo à medida que a profundidade diminui, modificando as camadas progressivamente para texturas mais finas. Nas camadas lamosas ocorre o processo inverso, onde há aumento das frações arenosas e diminuição das frações finas, aumentando, assim, a contribuição das frações mais grossas.

Já o pacote 4 apresenta um típico processo de granocrescência descendente da base – que é mais grossa – para o topo, mais fino. Esse processo de granocrescência é interrompido pela presença da linha de pedras, aqui representado na profundidade 47 cm com o pico de grânulo. O solo atual apresenta valores intermediários com predominância de areia.

Sintetizando as informações apresentadas até então, temos a apresentação dos teores de grânulo, areia, silte e argila em porcentagem expostos na Tabela 03, que permite diferenciar cada unidade ao apresentar teores distintos das frações granulométricas. Na análise dos dados estatísticos (tabela 04), o predomínio de grau de seleção “muito pobremente selecionado” direciona a um ambiente com baixo ou nenhum poder de seleção, passível de ocorrer em ambientes coluviais. As classes texturais apresentadas pelos diagramas triangulares reforçam esse direcionamento para um ambiente coluvial e aluvial, bem como auxilia na diferenciação de unidades e pacotes ao apresentar classes distintas para as amostras. O uso dos dois diagramas em conjunto – Folk (1954) e Flemming (2000) (Figuras 21 e 22) – se mostra necessário para uma apresentação mais realista do universo das amostras que possuem frações muito finas e amostras com volume considerável de frações grosseiras. As classes texturais e o gráfico da Figura 23 apresentam tendências de gradação intraunidades e de granocrescência descendente dentro do pacote 4. Tais tendências e diferenças entre os pacotes contribuem para a construção de uma ordem estratigráfica na sucessão de eventos deposicionais do perfil 2, onde a alternância de camadas cascalho-lamosas e lamosas ocorrem na base (Pacote 2), passando pelo período de estabilidade que possibilitou o desenvolvimento do Paleossolo (unidade XVI). Em uma fase de erosão e sedimentação, houve a deposição do pacote 4.

As descrições de campo em que foram identificadas as geometrias, transições associadas com as análises granulométricas, estatísticas e texturais possibilitam propor as fácies deposicionais associadas a cada pacote sedimentar.

O pacote sedimentar 2 (em rosa, na Figura 13) é composto pela intercalação de unidades lama-cascalhosas (XII, XIII) e lamosas (XIV e XV), e as fácies que melhor representam essas camadas são as fácies eM (Lama maciça), mMS (Lama-Areia dística maciça) e 1MyG (Cascalho lamoso suportado pela matriz) (Figura 24). Essas fácies podem ser descritas como:

- Fácies 1MyG (Cascalho lamoso suportado pela matriz): possui cascalhos de tamanho centimétricos suportados por matriz fina (lamo-arenosa) distribuídos de forma aleatória, apresentando leve gradação da base para o topo. Não apresenta bioturbação

ou raízes. Os cascalhos possuem alto grau de alteração e são muito pobremente selecionados. Apesar dessa fácies possuir geometrias irregulares (Ghibaudo, 1992), no depósito apresentam-se como camadas planas ou com inclinação de baixo grau.

- Fácies eM (Lama): lama maciça em forma de lente bem definida (unidade XIV) com espessura de poucos centímetros (3 a 10 cm); apresenta predominância de silte e, em menor porcentagem, argila e areia muito fina.
- Fácies mMS (Lama-Areia dística maciça): leitões bipartidos que compreendem uma menor divisão arenosa, que possui aproximadamente 15 cm de espessura na parte superior e uma divisão lamacenta de aproximadamente 60 cm na parte inferior. Apresenta geometria tabular e grande continuidade lateral. No perfil 2, o paleossolo se desenvolveu sobre essa fácies.

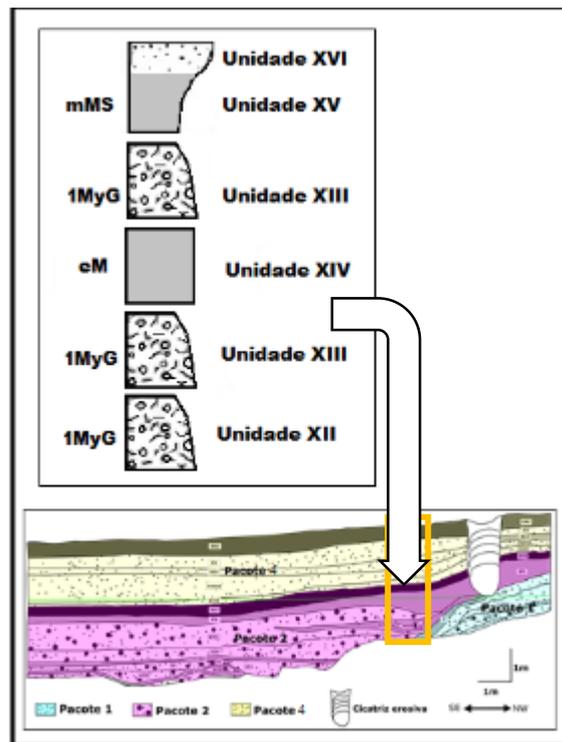


Figura 24: Fácies do pacote 2 no P2-S1, segundo Ghibaudo (1992).

O pacote sedimentar 4 (em amarelo, na Figura 13) é composto principalmente por camadas de textura arenosa com granocrescência descendente (unidades XVII, XVIII, XIX e XX), e pelo solo atual (unidade XXI), de textura areia cascalhosa. As fácies de Ghibaudo (1992) que melhor representam essas camadas são as fácies gMyS (Areia lamosa gradada), que se modificam verticalmente para gSyM (Lama arenosa gradada). Há ainda a presença de

camada cascalhosa mMyG (Cascalho lamoso maciço suportado pela matriz) e arenosa mMyS (Areia Lamosa maciça) conforme a Figura 25. Essas fácies podem ser descritas como:

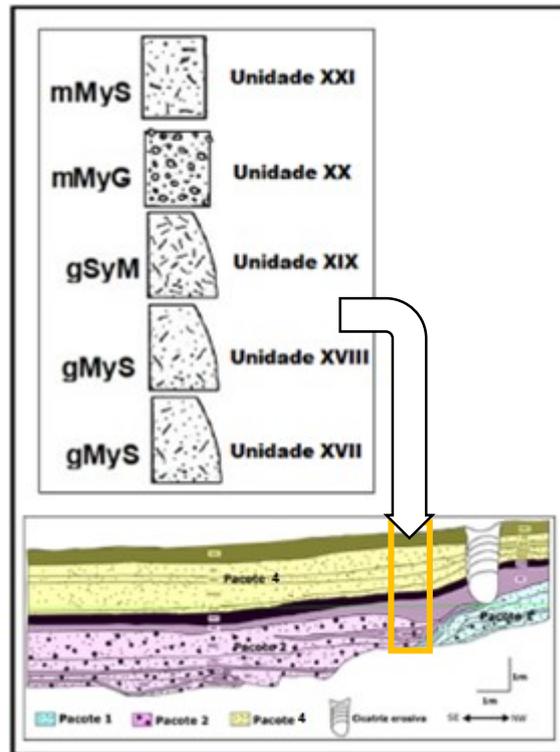


Figura 25: Fácies do pacote 4 no P2-S1, segundo Ghibaudo (1992).

- Fácies gMyS (Areia lamosa gradada): areias lamosas que apresentam gradação. São muito pobremente selecionadas, de geometria tabular e espessura aproximada de 1 metro. Modifica-se verticalmente para fácies mMyS;
- Fácies gSyM (Lama arenosa gradada): camada lamosa com presença de grãos de areia. É muito pobremente selecionada e sem macroestruturas. Depositadas sob forma de camada de geometria tabular;
- Fácies mMyG (Cascalho lamoso maciço suportado pela matriz): possui cascalhos de tamanho centimétricos (1 a 2 cm) subangulosos suportados por matriz fina (lamo-arenosa) distribuídos de forma aleatória, não apresentando macroestruturas sedimentares. Os cascalhos possuem alto grau de alteração e são muito pobremente selecionados. Apresenta-se como camada plana de aproximadamente 20 cm de espessura;
- Fácies mMyS (Areia lamosa maciça): é composta principalmente por areia e lama sem organização, muito pobremente selecionadas, possuindo geometria tabular e contínua lateralmente.

Assim como no perfil descritivo 1, as fácies encontradas no perfil 2 são fácies coluviais e sugerem, segundo Ghibaudo (1992), fluxos de detritos coesivos de maior ou menor velocidade que formam leitos maciços ou gradados. Analisando a sucessão de fácies do pacote 2 que apresenta a intercalação das fácies 1MyG e eM, percebe-se semelhança com a sucessão de fácies de depósitos do tipo leque. É possível atribuir ao depósito uma dinâmica de formação de movimentos gravitacionais de massa, formando fluxos superficiais de detritos parcialmente ou totalmente saturados, descendo através da encosta. As gradações normais são frutos de fluxos de detritos turbulentos, já as gradações inversas, são frutos de forças de dispersão de pressão e peneiramento cinético.

Para compilar as características levantadas em campo, abarcando análises granulométricas, estatísticas texturais e de fácies foi construído o Quadro 08, que apresenta uma síntese do perfil descritivo 02.

Perfil descritivo P2 – S1						
Pacote	Relação de contato	Fácies	Classificação Textural	Estrutura	Descrição	Foto
	Gradual entre camadas e abrupta na unidade sobreposta.	mMyS mMyG gSyM gMyS	Areia lamosa Cascalho lamosa Lama arenosa ligeiramente cascalhenta Lama cascalhosa Lama arenosa Areia Lamosa ligeiramente cascalhosa	Solo Estrutura maciça. Camadas arenosas com estratificação incipiente planoparalela com granoderecrescência ascendente, linha de cascalho no topo.	Solo Atual. Forte presença de raízes, presença de poros, granular, não pegajoso e pouco plástico, muito friável, macio, cor 10YR 4/2 Linha de cascalho em matriz fina. Presença de raízes, granular, ligeiramente pegajoso, pouco plástico, friável, macio, cores brunadas (2.5Y 5/3; 10YR 6/4 10 YR 5/4 e 7.5YR6/4)	
	Solo Atual	Linha de Cascalho	Silto-arenoso	Paleosolo	Lente de Lama	Silto-cascalhoso

Quadro 04: Compilação das características do perfil descritivo 2 da seção estratigráfica 2 (P2-S1).

A sucessão de eventos associados aos materiais estudados no perfil 2 da sessão estratigráfica 1 pode ser resumida da seguinte forma:

a) camadas intercaladas lamo-cascalhosas e lamosas, do segundo pacote sedimentar, estão presentes na base da sessão, no setor do perfil 2 estudado;

b) horizonte pedogenético de superfície (horizonte A) se desenvolve sobre camada lamosa (unidade XV), marcando período de relativa estabilidade ambiental e definindo a passagem entre o segundo e o quarto pacotes.

c) após a formação do paleossolo, um novo período de morfogênese atuou sobre a vertente, permitindo que as camadas do pacote 4 fossem depositadas até que um novo período de estabilidade relativa possibilitasse a formação do solo atual, no topo do depósito.

5.1.2.3 Perfil descritivo 3

O perfil descritivo 3 da seção 1 (P3-S1), representado pela cor azul na Figura 14, apresenta os mesmos pacotes sedimentares (2 e 3) que os observados no perfil 2 (P2-S1). Foram coletadas amostras seriadas com espaçamento de 10 cm, visando ao maior detalhamento de eventuais variações granulométricas nas unidades e pacotes. Os dados da distribuição granulométrica estão apresentados na Tabela 05.

Perfil descritivo 3 (S1-P3)							
Profundidade	Amostra	Unidades	Pacotes sed.	% Granulo	% Areia	% Silte	% Argila
10	A37	XXI	P4	1,544	87,186	10,190	0,430
20	A36	XXI	P4	2,828	58,087	34,941	3,584
30	A35	XX	P4	10,859	17,820	60,954	7,139
40	A34	XX	P4	1,001	53,112	39,539	5,861
50	A33	XX	P4	0,925	39,025	53,543	6,046
60	A32	XX	P4	0,802	21,221	67,731	10,258
70	A31	XIX	P4	23,100	49,767	24,101	2,505
80	A30	XVIII	P4	5,693	47,566	42,119	4,217
90	A29	XVIII	P4	8,851	51,056	35,156	4,508
100	A28	XVIII	P4	16,117	47,189	34,593	1,575
110	A27	XVIII	P4	11,547	60,749	23,101	2,235
120	A26	XVIII	P4	2,949	39,091	39,874	3,694
130	A25	XVIII	P4	6,292	50,231	34,553	8,652
140	A24	XVIII	P4	2,355	55,127	31,818	10,418
150	A23	XVIII	P4	6,148	49,421	31,146	12,973
160	A22	XVIII	P4	2,446	50,731	37,212	9,327
170	A21	XVII	P4	25,924	48,080	20,866	4,590
180	A20	XVII	P4	16,970	49,391	27,041	6,170
190	A19	XVI	P2	0,000	71,786	24,797	2,844
200	A18	XVI	P2	0,044	93,142	3,600	0,000
210	A17	XV	P2	0,396	76,431	17,076	5,343
220	A16	XV	P2	0,198	24,642	54,513	20,239
230	A15	XIII	P2	63,204	34,274	1,932	0,102
240	A14	XIII	P2	43,551	51,349	4,590	0,168
250	A13	XIII	P2	20,515	76,367	2,527	0,087
260	A12	XIII	P2	11,766	62,330	22,899	2,618
270	A11	XIII	P2	38,723	45,259	14,190	1,637
280	A10	XIII	P2	20,716	64,489	12,996	1,517
290	A09	XIII	P2	42,144	41,688	14,007	1,943
300	A08	XIII	P2	22,866	50,858	22,331	3,593
310	A07	XII	P2	26,698	49,063	21,052	2,823
320	A06	XII	P2	7,348	39,964	45,897	6,264
330	A05	XII	P2	10,941	18,313	55,071	15,041
340	A04	XII	P2	2,301	21,538	58,134	17,598
350	A03	XI	P2	0,000	25,853	60,051	13,799
360	A02	IX	P2	46,414	9,798	33,654	9,713
370	A01	VIII	P2	71,961	15,746	10,781	1,323

Tabela 05: Distribuição granulométrica de amostras e pacotes sedimentares observados no perfil descritivo 3 (S1-P3).

Ao analisar a Tabela 05, é notável que todas as unidades descritas em campo apresentam variação nos percentuais de grânulo, areia, silte e argila, caracterizando com clareza uma camada diferente da sobreposta e sotoposta. Um bom exemplo são as unidades VIII, IX e XI, que apresentam variações substanciais no percentual de grânulo, variando de 71% a 0% em apenas 30 cm de variação vertical.

O espaçamento entre amostras permitiu visualizar não somente camadas e unidades diferentes, mas também avaliar variações internas nas unidades. A unidade XIII, por exemplo, possui elevada variação nas porcentagens de grânulo, areia, silte e argila, apresentando tendência a gradação inversa, onde há o predomínio de frações grossas (areia e grânulo) no topo da camada.

A transição entre os pacotes é bem marcada não só pela cor descrita em campo como pela composição granulométrica das unidades. A unidade XVI do Pacote 2 é uma unidade predominantemente arenosa com contribuição de silte e argila cuja provável origem seja devido ao processo pedogenético que possibilitou a formação do paleossolo. Já a unidade XVII do Pacote 4 apresenta contribuição crescente de grânulo e teores intermediários de areia.

As estatísticas granulométricas associadas às amostras do perfil descritivo 3 estão apresentadas na Tabela 06.

Amostra	Média	Classificação	Mediana	Seleção	Classificação	Assimetria	Classificação	Curtose	Classificação
A37	-0,142	Areia muito grossa	-0,3479	1,719	Pobremente selecionado	0,4928	Muito positiva	2,817	Muito leptocúrtica
A36	2,688	Areia fina	1,267	3,002	Muito pobremente selecionado	0,5726	Muito positiva	0,6071	Muito platicúrtica
A35	5,1	Silte médio	5,972	2,838	Muito pobremente selecionado	-0,4452	Muito negativa	1,04	Mesocúrtica
A34	3,604	Areia muito fina	3,172	2,836	Muito pobremente selecionado	0,2514	Positiva	0,6908	Platicúrtica
A33	4,411	Silte grosso	5,125	2,822	Muito pobremente selecionado	-0,2624	Negativa	0,7029	Platicúrtica
A32	5,62	Silte médio	5,733	2,089	Muito pobremente selecionado	0,0574	Aproximadamente	1,131	Leptocúrtica
A31	1,788	Areia média	0,9623	2,974	Muito pobremente selecionado	0,4948	Muito positiva	0,6604	Muito platicúrtica
A30	3,807	Areia muito fina	3,795	2,775	Muito pobremente selecionado	-0,07318	Aproximadamente	1,059	Mesocúrtica
A29	3,462	Areia muito fina	3,101	2,803	Muito pobremente selecionado	0,1272	Positiva	0,8768	Platicúrtica
A28	2,353	Areia fina	3,175	3,15	Muito pobremente selecionado	-0,1397	Negativa	0,8943	Platicúrtica
A27	1,797	Areia média	0,9869	2,68	Muito pobremente selecionado	0,4603	Muito positiva	0,6793	Platicúrtica
A26	3,814	Areia muito fina	4,054	2,356	Muito pobremente selecionado	-0,08481	Aproximadamente	1,013	Mesocúrtica
A25	3,732	Areia muito fina	3,443	3,301	Muito pobremente selecionado	0,1446	Positiva	1,038	Mesocúrtica
A24	3,393	Areia muito fina	2,844	3,453	Muito pobremente selecionado	0,2935	Positiva	0,7939	Platicúrtica
A23	3,627	Areia muito fina	3,046	3,708	Muito pobremente selecionado	0,2304	Positiva	0,8014	Platicúrtica
A22	3,739	Areia muito fina	3,411	3,158	Muito pobremente selecionado	0,2488	Positiva	0,7664	Platicúrtica
A21	2,078	Areia fina	1,234	3,122	Muito pobremente selecionado	0,475	Muito positiva	0,5557	Muito platicúrtica
A20	2,028	Areia fina	1,252	3,598	Muito pobremente selecionado	0,4435	Muito positiva	0,6763	Platicúrtica
A19	2,221	Areia fina	1,021	2,943	Muito pobremente selecionado	0,548	Muito positiva	0,7263	Platicúrtica
A18	-0,3862	Areia muito grossa	-0,4454	0,6987	Moderadamente selecionado	0,1613	Positiva	1,537	Muito leptocúrtica
A17	2,208	Areia fina	0,5618	3,054	Muito pobremente selecionado	0,7185	Muito positiva	1,607	Muito leptocúrtica
A16	6,049	Silte fino	6,773	2,772	Muito pobremente selecionado	-0,2465	Negativa	0,907	Mesocúrtica
A15	-0,7686	Areia muito grossa	-1,574	0,2056	Muito bem selecionado	6,447	Muito positiva	2,298	Muito leptocúrtica
A14	-0,3903	Areia muito grossa	-1,297	1,018	Pobremente selecionado	1,616	Muito positiva	1,607	Muito leptocúrtica
A13	-1,017	Granulo	-1,253	0,6558	Moderadamente selecionado	1,125	Muito positiva	0,6539	Muito platicúrtica
A12	2,28	Areia fina	0,9749	2,835	Muito pobremente selecionado	0,5958	Muito positiva	0,8746	Platicúrtica
A11	1,198	Areia média	0,4558	2,296	Muito pobremente selecionado	0,6342	Muito positiva	0,8251	Platicúrtica
A10	0,9074	Areia grossa	0,6051	2,419	Muito pobremente selecionado	0,4401	Muito positiva	1,079	Mesocúrtica
A09	1,088	Areia média	0,02678	2,288	Muito pobremente selecionado	0,7987	Muito positiva	0,8704	Platicúrtica
A08	2,186	Areia fina	1,776	3,13	Muito pobremente selecionado	0,3103	Muito positiva	0,8369	Platicúrtica
A07	2,118	Areia fina	1,725	2,954	Muito pobremente selecionado	0,319	Muito positiva	0,5686	Muito platicúrtica
A06	4,42	Silte grosso	4,174	2,703	Muito pobremente selecionado	0,04617	Aproximadamente	1,265	Leptocúrtica
A05	5,482	Silte médio	6,141	3,111	Muito pobremente selecionado	-0,2999	Negativa	1,18	Leptocúrtica
A04	5,998	Silte médio	6,29	2,581	Muito pobremente selecionado	-0,08056	Aproximadamente	1,009	Mesocúrtica
A03	5,623	Silte médio	5,821	2,401	Muito pobremente selecionado	-0,02395	Aproximadamente	1,04	Mesocúrtica
A02	3,121	Areia muito fina	2,583	3,582	Muito pobremente selecionado	0,3243	Muito positiva	0,5338	Muito platicúrtica
A01	0,1969	Areia grossa	-1,387	1,764	Pobremente selecionado	1,51	Positiva	1,451	Leptocúrtica

Tabela 06: Estatísticas das amostras do perfil descritivo 3 (P3-S1).

arenosa ligeiramente cascalhosa”, sendo que a classe mais frequente é “Lama cascalhosa”, conforme visualizado no Quadro 09. Ao plotar as amostras segundo o diagrama de Folk (1954), os resultados indicaram uma boa e ampla distribuição devido à considerável fração grânulos presentes nas amostras. Não é possível associar uma classe ou um conjunto de classes a determinado pacote, visto que ambos os pacotes apresentam unidades distribuídas em quase todo o diagrama, o que ressalta o caráter mal selecionado do perfil.

Apesar da presença da fração grânulo em boa parte das amostras, todas as elas foram classificadas de acordo com o diagrama de Flemming (2000) (Figura 27), com a fração grânulo incorporada à classe “areia”.

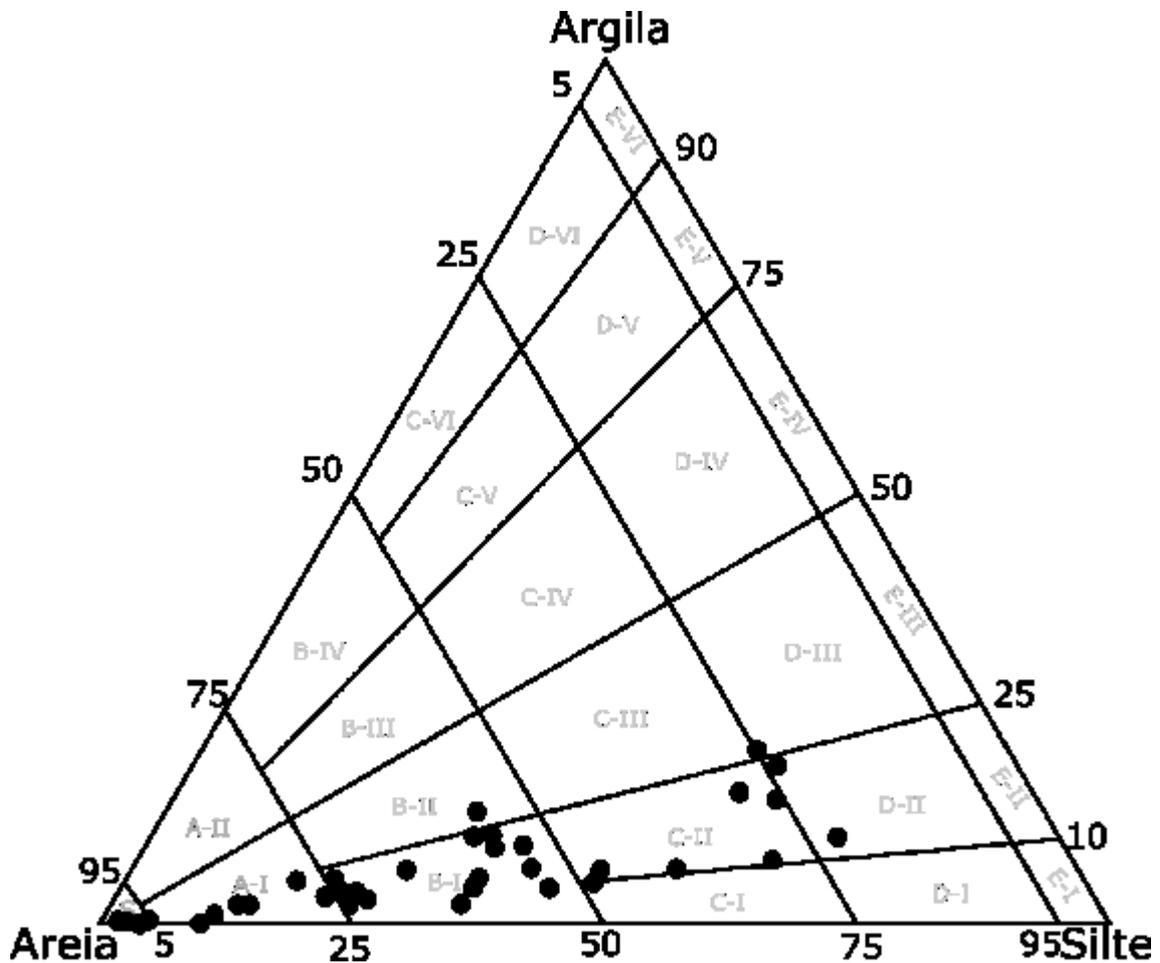


Figura 27: Amostras do perfil descritivo 3 (P3-S1) plotadas no diagrama de Flemming (2000)

Percebe-se a maior concentração das amostras em classes próximas do polo “Areia” devido ao caráter predominantemente grosso das amostras. Todas as amostras da classe “Areia” são representativas de unidades cascalho-lamosas do pacote sedimentar 2 (unidades cascalhosas matriz suportadas, localizadas na base da seção estratigráfica 1), já as amostras

lamosas do pacote 2 e as amostras representativas de unidades do pacote 4 distribuem-se ao longo das demais classes granulométricas.

As amostras distribuem-se radialmente a partir da classe areia ocupando predominantemente a base do diagrama, eventualmente associados a ambientes aluviais e colúviais (Oliveira, 2004).

De modo geral, as amostras desse perfil estão agrupadas nas classes A – “Areia”, AI - “Areia levemente siltosa”, BI – “Areia muito siltosa”, BII – “Areia siltosa”, CI – “Lama arenosa extremamente siltosa”, CII – “Lama arenosa muito siltosa”, CIII – “Lama arenosa siltosa” e DII – “Lama levemente arenosa muito siltosa”.

O Quadro 9 apresenta a classificação granulométrica obtida nos dois sistemas de classificação textural, onde é possível perceber que apenas o uso do diagrama de Folk (1954) apresentou bons resultados na diferenciação das unidades descritas em campo. Contudo, ao associá-lo ao diagrama de Flemming (2000), as unidades foram melhor diferenciadas e as variações de gradação dentro de uma mesma unidade foram ressaltadas. Portanto, o diagrama de Folk (1954) se destacou por apresentar o melhor resultado, mas para a diferenciação definitiva das unidades o uso em conjunto de ambos os diagramas foi fundamental.

Nas unidades de maior espessura, como as unidades XII e XIII do pacote 2, ou a unidade XVIII do pacote 4, as variações internas são melhores distinguíveis em Folk (1954). A gradação inversa da unidade XII, que em campo não era perceptível, foi evidenciada pela classificação. As sequências de gradação inversa incipiente da unidade XVIII do pacote 4 eram perceptíveis em campo e foram confirmadas pela alternância de amostras classificadas como “Cascalho lamoso” e “Lama cascalhosa”.

Amostra	Unidades	Pacotes	Classificação Folk	Classificação Flemming
A15	XXI	P4	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa
A14	XXI	P4	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa
A13	XIX	P4	Lama arenosa ligeiramente cascalhosa	Lama arenosa extremamente siltosa
A12	XVIII	P4	Lama arenosa ligeiramente cascalhosa	Lama levemente arenosa muito siltosa
A11	XVIII	P4	Lama ligeiramente cascalhosa	Lama levemente arenosa muito siltosa
A10	XVII	P4	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia siltosa

A09	XVI	P2	Lama ligeiramente cascalhosa	Silte levemente argiloso
A08	XVI	P2	Lama cascalhosa	Lama arenosa extremamente siltosa
A07	XV	P2	Lama cascalhosa	Lama levemente arenosa muito siltosa
A06	XV	P2	Lama cascalhosa	Areia muito siltosa
A05	V	P1	Lama ligeiramente cascalhosa	Lama levemente arenosa muito siltosa
A04	IV	P1	Lama ligeiramente cascalhosa	Lama levemente arenosa extremamente siltosa
A03	III	P1	Lama cascalhosa	Areia muito siltosa
A02	II	P1	Lama cascalhosa	Areia levemente siltosa
A01	I	P1	Lama ligeiramente cascalhosa	Silte argiloso

Quadro 05: Classificação textural das amostras do perfil P3-S1 partir dos diagramas de Folk (1954) e Flemming (2000).

A variação da granulometria do perfil 3, exposta na Figura 28, indica predomínio de areias ao longo do depósito, seguidas por lamas e, em menores quantidades, por grânulos. No geral, areias e lamas apresentam uma relação inversa.

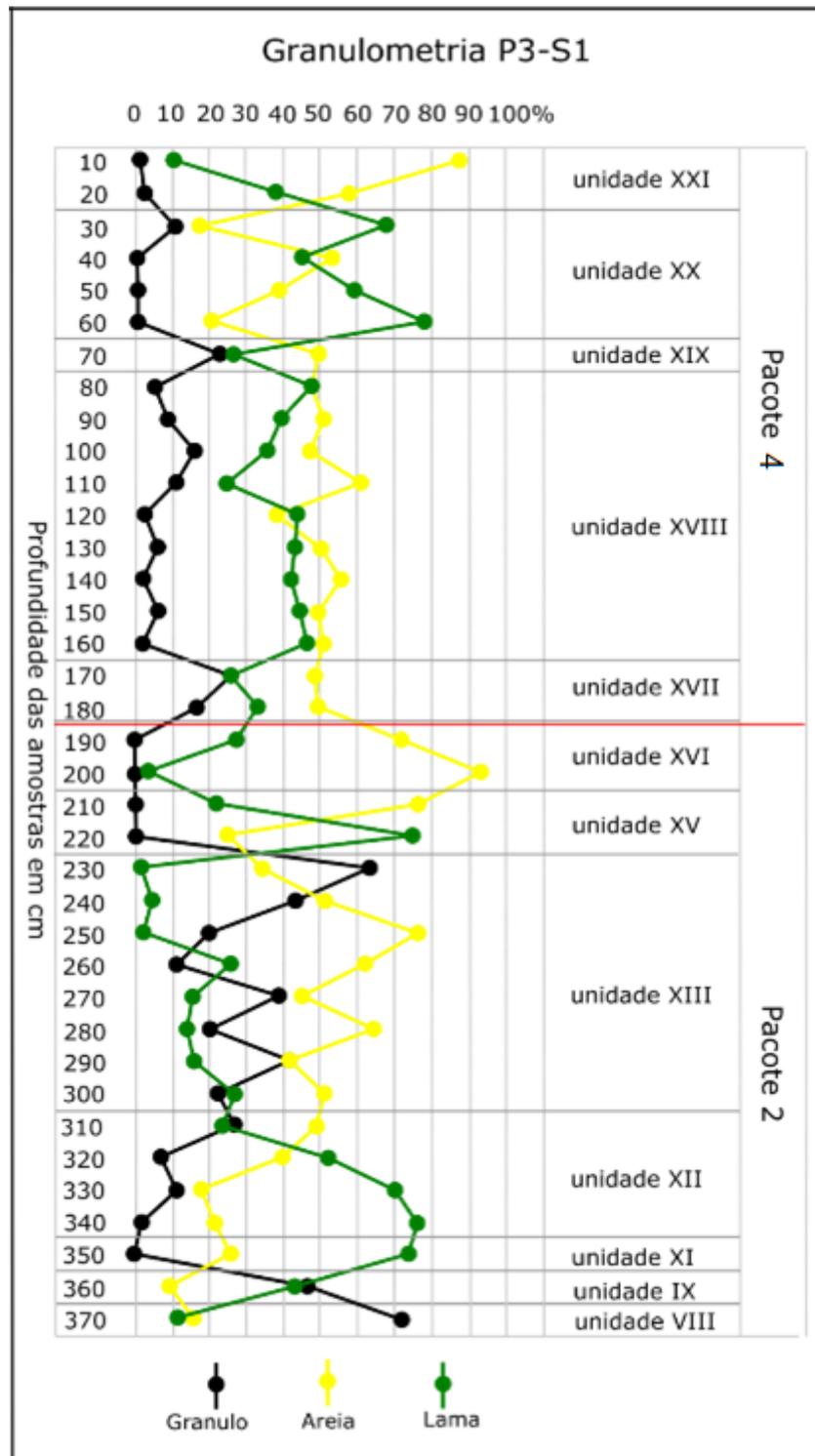


Figura 28: Gráfico da variação do percentual de cascalho, areia e lama em relação à profundidade das amostras do perfil descritivo 3 da seção estratigráfica 1 (P3-S1)

O pacote sedimentar 2 apresenta unidades (VIII, IX e XIII) com elevados valores de grânulos, chegando a 70%. Nas profundidades de 370 cm e 360 cm (unidades VIII e IX) e nas profundidades entre 310 cm e 230 cm (unidades XII e XIII), há predominância de frações grossas expressas através dos valores de areia e grânulos. Intercaladas a elas, ocorrem as

unidades (XI, XV e XVI) com aumento expressivo da porcentagem de lama nas profundidades de 320-350 cm (50 a 75%) e 220 cm (cerca de 75%). O pacote sedimentar 2 termina com a unidade XVI (paleossolo), nas profundidades 200 cm e 190 cm, que apresenta a fração arenosa como predominante, se apresentando com valores entre 70 e 93%.

No pacote 4, há a clara predominância de areia e lama. Nas profundidades de 30-60 cm (unidade XX), o percentual de lama se destaca variando entre 70 a 80%. As areias predominam nas profundidades de 70-180 cm (unidade XII, XIII e XIX), com percentuais que variam de 40 a 60%, e na unidade de topo (XXI), aos 10-20 cm de profundidade, com valores de 58% e 87%. O teor de grânulos, no geral, varia entre 0 a 25% nas profundidades 10 a 180 cm, contribuindo na diferenciação das camadas, como por exemplo a unidade XIX, com um pico de 25% de grânulo. Percebe-se a relação de porcentagens granulométricas similares entre o paleossolo da unidade XVI (profundidade 200 cm) e solo atual da unidade XXI (10 cm), com valores de grânulo, areia, e lama praticamente iguais.

O pacote 2 é composto na base pelas unidades VIII, IX e XI que se diferenciam pela variação de grânulo e lama, apresentando granocrescência descendente. A unidade VIII possui um alto teor de grânulo (70%) e 10% de lama; na unidade IX, grânulo e lama tem porcentagens próximas a 45% e na unidade XI o teor de grânulo vai a zero e o de argila a 70%, mostrando uma inversão destes parâmetros. Na unidade XII, os teores de grânulo e areia aumentam e o de lama diminui em um padrão gradacional inverso, diferente do que acontece nas unidades sotoposta e sobreposta. A unidade XIII apresenta, também, uma gradação inversa, mas diferentemente da unidade XII, os teores de grânulo e areia aumentam em picos alternados. No topo do pacote 2, as unidades XV e XVI apresentam gradação inversa com pico de lama (70%) decrescendo, rapidamente sendo substituído por areia. Não há contribuição da fração grânulo nestas duas unidades. Assim, o pacote 2 apresenta granocrescência ascendente de forma não linear. Contudo, elas ocorrem em pulsos, como pode ser observado na unidade XIII.

O pacote 4 apresenta as unidades XVII e XVIII cuja granulometria principal é de areia e lama. O que difere as unidades é a maior concentração de grânulo na unidade XII, que chega a 25%. A unidade XVIII apresenta regularidade no seu padrão, apresentando um leve pico de areia na profundidade 110 cm. A unidade XIX do pacote 4 é diferente da camada sotoposta e sobreposta por apresentar valores de grânulo e lama que se aproximam de 25%, muito similar ao topo da unidade XVII. A unidade XX diferencia-se claramente das demais por apresentar oscilação entre lama e areia, tendendo a apresentar maior quantidade da fração lama. O pacote 4 apresenta, no topo, o solo atual (unidade XXI), que é arenoso. Como

tendência geral, o pacote 4 apresenta baixos teores de grânulo, com exceção da profundidade de 70 cm que lembra fortemente a linha de pedras (*stone line*) do perfil 2. O pacote é mais homogêneo, não apresentando granocrescência, sugerindo fluxos de detritos, já que esse tipo de fluxo tende, mas não somente, a formar depósitos maciços matriz-suportados.

Em síntese, a distribuição granulométrica em percentual apresentada na Tabela 05 demonstra que as unidades são diferenciáveis entre si e os pacotes também. Os dados estatísticos contribuem para a diferenciação de algumas unidades como a unidade XIII e XV. Tais dados confirmam, ainda, que o grau de seleção “muito pobremente selecionado” é predominante, sugerindo ambiente coluvial, visto que este ambiente de deposição pode estar associado com tais características. As classificações texturais obtidas através dos diagramas também conduziram a interpretação de colúvio como sendo o ambiente deposicional e contribuíram para a diferenciação dos pacotes e gradações intracamadas. Comparando a Figura 28 (gráfico da variação percentual) e o Quadro 9 (classificação textural), supõe-se que, da metade para o topo do pacote 4, tenham ocorrido ciclos de sequências deposicionais que geraram estratificações plano-paralelas incipientes.

Com base no que foi apresentado até então, aliado à geometria das camadas e descrições de campo, as fácies descritas por Ghibaudo (1992) que melhor representam os dados granulométricos, estatísticos e texturais apresentados para o perfil 3 por pacote serão descritos a seguir.

O pacote sedimentar 2 (em rosa, na Figura 13) é composto pela intercalação de unidades lama-cascalhosas (VI, IX, XII, XIII) e lamosas (XI, XIV e XV). As fácies são eM (Lama maciça), mMS (Lama-Areia dística maciça) e g1MyG (Cascalho lamoso gradado suportado pela matriz), conforme visualizados na Figura 29:

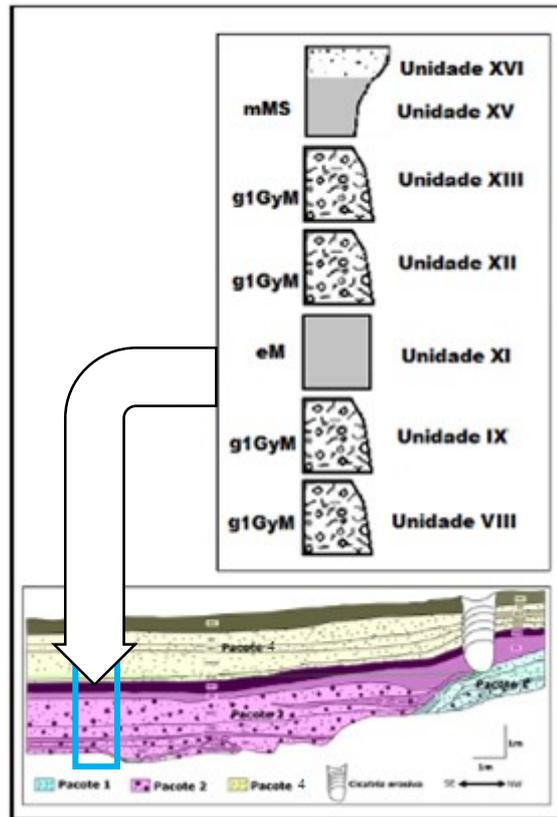


Figura 29: Fácies do pacote 2 no P3-S1, segundo Ghibaudo (1992)

- Fácies g1MyG (Cascalho lamoso gradado suportado pela matriz): possui cascalhos de tamanho centimétricos suportados por matriz fina (lamo-arenosa), não apresentando bioturbação ou raízes. Os cascalhos possuem alto grau de alteração e são muito pobremente selecionados. No depósito apresentam-se quase planas;
- Fácies eM (Lama): Lama maciça em forma de camada, apresenta predominância de silte e, em menor porcentagem, argila e areia muito fina. Bem definida com espessura de poucos centímetros (aproximadamente 10 cm), possui continuidade lateral;
- Fácies mMS (Lama-areia dística maciça): leitos bipartidos que compreendem uma menor divisão arenosa na parte superior e uma divisão lamacenta na parte inferior, de geometria tabular e grande continuidade lateral. Na seção, apresenta-se associada ao paleossolo.

O pacote sedimentar 3 (em amarelo, na Figura 13) é composto principalmente pelas fácies gMyS (Areia lamosa gradada) e gGyM (Lama cascalhosa gradada). Sobrepondo-se a essa fácies está a fácies mMyS (Areia lamosa maciça), sobre o qual o solo atual se desenvolveu, conforme visualizado na Figura 30:

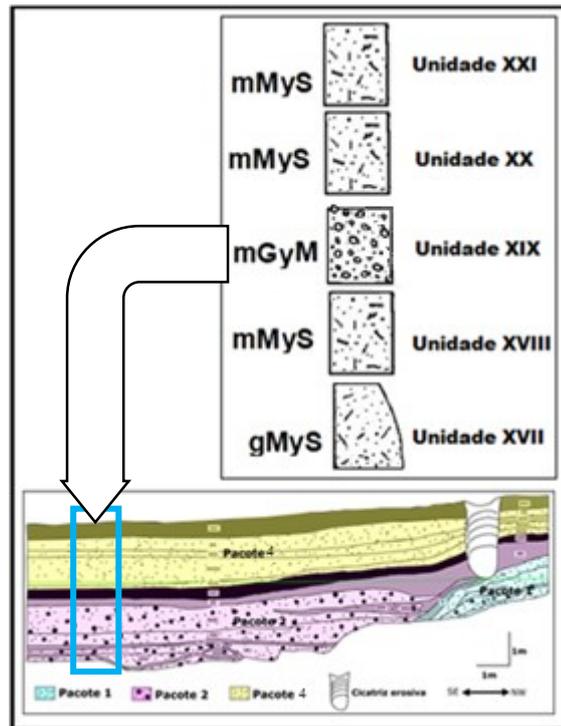
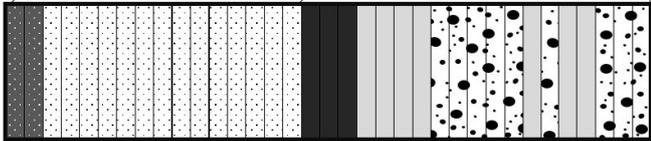


Figura 30: Fácies do pacote 4 no P3-S1, segundo Ghibaudo (1992).

- Fácies gMyS (Areia lamosa gradada): areias lamosas que apresentam leve gradação e estratificação plano-paralela incipiente. São muito pobremente selecionadas, de geometria tabular e grande continuidade lateral;
- Fácies gGyM (Lama cascalhosa gradada): camada lamosa com presença de grãos de areia e grânulos. É pobremente selecionada e sem macroestruturas. Depositadas sob forma de camada de geometria tabular e grande continuidade lateral.
- Fácies mMyS (Areia Lamosa maciça): é composta principalmente por areia e lama sem organização, muito pobremente selecionadas, possuindo geometria tabular e grande continuidade lateral.

Da mesma forma que os perfis 1 e 2, as fácies, segundo Ghibaudo (1992), sugerem como origem para as camadas coluviais fluxos de detritos coesivos de maior ou menor velocidade que provocam estruturas maciças ou gradadas como as apresentadas até então. As gradações normais são frutos de fluxos de detritos do tipo turbulento e concentrado. A análise da sucessão vertical de fácies sugere, para o pacote 2, a construção de um leque. O pacote 4 apresenta fácies maciças que sugerem fluxos de detritos turbulentos com elevada velocidade, já as gradações inversas são frutos de forças de dispersão de pressão e peneiramento cinético.

Os dados apresentados até então e sintetizados no Quadro 10 nos permite traçar a sequência deposicional das unidades e pacotes do perfil 3:

Perfil descritivo P3 - S1						
Pacotes	Relação de contato	Fácies	Classificação Textural	Estrutura	Descrição	Foto
	Gradual entre camadas.	mMyS gGyM gMyS	Areia lamo-cascalhosa Lama ligeiramente cascalhosa Lama Cascalhosa Areia Cascalhosa	Estrutura maciça no topo. Estratificação incipiente planoparalela com grandodrecrescência ascendente.	Solo Atual. Forte presença de raízes, presença de poros, granular, não pegajoso e pouco plástico, muito friável, macio, cor 10YR 4/2 Pacote areno-cascalhoso em matriz fina. Presença de raízes, granular, ligeiramente pegajoso, pouco plástico, friável, macio, cores brunadas (2.5Y 5/3; 10YR 6/4 10 YR 5/4 e 7.5YR6/4)	
		Abrupto entre camadas da base e gradual entre as camadas do topo, gradual com o pacote sobreposto.	mMS eM g1MyG	Areia lamosa Lama arenosa Cascalho lamoso Lama arenosa ligeiramente cascalhosa Lama ligeiramente cascalhosa Lama cascalhosa	Estrutura maciça, com lentes de lama de baixo ângulo.	

Quadro 6: Compilação das características do perfil descritivo 3 da seção estratigráfica 1 (P3-S1)

A sucessão de eventos associados aos materiais estudados no perfil 3 da sessão estratigráfica 1 pode ser resumida como segue:

a) Sucessão de camadas lamo-cascalhosas intercaladas a camadas lamosas, do segundo pacote sedimentar, estão presentes na base da sessão; no setor estudado, foram depositadas em período de morfogênese;

b) horizonte pedogenético de superfície (horizonte A) se desenvolve sobre camada lamosa (unidade XV – pacote 2), marcando período de relativa estabilidade ambiental.

c) após a formação do paleossolo, novo período de morfogênese atuou sobre a vertente, permitindo que as camadas do pacote 4 fossem depositadas até que um novo período de estabilidade relativa possibilitasse a formação do solo atual, no topo do depósito.

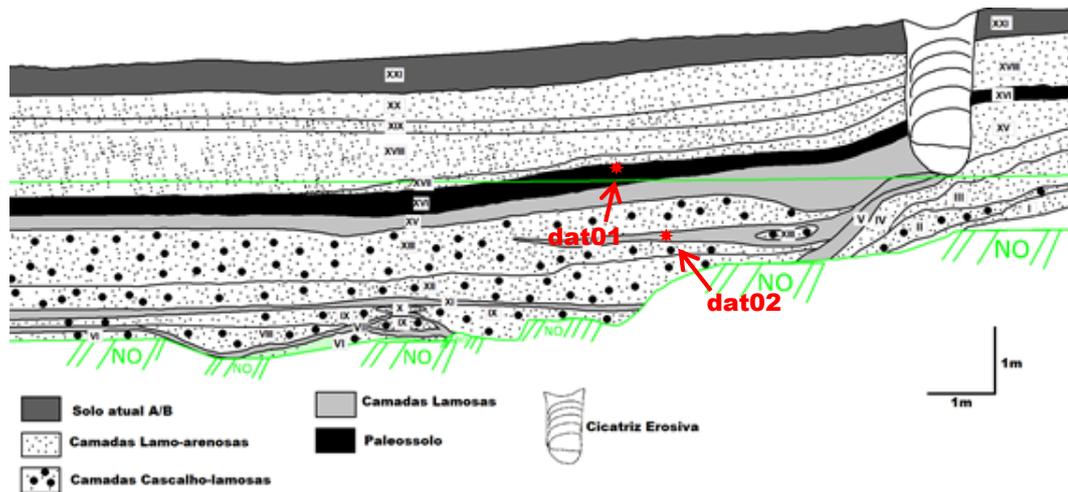
5.1.3 Geocronologia da seção estratigráfica 1

Utilizando o método do radiocarbono (^{14}C), quatro amostras foram submetidas à análise radiométrica. Tais análises foram realizadas no laboratório Beta Analytic Inc., nos Estados Unidos. Duas amostras foram coletadas nas unidades XI e XVI da seção estratigráfica 1, visto que indicavam teor de matéria orgânica elevado o suficiente para possibilitar as análises. Duas amostras foram coletadas no horizonte pedológico atual (horizonte A) da “seção estratigráfica de superfície”, na localidade do Cerro do Touro (SANTOS JUNIOR, 2019), próxima da seção em discussão. Apesar de pertencerem a outra seção estratigráfica, as amostras coletadas encontram-se em horizonte superficial (horizonte A) característico da área do Cerro do Touro e adjacências, incluindo a seção aqui estudada, possibilitando correlação geocronológica plausível o suficiente para ser utilizada como referência para estimar a idade de formação do horizonte A da seção estratigráfica 1.

A Tabela 07 apresenta os resultados das análises radiométricas na seção estratigráfica 1 e na seção de cabeceira. A Figura 31 indica a localização das amostras na seção estratigráfica 1.

Amostra	Código Beta	Seção / Unidade	Prof.	Método	Idade Aproximada	$\delta^{13}\text{C}$	Descrição
C-1	499966	Seção de superfície	0,20m	^{14}C	1.440+- 30 anos AP	-24.23‰	Solo atual próximo ao topo
C-2	513366	Seção de superfície	1,10m	^{14}C	14.760+- 40 anos AP	-17.48‰	Base do solo atual

S1-dat01	456940	S1 - XVI	1,80m	^{14}C	26.480 +/- 120 anos AP	-22.7‰	Paleossolo
S1-dat02	515191	S1 - XIV	3,45m	^{14}C	29.900 +/- 160 anos AP	-24.3‰	Linha de material orgânico dentro da lente de lama

Tabela 07: Resultados de datações por ^{14}C Figura 31: Localização das amostras de datação ^{14}C e isótopos na seção estratigráfica 1

A amostra dat01 foi coletada na profundidade de 1,80 m do topo para a base do perfil 1, em unidade húmica (XVI), de coloração preta (5YR-2.5/1) e textura lamosa, associada a possível paleossolo enterrado, e foi datada de 26.480 +/-120 anos AP. A amostra dat02 foi retirada de lâminas de matéria orgânica carbonizada, dentro da lente de lama do perfil 1, na profundidade de 3,45 m, registrando idade de 29.900 +/- 160 ^{14}C anos AP. As datações das amostras do solo atual, na seção estratigráfica de superfície (SANTOS JUNIOR, 2019), apresentam na base do horizonte A superficial data de 14.760+- 40 anos AP, e o topo idade de 1.440+- 30 anos AP. Essas datações permitem posicionar cronologicamente as unidades da seção estratigráfica 1 e possibilitam a comparação com os estágios isotópicos marinhos (EIM) (Figura 32).

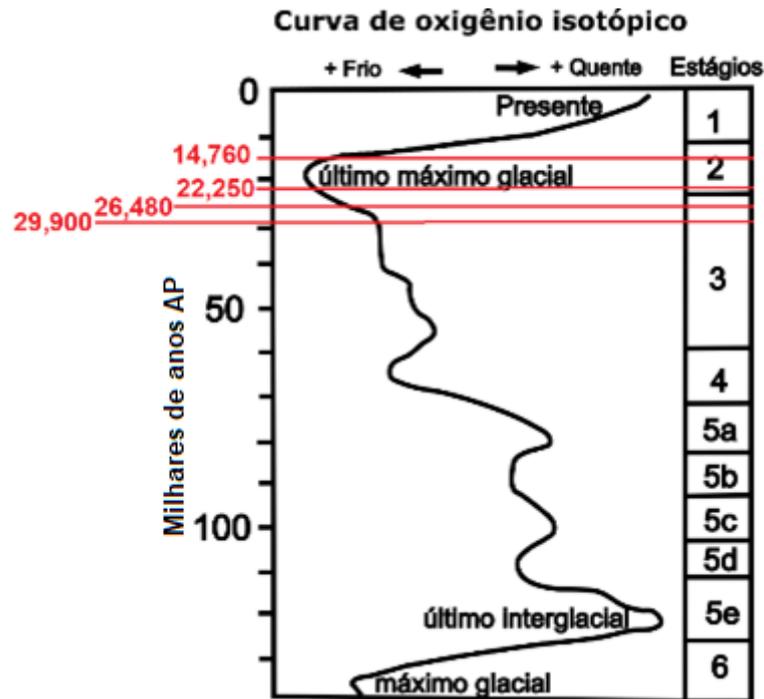


Figura 32: Curva Índice isotópico $\delta^{18}\text{O}$ para os últimos 140.000 anos posicionamento das datações obtidas. Obs: a datação de 22.250 anos foi obtida por LOE a ser apresentado nos resultados da Seção Estratigráfica 3.

Segundo a Lei de Superposição de Camadas, infere-se que o pacote sedimentar 1 (unidades I a V) foi depositado há mais de 30 mil anos, passando pelo interstadial (aquecimento dentro de uma glaciação) durante o estágio isotópico marinho 3 (EIM 3). O pacote 2 (unidades VI a XVI) foi depositado durante o final do EIM 3. A formação do paleossolo ocorreu na transição do EIM 3 para o EIM 2, no qual um período de estabilidade proporcionou a atuação de processos pedogenéticos para a formação desse solo sobre o sedimento.

Assim, o pacote 4 (unidades XVII a XXI) é formado por depósitos coluviais compostos principalmente por camadas areno-lamosas ou cascalho-lamosas, cuja deposição ocorreu durante o stadial do último máximo glacial (UMG - EIM 2). Conforme o referencial geocronológico obtido com as datações da base e do topo do solo atual da seção de superfície (Santos Junior 2019) é possível supor que os solos superficiais na área de estudo se desenvolveram a partir de 14.760 \pm 40 anos AP, aproximadamente. Os depósitos sobre os quais esses horizontes húmicos se desenvolveram foram formados, pelo menos, antes de 15.000 anos AP. A formação desses horizontes superficiais de solo nos últimos 14,7 mil anos indica continuidade do desenvolvimento pedológico desde o Tardiglacial, atravessando todo o Holoceno superior.

Essa datação é de particular interesse, visto que coincide com o evento de rápido aquecimento registrado no Atlântico Norte, denominado de Bølling-Allerød. Esse rápido aquecimento é provocado pela mistura entre águas salgadas quentes em profundidades intermediárias e águas doces frias superficiais, o que provocou o aquecimento de toda a bacia do atlântico Norte por aproximadamente dois mil anos entre 15.000 a 13.000 anos AP (SU *et. al.*, 2016). Esse evento acompanha curvas de mudanças climáticas registradas na Antártica a partir de estudos dos isótopos de hidrogênio (^2H) e oxigênio (^{18}O) em núcleos de gelo onde, para o mesmo período (a partir de 15.000 anos AP), há um pico de aumento na temperatura embora não tão abrupto quanto no hemisfério norte (Figura 33). O início da formação do solo superficial coincide com o aumento global de temperaturas.

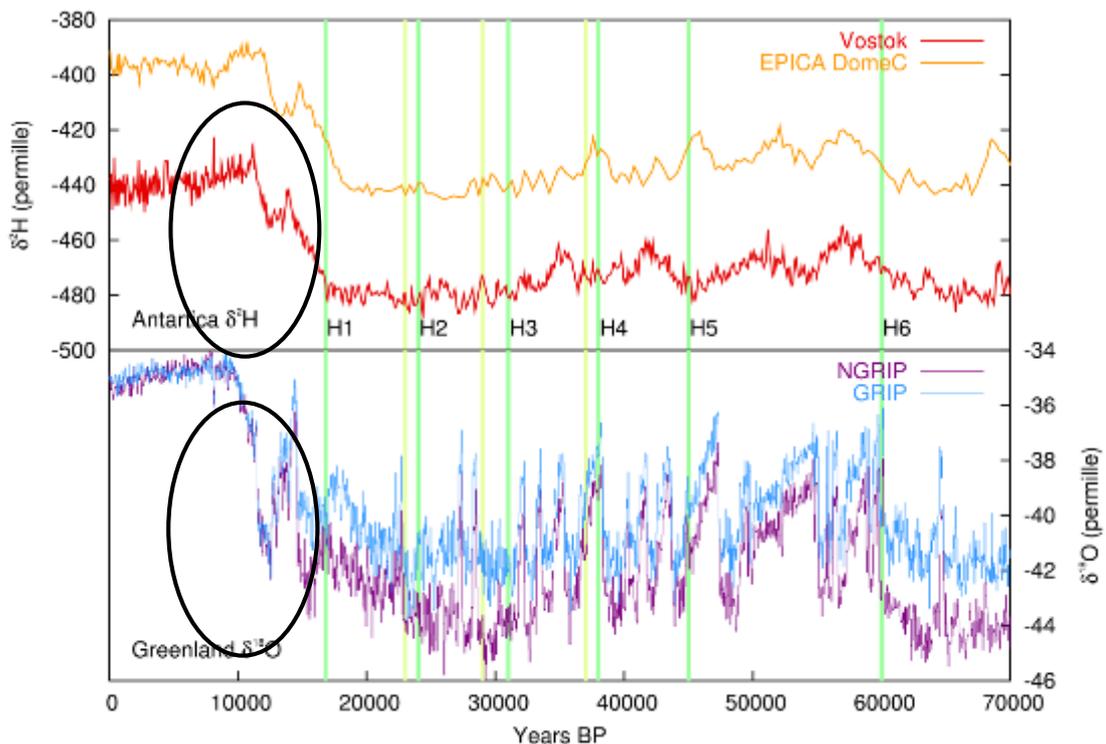


Figura 33: Ciclos de mudanças climáticas abruptas a partir de isótopos de ^2H na antártica e ^{18}O na Groelândia em padrão ritmado por Eventos de Dansgaard-Oeschger (*D-O*) e de Heinrich (*H*). O destaque apresenta o registro do rápido aquecimento ocorrido em ambos os hemisférios entre 15.000 e 13.000 anos.

Os EIMs 3 e 2 apresentam como tendência clima mais seco e frio que o clima atual da região de Campo Alegre. Entretanto, os registros do paleossolo apresentam indícios de preservação da umidade local durante a transição do EIM 3 e EIM 2, contrariando o pensamento de que para áreas globais não afetadas por geleiras o período glacial foi dominado por clima frio e seco. A comparação do material datado e a curva de estágio isotópico permite dizer que a sedimentação de camadas coluviais entrecortadas por formação de material orgânico, ocorrida na seção estratigráfica 1, revela, ainda, a alternância no padrão

climático provocando alterações ambientais registradas sob regimes de morfogênese e pedogênese a partir do Pleistoceno superior e Holoceno.

5.1.4 Análise isotópica da seção estratigráfica 1

Segundo Coe *et al.* (2012), o índice $\delta^{13}\text{C}$ da matéria orgânica se dá como produto da interação das espécies vegetais com o meio ambiente. A vegetação do tipo gramínea assimila carbono por processo diverso do da vegetação arbórea, produzindo taxas diferentes de assimilação dos isótopos ^{13}C e ^{12}C e, portanto, possibilita a diferenciação entre os tipos de vegetação (gramínea e arbórea). Plantas C3 (arbóreas e arbustivas) apresentam valores do índice entre -32‰ a -22‰ e plantas do tipo C4 (gramíneas) apresentam valores do índice entre -9‰ a -17‰ (COE *et al.*, 2012).

Oito amostras foram submetidas à análise isotópica $\delta^{13}\text{C}$ para determinação do tipo de cobertura vegetal presente no período de formação do solo através da incorporação do carbono na formação dos solos. Para isso, foram coletadas quatro amostras com espaçamento de 10 cm no paleossolo de 26.480 +/-120 anos AP (unidade XVI) e quatro no solo atual (unidade XXI) de idades aproximadas entre 14.760+- 40 anos AP e 1.440+- 30 anos AP, conforme correlação com idades do solo superficial apresentadas para a seção de superfície de Santos Junior, (2019) que foram extrapoladas para os depósitos desse trabalho e servem como referencial geocronológico para a formação do solo superficial da seção estratigráfica 1. As análises foram realizadas no laboratório Beta Analytic Inc. (EUA).

A Tabela 08 apresenta os resultados das análises de índices de isótopos $\delta^{13}\text{C}$ e a Figura 34 mostra a localização das amostras na seção estratigráfica 1:

Amostra	Código Beta	Unidade	Profundidade	Método	Índice	Descrição
S1-13C01	515199	XXI	0,05m	$\delta^{13}\text{C}$	-24.23‰	Solo Atual
S1-13C02	515198	XXI	0,15m	$\delta^{13}\text{C}$	-22.12‰	Solo Atual
S1-13C03	515197	XXI	0,25m	$\delta^{13}\text{C}$	-20.38‰	Solo Atual
S1-13C04	515196	XXI	0,35m	$\delta^{13}\text{C}$	-17.48‰	Solo Atual
S1-13C05	515195	XVI	1,60m	$\delta^{13}\text{C}$	-22.86‰	Paleossolo
S1-13C06	515194	XVI	1,70m	$\delta^{13}\text{C}$	-21.15‰	Paleossolo
S1-13C07	515193	XVI	1,80m	$\delta^{13}\text{C}$	-22.46‰	Paleossolo
S1-13C08	515192	XVI	1,90m	$\delta^{13}\text{C}$	-18.13‰	Paleossolo

Tabela 08: Resultados de isótopos por $\delta^{13}\text{C}$

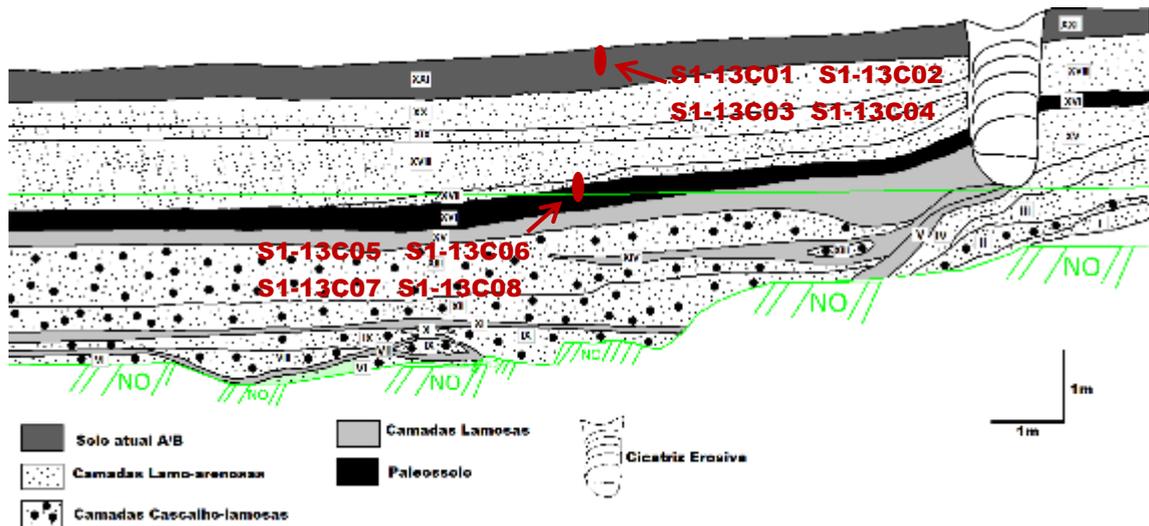


Figura 34: Localização das amostras de isótopos $\delta^{13}\text{C}$ e isótopos na seção estratigráfica 1

As amostras indicam que, tanto na base do paleossolo, como na base do solo atual, há valores do índice que sugerem a predominância de plantas do tipo C4 gramíneas ($\delta^{13}\text{C} = -18.13\%$ e -17.48%) nos setores mais profundos dos horizontes pedogenéticos. Na porção superior de ambos os horizontes há predominância de plantas do tipo C3, arbóreas e arbustivas ($\delta^{13}\text{C} = -22.86\%$ e -24.23%).

Esses resultados indicam que tanto no início da formação do paleossolo durante o EIM 2 quanto no início da formação do solo atual na transição para o EIM 1, o ambiente foi relativamente mais seco com vegetação mais baixa e mais aberta. Os resultados mostram que esses ambientes foram se modificando ao longo da formação dos solos, tornando-se progressivamente mais úmidos e com maiores possibilidades de sustentar vegetação arbórea. Isso porque, para ambos os horizontes, o seu desenvolvimento passou a ser mais influenciado pela incorporação de matéria orgânica derivada de espécies arbóreas e arbustivas. Esse resultado é condizente com os estágios isotópicos marinhos apresentados, onde durante o EIM 2 o clima era globalmente mais seco e frio que o atual. Contudo, foi constatada manutenção da umidade que justifica a formação de paleossolos. Essa dinâmica climática local pode ser explicada através da posição do setor sul de Campo Alegre, no relevo regional, estando sob o efeito Foehn, que promove a condensação do vapor d'água presente nas nuvens após ultrapassar uma barreira, no caso a escarpa da serra do mar. A baixa evaporação devido ao clima frio do UMG também contribui para a manutenção da umidade. Dados palinológicos coerentes foram apresentados por Oliveira *et al.* (2008b) no Cerro do Touro, pertencentes a depósitos de planícies de inundação com importante fração lamosa de idade aproximada

27.900 anos AP, cujo resultado apontou o predomínio de campos com presença de pteridófitas e grupos de táxons florestais e fungos, se assemelham a paisagem que os índices de coexistência entre plantas do tipo C4 e C3, encontradas na base do paleossolo que compõe o pacote 2. Os índices de -18.13‰ a -22.86‰, encontrados na seção estratigráfica 1, sugerem como ambiente o predomínio de campos com presença de espécies florestais dispersas, muito similar à vegetação do tipo savana que é encontrada no cerrado atual.

O solo superficial, ao começar a se desenvolver na transição do EIM 2 para o EIM 1, tem coerência com os resultados encontrados, pois nesta transição ocorreu o gradativo aumento hídrico e de temperatura, que culminou nos padrões climáticos atuais e possibilitou a manutenção de vegetação cada vez mais arbustiva e arbórea.

5.1.5 Balanço parcial da seção estratigráfica 1

Nos perfis descritivos 1, 2 e 3, as características globais descritas em campo foram confirmadas pelas análises granulométricas e estatísticas e pela classificação textural.

A análise estatística das amostras dos perfis apresenta como resultado um padrão de sedimentos pobremente ou muito pobremente selecionados. Esses parâmetros ajudam a inferir ambientes sedimentares que têm a capacidade de selecionar ou não os sedimentos. Depósitos colúviais ou processos de fluxos de detritos são geralmente descritos como muito pobremente selecionados.

Dada a pouca organização, os grânulos presentes no depósito muito provavelmente são decorrentes de fluxos gravitacionais carregados em suspensão como outros apresentados por Oliveira e Lima (2004) na localidade do Cerro do Touro.

Os diagramas de Folk (1954) e Flemming (2000), usados em conjunto, permitiram a compreensão da organização interna dos pacotes e unidades, assim como a diferenciação de unidades e pacotes distintos. No geral, a análise granulométrica apresentou a baixa contribuição da fração argila. As unidades contendo lama são compostas principalmente por silte. De fato, as amostras agruparam-se principalmente nos setores centrais do diagrama de Flemming (2000), o que corrobora com a observação feita por Oliveira e Lima (2004) de que camadas colúviais tendem a se agrupar na porção central do diagrama de Flemming (2000). A maior concentração de argila no perfil 2, em relação aos demais, pode estar relacionada ao fato da geometria da seção apresentar leve abaulamento na região central, proporcionando a maior concentração de água e deposição da fração de argila.

A tendência geral dos sedimentos de possuir maior contribuição de frações granulométricas finas no sentido montante (perfil 1) ou frações granulométricas grossas a jusante (perfil 3) é outra característica importante a ser ressaltada. Uma possível explicação para ter sedimentos cada vez mais grossos a jusante, pode ser pelo aumento da declividade da vertente na qual os depósitos estão inseridos, o que aumenta a energia dos fluxos dando-lhes maior competência para transportar partículas de maior tamanho.

A variação granulométrica em razão da profundidade permitiu a visualização da organização interna dos pacotes sedimentares, como a intercalação de material lamoso e lamo-cascalhoso no pacote 2. Tal variação contribuiu também para a diferenciação de unidades descritas em campo.

As fácies que compõem cada pacote sedimentar nos auxiliam a definir os prováveis ambientes nos quais os sedimentos se depositaram. As fácies foram descritas como coluviais, sendo resultado de movimentos gravitacionais de massa do tipo fluxo de detrito coesivo. A arquitetura deposicional apresentou fácies coluviais como gMyS (Areia lamosa gradada) e gSyM (Lama arenosa gradada) associadas a escoamentos superficiais difusos, fácies, com a alternância das fácies 1MyG (Cascalho lamoso suportado pela matriz) e eM (Lama) interpretadas como leques provocados por chuvas torrenciais e de fácies coluviais, mMS (Lama-areia dística maciça) mMyS (Areia lamosa maciça) sobre as quais o paleossolo e o solo atual se desenvolveram e, por isso, nos depósitos foram associadas a períodos de estabilidade ambiental. A presença das mesmas fácies nos perfis 2 e 3 confirma a continuidade lateral das camadas descritas em campo.

A ordem de deposição das camadas pode ser posicionada no tempo a partir das datações e correlacionada às tendências globais de alteração climática com base nos estágios isotópicos marinhos. As análises isotópicas contribuíram para melhor descrever o paleoambiente. A evolução da encosta que originou o depósito da seção estratigráfica 1 ocorreu a partir do Estágio Isotópico Marinho 3 (EIM 3) e, por ser um interestadial da última glaciação, apresentou variação climática que gerou condições para que a morfogênese atuasse através de fluxos de detritos difusos, originando as camadas coluviais do pacote 1 e fluxos de detritos concentrados gerando os depósitos em leque do pacote 2. A datação do carvão presente em uma das lentes lamosas desse pacote apresentou idade de aproximadamente 29 mil anos e confirma a inserção do pacote 2 no período que abarca o final do EIM 3. Os fluxos de detritos concentrados que depositaram o leque são frutos de eventos ocorridos em fase morfogenética, nos quais transportavam material das vertentes e os depositavam em áreas mais baixas. Essa fase morfogenética sugere uma vegetação aberta, o que facilita o processo

erosivo em pulsos de deposição que intercalam sedimentos grosseiros e finos, característicos de ambiente de leque.

Em outras áreas de planalto no sul do Brasil, também é descrita essa mesma dinâmica morfogenética durante o EIM 3, que resultou em depósitos originados por fluxos densos. Exemplos estão nos trabalhos de Stevaux (1994) e Fujita (2014), a respeito de sedimentos fluviais no estado do Paraná, no leque aluvial descrito por Fett Junior (2005) nas margens do rio Pardo no Rio Grande do Sul, ou ainda em colúvios, colmatando paleocanais descritos por Guerra & Paisani (2013), no PR e SC. Tais exemplos sugerem que essa dinâmica morfogenética, onde há irregularidade nos eventos paleoclimáticos que ocorrem em forma de pulsos de aquecimento e resfriamento, foi uma dinâmica não só local, mas regional, gerando, em diferentes ambientes, depósitos que remetem a essa fase de alternância erosiva e deposicional que ocorreu durante EIM3.

Na metade inferior do EIM 2, as condições ambientais (presença de umidade e estabilidade) permitiram que processos pedogenéticos atuassem, formando o paleossolo datado 26.480 anos antes do presente. O paleossolo é indicação de que houve, durante o EIM 2, relativa estabilidade climática a nível local que proporcionou condições para ocorrência de processos pedogenéticos.

Apesar do EIM 2 ser conhecido globalmente como o período mais frio e seco do final do Pleistoceno, vestígios locais sugerem a manutenção de água suficiente para possibilitar a formação de paleossolos como o apresentado neste trabalho. Outros paleossolos são encontrados no Cerro do Touro, com idades 29.830 \pm 160 anos AP (SANTOS JUNIOR, 2019), coerentes com carvão encontrado na lama do pacote P2 de idade 29900 \pm 160 anos AP. Guerra e Paisani (2013) descrevem um paleossolo de idade 24.850 \pm 670-620 anos AP no 3° planalto paranaense. Santos Junior (2019) também apresenta paleossolos de idade 22.690 \pm 100 anos AP no Cerro do Touro, e Camargo (2005) apresenta um horizonte organomineral de idade 22.050 anos \pm 620-580 anos AP no 2° planalto paranaense, que são coerentes.

A formação de turfas de idade aproximada de 20.100 anos AP e horizonte húmico de idade aproximada 19.100 anos AP reforçam a evidência de manutenção de condições úmidas nas áreas de Planalto do Sul do Brasil durante a transição do Pleistoceno para o Holoceno (OLIVEIRA *et. al.*, 2008). Ainda, resultados de isótopo ^{13}C ($\delta^{13}\text{C}$) no paleossolo da seção estratigráfica 1, corrobora com o cenário descrito até então. Na base do paleossolo, o índice é de -18.13‰, diminuindo de forma progressiva até atingir o topo do paleossolo com índice de -22.86‰. Esses índices representam um progressivo aumento de espécies do tipo arbóreas, o

que sugere o aumento da umidade para o período de formação do paleossolo na transição do EIM 3 para EIM2.

Após esse período de estabilidade registrado pelo paleossolo de aproximadamente 26,5 mil anos, o clima global entra na fase de máxima expansão das geleiras (no hemisfério norte) e máximo climático seco e frio (hemisfério sul), que representa o Último Máximo Glacial (UMG) ou o EIM 2. Como citado anteriormente, há evidências de umidade local suficiente para a formação de paleossolos, horizontes húmbricos e turfeiras nos municípios de Campo Alegre e Jaraguá do Sul, mesmo durante o UMG. Essas condições locais podem ser explicadas através da interação de eventos atmosféricos, como frentes frias, atuantes na América do Sul, que influenciaram o padrão climático local, apesar da tendência global de climas mais secos. A preservação da umidade local é confirmada para o EIM2: as evidências de paleossolos e turfas continuaram permeando toda a transição Pleistoceno-Holoceno. O que se pode concluir é que, partindo do UMG em direção ao Holoceno, houve um progressivo aumento hídrico e aquecimento da temperatura suficientes para modificar o padrão deposicional até então.

É nessa transição que o ambiente passa por um novo período de instabilidade, favorecendo a atuação da morfogênese que originou a deposição das unidades do pacote sedimentar 3. Tal pacote é composto por areias lamosas com incipiente estratificação plano-paralela, que foram depositadas através de fluxos de detritos que carreavam o material através da encosta. As mudanças paleo-hidrológicas e o aumento da temperatura provavelmente desencadearam chuvas torrenciais.

Evidências de que essa transição ocorreu de forma não linear foram compiladas por Lima (2010) (Quadro 4 da pg. 48), em que estudos palinológicos e a formação de turfeiras e horizontes húmicos “A” enterrados são descritos em diversas idades desde o EIM2, passando pela transição Pleistoceno-Holoceno até atingir o momento presente. Essas evidências apresentam momentos de estabilidade, mas também, e principalmente, o registro palinológico do aumento hídrico que o ambiente sofreu nessa transição. Essas turfas e horizontes húmicos enterrados coexistem com feições erosivas que também representam o aumento hídrico que o paleoclima sofreu. Como exemplo dessas feições, Oliveira *et al.* (2008) descreve feições erosivas de paleocanais preenchidas por colúviação no Cerro do Touro, com datação aproximada de 15 mil anos AP.

Na transição do Pleistoceno para o Holoceno, o clima aproxima-se do clima dos dias atuais, as condições de estabilidade que vemos hoje em áreas planálticas e vegetação de floresta ombrófila mista permitiram que os processos pedogenéticos atuassem formando o

solo, possibilitando que uma nova fase pedogenética surgisse e contribuísse para a formação do solo superficial que vem se desenvolvendo nos últimos 14,7 mil anos. Esse solo foi submetido à análise de isótopos delta 13C ($\delta^{13}C$) e possui valores consistentes de um progressivo aumento de espécies arbóreas, o que reforça a manutenção de aporte hídrico para a região a partir da transição Pleistoceno/Holoceno, culminando nas taxas pluviométricas atuais.

Como a manutenção de umidade foi verificada para a região conforme já mencionado, é possível criar uma possível explicação, dentre várias, de que o agente controlador dessa alternância morfogenética x pedogenética é o aumento ou diminuição da temperatura e vegetação associada onde, em períodos mais frios, a vegetação é mais aberta, favorecendo processos morfogenéticos, e em períodos mais quentes onde a vegetação se desenvolve favorecendo os processos pedogenéticos.

5.2 SEÇÃO ESTRATIGRÁFICA 2

5.2.1 Apresentação da seção estratigráfica 2

A seção estratigráfica 2 (S2) (Figuras 35 e 36) é um perfil vertical explorado a 9 metros de distância ao sul do final da seção S1, complementando a observação do depósito mais para jusante. De dimensões relativamente pequenas, a seção tem 3 metros de altura em sua porção mais alta e 1,85 m de comprimento, apresentando unidades com cores e texturas contrastantes, o que possibilitou a identificação prévia de três pacotes sedimentares distintos (Figura 37).

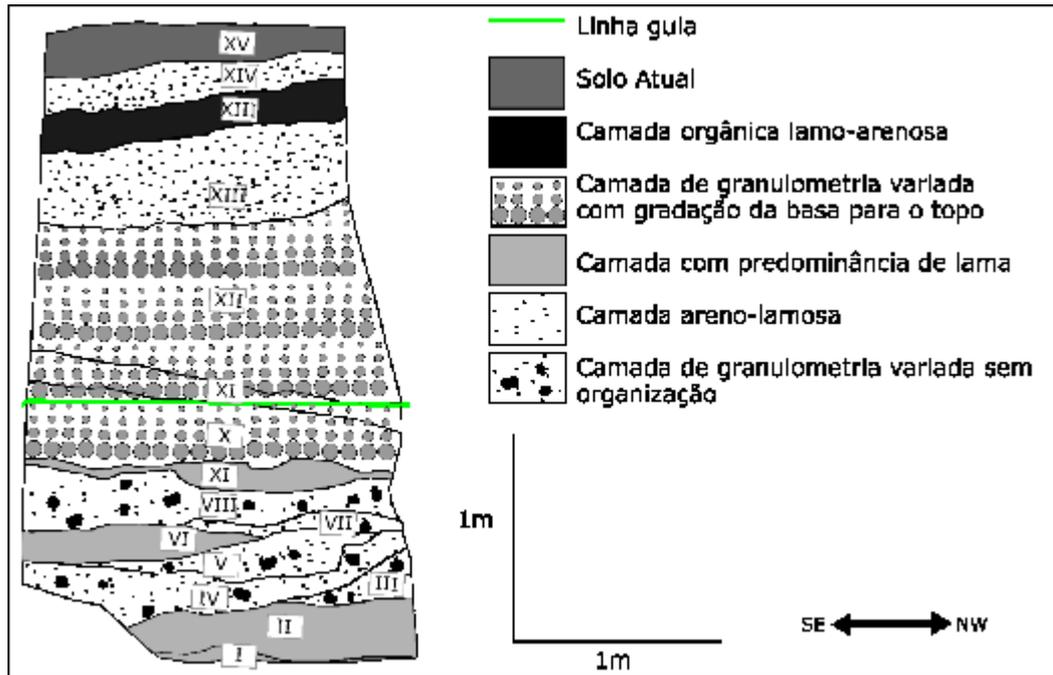


Figura 35: Representação esquemática da seção estratigráfica 2 – S2



Figura 36: Fotografia da seção estratigráfica 2 (S2)

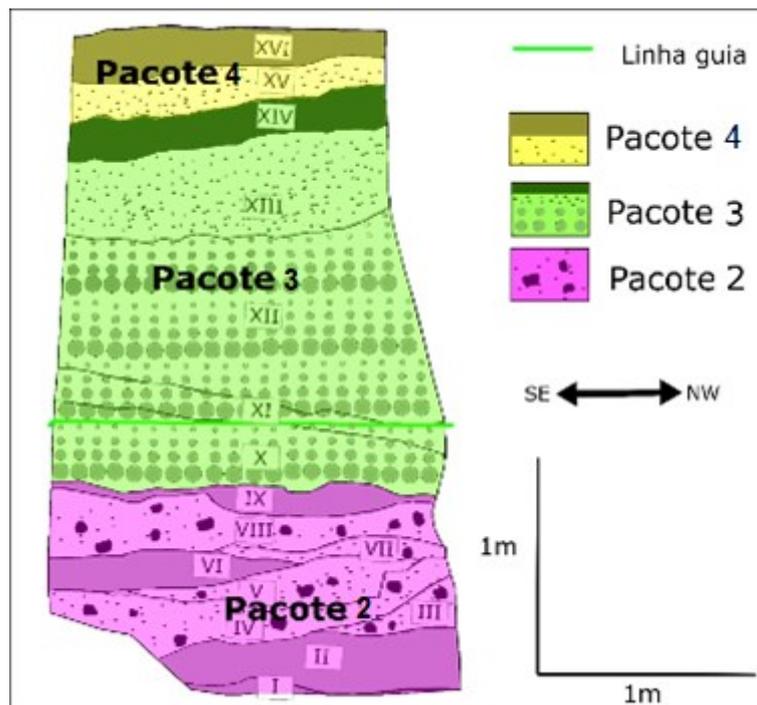


Figura 37: Seção estratigráfica 2 dividida por pacotes.

O segundo pacote se encontra na porção basal da seção e é composto por camadas (unidades III, V, VII e VIII) de cascalhos com matriz lamosa de cor cinzenta esverdeada-1 gley 6/5Gy, entrecortada por lentes de cores oliva-clara-acinzentada-5Y 6/3, cinzenta-olivácea-5Y 5/2 (unidades I, VI e IX) e de textura fina. As unidades II e IV apresentam poucos grânulos suportados pela matriz lamo-arenosa de textura e coloração variegada, sendo cinzenta esverdeada-1 gley 6/5Gy, amarela-olivácea-2.5Y 6/6, cinzenta-olivácea-clara-2.5Y 5/6. O pacote é claramente delimitado na porção superior pela camada de cor amarela-10YR 7/8, de textura fina (unidade XI), cuja cor remete à acumulação provável de óxi-hidróxidos no contato com o pacote sobrejacente. A geometria das unidades é irregular com inclinação de baixo ângulo e também em forma de lentes com transições abruptas.

O terceiro pacote apresenta camadas de grânulos suportados pela matriz lamosa de cor bruna-10YR 4/3 e bruna-escura-7.5YR 3/4 (unidades X, XI e XII). Os grânulos possuem tamanho entre 2 cm e 5 cm e cores 1Gley 8/10GY; rosada-5YR 7/4, branca-5Y 8/1; vermelha-clara-2.5YR 6/6; são subarredondados a subangulosos, chegando ao diâmetro máximo de 3 cm. É possível perceber em campo a granodecrescência dos clastos, indo de grânulos de 5 cm à areia grossa. O topo do pacote é constituído de uma camada areno-lamosa bruna-escura-7.5YR3/4 (unidade XIII) que passa, de forma gradual, para camada de cor bruna-acinzentada muito escura-10YR3/2 (unidade XIV) com textura, cor e aparência muito similares ao

horizonte pedogenético enterrado, descrito na seção estratigráfica 1 (S1) como paleossolo. A geometria das camadas é paralela com inclinação de baixo ângulo sentido NW-SE.

O quarto pacote é composto pela camada areno-lamosa (unidade XV) de textura fina com a presença de areias de cor mais clara (Bruna-acinzentada-escura- 10YR4/2) que a camada anterior e o solo atual (XVI) de cor preta-10YR2/2 e de textura areno-lamosa. A geometria das camadas é paralela com inclinação de baixo ângulo sentido NW-SE e transições graduais entre camadas.

5.2.2 Granulometria, classificação textural e interpretação faciológica da seção estratigráfica 2

A seção estratigráfica 2 foi estudada a partir de uma seção colunar aqui denominado perfil descritivo (P1-S2) no qual foram coletadas amostras com espaçamento de 10 cm (pacote 2 e 4) e espaçamento de 15 cm (pacote 3) para análise granulométrica (Tabela 08):

Perfil Descritivo 1 (S2-P1)							
Profundidade	Amostra	Unidades	Pacotes sed.	% Granulo	% Areia	% Silte	% Argila
10	A22	XVI	P4	0,465	23,142	75,879	0,119
25	A21	XV	P4	0,965	50,601	47,541	0,216
45	A20	XIV	P3	2,259	55,106	37,806	4,296
55	A19	XIV	P3	0,562	6,402	76,649	15,749
75	A18	XIII	P3	1,096	46,860	45,497	5,748
95	A17	XIII	P3	2,403	49,717	39,704	7,418
110	A16	XII	P3	38,599	34,758	23,239	3,066
125	A15	XII	P3	24,844	53,225	19,649	1,915
140	A14	XII	P3	27,616	51,948	16,775	3,352
155	A13	XII	P3	36,846	49,039	11,801	1,992
170	A12	XII	P3	39,118	43,606	15,236	1,764
185	A11	XI	P3	14,569	44,955	35,476	4,663
200	A10	XI	P3	27,331	52,219	17,776	2,464
215	A09	X	P3	37,783	23,094	34,412	4,475
225	A08	IX	P2	1,778	53,835	35,697	8,599
235	A07	VIII	P2	11,113	70,712	16,643	1,457
245	A06	VII	P2	23,208	47,851	26,672	1,982
255	A05	V	P2	19,317	50,973	26,891	2,607
265	A04	IV	P2	9,983	61,037	25,827	3,002
275	A03	II	P2	3,340	52,962	38,237	5,349
285	A02	II	P2	0,415	51,597	42,079	5,778
295	A01	I	P2	6,432	55,076	32,896	5,438

Tabela 08: Granulometria das amostras, unidades e pacotes sedimentares correspondentes do perfil descritivo 1 (P1-S2) da seção estratigráfica 2

A partir da distribuição granulométrica, é verificado que cada unidade apresenta valores de grânulo, areia e silte variando consideravelmente, tornando cada unidade única e diferenciável das demais. Os teores de argila são relativamente constantes com poucas variações, com exceção do pico na amostra A19 (unidade XIV) que pode ser atribuído ao processo pedogenético relacionado a formação do Paleossolo.

As estatísticas das amostras do perfil descritivo 1 (P1-S2) estão apresentadas na Tabela 9, pelas quais pode-se observar o tamanho médio entre silte fino até areia média, com exceção de apenas uma amostra (A13), cujo tamanho médio é areia grossa. As amostras do perfil 1 apresentam a predominância de material muito pobremente selecionado, o que indica que o padrão de deposição das unidades e pacotes estão sob influência de agentes e fluxos com baixíssimo poder de seleção. Entretanto, as amostras A19 e A22 são classificadas como de material pobremente selecionado. Essas amostras estão associadas às unidades XIII e XV (paleossolo e solo atual) e possuem essa classificação devido a atuação dos processos pedogenéticos. Tais processos pedogenéticos contribuem para um mais alto grau de seleção ao modificar o material através de transformações, adições, remoções e translocações.

	Média	Classificação	Mediana	Seleção	Classificação	Assimetria	Classificação	Curtose	Classificação
A22	5,059	Silte médio	5,311	1,683	Pobrememente selecionado	-0,2726	Negativa	1,013	Mesocúrtica
A21	3,676	Areia muito fina	3,675	2,699	Muito pobrememente selecionado	0,02716	Aproximadamente simétrica	0,556	Muito platicúrtica
A20	3,135	Areia muito fina	1,843	2,909	Muito pobrememente selecionado	0,5574	Muito positiva	0,5375	Muito platicúrtica
A19	6,91	Silte fino	6,934	1,57	Pobrememente selecionado	-0,05942	Aproximadamente simétrica	1,841	Muito leptocúrtica
A18	4,496	Silte grosso	4,772	2,581	Muito pobrememente selecionado	-0,08564	Aproximadamente simétrica	0,5766	Muito platicúrtica
A17	3,524	Areia muito fina	2,946	3,063	Muito pobrememente selecionado	0,2956	Positiva	0,6268	Muito platicúrtica
A16	2,203	Areia fina	1,072	3,009	Muito pobrememente selecionado	0,5697	Muito positiva	0,5683	Muito platicúrtica
A15	1,794	Areia média	0,7903	2,977	Muito pobrememente selecionado	0,5582	Muito positiva	0,8044	Platicúrtica
A14	1,83	Areia média	0,642	3,011	Muito pobrememente selecionado	0,6244	Muito positiva	0,737	Platicúrtica
A13	0,7164	Areia grossa	-0,06313	2,126	Muito pobrememente selecionado	0,7689	Muito positiva	1,317	Leptocúrtica
A12	1,275	Areia média	0,1958	2,443	Muito pobrememente selecionado	0,7471	Muito positiva	0,8355	Platicúrtica
A11	3,22	Areia muito fina	2,695	3,011	Muito pobrememente selecionado	0,2254	Positiva	0,6597	Muito platicúrtica
A10	1,967	Areia média	1,175	2,965	Muito pobrememente selecionado	0,4738	Muito positiva	0,7434	Platicúrtica
A09	2,832	Areia fina	2,525	3,159	Muito pobrememente selecionado	0,2202	Positiva	0,4483	Muito platicúrtica
A08	3,763	Areia muito fina	3,253	3,028	Muito pobrememente selecionado	0,2841	Positiva	0,7352	Platicúrtica
A07	1,932	Areia média	1,153	2,365	Muito pobrememente selecionado	0,4918	Muito positiva	1,302	Leptocúrtica
A06	2,276	Areia fina	2,019	3,103	Muito pobrememente selecionado	0,2453	Positiva	0,8001	Platicúrtica
A05	2,248	Areia fina	1,982	3,258	Muito pobrememente selecionado	0,2444	Positiva	0,8212	Platicúrtica
A04	2,743	Areia fina	1,747	2,85	Muito pobrememente selecionado	0,4262	Muito positiva	0,8085	Platicúrtica
A03	3,657	Areia muito fina	2,993	2,658	Muito pobrememente selecionado	0,3229	Muito positiva	0,7056	Platicúrtica
A02	3,859	Areia muito fina	3,571	2,856	Muito pobrememente selecionado	0,1469	Positiva	0,6053	Muito platicúrtica
A01	3,117	Areia muito fina	2,144	3,114	Muito pobrememente selecionado	0,3555	Muito positiva	0,7635	Platicúrtica

Tabela 09: Estatísticas das amostras do perfil descritivo 1 da seção estratigráfica 02 (P1-S2).

A classificação textural do perfil descritivo 1 da seção estratigráfica 2 (P1-S2) foi obtida através dos diagramas de classificação de Folk (1954) (Figura 38) e de Flemming (2000) (Figura 39). As classes obtidas em cada diagrama, para cada unidade deposicional, podem ser visualizadas no Quadro 11.

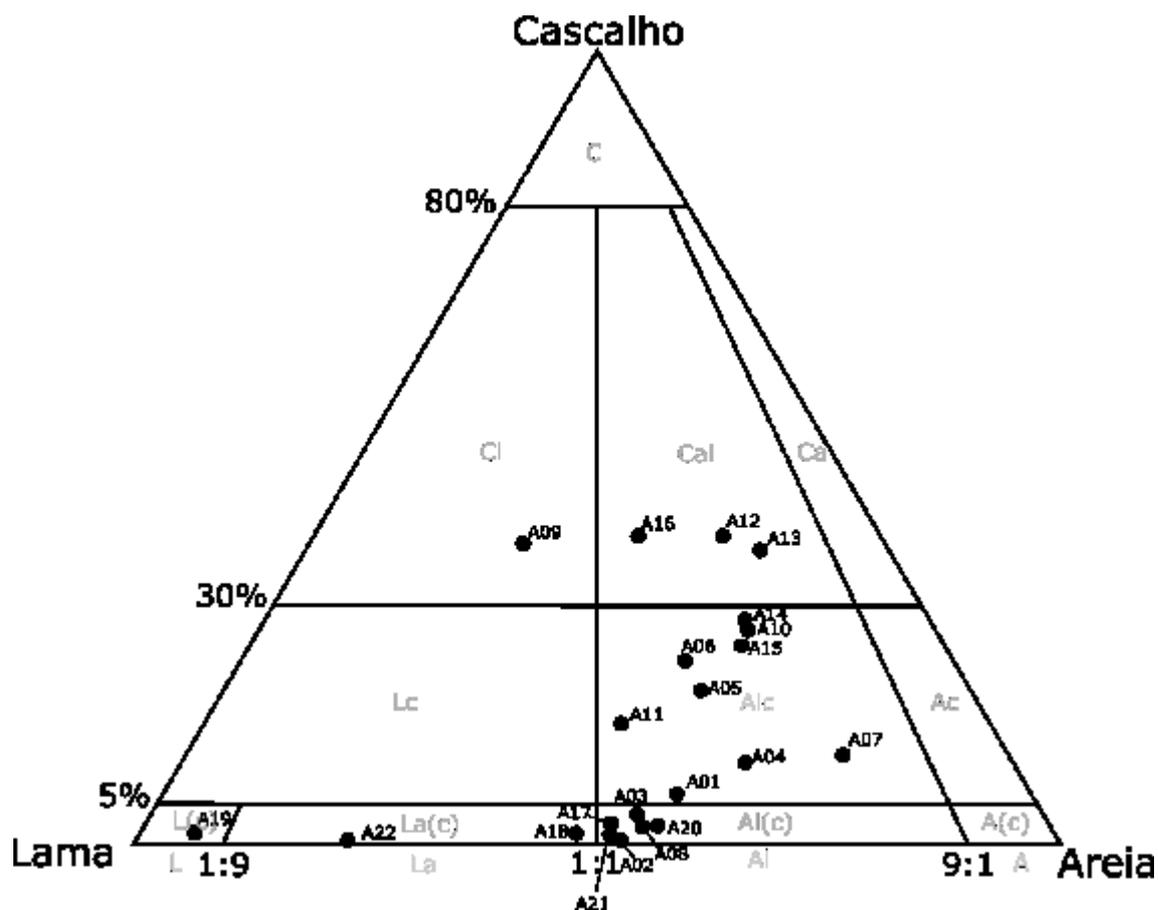


Figura 38: Amostras da seção estratigráfica 2 (S2) plotadas no diagrama de Folk (1954)

É possível perceber uma clara predominância das amostras na metade direita do diagrama, onde a influência da fração areia é mais acentuada do que a da fração lama. As amostras estão predominantemente inseridas nas classes granulométricas “Areia lamocascalhosa” e “Areia lamosa ligeiramente cascalhosa”, compreendendo todas as unidades do pacote 2 e as unidades X, XI, XII, XIII do pacote 3, bem como a unidade XV do pacote 4. Vale destacar as amostras A19 – (unidade XIV - paleossolo) – inserida na classe “Lama” – e a amostra A22 (unidade XVI - solo atual), inserida na classe “Lama arenosa ligeiramente cascalhosa”.

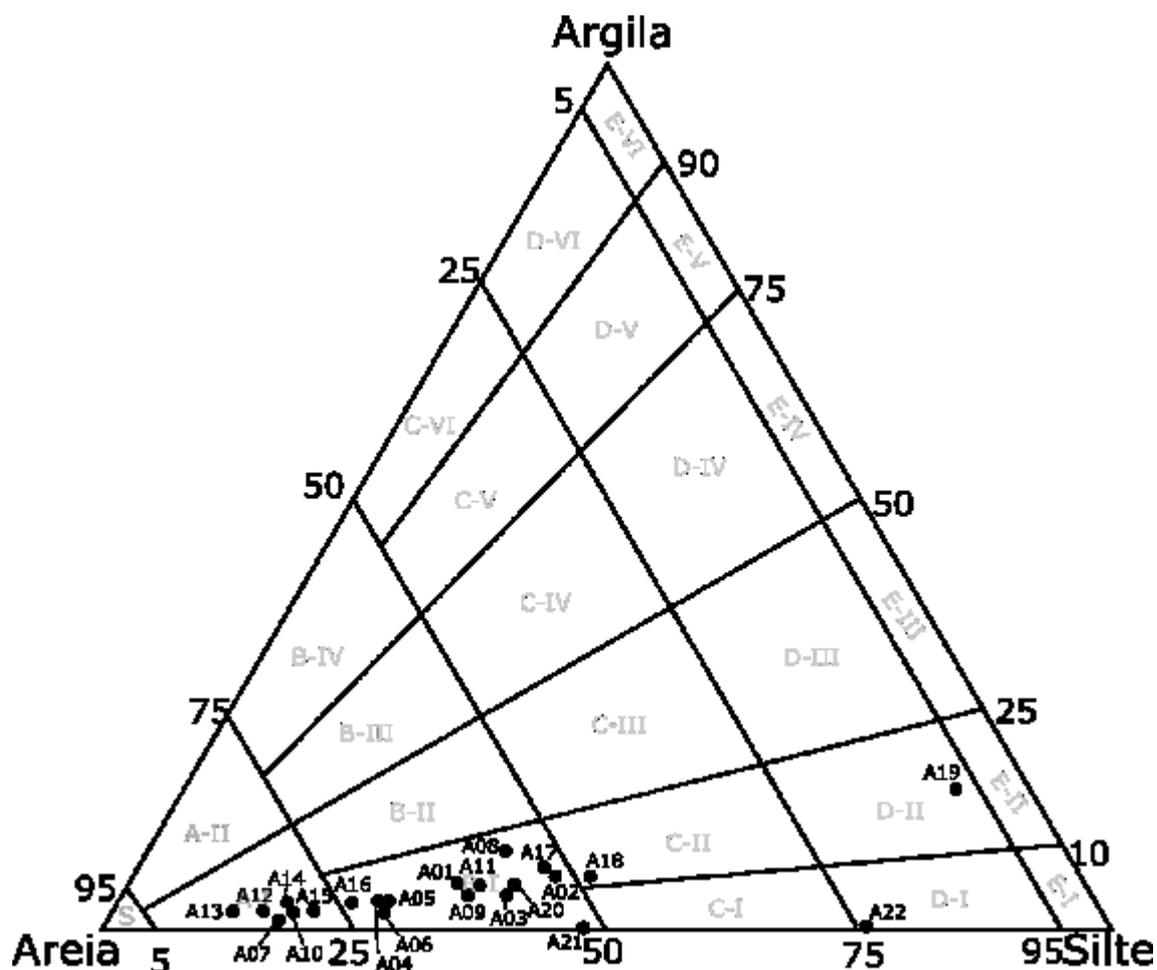


Figura 39: Amostras da seção estratigráfica 2 (S2) plotadas no diagrama de Flemming (2000)

No diagrama de Flemming (2000), as amostras estão dispostas na base, indicando a baixa proporção da fração argila, que não ultrapassa os 20% em nenhuma amostra. Há grande concentração das amostras nos setores AI - “Areia levemente siltosa” e BI - “Areia muito siltosa” do gráfico, compreendendo todas as unidades dos três pacotes, com exceção das amostras A19 (unidade XIII) e A22 (unidade XV), correspondentes ao paleossolo e solo atual, que são as amostras mais siltosas, sendo facilmente distinguidas das amostras restantes por estarem nas classes EII - “Lama levemente arenosa muito siltosa” e EI - “Lama levemente arenosa extremamente siltosa”, respectivamente. Usando como base o trabalho de Oliveira e Lima (2004), podemos associar quase todas as amostras a um ambiente coluvial, e as amostras A19 e A22 a horizontes pedogenéticos desenvolvidos sobre camadas coluviais. Tanto o diagrama de Folk (1954) quanto o de Flemming (2000) não apresentam bons resultados para a diferenciação dos pacotes, mas o uso combinado dos diagramas e análise das classificações texturais possibilitam uma melhor representação da realidade visualizada em campo.

Amostra	Unidades	Pacotes sed.	Classificação Folk	Classificação Flemming
A22	XVI	P4	Lama arenosa ligeiramente cascalhosa	Lama levemente arenosa extremamente siltosa
A21	XV	P4	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa
A20	XIV	P3	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa
A19	XIV	P3	Lama ligeiramente cascalhosa	Lama levemente arenosa muito siltosa
A18	XIII	P3	Lama arenosa ligeiramente cascalhosa	Lama arenosa muito siltosa
A17	XIII	P3	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa
A16	XII	P3	Cascalho areno-lamoso	Areia muito siltosa
A15	XII	P3	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia levemente siltosa
A14	XII	P3	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia levemente siltosa
A13	XII	P3	Cascalho areno-lamoso	Areia levemente siltosa
A12	XII	P3	Cascalho areno-lamoso	Areia levemente siltosa
A11	XI	P3	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa
A10	XI	P3	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia levemente siltosa
A09	X	P3	Cascalho lamoso	Areia muito siltosa
A08	IX	P2	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa
A07	VIII	P2	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia levemente siltosa
A06	VII	P2	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa
A05	V	P2	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa
A04	IV	P2	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa
A03	II	P2	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa
A02	II	P2	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa
A01	I	P2	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa	Areia muito siltosa

Quadro 7: Classificação textural das amostras P1-S2 segundo os diagramas de Folk (1954) e Flemming (2000)

Ambos os diagramas mostraram regularidades nas classificações dos sedimentos das amostras. Inseridas nos pacotes 2 e 3, as amostras distribuem-se predominantemente nas classes “Areias lamosas ligeiramente cascalhosas”, pelo diagrama de Folk (1954), e “Areias muito siltosas”, segundo o diagrama de Flemming (2000).

Nas situações em que o diagrama de Folk (1954) não foi eficiente para diferenciar as camadas visualizadas em campo, o diagrama de Flemming (2000) contribuiu na análise, como a exemplo das unidades VII, VIII e IX, que, apesar de muito parecidas, em campo era possível diferenciá-las. No diagrama de Folk (1954), as unidades apresentam a mesma classificação, ao passo que, no diagrama de Flemming (2000), a unidade VIII apresentou variação.

No geral, o diagrama de Folk representou melhor o visualizado em campo por prever frações granulométricas grossas. Contudo, as sutilezas que o diagrama de Flemming (2000) apresenta ajudaram na identificação de diferentes unidades bem como o reconhecimento de padrões internos de uma unidade. A gradação da unidade XI visualizada em campo e identificada nos gráficos de distribuição granulométricas só é perceptível ao plotar as amostras no diagrama de Flemming (2000). Já a gradação da unidade XII foi melhor visualizada na classificação de Folk (1954), que varia de “Cascalho areno-lamoso” para “Areia lamosa ligeiramente cascalhosa”, indicando que a porcentagem de cascalho diminuiu. A unidade XIII apresentou uma gradação que foi detectada em ambos os diagramas, variando de areia (lamosa/siltosa) para lama arenosa nos dois.

A granulometria varia conforme apresentado na Figura 40 a seguir, com o predomínio de areia nessa seção, seguida por lama e, em menor quantidade, por grânulo. No geral, areia e lama apresentam uma relação inversa. Na base, correspondente às unidades I a IX do pacote 2, a predominância da fração granulométrica areia varia entre 50% a 70%, seguida da fração lama. A fração grânulo apresenta pequena contribuição à medida em que se sobe no perfil.

O percentual de lama se destaca nas profundidades de 10-75 cm (entre 40 a 90% da composição da granulometria dessa seção). Entretanto, a partir da profundidade de 95 cm, é ultrapassada por areia. A fração areia se sobressai nas profundidades de 95-295 cm (pacotes 2 e 3), com percentuais que variam em torno de 50%.

A presença de grânulo é constante de 10 a 95 cm na porção superior do pacote 3 e pacote 4 (unidades XVI, XV e XIV e XIII), mantendo-se próxima ao valor de 0%. Contudo, seu destaque ocorre principalmente na profundidade 110-215 cm (20-40%) do pacote 3, na qual, por vezes, ultrapassa a fração lama, enquanto que entre 225-295 cm do pacote 2 permanece entre 0-20%.

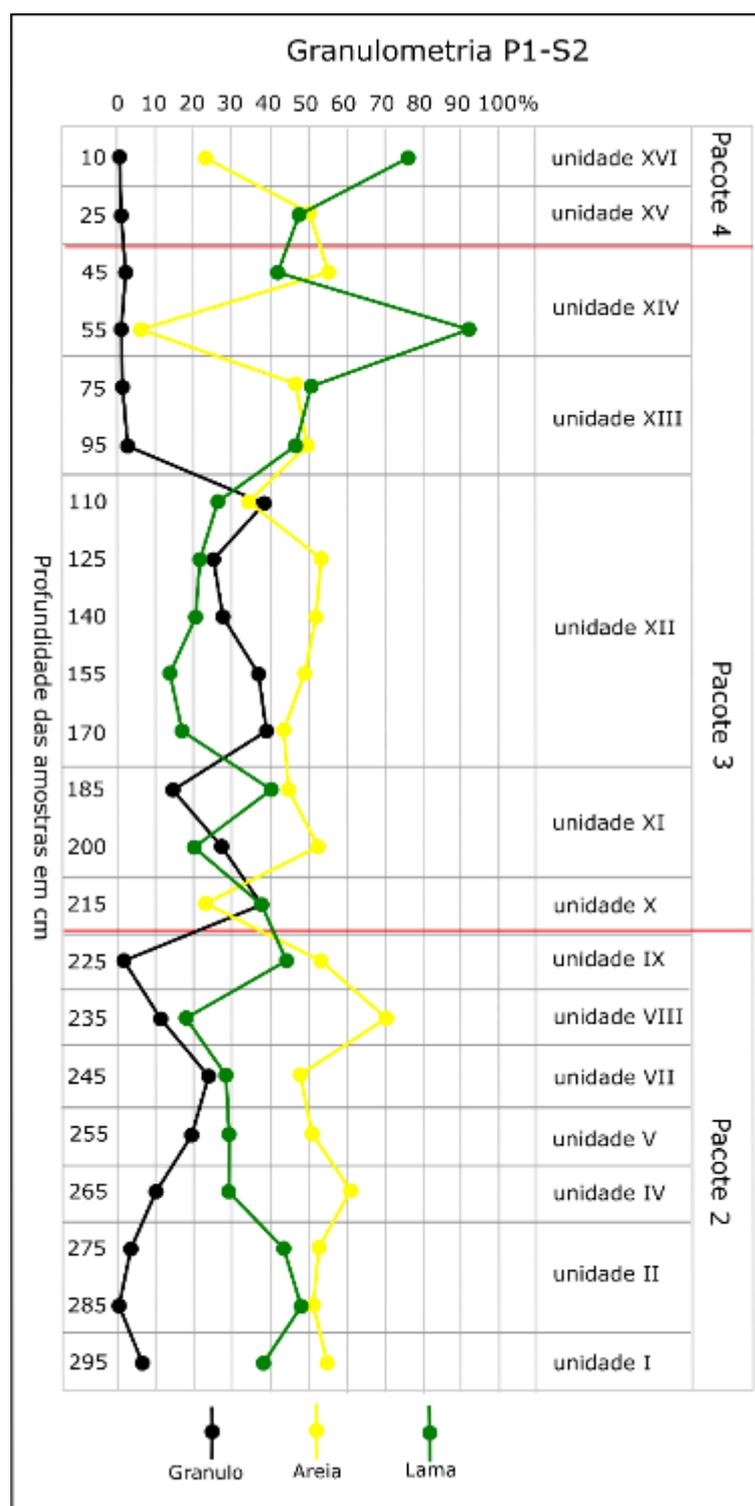


Figura 40: Distribuição granulométrica de amostras e pacotes sedimentares observados no perfil descritivo 1 (S2-P1).

O pacote 2 é composto por unidades areno-lamosas que se diferenciam melhor pelas variações de grânulo e lama. Como um todo, o pacote apresenta tendência de granocrescência

ascendente (base mais fina e topo mais grosso) até a profundidade de 235 cm. A partir deste ponto ocorre a inversão da tendência e os teores de grânulo diminui e o teor de lama aumenta.

O pacote 3 apresenta unidades areno-cascalhosas na base e na porção intermediária e lamo-arenosas no topo do pacote. É possível ver 2 padrões de gradação normal entre as profundidades 200-185 cm (unidade XI) e 170-110 cm (unidade XII), nos quais a fração grânulo tem um pico abrupto e em seguida diminui progressivamente, ao mesmo tempo em que a lama e areia aumentam seus valores à medida a profundidade diminui no pacote 3. O topo do pacote é marcado pela transição da unidade XII e XIII, onde os valores de grânulos sofrem queda abrupta e os valores de areia e lama permanecem em torno de 50% cada. O pacote 3 termina com a unidade XIV, que apresenta um elevado pico de lama e que em campo foi descrito como paleossolo. Em síntese, as unidades X, XI e XII apresentam valores expressivos de areia e grânulo e as unidades XIII e XIV apresentam padrões diferentes, onde não há contribuição da fração grânulo.

O pacote 4 apresenta granocrescência descendente, variando os teores de areia e lama sem contribuição da fração grânulo. O pacote é composto pelas unidades XV e XVI. A primeira unidade possui porcentagem de 50% areia e 50% lama. Na unidade XVI ocorre predominância de lama, que provavelmente se justifica pela atuação dos processos pedogenéticos, visto que ali se desenvolveu o solo atual.

Como síntese, a distribuição granulométrica verificada na Tabela 8 permite diferenciar as unidades sotopostas e sobrepostas, bem como diferenciar os pacotes entre si, visto que no pacote 3 há uma maior contribuição de grânulo do que no pacote 2. Os dados estatísticos sugerem que todas as amostras do perfil apresentam o mesmo processo deposicional, com baixo poder de seleção típico de ambientes coluviais. A partir da classificação textural foi possível perceber que os diagramas de Folk (1954) e Flemming (2000), quando trabalhados em conjunto, representam de forma satisfatória as impressões de campo, onde o diagrama de Folk (1954) representou melhor amostras com predominância de grânulo e Flemming (2000) permitiu diferenciar as amostras coluviais das amostras de solo. Por fim, a Figura 40 apresenta a distribuição granulométrica em razão da profundidade onde é possível perceber as gradações dos pacotes e as diferenças composicionais das unidades, conforme já apresentadas.

A partir dos dados granulométricos, estatísticos e classificação textural do perfil descritivo que compõe a seção estratigráfica 2, aliados à geometria e transições entre as unidades e entre pacotes, definiu-se as fácies que compõem cada pacote sedimentar.

O pacote 2 (em rosa) é composto pela intercalação de duas fácies, g1MyG (Cascalho lamoso suportado pela matriz gradado) e gSyM (Lama arenosa gradada), conforme visualizado na Figura 41:

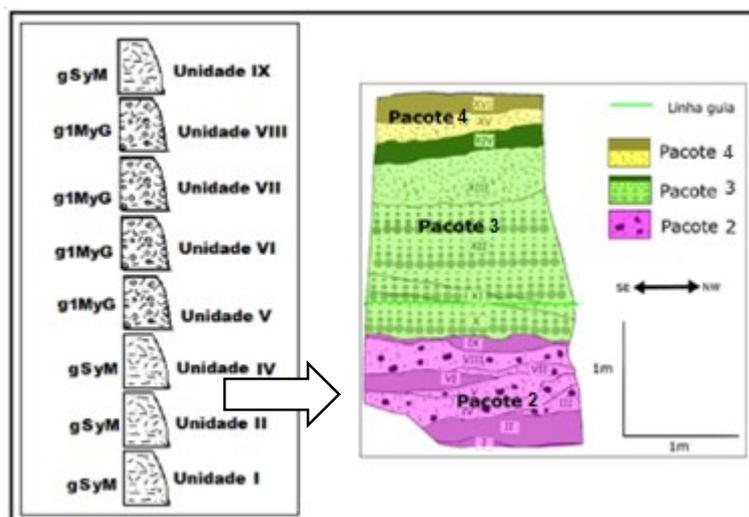


Figura 41: Fácies que melhor representam as unidades do pacote 2 no P1-S2, segundo Ghibaudo (1992)

- Fácies g1MyG (Cascalho lamoso suportado pela matriz gradado): possui grânulos de tamanho centimétrico suportados por matriz fina (lamo-arenosa), não apresentando bioturbação ou raízes. Os grânulos possuem alto grau de alteração, sendo subangulosos a subarredondados. Como grau de seleção, é classificado como muito pobremente selecionado;
- Fácies gSyM (Lama arenosa gradada): lama e grãos de areia muito pobremente selecionados. Possuem espessura de aproximadamente 20 cm. Foram depositadas sob forma de lentes com inclinação de baixo ângulo.

O pacote 3 (em verde) apresenta fácies g1SyG (Cascalho arenoso gradado) e fechando o pacote 3 a fácies mSM (Areia-lama dística maciça), conforme visualizado na Figura 42.

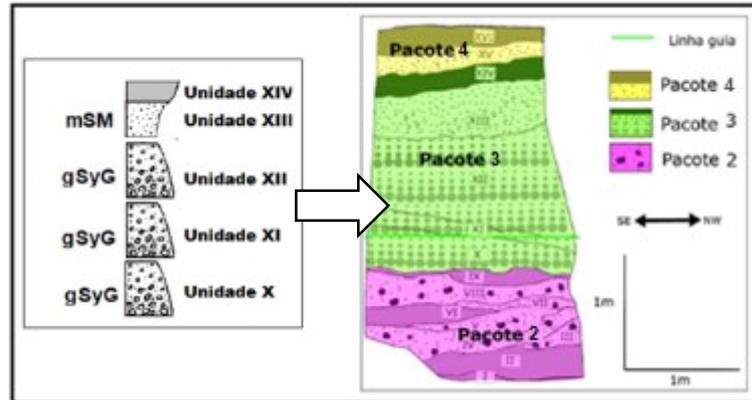


Figura 42: Fácies do pacote3 no P1-S2, segundo Ghibaudo (1992).

- Fácies g1SyG (Cascalho arenoso gradado): camadas (unidades XI, XII e XIII) planoparalelas de matriz areno-lamosa, com presença de clastos suportados pela matriz, de gradação indo de clastos subangulosos de 3x3 cm na base a areia muito grossa no topo da sequência. São perceptíveis três sequências gradacionais: a primeira nas unidades X e XI, a segunda a unidade XII e a terceira a unidade XIII. Não apresenta outras macroestruturas sedimentares;
- Fácies mSM (Areia-Lama dística maciça): leito bipartido que compreende uma divisão arenosa na parte superior e uma divisão lamacenta na parte inferior, de geometria tabular com inclinação de baixo ângulo.

O pacote 4 (em amarelo) é composto por uma camada pouco espessa de areia lamosa (unidade XV) e o solo atual (unidade XVI). As fácies correspondentes são a mMyS (Areia lamosa maciça) e mSyM (Lama arenosa maciça), conforme visualizado na Figura 43:

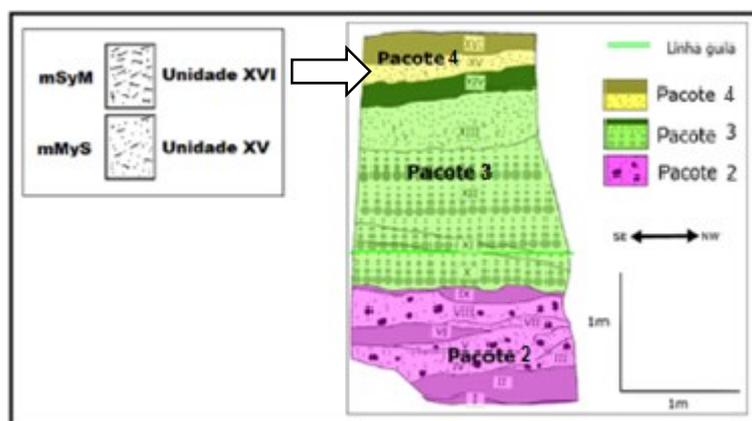


Figura 43: Fácies do pacote 4 no P1-S2, segundo Ghibaudo (1992).

- Fácies mMyS (Areia lamosa maciça): leito composto principalmente por areias e lama sem organização, muito pobremente selecionadas, possuindo geometria tabular com inclinação de baixo ângulo, não apresentando macroestruturas sedimentares. Há presença de raízes;
- Fácies mSyM (Lama arenosa maciça): leito composto principalmente por lama e areias pobremente selecionadas e desorganizadas. Possuem espessura de aproximadamente 20 centímetros. Depositadas sob geometria tabular com inclinação de baixo ângulo, não apresentam macroestruturas sedimentares. Há presença de raízes.

As fácies descritas até então são representativas de leitos formados por fluxos densos do tipo fluxo de detritos coesivos. Segundo Ghibaudo (1992), as fácies de fluxo de detritos coesivos apresentam contribuição da fração granulométrica lama (Mug) e resulta em fácies do tipo MyG, MyS, SyM e GyM como as apresentadas na seção estratigráfica. As estruturas maciças são atribuídas a alta velocidade na taxa de deposição, já as estruturas que apresentam gradação normal (como o pacote sedimentar 3) são formadas por fluxos de detritos turbulentos não concentrados. As fácies encontradas na seção estratigráfica 2 são similares às encontradas na seção estratigráfica 1.

5.2.3 Balanço parcial da seção estratigráfica 2

A partir dos resultados apresentados até então para a seção estratigráfica 2, foi possível construir o quadro-síntese (Quadro 12):

Perfil descritivo P1 – S2

Sigla	Relação de contato	Fácies	Classificação Textural	Estrutura	Descrição	Foto
P4	Gradual com a unidade sotoposta	mSyM mMyS	Lama arenosa ligeiramente cascalhosa	Estrutura maciça.	Forte presença de raízes, presença de poros aparentes, granular, pouco pegajoso e plástico, friável, ligeiramente duro, com cores variando entre o bruno escuro e bruno (10YR 2/3, 10YR 6/8).	
P3	Gradual entre camadas e com a unidade sobreposta	mSM g1SyG	Lama ligeiramente cascalhosa Lama arenosa ligeiramente cascalhosa Areia lamosa ligeiramente cascalhosa Cascalho areno-lamoso Areia lamosa ligeiramente cascalhosa Cascalho lamoso	Estrutura maciça na posição superior e granodrecrescência ascendente.	Maciço, pouca presença de clastos de 2mm de diâmetro de cor 2.5Y 8/1. Em toda a unidade há presença de raízes, pegajoso, granular, plástico, friável, ligeiramente duro, de cores variando entre bruno escuro e bruno acinzentado (10YR 4/3, 10 YR 3/2). Pacote apresenta sequências de gradação granulométrica, indo de clastos de tamanho aproximado 3cmx3cm afinando para areias no topo. Clastos subangulosos a subarredondados suportados por matriz fina. As cores dos clastos variam entre: 1Gley 8/10GY; 5YR 7/4, 5Y 8/1; 2.5YR 8/3 e matriz cor 10YR 4/3 e 7.5YR 3/4. Granular, não pegajoso, ligeiramente plástico, friável, macio, não apresenta bioturbação.	
P2	Abrupto entre a camadas e com o pacote sobreposto	gSyM g1MyG gSyM	Areia lamosa ligeiramente cascalhosa Areia muito siltosa	Estrutura maciça, com lentes de lama com inclinação de baixo ângulo.	Unidades mosqueada com cores variadas sendo: 1 clay 6/5Gy, 2.5Y 6/6, 2.5Y 5/6, 5Y 6/3, 5Y 5/2, granular, pegajoso, pouco plástico, friável ligeiramente duro, intercalado por lentes de cor 10YR 6/8, maciça, ligeiramente pegajosa, ligeiramente plástica, firme e ligeiramente duro.	

Solo Atual

Silto-arenoso

Paleosolo

Lama

Silto-cascalhoso

Granulometria variada com gradação

Quadro 8: Compilação das características do perfil descritivo 1 da seção estratigráfica 2 (P1-S2)

A granulometria da seção estratigráfica 2 (S2) apresenta, na base, unidades arenocascalhosas sem organização aparente, entrecortadas por lentes lamo-arenosas. Ao se observar o gráfico da variação granulométrica em relação à profundidade, podemos visualizar a predominância da fração areia em quase todas as profundidades. Também foi possível identificar a organização interna dos pacotes sedimentares 2 e 3. Na porção central da seção (pacote 3), foi visualizada em campo uma relação gradacional normal, variando de grânulo a areia grossa, suportados pela matriz lamosa. É possível definir, com base nos gráficos de variação granulométrica, três camadas com gradação normal (unidades XI, XII e XIII), onde as frações mais grossas presentes na base das unidades afinam em direção ao topo de cada unidade. Esse padrão de gradação sugere a ocorrência de pelo menos três eventos de sedimentação, nos quais a granulometria sofre gradação normal (afina da base para o topo).

A classificação textural dos sedimentos e a análise estatística sugerem que todas as unidades do perfil tenham sido formadas por fluxos densos que transportam grânulos em suspensão. A base do perfil 1 - S2 (pacote 2 - unidades I a IX) apresenta grânulos, areias e lammas depositadas de forma desorganizada e sem seleção, refletindo em classes granulométricas do tipo “areia lamosa ligeiramente cascalhosa”. Já as profundidades intermediárias do perfil 1 - S2 (pacote 3 – unidades X a XIII) apresentam amostras classificadas como “Cascalho areno-lamosa” e “areia lamosa ligeiramente cascalhosa”, apresentando diferenças entre a base e topo das unidades, reforçando os padrões de gradação encontrados em campo e visualizados nos gráficos de variação granulométrica.

As fácies descritas na seção estratigráfica 2 são comumente encontradas em depósitos coluviais ou depósitos gerados por fluxos de detritos, o que resulta em camadas maciças e/ou com gradações à medida em que o fluxo transportador perde energia.

Como síntese, podemos dizer que o pacote 2 foi gerado em um paleoambiente morfogenético, com volume hídrico variável para a formação de estrutura similar à de leque aluvial provocada por escoamento superficial. Entre os pacotes 2 e 3 há uma linha bem definida de lama cuja cor amarelo-laranja, segundo Munsell, sugere oxidação. O pacote 3 também foi gerado em um paleoambiente que favorecia os processos morfogenéticos, resultando em camadas coluviais gradadas. A interpretação plausível para esse pacote é que, durante o final do EIM 3, o regime climático variável possibilitou, pelo menos, três eventos expressivos que resultaram no entulhamento de camadas coluviais com gradação. Esses pulsos de fluxos de detritos proporcionaram rápida sedimentação dos grãos soltos em alta concentração. Os fluxos de detritos depositaram os grãos de maior tamanho e, à medida que a intensidade do fluxo foi diminuindo, foi ocorrendo a progressiva diminuição no tamanho do

grão depositado. O topo da unidade é recoberto por uma camada lamo-arenosa, indicando que, em dado momento, provavelmente na transição do EIM3 para o EIM 2, a dinâmica paleoambiental começou a modificar-se resultando na deposição de camadas lamo-arenosas sem a presença de grânulos, fator indicativo de menor energia no sistema. Esse depósito passou por um período de estabilidade onde não ocorreu a deposição de material e favoreceu os processos pedogenéticos, expressos no depósito através da formação do paleossolo. Após esse período de estabilidade, uma nova fase morfogenética se iniciou, gerando a deposição do pacote 4. Esse período originou camadas areno-lamosas que entulharam a vertente até seu nível topográfico atual, sobre a qual o solo superficial se desenvolveu.

5.3 SEÇÃO ESTRATIGRÁFICA 3

5.3.1 Apresentação da seção estratigráfica 3

A seção estratigráfica 3 está localizada a 80 metros caminhando pela rua sentido sudeste a partir da seção estratigráfica 2. Por não ser a seção principal do objeto de estudo, não foram coletadas amostras seriadas ou realizado perfil descritivo detalhado. Contudo, foram coletadas amostras pontuais para análise granulométrica e datação de algumas unidades representativas.

A seção estratigráfica 3 (S3) (Figuras 44, 45 e 46) possui 4,31 metros de altura e é composta por uma sequência de unidades areno-cascalhosas, com grânulos de cores branca-rosada-2.5Y 8/2, cinzenta-esverdeada-clara-1gley 8/5G, amarela-avermelhada-7.5YR 7/8, suportados por matriz fina de cores que variam entre Cinzenta-esverdeada-1gley 6/5GY e vermelha-2.5Y 6/6, intercaladas com unidades de lamelas de cores vermelha-acinzentada-2.5YR 6/2 e amarela-brunada-10YR 6/8. O horizonte pedológico atual de cor bruna muito escura-10YR 2/2 ocorre no topo do depósito. Topograficamente, o topo da seção estratigráfica 3 (S3) se encontra a 1,17 metros abaixo da base da seção estratigráfica 2 (S2). A geometria das camadas cascalhosas são plano-palarelas, já as unidades lamosas apresentam-se como camadas plano-paralelas e também lentes de geometria irregular com inclinações de baixo ângulo. Toda a seção estratigráfica 3 apresenta um mesmo padrão deposicional, não sendo possível definir pacotes sedimentares diferenciados. Toda a seção pode ser considerada como um único pacote.

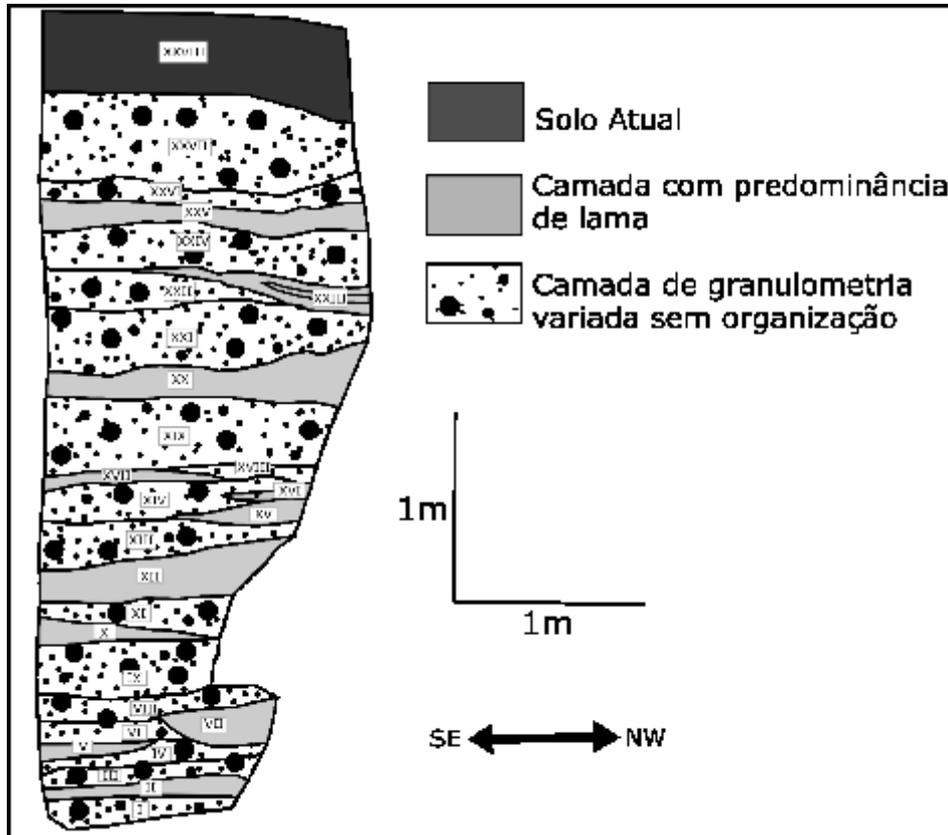


Figura 44: Representação esquemática da seção estratigráfica 3 (S3)



Figura 45: Fotografia da seção estratigráfica 3

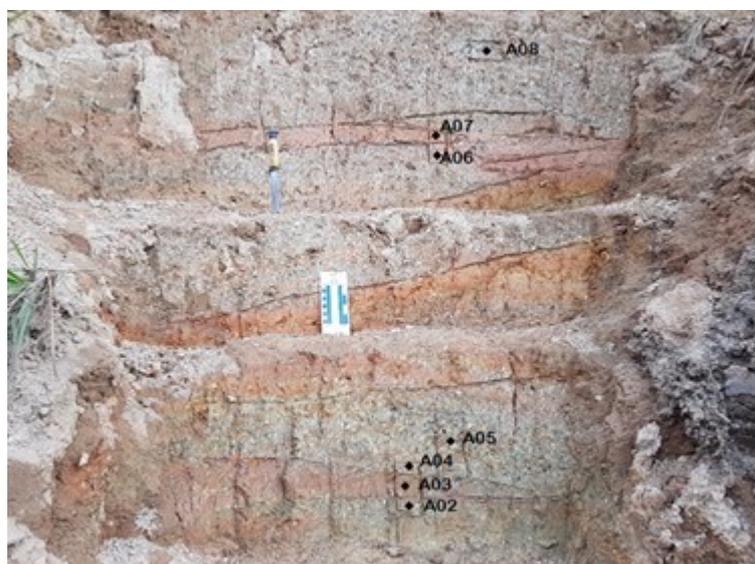


Figura 46: Fotografia de detalhe da porção central da seção estratigráfica 3 e alguns pontos de coleta das amostras

5.3.2 Granulometria, classificação textural e análise faciológica da seção estratigráfica 3

A coleta de amostras pontuais de algumas camadas representativas permitiu identificar as frações granulométricas nas quais essas camadas são constituídas (Tabela 10) e extrapolar a variação granulométrica para as demais unidades da seção estratigráfica.

Profundidade	Amostra	Unidades	Pacotes sed.	% Granulo	% Areia	% Silte	% Argila
41	A13	XXVII	P2	23,508	58,745	16,180	2,042
71	A12	XXV	P2	0,000	6,152	79,631	14,103
74	A11	XXIV	P2	23,807	55,662	17,716	1,951
145	A10	XXI	P2	11,022	55,179	27,102	6,346
189	A09	XXI	P2	18,473	57,526	20,176	3,695
247	A08	XIX	P2	20,804	62,520	13,388	3,114
251	A07	XVII	P2	2,123	11,780	71,353	14,715
255	A06	XIV	P2	21,491	47,200	25,057	5,456
365	A05	XI	P2	24,455	54,594	17,784	2,890
383	A04	X-XI	P2	0,304	28,186	57,704	13,531
386	A03	X	P2	9,866	9,543	63,601	16,296
388	A02	IX-X	P2	6,073	23,945	51,865	14,352
400	A01	VII	P2	0,326	0,000	73,853	25,760

Tabela 10: Granulometria das amostras, unidades e pacotes sedimentares correspondentes das amostras pontuais da seção estratigráfica 3

A tabela 10 permite distinguir as unidades areno-cascalhosas das unidades lamosas com facilidade. Os percentuais de silte das unidades lamosas variam entre 60 e 80% que, se somados aos percentuais de argila – que variam entre 14 e 25% – contribuem para o caráter fino das camadas. Já as unidades areno-cascalhosas apresentam os teores de areia como sendo o mais substancial, variando entre 47% e 62%, somados aos percentis de grânulo entre 11% e 25%. As amostras 02 e 04 foram coletadas na transição entre camadas areno-cascalhosas (Unidade IX e unidade XI) e a camada lamosa (unidade X) e apresentam o silte e areia como frações granulométricas mais relevantes.

Os dados granulométricos também foram utilizados para realizar as análises estatísticas para determinação do tamanho médio do grão, grau de seleção assimetria e curtose, que contribuem para a diferenciação das unidades e determinação de fácies que melhor as representam. Os resultados da análise estatística estão apresentados na Tabela 11:

Amostra	Média	Classificação	Mediana	Seleção	Classificação	Assimetria	Classificação	Curtose	Classificação
A13	1,544	Areia média	0,6918	2,857	Muito pobremente selecionado	0,5488	Muito positiva	1,213	Leptocúrtica
A12	6,685	Silte fino	6,763	1,485	Pobremente selecionado	-0,08837	Aproximadamente simétrica	1,442	Leptocúrtica
A11	1,648	Areia média	0,8377	2,875	Muito pobremente selecionado	0,5187	Muito positiva	0,9233	Mesocúrtica
A10	2,943	Areia fina	1,917	3,174	Muito pobremente selecionado	0,4311	Muito positiva	0,6985	Platicúrtica
A09	1,806	Areia média	0,8936	3,258	Muito pobremente selecionado	0,4992	Muito positiva	0,9469	Mesocúrtica
A08	1,128	Areia média	0,4876	2,712	Muito pobremente selecionado	0,5408	Muito positiva	1,316	Leptocúrtica
A07	6,255	Silte fino	6,551	1,969	Pobremente selecionado	-0,1829	Negativa	1,248	Leptocúrtica
A06	2,294	Areia fina	1,679	3,359	Muito pobremente selecionado	0,3674	Muito positiva	0,6763	Platicúrtica
A05	1,737	Areia média	0,76	2,978	Muito pobremente selecionado	0,5617	Muito positiva	0,8978	Platicúrtica
A04	5,546	Silte médio	6,421	2,613	Muito pobremente selecionado	-0,3585	Muito negativa	0,7584	Platicúrtica
A03	6,093	Silte fino	6,798	2,743	Muito pobremente selecionado	-0,4738	Muito negativa	1,749	Muito leptocúrtica
A02	5,532	Silte médio	6,38	3,11	Muito pobremente selecionado	-0,4383	Muito negativa	0,9966	Mesocúrtica
A01	7,603	Silte muito fino	7,482	1,102	Pobremente selecionado	0,1938	Positiva	1,261	Leptocúrtica

Tabela 11: Estatísticas das amostras do perfil descritivo 1 da seção estratigráfica 03 (P1-S3)

As estatísticas apresentadas na Tabela 11 apresentam regularidade entre o grau de seleção e as características descritas em campo das unidades nas quais as amostras foram retiradas. No geral, as amostras das unidades lamosas apresentaram como grau de seleção “pobremente selecionadas”, já as amostras das unidades areno-cascalhosas e de transição entre unidades, apresentaram grau de seleção “muito pobremente selecionadas”.

A assimetria também auxilia na identificação das características sedimentológicas ao ressaltar a diferença entre unidades com teores de lama acentuados (negativas) e unidades areno-cascalhosas (positivas), com exceção da unidade VII (A01). Os resultados, portanto, reafirmam a predominância de frações granulométricas finas nas unidades lamosas e frações granulométricas grossas nas unidades areno-cascalhosas.

A classificação textural foi obtida por meio do diagrama de Folk (1954) (Figura 47) e do diagrama de Flemming (2000) (Figura 48), e é correlacionada com amostras e unidades no Quadro 13.

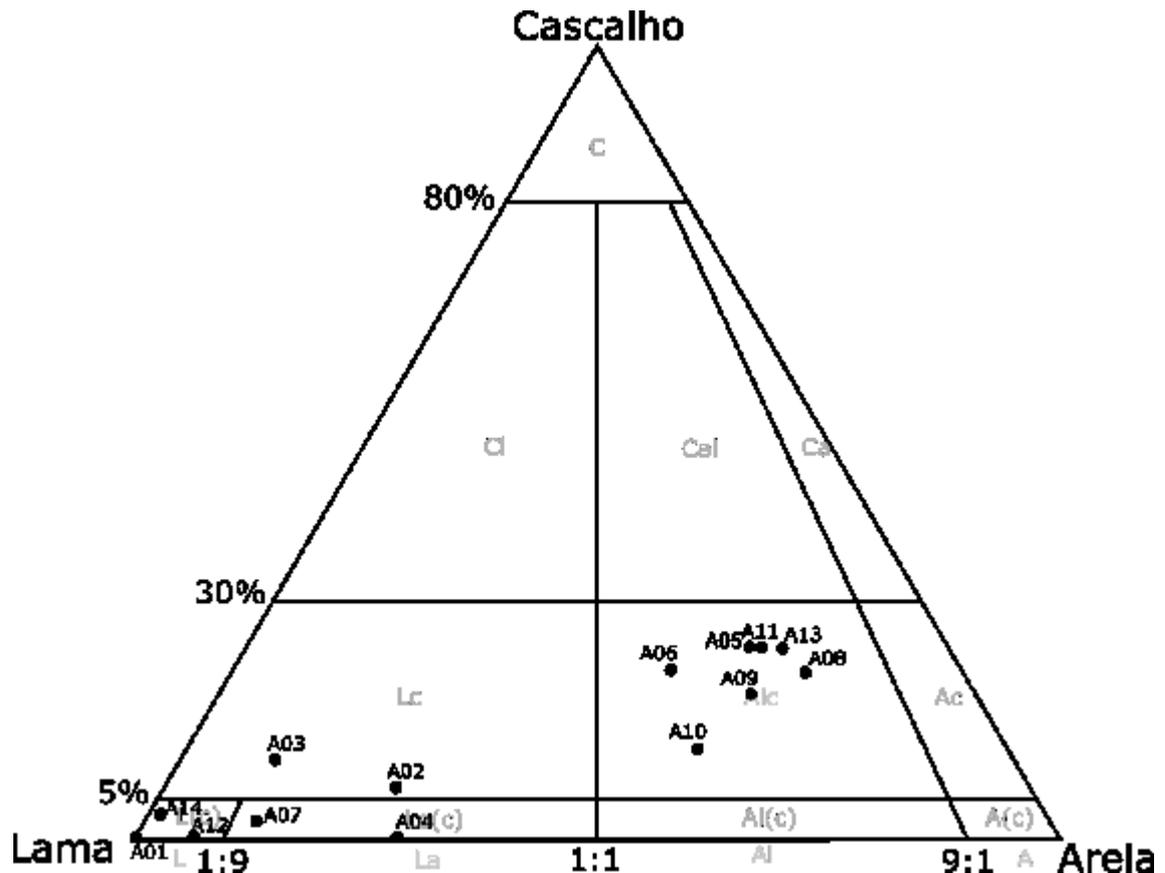


Figura 47: Amostras da seção estratigráfica03 (S3) plotadas no diagrama de Folk (1954)

As unidades representativas das lentes de lama e camadas lamosas (VII, X, XVII e XXV – A1, A3, A7 e A12) e as amostras retiradas na transição de unidades IX-X (A2) e X-XI (A4) estão agrupadas no setor da esquerda inferior do diagrama, ocupando as classes “Lama”, “Lama ligeiramente Cascalhosa”, “Lama arenosa ligeiramente cascalhosa” e “Lama arenocascalhosa”, o que evidencia a forte influência das frações granulométricas finas nas amostras, ao passo que as unidades areno-cascalhosas (unidades XI, XIV, XIX, XXI, XXIV, XXVIII – A05, A06, A08, A09, A10, A11, A13) estão agrupadas todas na mesma classe granulométrica à direita do diagrama na classe “Areia lamo-cascalhosa”.

Ao plotar as amostras no diagrama de Flemming (2000) todas as amostras contendo grânulos tiveram essa classe incorporadas a classe areia.

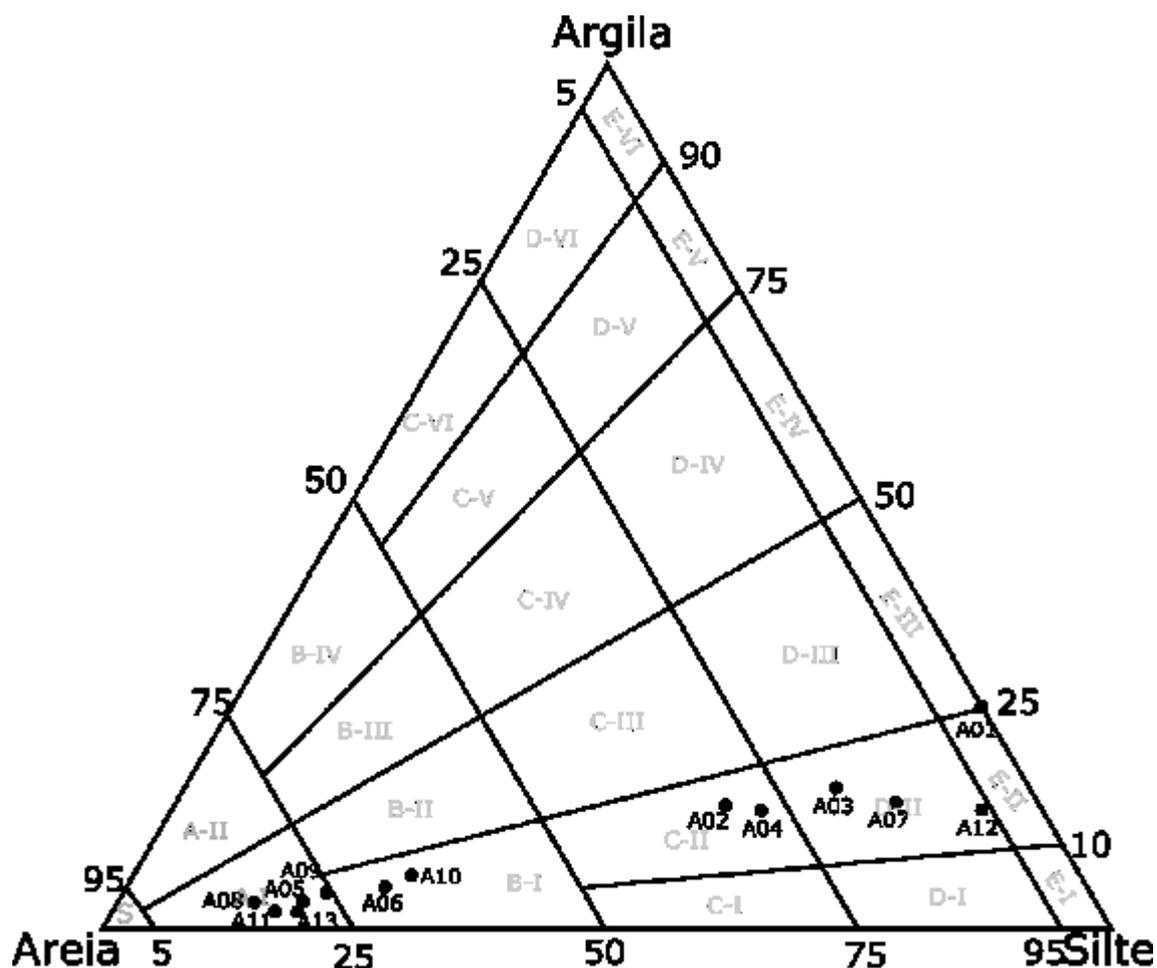


Figura 48: Amostras da seção estratigráfica 3 (S3) plotadas no diagrama de Flemming (2000)

No diagrama de Flemming (2000), as unidades areno-cascalhosas estão agrupadas entre as classes AI – “Areia levemente lamosa” e BI – “Areia muito siltosa” (A05, A06, A08, A09, A10, A11, A13), enquanto as unidades lamosas estão agrupadas entre as classes DII – “Lama levemente arenosa muito siltosa” e EII – “Silte argiloso” (A01, A03, A07 e A12). As amostras retiradas em transição de unidades (A02 e A04) estão na classe intermediária, CII – “Lama arenosa muito siltosa”. É possível distinguir claramente as unidades lamosas (mais à direita do diagrama) das unidades areno-cascalhosas, posicionadas mais à esquerda do diagrama. A distribuição das amostras mais na base do diagrama, sugere ambientes coluvial.

Amostra	Unidades	Pacotes sed.	Classificação Folk	Classificação Flemming
A13	XXVII	P2	Areia lamo-cascalhosa	Areia levemente lamosa
A12	XXV	P2	Lama ligeiramente Cascalhosa	lama levemente arenosa muito siltosa
A11	XXIV	P2	Areia lamo-cascalhosa	Areia levemente lamosa
A10	XXI	P2	Areia lamo-cascalhosa	Areia muito siltosa
A09	XXI	P2	Areia lamo-cascalhosa	Areia levemente lamosa
A08	XIX	P2	Areia lamo-cascalhosa	Areia levemente lamosa
A07	XVII	P2	Lama arenosa ligeiramente cascalhosa	lama levemente arenosa muito siltosa
A06	XIV	P2	Areia lamo-cascalhosa	Areia muito siltosa
A05	XI	P2	Areia lamo-cascalhosa	Areia levemente lamosa
A04	XI	P2	Lama arenosa ligeiramente cascalhosa	Lama Arenosa muito siltosa
A03	X	P2	Lama cascalhosa	lama levemente arenosa muito siltosa
A02	IX	P2	Lama cascalhosa	Lama Arenosa muito siltosa
A01	VII	P2	Lama	Silte argiloso

Quadro 9: Classificação textural das amostras pontuais da seção estratigráfica 3, segundo os diagramas de Folk (1954) e de Flemming (2000).

O diagrama de Folk (1954) foi eficiente ao agrupar as amostras com teor de grânulo considerável na mesma classe “Areia lamo-cascalhosa”, a classe dessas unidades indica a mistura das frações granulométricas e o pouco poder de seleção do agente de transporte, o que contribui para a classificação das amostras como coluviais. Em Flemming (2000) as características visualizadas em campo não são tão bem descritas. As amostras foram classificadas, indicando que são unidades “areia levemente lamosa” intercaladas com unidades lamosas.

A construção do gráfico de variação granulométrica pela profundidade não abarcou toda a espessura do depósito, pelo fato das amostras não serem seriadas, mas ajuda a ilustrar de forma eficiente a diferenciação das unidades. As amostras da seção estratigráfica 3 variam entre unidades de granulometria areno-cascalhosa suportada por matriz fina (unidades XI, XIV, XIX, XXI, XXIV, XXVIII), unidades com granulometria fina (lamosa) (VII, X, XVII, XXV), e amostras retiradas na transição de unidades (IX-X e X-XI), apresentando uma mistura areno-lamosa, conforme visualizado na Figura 49.

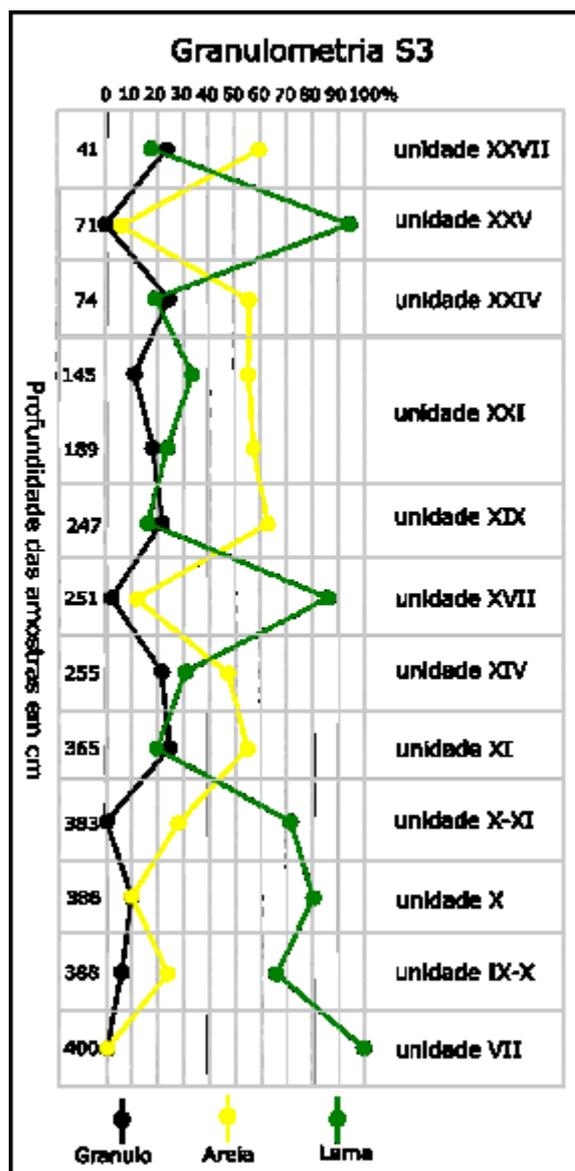


Figura 49: Gráfico do percentual de cascalho, areia e lama de amostras pontuais da seção estratigráfica 3 (S3)

Nas unidades representativas das lentes e camadas de lama (VII, X, XVII e XXV), nas profundidades de 71 cm, 251 cm, 386 cm e 400 cm, o percentual de lama se destaca entre 70 a 99% da composição da granulometria dessas amostras. As amostras coletadas na transição das unidades IX-X (A2) e X-XI (A4), nas profundidades 388 cm e 383 cm, são principalmente compostas por lama (65% e 71%) e areia (24% e 28%). A areia predomina nas profundidades de 41 cm, 74 cm, 145 cm, 189 cm, 247 cm, 255 cm e 365 cm, sendo unidades representativas das camadas areno-cascalhosas com percentuais de 50 a 70%. A presença de grânulo nessas unidades chega a 25%. É possível identificar a regularidade das unidades areno-cascalhosas com teores de areia, grânulo e lama apresentando pouca variação, mesmo

estas unidades não sendo sequenciais. O mesmo vale para as unidades lamosas. Através dessa constatação, a extrapolação das características das unidades feitas em campo é legitimada.

Em síntese, as unidades areno-cascalhosas e as unidades lamosas apresentam um padrão de alternância que assemelha a de leques aluviais. Os resultados estatísticos apontam sedimentos mal selecionados típicos de ambientes colúviais e apresentam a alternância de unidades de tamanho de grão fino e outras com tamanho de grão mais grossos. As classificações texturais também evidenciaram a distinção entre as unidades lamosas e areno-cascalhosas. Partindo dos dados de laboratório, e de campo onde a transição abrupta e a geometria das unidades foram visualizadas, é possível correlacionar o depósito a depósitos do tipo leque.

A seção estratigráfica como um todo pode ser considerada como um único pacote deposicional, no qual os processos de erosão e sedimentação estavam atuantes, permitindo que houvesse, com relativa regularidade, a deposição de camadas cascalho-arenosas intercaladas por camadas lamosas, conforme visualizado anteriormente.

Assim é possível propor como fácies representativas a intercalação das fácies mGyS (Cascalho arenoso suportado pela matriz maciço) e eM (Lama) e a fácies mSyM (Areia lamosa maciça) no topo, sendo estas as que melhor descreve essa seção estratigráfica conforme a Figura 50.

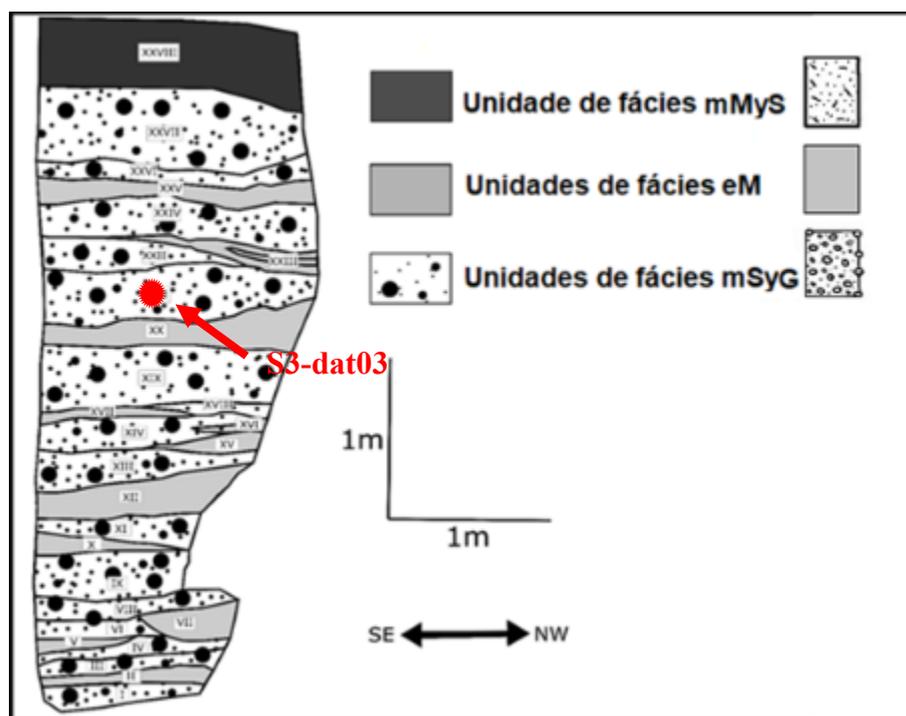


Figura 50: Fácies descritas por Ghibaudo (1992) correspondente as unidades da seção estratigráfica 3 e posição da amostra S3-dat03 datada por LOE.

- Fácies mSyG (Cascalho arenoso suportado pela matriz maciço): possui clastos de tamanho centimétrico suportados por matriz fina (areno-lamosa), distribuídos de forma aleatória, não apresentando macroestruturas sedimentares, bioturbação ou raízes. Os grânulos são subangulosos a subarredondados, chegando ao diâmetro máximo de 5 cm e possuem alto grau de alteração. É muito pobremente selecionada. No depósito apresentam-se planas ou com inclinação de baixo grau;
- Fácies eM (Lama): lama maciça em forma de lentes e camadas; apresenta predominância de silte. Apesar de quase todas as amostras possuírem quantidades expressivas de areia (entre 6 e 20%), são compostas por fração “areia fina” e “areia muito fina”. Quando depositadas em forma de lentes, são bem definidas e com espessuras de poucos centímetros (entre 3 cm e 10 cm) e apresenta inclinação de baixo ângulo. Já quando depositadas sob forma de camadas possuem continuidade lateral é plano-paralela ou de inclinação de baixo ângulo e espessuras variando de 10 a 25 cm centímetros;
- Fácies mMyS (Areia lamosa maciça): leito composto principalmente por areias e lama sem organização, muito pobremente selecionadas, possuindo geometria tabular e continuidade lateral.

As fácies descritas podem ser associadas, segundo Ghibaudo (1992), a fluxos de detritos. Segundo a arquitetura deposicional, a intercalação da fácies não coesiva mSyG e da fácies eM podem ser associadas a ambientes coluviais e depositados sob forma de leque. Essas fácies também são encontradas na base da seção estratigráfica 1 e 2. A fácies MyS é típica de fluxos de detritos coesivos o caráter maciço pode estar associado aos processos pedogenéticos atuantes sobre essa fácies.

5.3.4 Geocronologia da seção estratigráfica 3

Devido à ausência aparente de horizonte pedogenético enterrado na seção estratigráfica 3, não houve material datado pelo método de radiocarbono ¹⁴C. Assim, optou-se por coletar uma amostra da unidade cascalhosa para datação pelo método de Luminescência Oticamente Estimulada (LOE). A datação foi realizada pela empresa “Datação, Comércio e Prestação de Serviços Ltda”, em São Paulo.

Amostra	Unidade	Profundidade	Método	Idade Aproximada
S3-dat03	XXI	177 cm	LOE	22.250 +/-2160 anos AP

Tabela 12: Resultados de datações por LOE

Essa datação está inserida no período definido como Estágio Isotópico Marinho 2, no chamado Último Máximo Glacial (UMG) do estágio glacial do Pleistoceno Superior. A sedimentação de todas as camadas provavelmente iniciou-se em período de morfogênese que caracteriza o EIM 3 e continuou durante todo o EIM2 até atingir a topografia atual. Com base nas datações de Carbono 14 do solo da seção de cabeceira descritas por Santos Junior (2019), por volta de 14 mil anos, durante a transição entre o Pleistoceno e o Holoceno as condições paleoambientais modificaram-se, tornando mais efetivos os processos pedogenéticos, o que possibilitou a formação do horizonte de solo A, em detrimento dos processos morfogenéticos que depositam ou erodem a encosta. Essa estabilidade paleoambiental permanece até a atualidade, aprofundando o solo, ainda ativo, que sofre retrabalhamento.

5.3.5 Balanço parcial da seção estratigráfica 3

A seção estratigráfica 3 apresenta unidades areno-cascalhosas suportadas pela matriz fina, intercaladas por camadas e lentes lamosas compostas principalmente por silte e, em menor proporção, por argila e areia muito fina. As principais características do depósito estão sintetizadas no Quadro 14:

Seção estratigráfica 3

Pacotes	Relação de contato	Fácies	Classificação Textural	Estrutura	Descrição	Foto
P2	Abrupto entre camadas e gradual com o solo.	mMyS eM m1SyG	Areia lamo-cascalhosa Lama arenosa ligeriamente cascalhosa Lama ligeiramente cascalhosa	Estrutura maciça, com lentes de lama de baixo ângulo.	Solo Atual. Forte presença de raízes, presença de poros, granular, não pegajoso e pouco plástico, muito friável, macio, cor 10YR 4/2. Unidades mosqueada com cores variadas sendo: 2.5YR 4/6; 7.5YR 5/3 1Gley8/10GY; 1Gley6/5G; 1Gley7/5G; 1Gley8/5; 5Y 8/8; 10R 7/2; 10R 6/6. Granular, pegajoso, pouco plástico, friável a firme, ligeiramente duro. Intercalado por lentes de cores 2.5YR 6/2 e 5Y 6/3, pegajosa, plástica, firme e duro.	


Solo Atual


Lama


Areno-cascalhoso

Quadro 10: Compilação das características da seção estratigráfica 3 (S3)

As análises granulométricas, texturais e estatísticas apresentam, de forma clara, a diferença entre unidades areno-cascalhosas e unidades lamosas. As unidades areno-cascalhosas têm tamanho médio de grão na classe das areias e porcentagens de aproximadamente 20% de grânulos presente. Elas foram classificadas como muito pobremente selecionadas. As unidades lamosas apresentam silte como tamanho médio e o grau de seleção como pobremente selecionado.

Esses parâmetros estatísticos auxiliam na identificação de depósitos de alternância de camadas, similar à de leques aluviais, em que ocorre a intercalação de camadas areno-cascalhosas muito pobremente selecionadas e sem nenhuma organização com lentes de lama, conforme visualizadas em campo e confirmadas por meio da análise granulométrica.

A classificação textural obtida por intermédio dos diagramas de Folk (1954) e de Flemming (2000) mais uma vez ressalta o padrão de unidades com granulometria grossa intercaladas com unidades de granulometria fina, enquanto que as amostras se agrupam em dois setores distintos nos diagramas. Todas as amostras possuem baixa influência de argila, o que se assemelha aos diagramas das seções estratigráficas 1 e 2. O diagrama de Flemming (2000) foi de particular importância ao ressaltar sutis variações entre as unidades grossas ou entre as unidades finas. Isso indica que, apesar do padrão deposicional ser o mesmo, o fluxo hidrodinâmico que depositou as camadas era variável.

Leques aluviais são construídos a partir de sucessivos episódios de fluxos de escoamento superficial decorrente de ação pluviométrica. À medida que a energia do fluxo diminui as camadas areno-cascalhosas não mais são depositadas, restando a deposição das lentes de lama. Devido à velocidade desses fluxos, depósitos de leques aluviais geralmente são maciços, não possuindo macroestruturas. Cada episódio apresenta um regime de fluxo diferenciado o que resulta em camadas similares, mas com espessuras diferenciadas das sotopostas e sobrepostas. Essa variação do regime de fluxo também foi visualizada a partir da classificação dos sedimentos nos diagramas ternários. Todas essas características foram observadas na seção, o que fortalece a sua classificação como leque.

As areias-cascalhosas da unidade XXI da seção estratigráfica 3 foram datadas pelo método de termoluminescência opticamente estimulada, método que permite posicionar o depósito na cronologia de eventos no Pleistoceno Superior. O resultado da datação apresenta idade de 22.250 +/-2160 anos AP. A similaridade da seção com os pacotes 2 da seção estratigráfica 1 e da seção estratigráfica 2 e a proximidade dos depósitos permite a extrapolação das datações da seção estratigráfica 1 para a seção estratigráfica 3. Assim, é seguro afirmar que esse padrão de sedimentação encontrado em toda a seção 3 se iniciou no

estágio isotópico marinho 3, adentrando o estágio isotópico marinho 2. Ao que tudo indica, a deposição desse depósito deve ter cessado na transição entre o Pleistoceno e o Holoceno. A seção estratigráfica 3 não apresenta outro padrão deposicional ou marcas provocadas por processos erosivos, sugerindo descontinuidade nos processos de deposição. Guerra & Paisani (2013) descrevem intensa fase de chuvas concentradas que formaram unidades colúvias devido a fluxos densos nas encostas do sistema hidrográfico do Rio Chopinzinho – PR, tendo isso ocorrido durante o EIM2 e EIM1. Essa fase é encerrada por volta de 1000 anos AP, com o estabelecimento de um clima estável e formação de solos atuais. Essa dinâmica de chuvas concentradas e formação de depósitos colúvias parece ser aplicável também a seção estratigráfica 3, o que sugere que esse padrão de chuvas concentradas descrito por Guerra e Paisani (2013), pode ter ocorrido desde a transição do EIM3 para o EIM2 para áreas do planalto norte de Santa Catarina. Na medida em que o clima se aproximava do atual, tornando-se progressivamente mais quente e úmido, foi possível a atuação dos processos pedogenéticos que originou o solo superficial ainda hoje ativo.

5.4 CONTRIBUIÇÃO DAS SEÇÕES ESTUDADAS PARA A ESTRATIGRAFIA DO QUATERNÁRIO LOCAL.

A seção estratigráfica 2 se encontra a 9 metros a SE da seção estratigráfica 1. A base da seção estratigráfica 2 está topograficamente 1,17 m acima do topo da seção estratigráfica 3, que se encontra a 80 metros de distância no sentido SE. Pensando no ambiente no qual os depósitos se encontram, isto é, uma cabeceira de vale, não é possível afirmar que as unidades da base das seções 1 e 2 se prolongam até a seção estratigráfica 3, já que o ambiente de cabeceira de vale é marcado por complexas relações deposicionais e diferentes regimes de fluxos. Ainda assim, a curta distância e as similaridades em cor, textura, estrutura, granulometria, análise estatística, geometria e fácies sugerem que os pacotes foram criados por processos similares nas três seções estudadas.

A observação panorâmica do campo, abrangendo as três seções estratigráficas, permite levantar a hipótese de que os pacotes com padrões similares foram depositados no mesmo período, e com isso propor uma estratigrafia local a partir dos pacotes previamente descritos. A Figura 51 exemplifica, por meio da foto de campo, a continuidade lateral entre pacotes das seções 1 e 2. A linha pontilhada amarela destaca a continuidade lateral entre os paleossolos. O croqui, na mesma posição da foto, traz as linhas sólidas em preto para evidenciar a continuidade lateral da lente de lama na base das seções. Já as linhas tracejadas inferem a

posição estratigráfica do pacote 3 da seção estratigráfica 2, que não possui continuidade lateral na seção estratigráfica 1.

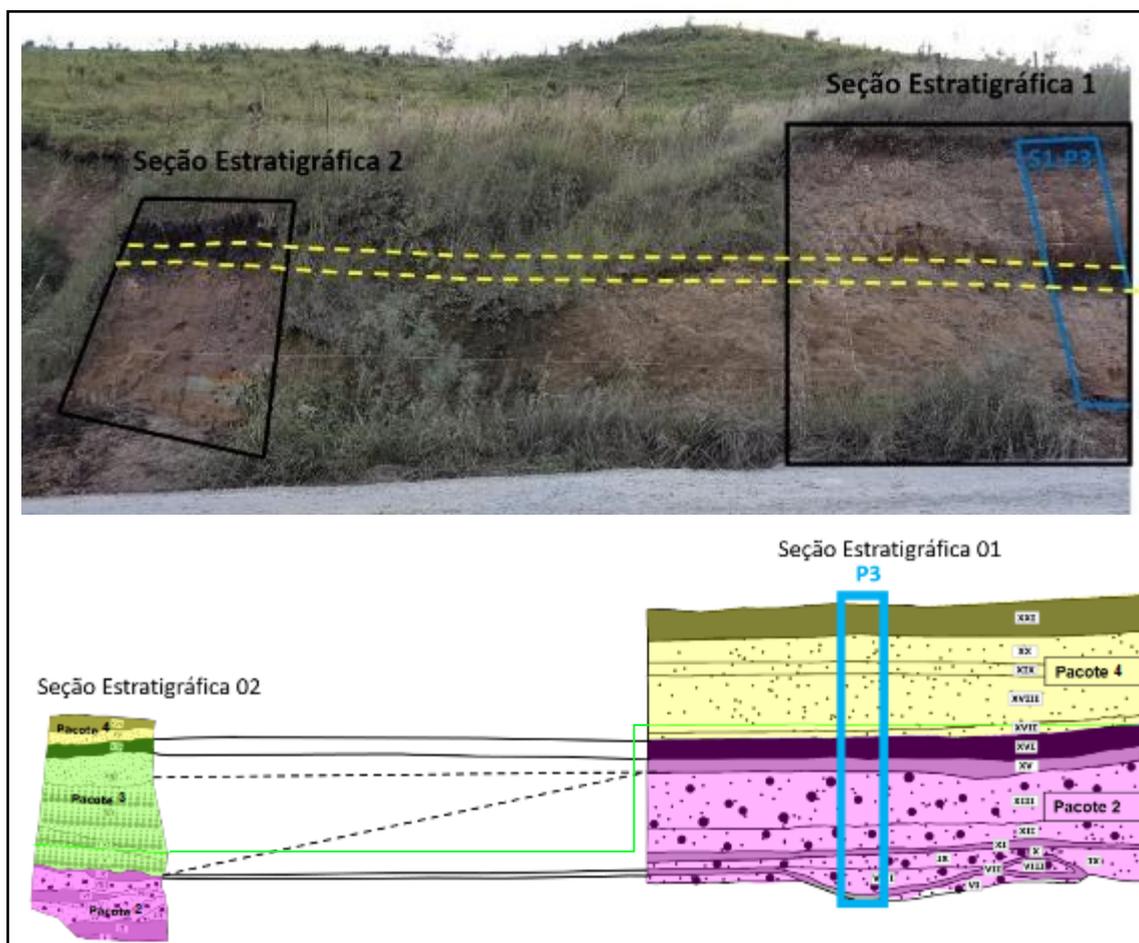


Figura 51: Correlação entre pacotes das seções estratigráficas 1 e 2

Ao comparar os resultados das seções estratigráficas, verifica-se que as bases da seção 1 e 2, bem como toda a seção 3, são compostas por intercalação de camadas de granulometria grossa (areno-cascalhosas) e camadas de granulometria predominantemente fina (lamosas), grau de seleção muito pobremente selecionado ou pobremente selecionado, definidas como camadas colúvio-aluviais originadas por fluxos de detritos em padrão similar a pequeno leque aluvial. Ou seja, o pacote 2 da seção estratigráfica 1 (figura 13), o pacote 2 da seção estratigráfica 2 (figura 37) e toda a seção estratigráfica 3 são formadas pelo mesmo padrão deposicional.

A formação do paleossolo nas seções estratigráficas 1 e 2 marca um período de estabilidade paleoclimática, onde os processos morfogenéticos são substituídos por processos pedogenéticos durante o EIM 2 inferior (26.480 anos AP) sobre o qual depositou-se o pacote 4 (amarelo em ambas as seções). A seção estratigráfica 3 não apresentou a formação do

paleossolo como nas seções 1 e 2, não sendo marcado nesta seção o momento de estabilidade ambiental ocorrido por volta de 26.480 anos AP, muito provavelmente por conta da posição da seção na encosta, que encontra-se em setor mais íngreme. A datação por LOE de 22.250 anos AP assegura que a deposição do leque na seção estratigráfica 3 provavelmente continuou ativa durante boa parte do EIM 2.

Os pacotes de topo (pacote 4) da seção estratigráfica 1 e 2, apresentam camadas predominantemente arenosas, muito pobremente selecionadas com pouca ou nenhuma graduação, sendo consideradas como camadas coluviais provocadas por fluxos de detritos. O paleossolo encontrado logo abaixo do pacote 4 apresenta datação do em aproximadamente 26,7 mil anos, o que permite dizer que o pacote 4 foi depositado durante o EIM 2.

As datações da base e topo do solo superficial de seção próxima à da área de estudo (SANTOS JUNIOR, 2019) serviram como referencial cronológico para o início da formação do solo superficial nas três seções estratigráficas. A base do solo superficial, com data de aproximadamente 14,7 mil anos, indica que os processos deposicionais nas seções estratigráficas permaneceram ativos até a transição do Pleistoceno/Holoceno, quando as condições climáticas e ambientais entraram em período mais úmido e quente e regularidade nas condições ambientais por volta dos 14,7 mil anos, iniciando um longo período pedogenético na região ativo até hoje, formando os solos que recobrem as três seções.

Com base no que foi apresentado, foi realizada a reorganização dos pacotes apresentados até então para encaixá-los em uma estratigrafia geral e, assim, propor a construção de um perfil colunar sintético (Figura 52) que abrange as principais características deposicionais dos depósitos estudados:

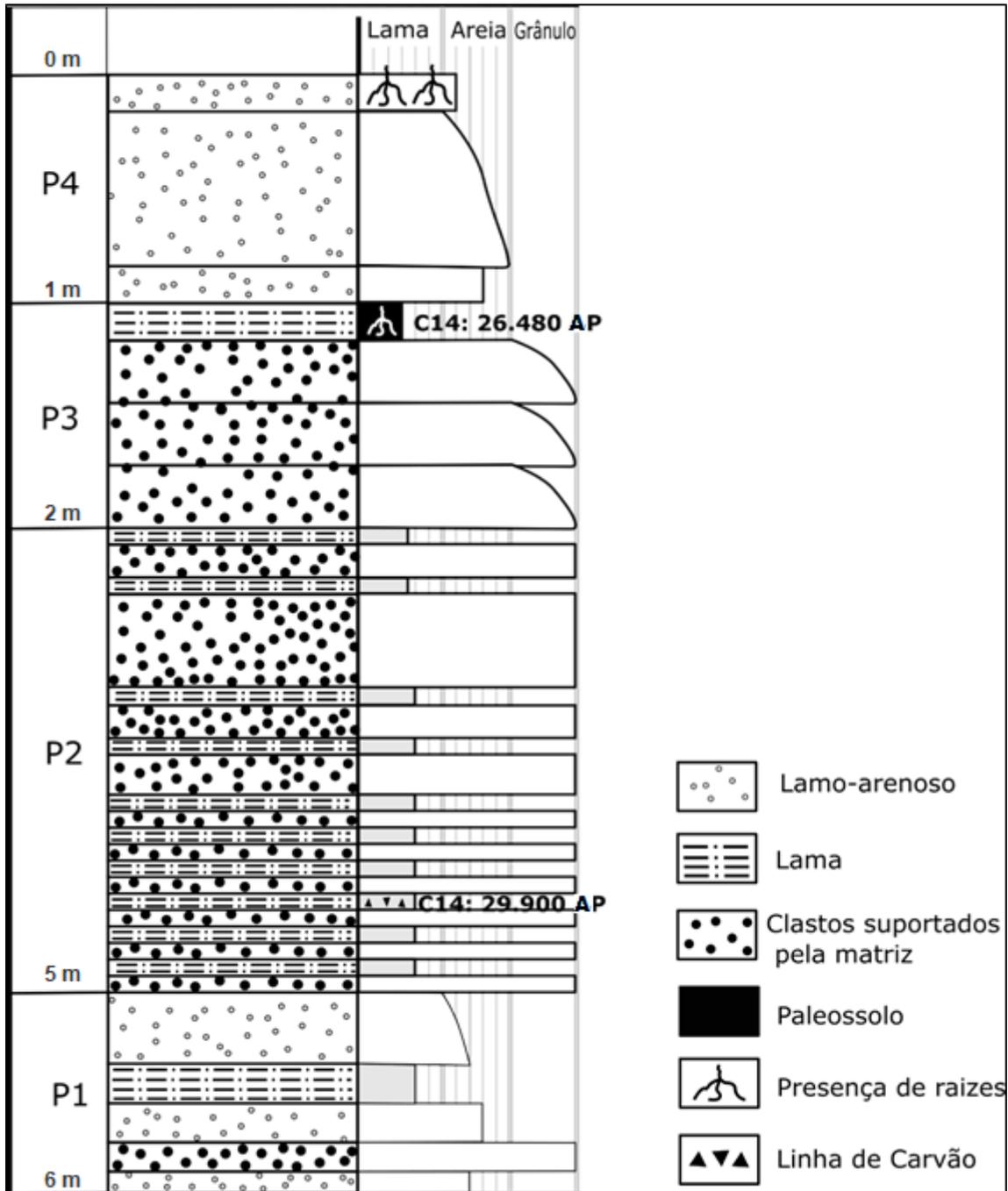


Figura 52: Perfil colunar sintético apresentando as principais características dos depósitos estudados.

O pacote sedimentar 1 apresenta intercalação das fácies m1MyG (Casalho lamoso suportado pela matriz maciço), mMyS (Areia lamosa maciça), gMyS (Areia lamosa gradada), mSyM (Lama arenosa maciça) e eM (Lama).

O pacote 2 apresenta intercalação das fácies eM (Lama) e m1MyG (Casalho lamoso suportado pela matriz maciço), mais a montante e a intercalação de eM(lama) e m1SyG (Casalho arenoso suportado pela matriz maciço) mais a jusante. Esse pacote foi descrito como depósito em forma de leque.

O pacote 3 apresenta as fácies g1SyG (Cascalho arenoso suportado pela matriz gradado) e mMS (lama-areia dística maciça) no topo do pacote 3, em que o paleossolo se desenvolveu.

O pacote sedimentar 4 é composto principalmente pela fácies gMyS (Areia lamosa gradada), ocorrendo em pequenos trechos como mMyS (Areia lamosa maciça) ou gSyM (lama arenosa gradada). No topo desse pacote o solo atual se desenvolveu sobre a fácies mMyS (Areia lamosa maciça).

As fácies dos depósitos apresentadas até então são: eM, mMyS, gMyS, mSyM, gSyM, mMS, m1GyM, g1SyG e mSyG e estão, em sua maioria, inseridas em contexto de fluxos de detritos coesivos, em ambientes formados por processos gravitacionais subaéreos. Inclusive, as fácies eM e mMS que, apesar de Ghibaudo (1992) descrevê-las como típicas de correntes de turbidez, obviamente não é o caso das fácies descritas em campo. Essas fácies também foram geradas em ambiente subaéreo e ocorrem, provavelmente, devido à característica globalmente fina dos sedimentos encontrados em todos os depósitos e, portanto, associadas aos mesmos processos de fluxos gravitacionais dos formadores das demais fácies do depósito.

Oliveira *et al.* (2008b) propõem um perfil colunar síntese (Figura 53) para a região do Cerro do Touro e áreas próximas no norte do município de Jaraguá do Sul e no sul do município de Campo Alegre, onde os depósitos que são o objeto deste trabalho se inserem. É possível, por intermédio da datação do paleossolo e do carvão encontrado dentro da lente de lama, bem como pela identificação dos padrões deposicionais em forma de leque e escoamento superficial descritos até então, inserir as seções estratigráficas 1, 2 e 3 na cronologia apresentada por Oliveira *et al.* (2008b).

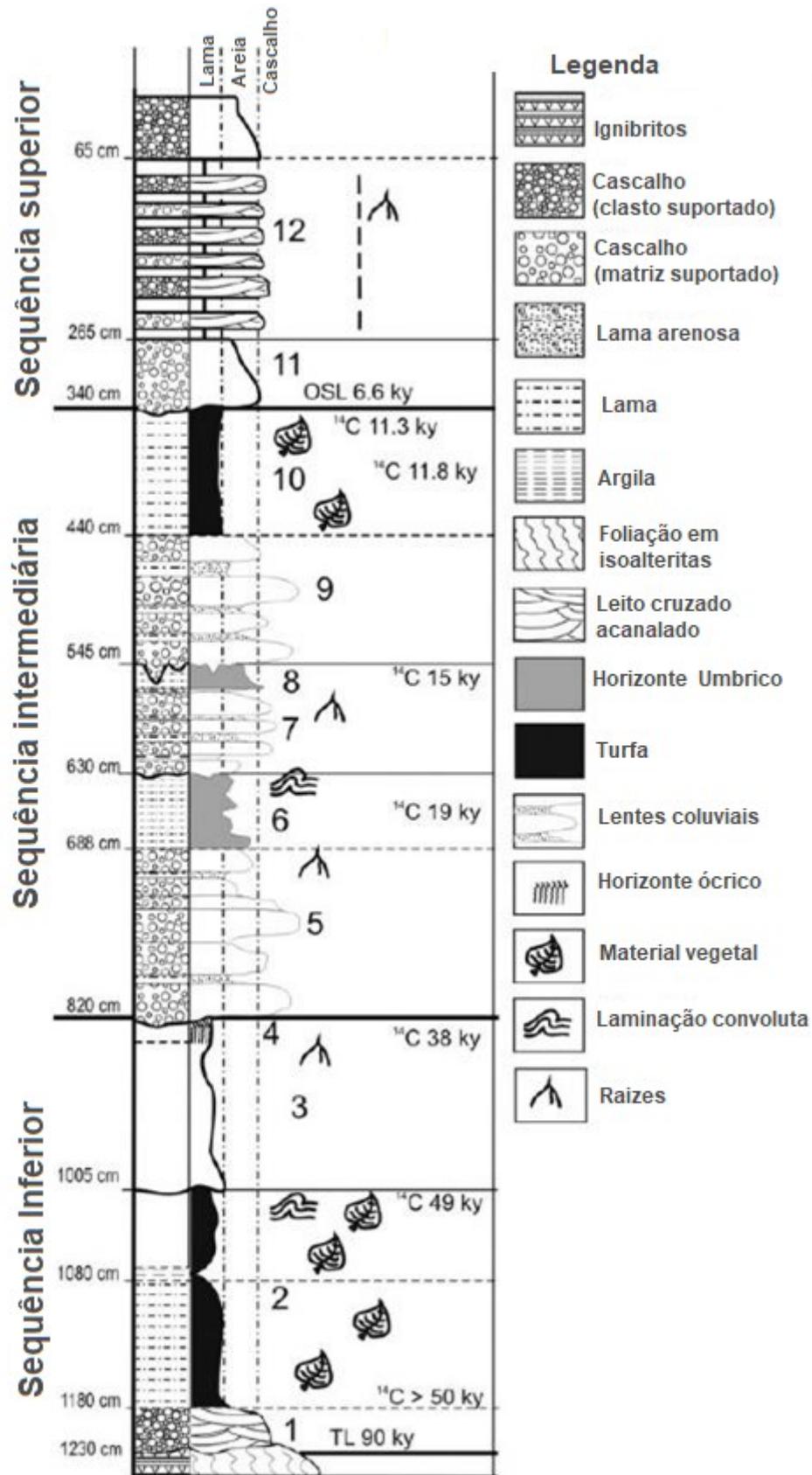


Figura 53. Perfil colunar sintético para a região de Campo Alegre e Jaraguá do Sul – SC proposto por Oliveira *et al.* (2008b).

As seções estratigráficas se encaixam na sequência intermediária idealizada por Oliveira *et al.* (2008b), as quais iniciam-se por volta de 45 mil anos atrás e chegam até o presente. É possível perceber grande similaridade do pacote 2 encontrado (figura 52) com as unidades 5 e 7 descritas por Oliveira *et al.* (2008b). A base do solo atual, datada por volta dos 14,7 mil anos AP, aproxima-se ao horizonte húmbrico da unidade 8 datado em 15.000 anos. A sequência superior apresentada por Oliveira *et al.* (2008b) não apresenta registros similares nos depósitos estudados, podendo terem sido erodidos ou não terem sido depositados.

5.5 EVOLUÇÃO PALEOAMBIENTAL SEGUNDO OS DEPÓSITOS ESTUDADOS

Em síntese, é possível inferir que a construção do relevo local foi fruto de um ambiente de cabeceira de vale que é complexo por natureza. De acordo com os referenciais geocronológicos e isotópicos dos depósitos, podemos inserir os depósitos em uma cronologia de eventos e, aliados aos padrões sedimentológicos, interpretar como eram as principais características climáticas e vegetais que compunham o ambiente do passado e descrever como essa vertente se modificou a partir do Pleistoceno superior.

Os resultados obtidos permitem posicionar os depósitos a partir do EIM 3 no Pleistoceno superior, e contam a história de alternâncias em fases de morfogênese e pedogênese, que podem ser relacionadas a mudanças climáticas globais. Bigarella, Mousinho e Silva (1965) apontam que, em eras glaciais (estádios glaciais), o esperado para áreas tropicais e subtropicais não afetadas por geleiras é um clima seco e frio. Contudo, registros de mudanças climáticas sugerem que nesse período áreas de planalto na região Sul do Brasil estavam sob atuação de climas frios e úmidos, o que possibilitou a formação de horizontes pedogenéticos e turfas, conforme apresentado em diversos trabalhos como em Camargo, 2005; Oliveira *et al.*; 2006, Oliveira *et al.*, 2008b; Lima, 2010; Bockmann, 2012, Guerra E Paisani 2013.

Os depósitos coluviais indicativos de fase morfogenética ativa na base dos perfis podem coincidir com as oscilações climáticas ocorridas durante o interstadial do EIM3. Por ser uma fase de relativo aquecimento durante a glaciação, é possível que tenha provocado localmente chuvas torrenciais como as descritas em Guerra & Paisani (2013), que podem ter contribuído para a construção de depósitos em leque formados por fluxos de detritos. A transição do EIM 3 para o EIM 2 marca período de estabilidade e atuação de processos pedogenéticos que culminaram na formação do Paleossolo. Nessa transição a vegetação assemelha-se a uma paisagem parecida com a savana, com predominância de gramíneas e de

arbustos espaçados, onde os registros isotópicos do paleossolo confirmam essa configuração na vegetação apontando o aumento da contribuição de espécies arbustivas e arbórea para a incorporação de matéria orgânica ao longo da formação do paleossolo. O EIM 2 é marcado como um período onde os processos morfogenéticos voltam a atuar na região, onde a deposição das camadas arenosas na porção superior dos depósitos são condicionadas por fluxos com energia menos intensa do que os observados no EIM 3. O solo superficial possui idade que coincide com eventos de rápido aquecimento como Bølling-Allerød no Atlântico Norte ou os registrados por isótopos de hidrogênio na Antártica, que marca novo período de estabilidade e o desenvolvimento do solo superficial ainda ativo atualmente. Novamente as análises isotópicas revelaram índices $\delta^{13}\text{C}$ cada vez mais negativos, com aumento progressivo de espécies do tipo C3 (arbustiva-arbórea), sugerindo vegetação cada vez mais abundante - condizente com o aumento de temperatura e humidade que marcam o período de transição para o Holoceno, até atingir os índices de temperatura e pluviosidade atuais.

Assim, aparentemente, a evolução dos depósitos é marcada por fases de alternância entre a pedogênese e a morfogênese, onde o principal fator controlador parece ter sido a variação na temperatura e a vegetação associada, já que houve a preservação da umidade. É válido ressaltar que essa manutenção de umidade ajuda a explicar tanto a manutenção da vegetação e formação de paleossolos em fases de estabilidade quanto chuvas que contribuem para a formação de movimentos de massa e escoamento superficial, com capacidade de erosão e deposição nas fases de instabilidade. Essa alternância de instabilidade e estabilidade climática pode ser condicionada, entre outros fatores, pelos pulsos de aquecimento Dansgaard-Oeschger (D-O) e resfriamento de Heinrich (H) que ocorreram durante toda a última glaciação, incluindo os EIM.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho tratou da dinâmica morfogênética e pedogenética no Planalto Norte de Santa Catarina no município de Campo Alegre, com o objetivo de realizar o estudo da evolução da paisagem quaternária a partir da descrição de três seções estratigráficas, contribuindo para a compreensão de mecanismos e variáveis ambientais locais, associadas às mudanças climáticas globais ocorridas no período geológico do quaternário.

Por meio deste estudo dos depósitos sedimentares quaternários, ficou demonstrado que esses depósitos preservaram dados sedimentológicos, geomorfológicos e evidências isotópicas importantes para a interpretação de eventos quaternários em áreas de planalto no sul do Brasil.

Os estudos granulométricos, texturais e estatísticos foram associados à identificação faciológica dos pacotes sedimentares para confirmar e detalhar camadas sedimentares e padrões deposicionais previamente levantados para as localidades de Campo Alegre e Jaraguá do Sul, corroborando com padrões existentes no perfil colunar estratigráfico síntese da região apresentado por Oliveira et al. (2008b).

Para o caso estudado, concluiu-se, portanto, que a paisagem possui sua evolução relacionada a fases alternadas de pedogênese e morfogênese, controladas pelas mudanças climáticas associadas aos Estágios Isotópicos Marinheiros 3, 2 e 1. Esses resultados reforçam os dos estudos prévios de estratigrafia e sedimentologia realizados na região, e evidenciam que sistemas atmosféricos locais sustentaram ali certo grau de umidade durante o UMG. A escolha metodológica de se realizar a caracterização textural a partir de dois diagramas distintos mostrou-se acertada, visto que os diagramas analisados paralelamente possibilitaram a distinção de diferentes unidades e identificação de padrões internos em uma mesma unidade.

Os padrões de alternância de camadas areno-cascalhosas e lamosas, estruturas como o paleossolo e o solo atual, além das estruturas maciças ou com granocrescência, proporcionam a identificação dos ambientes de sedimentação. Também, permitem identificar e inferir os tipos de fluxos atuantes ao evidenciar mudanças na energia do sistema.

Os padrões sedimentológicos, os dados isotópicos e de datação obtidos convergem com os padrões climáticos globais, a exemplo dos estágios isotópicos marinhos, confirmando que dados sedimentológicos são bons indicadores para reconstrução da paisagem ao responder de forma satisfatória às mudanças climáticas e paleoambientais.

A análise geocronológica contribuiu para criar uma hipótese de evolução paleoambiental, indicando como as formas da vertente foram se adaptando aos períodos de

maior sedimentação e períodos de estabilidade devido aos eventos climáticos pretéritos e atuais.

Os resultados e a interpretação paleoambiental contribuem para entender de que maneira a paisagem responde às mudanças climáticas e podem servir de apoio às pesquisas e projeções futuras sobre a forma pela qual as paisagens atuais podem ser modificadas ou tenderão a responder às mudanças climáticas no futuro.

REFERÊNCIAS

BEHLING, H. *et al.* Late Quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 203, n. 3-4, p. 277-297, 2004.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: UFSC, 2003.

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R. Considerações a respeito dos terraços, rampas de colúvio e várzeas. **Boletim Paranaense de Geografia**, n. 16 e 17, 1965.

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

BIGARELLA, J. J. Variações climáticas no Quaternário e suas implicações no revestimento florístico do Paraná. **Boletim paranaense de Geografia**, v. 10, n. 15, p. 211-231, 1964.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais**. Vol.1. Florianópolis: UFSC, 1994.

BIONDI, J. C.; BARTOSZECK, M. K; VANZELA, G. A. Controles geológicos e geomorfológicos dos depósitos de caulim da Bacia de Campo Alegre (SC). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n.1, p. 13-20, 2001.

BOGGS JR, S. **Principles of sedimentology and stratigraphy**. Pearson Education, 2012.

BORGHI, L. Visão geral da análise de fácies sedimentares do ponto de vista da arquitetura deposicional. **Boletim do Museu Nacional**, N.S., Geol., Rio de Janeiro, n.º.53, p1-26, 2000.

BOCKMANN, A. M. **Estratigrafia de depósitos de turfeira, na localidade do Campo do Ciama, Parque Estadual da Serra do Tabuleiro - SC**. [TCC] Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Graduação em Geografia Florianópolis/SC, 83p. 2012.

BLUM, M. D.; TÖRNQVIST, T. E. Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward. **Sedimentology**, v. 47, p. 2-48, 2000.

CAMARGO, G. O. **Significado paleoambiental de depósitos de encostas e de preenchimento de canal no município de Lapa (PR) no sul de Segundo Planalto Paranaense**. [Tese] Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia Florianópolis/SC, 297p. 2005.

CAMARGO FILHO, M. **O significado paleoambiental da sequência pedosedimentar em baixa encosta: Um caso dos Paleossolos Monjolo – Lapa – PR**. [Tese] Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2005, 318pp.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 19/12/2016.

CATUNEANU, O. Principles of sequence stratigraphy. Elsevier, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher. 2º ed, 1980.

CITRONI, S. B. **Bacia de Campo Alegre-SC: aspectos petrológicos, estratigráficos e caracterização geotectônica**. 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do estado de Santa Catarina**. Ministério de Minas e Energia – Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Brasília, 2015. Escala 1:500.000.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306pp.

FERREIRA, M. S. S. **Estratigrafia de depósitos quaternários em cabeceira de vale (Cerro do Touro, Campo Alegre-SC):** Aplicação da Análise Textural e Micromorfológica. [Dissertação] Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2009 220pp.

FERREIRA-JÚNIOR, P. D.; CASTRO, P. T. A. Associação vertical de fácies e análise de elementos arquiteturais: concepções concorrentes e complementares na caracterização de ambientes aluviais. **Revista Eletrônica de Ciências da Terra** (Geociences On-line Journal), v. 1, n. 1, p. 1-35, 2001.

FETT JÚNIOR, N. **Aspectos morfológicos, estratigráficos e sedimentológicos de depósitos quaternários no curso médio do Rio Pardo (município de Candelária, RS)** [Dissertação] Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2005 150pp.

FETT JÚNIOR, N. **Aloestratigrafia e evolução do relevo do Pleistoceno Médio ao Holoceno no médio curso do Rio Pardo, região centro-leste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil** [Tese] Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2011 467pp.

FLEMMING, B. W. A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis ternary diagrams. **Continental Shelf Research**, n 20, p. 1125-1137, 2000.

FOLK, R. L. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rocks. **Journal of Geology**, n. 62, p. 344-359, 1954.

FRANCISCO J.A.S; LIMA, A.A.; ARÇARI, D.P. Datação por Carbono – 14. **Gestão Em Foco**. UNISEPE – União das Instituições de Serviços, Ensino e Pesquisa. - Amparo: UNISEPE, ISSN on line: 2175-733X, 2011. Disponível em: http://www.unifia.edu.br/revista_eletronica/revistas/gestao_foco/artigos/ano2011/gestao_foco_Carbono14.pdf. Acessado 18/01/2018

FUJITA, R. H. **Geomorfologia e evolução quaternária da Calha do Alto Rio Paraná no segmento livre de barramentos, entre os reservatórios de Porto Primavera e Itaipu**. [Tese] Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente. Rio Claro, 2014. 119pp.

GIANNINI; P. C. F.; RICCOMINI, C. Sedimentos e processos sedimentares. In: TEIXEIRA, Wilson *et al.* org. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568p. il. pp. 140-166.

GHIBAUDO, G. Subaqueous sediment gravity flow deposits: practical criteria for their field description and classification. **Sedimentology**, v. 39, n. 3, p. 423-454, 1992.

GUEDES, C. C. F *et al.* Datação por luminescência opticamente estimulada: princípios e aplicabilidade nos depósitos sedimentares brasileiros. In: **XIII Congresso da ABEQUA, Armação dos Búzios/RJ**, 5p. 2011.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico geomorfológico**. IBGE, 7. ed. , 3 impressão, Rio de Janeiro, 1989.

GUERRA, S.; PAISANI, J. C. Abrangência espacial e temporal da morfogênese e pedogênese no Planalto de Palmas (PR) e Água Doce (SC): subsídio ao estudo da evolução da paisagem quaternária. **Geociências** (São Paulo. Online), v. 32, p. 501-515, 2013.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavaofio. **Editora Edgard Bliicher Ltda., S § . o Paulo, SP, 194p**, 1983.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manual Técnico de Pedologia 2.ed. Rio de Janeiro, 2007. (Manuais Técnicos em Geociências, 4).

LEPSCH, I. T. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2010, 216pp.

LIMA, G. L. **Caracterização pedoestratigráfica de depósitos de encosta e de vale, localidade de Cerro de Touro, Campo Alegre, Estado de Santa Catarina:** [dissertação]

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia Florianópolis/SC, 123p. 2005.

LIMA, G. L. **Estratigrafia e palinologia e depósitos turfosos e aluviocolúviais quaternários no parque estadual da Serra do Tabuleiro e planalto de São Bento do Sul, Santa Catarina.** [Tese] Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia Florianópolis/SC, 251p. 2010.

MELCHIADES, F. G.; MACHADO, R.; BOSCHI, A. O. - Caracterização de uma jazida de caulim de Campo Alegre (SC) em **Cerâmica Industrial**, 7 (6) Novembro/Dezembro, 2002.

MELO, J. S. **Dinâmica geomorfológica do ambiente de encosta em Belo Jardim – PE: Uma análise a abordagem a partir da perspectiva morfoestratigráfica aplicada aos depósitos colúviais.** [Dissertação] Universidade Federal de Pernambuco – CFCH - Geografia, Recife, 2008.

MIALL, A. D. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. **Earth-Science Reviews**, v. 22, n. 4, p. 261-308, 1985.

MIALL, A. D. **The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology.** Springer, 1996.

MOURA, J. R. da S. Geomorfologia do Quaternário. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

MOURA, J. R. S.; SILVA, T. M. Complexo de rampas de colúvio. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia do Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

NAU, D R. **Estratigrafia de Rampa Colúvio-aluvial em Cabeceira de Vale Turfosa, Campo do Ciama, Parque Estadual da Serra do Tabuleiro – SC.** 2010. 1 v. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Bacharelado em Geografia, Departamento de Geociências, UFSC, Florianópolis, 2010.

NICHOLS, G. Sedimentology and stratigraphy. John Wiley & Sons, 2ªed. 2009.

OLIVEIRA, M. A. T. et al. Aplicação do diagrama de Flemming à classificação de coberturas quaternárias em cabeceiras de vale: Campo Alegre (SC). In: **Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário.** 2003.

OLIVEIRA, M. A. T.; et al. Caracterização paleohidrológica de estruturas sedimentares quaternárias através de análises macroscópicas e microscópicas: do registro sedimentar local aos indícios de mudanças globais. **Pesquisas em Geociências**, v. 28, n.2, p. 183-195, 2001.

OLIVEIRA, M. A. T.; PESSENDA, L. C. R.; BEHLING, H.; LIMA, G. L.; FERREIRA, G. M. S. S. Registro de mudanças ambientais pleistocênicas e holocênicas em depósitos de cabeceira de vale: Campo Alegre, planalto norte catarinense (SC) em **Revista Brasileira de Geociências.** V. 36 (3), 2006. Arquivo digital disponível on-line no site www.sbgeo.org.br

OLIVEIRA, M. A. T. *et al.* Upper Pleistocene to Holocene peatland evolution in Southern Brazilian highlands as depicted by radar stratigraphy, sedimentology and palynology. **Quaternary research**, v. 77, n. 3, p. 397-407, 2012.

OLIVEIRA, M. A. T.; BEHLING, H.; PESSENDA, L.C.R. Late-Pleistocene and mid-Holocene environmental changes in highland valley head areas of Santa Catarina state, Southern Brazil in **Journal of South American Earth Sciences** 26 (2008) 55–67. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jsames>>

OLIVEIRA, M. A. T. *et al.* Stratigraphy of near-valley head quaternary deposits and evidence of climate-driven slope-channel processes in southern Brazilian highlands. **Catena**, v. 75, n. 1, p. 77-92, 2008.

OLIVEIRA, M. A. T. *et al.* Registro de mudanças ambientais pleistocênicas e holocênicas em depósitos de cabeceira de vale: Campo Alegre, Planalto Norte catarinense (SC). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 3, p. 474-487, 2006.

OLIVEIRA, M. A. T.; LIMA G. L. **Classificação de sedimentos quaternários em cabeceiras de vale através da aplicação do diagrama de Fleming: município de Campo Alegre, norte de Santa Catarina.** Geociências, São Paulo: Unesp, 2004, v. 23, n. ½, pp. 67-78.

PAISANI, J. C.; OLIVEIRA, M. A. T. **Identificação de paleossolos em áreas de cabeceira de drenagem: o caso da Colônia Quero-Quero, Palmeira (PR).** Geosul (UFSC), Florianópolis, v. 14, n.27, pp. 470-475, 1998.

PAISANI, J. C. Sedimentologia e estratigrafia de rampa arenosa – Praia Mole (SC) e sua Correlação com eventos paleoclimáticos globais. **Geociências** (Online), v.33, pp. 87-99, 2006.

PAISANI, J. C. *et al.* Superfícies aplainadas em zona morfoclimática subtropical úmida no Planalto Basáltico da Bacia do Paraná (SW Paraná/ NW Santa Catarina): Primeira Aproximação. **Geociências**, n.4, v.27. UNESP, 2008, pp.541-553.

PAISANI, J. C.; GEREMIA, F. Evolução de encostas no Planalto Basáltico com base na análise de depósitos de colúvio - médio vale do rio Marrecas, SW do Paraná. **Geociências** (São Paulo. Online), v. 29, p. 321-334, 2010.

PAISANI, J. C.; PONTELLI, M. E. Grau de evolução da cobertura pedológica de área fonte de depósitos coluviais a partir da análise da mineralogia de argilas–planalto basáltico–sw PR. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 27, n. 1. Esp, p. 167-180, 2010.

PAISANI, J. C.; PONTELLI, M. E.; CALEGARI, M. R. Evolução de bacias de baixa ordem nos 41.000 anos ap brasil meridional. **Mercator** (Fortaleza. Online), v. 11, p. 131-148, 2012.

PELUSO JÚNIOR, V. A. O relevo do território catarinense. **Geosul**, v. 1, n. 2, p. 7-69, 1986.

RICCOMINI, C.; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F. Rios e Processos Aluviais. In: TEIXEIRA, Wilson *et al.* org. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568p. il. pp. 140-166.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. **História ecológica da Terra**. Edgard Blücher, 1994.

SANTA CATARINA. **Atlas de Santa Catarina**. Aerofoto Cruzeiro. Florianópolis: GAPLAN, 1986.

SANTOS JUNIOR, J. B. C. **Estratigrafia de georadar (GPR) e evolução de rampa Coluvial durante o último máximo glacial (UMG) – Cerro do Touro, Jaraguá do Sul-SC** [TCC] Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Geociências, Curso de Graduação em Geografia, Florianópolis, 2019.

SELLEY, R.C. **Applied Sedimentology**. 1ª ed. London, Academic. Press Limited. 446p. 1988.

STEVAUX, J. C. **O Rio Paraná: geomorfogênese, sedimentação e evolução quaternária do seu curso superior (região de Porto Rico, PR)** [TESE] Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar. São Paulo, 1994.

SU, Z.; INGERSOLL, A. P.; HE, F. On the abruptness of Bølling–Allerød warming. **Journal of Climate**, v. 29, n. 13, p. 4965-4975, 2016.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blucher LTDA., 1973.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais (passado + presente = futuro?)**. São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 1999.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. Oficina de Textos: São Paulo, 2010.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Brasil, 1998.

THOMAS, M. F.; NOTT, J.; PRICE, D. M. Late Quaternary stream sedimentation in the humid tropics: a review with new data from NE Queensland, Australia. **Geomorphology**, n. 39, p. 53-6, 2001.

WAICHEL, B. L.; LIMA, E. F.; SOMMER, C. A. The alkaline post-collisional volcanism of the Campo Alegre Basin, southern Brazil: petrogenetic aspects. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 3, p. 393-396, 2000

WAICHEL, B. L. **Caracterização Geoquímica das Rochas Vulcânicas da Bacia de Campo Alegre, SC**. Porto Alegre, 114p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

WALKER, R. G. Facies modeling and sequence stratigraphy: perspective. **Journal of Sedimentary Research**, v. 60, n. 5, 1990.

Apêndice 01: Curvas de nível na área de estudo.

