



**NOVAS CHAVES DE CORRELAÇÃO PARA AS UNIDADES
TRIÁSSICAS DO GRÁBEN ARROIO MOIRÃO: CARACTERIZAÇÃO
DE SISMITOS E APLICAÇÃO NA ESTRATIGRAFIA**

Porto Alegre, 2015.

Guilherme Nunes de Oliveira Borsa

**NOVAS CHAVES DE CORRELAÇÃO PARA AS UNIDADES
TRIÁSSICAS DO GRÁBEN ARROIO MOIRÃO: CARACTERIZAÇÃO
DE SISMITOS E APLICAÇÃO NA ESTRATIGRAFIA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadores: Prof. Dr. Rualdo Menegat
Profa. Dra. Ana Maria Mizusaki

Porto Alegre, 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto
Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias
Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Borsa, Guilherme Nunes de Oliveira

Novas chaves de correlação para as unidades triássicas do Gráben Arroio Moirão: caracterização de sismitos e aplicação na estratigrafia. / Guilherme Nunes de Oliveira Borsa. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015. [137 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2015.

Orientador(es):Rualdo Menegat

Coorientador(es):Ana Maria Mizusaki

1. Sismo 2. Inundito 3. Bacia do Paraná 4. Estruturas de deformação em sedimento I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Veleida Ana Blank

CRB 10/571

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado *Novas chaves de correlação para as unidades triássicas do gráben Arroio Moirão: caracterização de sismitos e aplicação na estratigrafia*, de autoria de por Guilherme Nunes de Oliveira Borsa, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Dr. Anderson José Maraschin

Prof. Dr. André Weissheimer de Borba

Profa. Dra. Karin Goldberg

Dedico este trabalho à sociedade brasileira
cujo desconhecimento, mítica e ignorância
acerca da ciência precisa ser iluminado.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo ensino público, gratuito e de qualidade que presta enorme serviço à sociedade brasileira. Agradeço também a Capes e ao CNPq pela bolsa de iniciação científica e oportunidades de pesquisa que abriram os horizontes da ciência para mim. Aos meus orientadores Prof. Dr. Rualdo Menegat e Profa. Dra. Ana Maria Mizusaki pela oportunidade e confiança que depositaram em mim e pelo espelho que são para mim como geólogos. Ao ilustríssimo Prof. Dr. **Luis Alberto D'ávila Fernandes** cuja sua maneira singular de pensar, as discussões intermináveis por email e os incentivos me fizeram ver a geologia de outra maneira.

A todos os professores que me ensinaram a geologia com a mesma dedicação que os pais ensinam um filho. Ao Instituto de Geociências que, na pessoa do Claudinho, homenageio todos os funcionários.

Em relação a todos os atos de iniciativa e criação existe uma verdade fundamental cujo desconhecimento mata inúmeras ideias esplêndidas: a de que no momento em que nos comprometemos definitivamente, a providência move-se também. Toda uma corrente de acontecimentos brota da decisão, fazendo surgir a nosso favor toda a sorte de incidentes e encontros e assistência material que nenhum homem sonharia que viesse em sua direção. O que quer que você possa fazer ou sonhe que possa, faça. Coragem contém genialidade, poder e magia. Comece agora.

The Scottish Himalayan Expedition,
William Hutchinson Murray [1913-1996].

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo elaborar um arcabouço estratigráfico detalhado para as unidades triássicas reliquias da Bacia do Parana no Gráben Arroio Moirão, localizado na porção centro-sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense. A estratigrafia de sequências introduziu novos métodos e teorias de correlação, entre eles o reconhecimento de superfícies de erosão e afogamento como chaves de correlação. Tais superfícies, por serem cronoestratigraficamente significativas, permitem delimitar sequências deposicionais do ponto de vista tanto estratigráfico quanto temporal. Dessa forma, essas chaves de correlação, juntamente com o estudo de sismitos, auxiliaram na compreensão cronogeodinâmica dos depósitos do Gráben Arroio Moirão. Sismitos são estruturas de deformação em sedimento inconsolidado (EDSI) relacionadas ao comportamento reológico do sedimento à passagem de um sismo. Há uma variedade de associações de estruturas que podem estar relacionadas a um evento sísmico, sendo no Gráben Arroio Moirão encontrados homogenitos, diques clásticos, superfícies de sobrecarga, estruturas em flama e estruturas em pilar. Dessa maneira, as EDSI marcam horizontes deformados sindeposicionalmente. Os depósitos do Gráben Arroio Moirão foram descritos como dispersões de fluxos de baixa densidade, representados por sucessões granodecrescentes ascendentes, de geometria tabularóide, semelhantes sistemas de inunditos de água rasa. Foram definidos o empilhamento de até cinco ciclos deposicionais, limitadas na base e topo por superfícies erosivas e com nítido afogamento para o topo. Foram elaborados edifícios deformacionais para ilustrar a variação das EDSI ao longo de perfis colunares, e os homogenitos foram analisados por difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura para reconhecer suas assinaturas microscópicas. Este trabalho contribui para um avanço na compreensão dos mecanismos controladores da sedimentação no Gráben Moirão, elaborando um arcabouço estratigráfico composto por cinco Ciclos Depositionais, resultado da variação do nível de base local, e na dinâmica dos modelos sedimentares do Gráben Arroio Moirão.

Palavras-Chave: sismo, inunditos, Bacia do Paraná, estrutura de deformação em sedimento inconsolidado, EDSI.

ABSTRACT

This work intends to elaborate a high resolution stratigraphic framework for the Triassic Paraná Basin's fragments that outcrop on Gráben Arroio Moirão, located in southeast-center of Sul-Rio-Grandense Shield. The sequence stratigraphy introduced new theories and technics for stratigraphic correlation, amongst them the reconnaissance of erosional surfaces as key to stablish stratigraphic framework. Such surfaces, which are chronostratigraphically significant, allow the temporal and stratigraphic outline of depositional sequences. Likewise, these key correlational surfaces and seismites help to understand the chrono-geodynamics of Gráben Arroio Moirão deposits. Seismites are seismic induced soft sediment deformation structures (SSDS) attributed to different rheological behavior of sediments. A seismic depositional timespan can be registered by an enormous variety of structures and, in Gráben Arroio Moirão, can be found homogenites, clastic dykes, overload surfaces, flame structure and pillar structure. Therefore, the registered SSDS scribe sindepositional horizons. The Gráben Arroio Moirão deposits are described as low density flows, represented by fining upwards successions, with tabular geometry, much alike thin bedded turbidites (TBT). At least four fining upwards depositional cycles are defined, with base and top erosional surfaces, and flood trending towards the top. Vertical deformational buildings are presented to exemplify the variation of SSDS along the columnar sections. The homogenites are also analyzed by X ray diffraction and electron microscope scanning aiming to recognize its microscopic signature. This work contributes for advances in chrono-geodynamic mechanisms of sedimentation in Gráben Arroio Moirão, putting together a model for the stratigraphic framework that recongnizes five depositional cycles wich result from base level variation.

Key-Words: Seismites, sheetflood, Paraná Basin, Soft Sediment Deformation Structure, SSDS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma projetual das etapas e cronograma de execução.	18
Figura 2 – Mapa de localização das unidades gonduânicas, entre elas o Gráben Arroio Moirão (Extraído de Ketzer, 1997).	19
Figura 3 – Carta cronoestratigráfica da Bacia do Paraná (extraída de Milani et al., 2007).	21
Figura 4 – Carta Cronoestratigráfica das unidades triássicas do Rio Grande do Sul. Adaptado de Zerfass (2003).	23
Figura 5 – Modelo experimental de fluxo de baixa densidade (modificado de Postma, 2014)	24
Figura 6 – Sucessão de fácies de depósitos efêmeros do tipo inundito (Lima, 2014).	25
Figura 7 – Modelo de fluxos de hiperpicnais de baixa densidade (Zavala <i>et al.</i> 2011, modificado por Borsa 2015).	25
Figura 8 - Edifício deformacional dos sismitos classificados pela atuação de liquefação nos estratos e relacionados à escala de Mercalli (Rodríguez-Pascua, 2000, modificado por Borsa, 2015).	34
Figura 9 – Microscópio óptico modelo Laborlux 12 POL S da marca Leitz.	36
Figura 10 – Difrátômetro Siemens–Bruker-AXS D5000.	39
Figura 11 – Detalhe da preparação das amostras. A) Desagregação das amostras em gral de ágata; B) Amostras prontas para análise (Dados da Pesquisa, 2015).	39
Figura 12 – Estação de MEV, modelo Jeol 6610-LV- EDS.	41
Figura 13 – Mapa Geológico do Gráben Arroio Moirão. Neste mapa, as unidades triássicas aparecem como sendo pertencentes à Formação Sanga do Cabral (CPRM, 2009 modificado por Borsa, 2015).	43
Figura 14 – Mapa de Lineamento do Gráben Arroio Moirão (Dados da Pesquisa, 2015).	44
Figura 15 - Mapa Geológico do Gráben Arroio Moirão e localização dos perfis colunares. (Dados da Pesquisa, 2015, para as unidades sedimentares; Compilação CPRM 2009, para unidades do embasamento).	45
Figura 16 – Chave para nomenclatura de fácies (Dados da Pesquisa, 2015).	46
Figura 17 – Padrões de sucessões de fácies granodecrescentes ascendentes do Gráben Arroio Moirão. Sendo: I, II e III proximais; IV e V medianas; e VI distal (Dados da Pesquisa, 2015).	50
Figura 18 – EDSI registradas nos perfis PGAM1308 e PGAM1305. (Dados da Pesquisa, 2015).	52
Figura 19 – EDSI registradas nos perfis PGAM1308 e PGAM12012.	53
Figura 20 – A) Deslocamento no acamamento PGM12012; B) Duas famílias de fraturas sendo: vermelha persistente em ambas camadas e amarelo exclusiva da camada sotoposta (Dados da Pesquisa, 2015).	53
Figura 21 – Estrutura em pilar no perfil PGAM12012 (Dados da Pesquisa, 2015).	54
Figura 22 – A) Camada homogeneizada por possível ação de sismo no perfil PGAM12012; B) Camada homogeneizada no Perfil PGAM12010 (Dados da Pesquisa, 2015).	54
Figura 23 – Edifício deformacional registrado no perfil PGAM12010.	56
Figura 24 – Edifício deformacional registrado no perfil PGAM1308. (Dados da Pesquisa, 2015).	57
Figura 25 – Edifício deformacional registrado no perfil PGAM12012. (Dados da Pesquisa, 2015).	58
Figura 26 – Edifício deformacional registrado no perfil PGAM14012. (Dados da Pesquisa, 2015).	59
Figura 27 – Texturas macroscópicas e microscópicas dos diques clásticos e encaixantes identificados no Perfil PGAM 1309. (Dados da Pesquisa, 2015.)	61

Figura 28 – Texturas macroscópicas e microscópicas dos diques clásticos e encaixantes identificados no Perfil PGAM 1305. (Dados da Pesquisa, 2015).	62
Figura 29 – Imagens micrográficas obtidas por MEV de homogenito identificado em PGAM12010. (Dados da pesquisa, 2015.)	63
Figura 30 – Imagens micrográficas obtidas por MEV de homogenito identificado em PGAM 12010.	64
Figura 31 – Imagens micrográficas obtidas por MEV de homogenito identificado em PGAM12012.	65
Figura 32 – Imagens micrográficas obtidas por MEV de homogenito identificado em PGAM12012.	66
Figura 33 – Tipologias de superfícies chaves de correlação. (Dados da Pesquisa, 2015.)	68
Figura 34 – Localização de perfis colunares da seção ao longo da BR 392 no Gráben Arroio Moirão. (Dados da Pesquisa, 2015.)	69
Figura 35 - Localização de perfis colunares da seção do setor SW do Gráben Arroio Moirão. (Dados da pesquisa, 2015.)	69
Figura 36 – Detalhe dos níveis seixosos de quartzo que ocorrem (A) no Perfil PGAM14012 da BR 392; e (B) no Perfil PGAM13010, setor SW. (Dados da Pesquisa, 2015.)	71
Figura 37 – Arenito fino com grande quantidade de mica detrítica. (Dados da Pesquisa, 2015.)	72
Figura 38 – Correlação estratigráfica dos perfis colunares da seção da BR 392. (Dados da Pesquisa, 2015.)	74
Figura 39 – Arcabouço estratigráfico de alta resolução da seção da BR 392 das unidades triássicas do GAM. (Dados da Pesquisa, 2015.)	75
Figura 40 – Correlação estratigráfica dos perfis colunares da seção SW. (Dados da Pesquisa, 2015.)	76
Figura 41 – Arcabouço estratigráfico de alta resolução do setor SW do GAM. (Dados da Pesquisa, 2015.)	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fácies, processos deposicionais e formas de leito (Dados da Pesquisa, 2015).

48

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1.	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	15
1.1.1.	Hipóteses	15
1.2.	JUSTIFICATIVA.....	16
1.3.	OBJETIVOS E METAS.....	16
1.3.1.	Objetivos específicos:	17
1.4.	TÉCNICAS DE SOLUÇÃO E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO.....	17
1.5.	FLUXOGRAMA PROJETUAL.....	18
2.	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
3.	CONTEXTO GEOLÓGICO E ESTRATIGRÁFICO	19
4.	MÉTODOS E TESTES	26
4.1.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
4.2.	OBTENÇÃO DE DADOS DE CAMPO	26
4.3.	ANÁLISE DE FÁCIES.....	27
4.4.	ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS.....	29
4.5.	ESTRUTURAS DE DEFORMAÇÃO EM SEDIMENTO INCONSOLIDADO E SISMITOS	30
4.6.	PETROGRAFIA EM LÂMINA DELGADA	35
4.7.	DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	36
4.8.	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	40
5.	RESULTADOS.....	42
5.1.	LINEAMENTOS.....	42
5.2.	ANÁLISE DE FÁCIES, ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES E MODELOS DEPOSICIONAIS	45
5.3.	ESTRUTURAS DE DEFORMAÇÃO EM SEDIMENTO INCONSOLIDADO.....	51
5.3.1.	Diques Clásticos	51
5.3.2.	Estruturas em flama.....	51
5.3.3.	Superfícies de sobrecarga.....	52
5.3.4.	Estruturas em pilar.....	54
5.3.5.	Homogenitos	54
5.3.6.	Edifício deformacional de EDSI.....	55
5.4.	CARACTERIZAÇÃO MICROSCÓPICA DE DIQUES CLÁSTICOS	60
5.6.	CARACTERIZAÇÃO ANALÍTICA DE HOMOGENITOS.	63
5.7.	ARCABOUÇO ESTRATIGRÁFICO.....	67
5.7.1.	Superfícies chave de correlação	67
5.7.2.	Seção de correlação ao longo da BR 392: Ciclos Depositionais I e II.....	70
5.7.3.	Seção de correlação do setor SW: Ciclos Depositionais I a V	71
6.	DISCUSSÕES	78
6.1.1.	Sucessões de fácies e modelos deposicionais.....	79
6.1.2.	Sismitos	80
6.1.3.	Arcabouço Estratigráfico.....	82
7.	CONCLUSÕES.....	84
8.	REFERÊNCIAS	86
	APÊNDICE: PERFIS COLUNARES.....	91

1. INTRODUÇÃO

A tectônica e a sedimentação de unidades triássicas da bacia do Paraná têm sido um tema muito importante para o entendimento das sequências deposicionais desse período. Em fragmentos preservados sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG), há a possibilidade de encontrarem-se informações concentradas sobre fases tectônicas e sedimentação, justo por ser a região de borda da bacia do Paraná. Estudos como o de Ketzer (1997) avançaram entendimentos sobre a cronoestratigrafia e preservação desses relictos sobre o ESRG. Contudo, embora esses estudos já realizados no último período, ainda há necessidade de um estudo pormenorizado de fácies, sucessões e arquiteturas deposicionais, com vistas a encontrar chaves de correlação mais precisas que auxiliem a entender a evolução dos sistemas sedimentares e como estes se sucedem estratigraficamente no tempo e espaço.

O foco de estudo desta monografia são as unidades triássicas do Gráben Arroio Moirão (GAM), região de Canguçu, no Rio Grande do Sul. Essas unidades não se encaixam nos modelos deposicionais convencionais, baseados na análise de sistemas flúvio-deltaicos de sedimentação dita normal. A compreensão dos depósitos triássicos dessa região torna-se mais clara quando interpretada à luz de uma sedimentação combinada com a atividade tectônica, onde predominam sistemas aluviais/deltaicos/lacustres efêmeros. Novos dados de campo (Lima, 2014), sugerem que os depósitos localizados no Gráben Arroio Moirão apresentam tanto feições de água rasa (pacotes pouco espessos e lateralmente extensos), com sinais de exposição subaérea (rizomas), quanto fácies típicas de *sheetflood* e canais entrelaçados de planície.

Tomando a tectônica como um dos aspectos controladores da sedimentação, são possíveis novas interpretações para as unidades sedimentares do Gráben Arroio Moirão. A partir da identificação de estruturas de deformação em sedimentos inconsolidados (EDSI, em inglês *SSDS - soft sediment deformation structures*) como diques clásticos, camadas homogenizadas, superfícies de carga, estruturas em pilar e estruturas em flama é possível interpretar muitos dos ciclos sedimentares como

deformadas sindeposicionalmente, incluindo processos desencadeados sismicamente, seguindo os critérios definidos por Moretti & Van Loon (2014).

Dessa forma, as camadas, ou pacotes de camadas, sob essa influência são definidos como sismitos (*sensu* Seilacher 1969, 1984) e representariam novas chaves de correlação facilitando o entendimento das sucessões verticais, laterais e temporais dos depósitos do Gráben Arroio Moirão.

1.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Este trabalho propõe-se a avançar o conhecimento sobre os modelos deposicionais das unidades triássicas do Gráben Arroio Moirão, região de Canguçu (RS). Para tanto, estabelecer-se-ão novas abordagens quanto às interações entre tectônica e modelos deposicionais, bem como às estruturas de deformação em sedimento inconsolidado (EDSI) e sua interpretação como sismitos. Além disso, investigar-se-á o uso dessas informações como chaves para a correlação estratigráfica dessas unidades.

1.1.1. Hipóteses

Tendo por base premissas como: a) Por serem relictos preservados sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense (ESRG), as unidades triássicas do Gráben Arroio Moirão concentram informações tectônicas e sedimentares da Bacia do Paraná; b) A atividade tectônica da borda da bacia possibilita a interpretação de modelos deposicionais relacionados à deposição sinsísmica; c) A definição de camadas, ou pacote de camadas, como sismitos permite a correlação lateral e temporal dos diversos eventos sedimentares do Gráben Arroio Moirão; pode-se postular as seguintes hipóteses sobre as sequências deposicionais do GAM:

- Reúnem informações concentradas sobre a relação entre a tectônica e deposição, as quais nem sempre podem ser estabelecidas nas sequências contíguas da bacia do Paraná;
- Algumas sequências registraram a atividade sinsísmica em termos de EDSI.
- Sequências com registro de atividade sinsísmica do tipo EDSI são unidades chave de correlação estratigráfica.

1.2. JUSTIFICATIVA

Os fragmentos isolados da Bacia do Paraná sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense carecem de posicionamento estratigráfico e correlação precisa em relação as unidades contíguas dessa bacia. Um arcabouço estratigráfico de alta resolução, na forma de um estudo pormenorizado de fácies, sucessões e arquiteturas deposicionais, é um instrumento adequado para estabelecer correlações mais acuradas. Em consequência, ao entender-se melhor certos eventos que são bem marcados estratigraficamente em regiões de borda da bacia pode-se esclarecer situações que em áreas contíguas da bacia não são muito expressivas.

Nesse contexto, insere-se o estudo de sismitos. Por um lado, ao produzirem deformações em sedimentos inconsolidados, eles podem ser mais bem registrados em regiões de borda de bacia justamente onde se concentra atividade tectônica. Por outro, por marcarem cronoestratigraficamente uma sequência deposicional, também podem ser úteis como camadas guia para correlação.

Além disso, a caracterização de sismitos e EDSI torna-se útil para ajudar nas reconstruções paleotectônicas, que melhoram o entendimento tectono-sedimentar em bacias (Rodriguez-Pascua, 2000). No caso da deposição triássica da Bacia do Paraná, sabe-se que há uma estreita relação entre a tectônica extensional e a sedimentação. Porém, até o momento, não foram realizados estudos pormenorizados que mostrem claramente os efeitos da tectônica sindeposicional.

1.3. OBJETIVOS E METAS

O objetivo geral deste trabalho é a elaboração de um arcabouço estratigráfico de alta resolução para as unidades do Gráben Arroio Moirão, identificando superfícies chaves de correlação, utilizando estruturas de deformação em sedimentos inconsolidados e sua aplicação na identificação e proposição de modelos de formação de sismitos para a área do Gráben Arroio Moirão.

1.3.1. Objetivos específicos:

- Elaborar mapa geológico, perfis colunares e suas correlações, catálogo de fácies e fotografias da área de estudo.
- Definir as estruturas diagnósticas que identificam sismitos nos depósitos do Gráben Arroio Moirão.
- Identificar unidades e eventos, como os sismitos, bem como superfícies erosivas e de inundação chaves para a correlação das unidades do GAM.
- Reconstrução de feições deformacionais de modo a estabelecer o edifício deformacional produzido por sismos.
- Montar um arcabouço estratigráfico utilizando o conceito de sequência deposicional para os depósitos do Gráben Arroio Moirão.

1.4. TÉCNICAS DE SOLUÇÃO E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO

Tendo em vista os objetivos deste trabalho, os métodos aplicados e a estratégia de ação mais amplos e fundamentais precedem aqueles mais específicos e refinados.

Para testar as hipóteses do presente trabalho, utilizar-se-ão as seguintes técnicas e metodologias, todas elas embasadas em ampla pesquisa bibliográfica:

- a) Mapeamento sistemático da área de estudo, de acordo com metodologias de Lisle *et al.* (2014), Coe (2010) e Tucker (2014);
- b) Levantamento de perfis colunares e documentação dos afloramentos com base na metodologia de Selley (2000), Walker (1992); Dalrymple (2010).
- c) *Modus operandi* de análise de fácies segundo metodologias de Walker (1992) e Dalrymple (2010) para identificar fácies e suas sucessões e associações;
- d) Identificação de modelos deposicionais de acordo com técnicas de Miall (1990), Seilacher e Einsele (2000);
- e) Correlação e definição do arcabouço estratigráfico com base em modelos de Catuenanu (2006);
- f) Identificação de EDSI com base em Moretti e Van Loon (2014);
- g) Difração de raios X;
- h) Microscopia Eletrônica de Varredura;
- i) Petrografia em lâmina delgada.

Os dados obtidos, por sua vez, serão interpretados em termos de modelos sedimentares, elaboração de arcabouço estratigráfico e definição do edifício de EDSI que caracterizam o sismo.

1.5. FLUXOGRAMA PROJETUAL

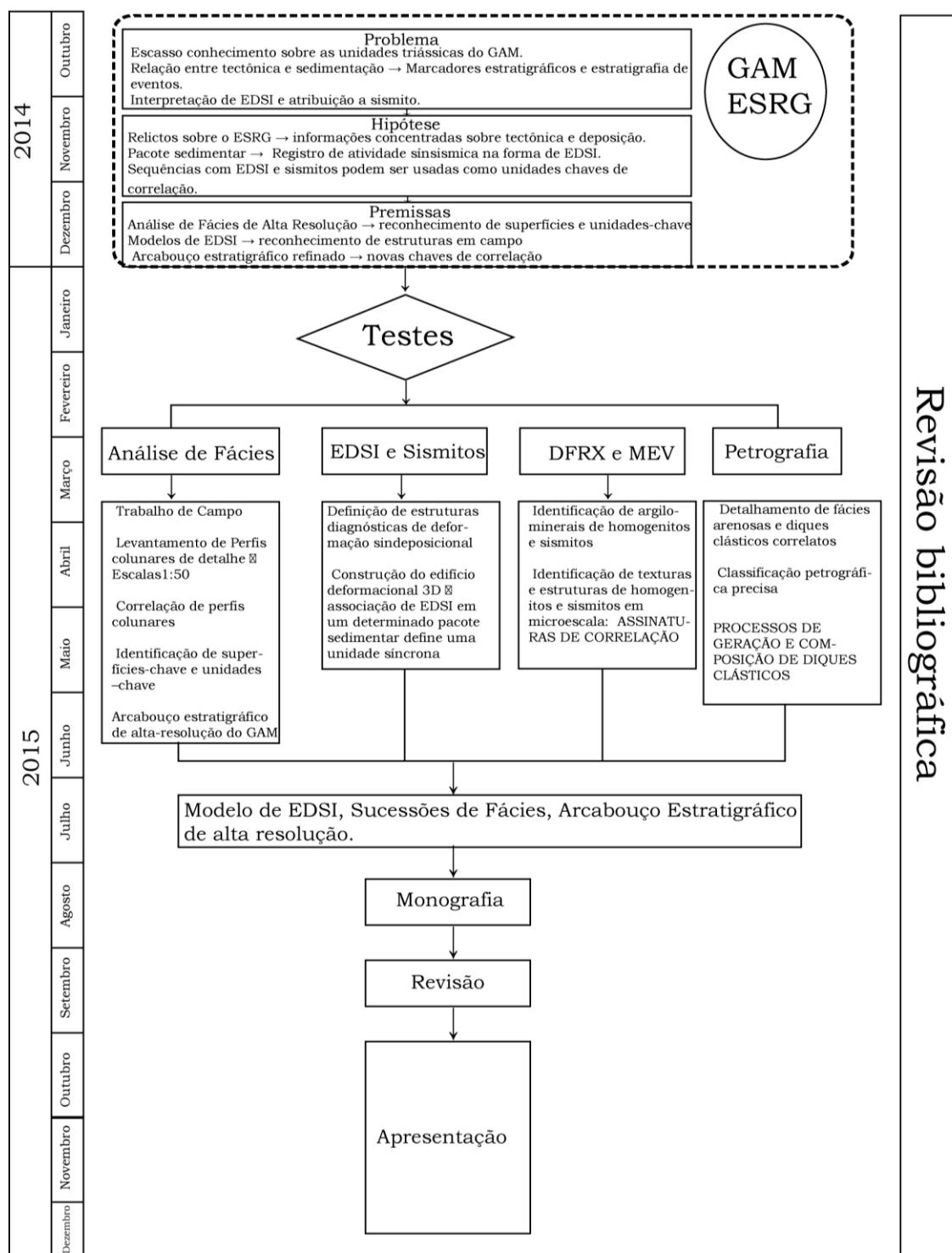


Figura 1 – Fluxograma projetual das etapas e cronograma de execução.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Gráben Arroio Moirão localiza-se nos municípios de Santana da Boa Vista, Piratini, Pinheiro Machado e Canguçu, RS, precisamente entre os paralelos $30^{\circ}45''$ e $31^{\circ}15''$ S e os meridianos $52^{\circ}45''$ e $53^{\circ}15''$ W, distando aproximadamente 275 km de Porto Alegre. Seu principal acesso é a BR-392 que o corta na direção NW-SE. Sua forma bipartida divide o GAM em dois setores; um NW mais perto de Santa da Boa Vista tendo a Serra das Encantadas como limite e, um setor SE mais próximo a Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu (ZCDC).

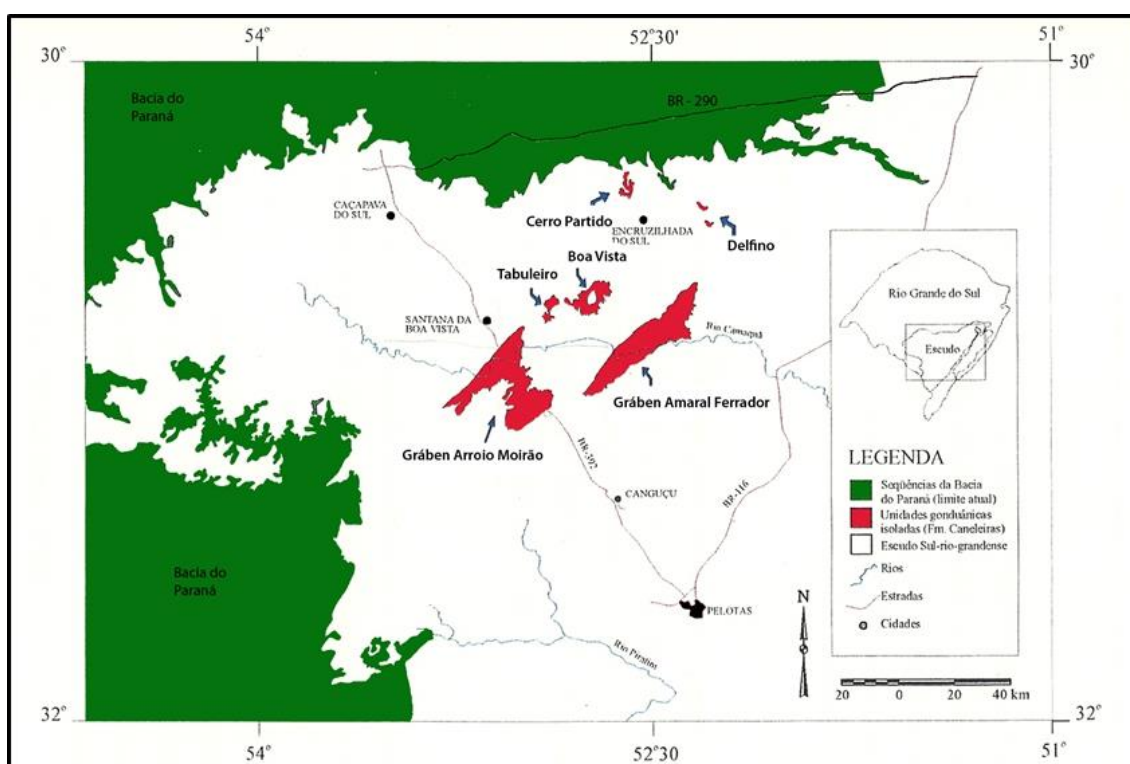


Figura 2 – Mapa de localização das unidades gonduânicas, entre elas o Gráben Arroio Moirão (Extraído de Ketzer, 1997).

3. CONTEXTO GEOLÓGICO E ESTRATIGRÁFICO

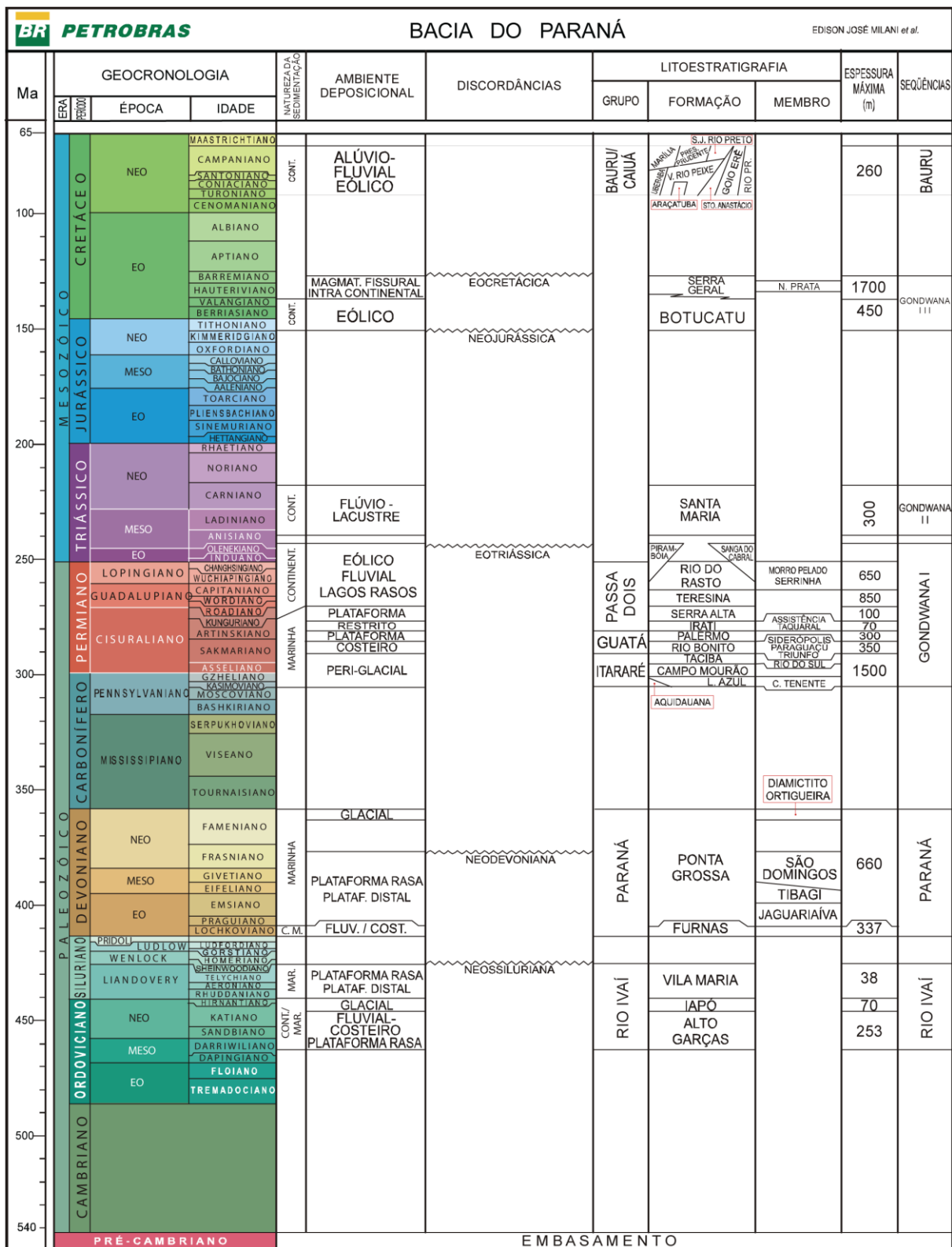
A Bacia do Paraná, uma das maiores bacias intracratônicas do continente sul-americano, inclui porções territoriais do centro-sul brasileiro, Paraguai, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, totalizando uma área que se aproxima de 1,5 milhão de quilômetros quadrados. Possui forma oblonga com eixo maior N-S, sendo seu

contorno atual definido por limites erosivos relacionados em grande parte à história geotectônica mesocenozoica do continente.

Sua história geológica gonduânica está registrada em mais de 7 mil metros de pacotes vulcano-sedimentares. Segundo Milani (1997), são identificáveis seis supersequências, separadas por discordâncias de extensão interregional (*sensu* Vail *et al.*, 1977), representativas de episódios tectono-sedimentares: Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). As supersequências Rio Ivaí, Paraná e Gondwana I representam ciclos transgressivos-regressivos relacionados à variação do nível do mar, enquanto que Gondwana II, Gondwana III e Bauru são continentais com registro vulcânico associado (Figura 4).

O Gráben Arroio Moirão contém unidades sedimentares da Bacia do Paraná preservadas sobre o ESRG (Figura 2). O desuso da denominação Formação Caneleiras no final da década de 1990 abriu o debate para o posicionamento estratigráfico correto dessas unidades (Menegat *et al.*, 1994). A proposição de uma abordagem tectono-estratigráfica (Menegat, 1995), integrou as unidades isoladas sobre o ESRG na região de Encruzilhada do Sul. Foram caracterizadas duas sequências deposicionais correlacionáveis à Formação Rio Bonito e às formações Rio do Rasto e Sanga do Cabral. As discordâncias que separam tais sequências têm sua gênese relacionada a reativações tectônicas do embasamento, mais especificamente da Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu, durante o Permiano Superior

Ketzer (1997) reconhece no GAM a Formação Sanga do Cabral constituída por fácies lacustres, deltaicas, fluviais e eólicas e, Formação Santa Maria, com fácies fluviais, pelitos lacustres e arenitos finos e siltitos lenticulares, deltaicos.



supersequências deposicionais de segunda ordem, respectivamente: Sanga do Cabral (Triássico Inferior) e Santa Maria (Triássico Médio a Superior). A primeira, inclui depósitos fluviais efêmeros de baixa sinuosidade e planícies de baixo gradiente. Baseado em fósseis de tetrápodes, especialmente *Procolophonidae*, a Idade Induano Superior é estimada para essa sequência (Lavina (1982); Santana, 1992; Schultz, 1995; e Silva, 1999). As associações de fácies da Supersequência Santa Maria indicam rios de baixa sinuosidade, deltas e lagos (Figura 4 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). A idade triássica já era atribuída aos depósitos GAM pelo trabalho de Faccini *et al.* (1990), que indentificou fósseis de rincossauros correlacionando-os com a Cenozona de Rincossauros.

Os trabalhos da CPRM (1999; 2000) incluíram as unidades sedimentares do GAM no Grupo Rosário do Sul, o qual compreende as formações Sanga do Cabral e Santa Maria. Posteriormente, o mapa geológico da CPRM, (2005) incluiu os depósitos do GAM na Formação Sanga do Cabral.

Lima (2014) propôs para essas unidades do GAM um modelo deposicional resultante de fluxos efêmeros de baixa densidade do tipo inunditos, segundo Zavala (2011) e Postma, 2014 (Figura 5). São observáveis as três fases deposicionais na formação do modelo, sendo elas: de progradação, de espraiamento de fluxos em canais, e seguida por uma transgressão e afogamento pela subida do nível dos lagos de inundação, e, por fim, a fase posterior de exposição subaérea. O registro sedimentar que representa tais fases é formado por cinco associações de fácies A, B (fase 1), C e D (fase 2), e E (fase 3) (Figuras 6 e 7) que se dispõem em uma sucessão vertical granodecrescente ascendente. Na porção basal, encontra-se a associação A, composta por conglomerados maciços e também com estratificação cruzada tangencial, mal selecionados (com fração silte e argila), com intraclastos argilosos, intercalados com arenitos grossos a conglomeráticos, maciços, ou com estratificação cruzada tangencial, também mal selecionados. Essas litologias são representantes da fase de progradação dos fluxos de baixa densidade. Na porção intermediária da sucessão, ocorre a associação B, que é constituída por arenitos grossos e médios com estratificação cruzada tangencial ou com estratificação plano-paralela e intraclastos argilosos, mal selecionados, representantes da fase de progradação com desenvolvimento de canais rasos. Ainda nessa fase, quando o

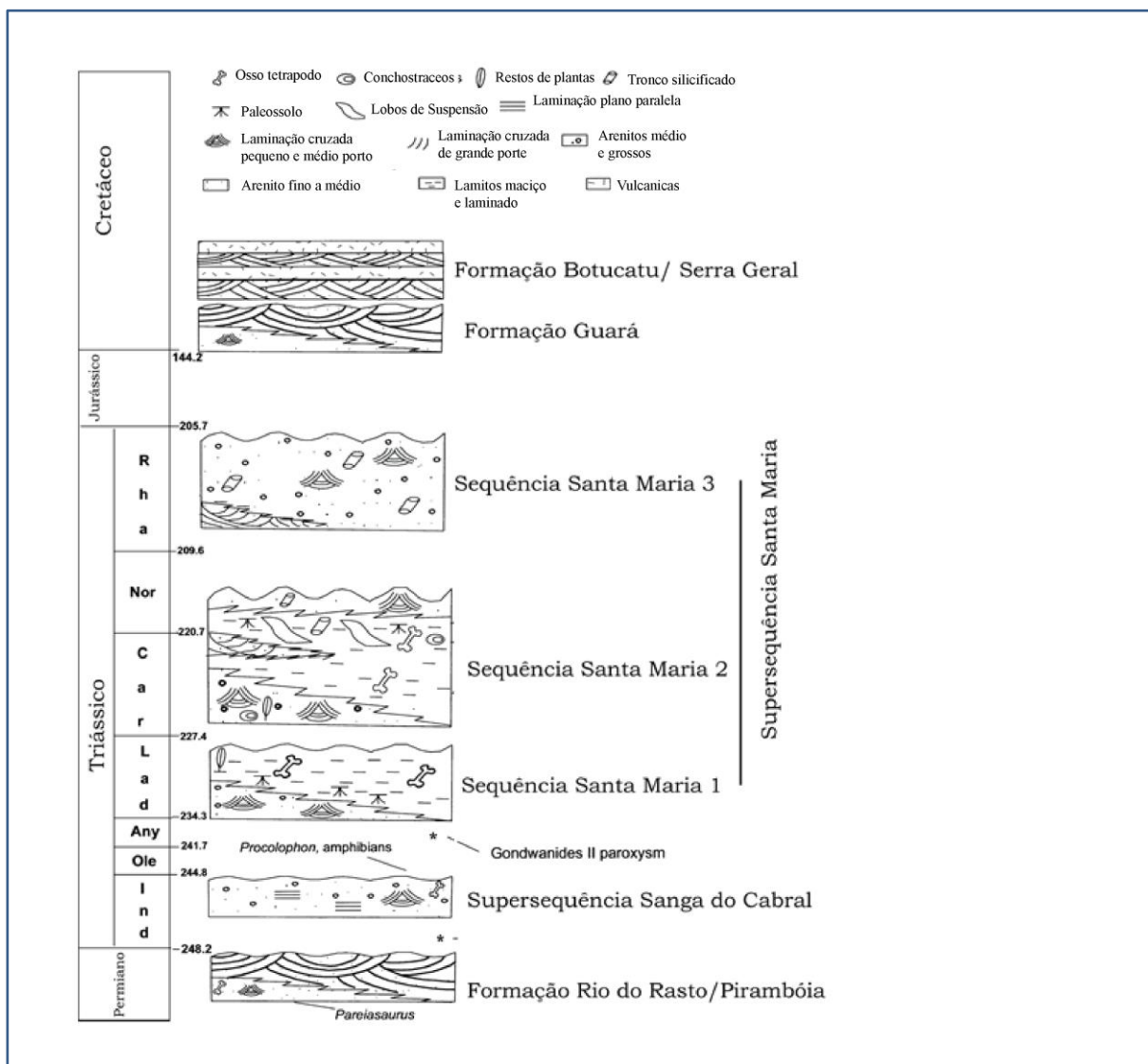


Figura 4 – Carta Cronoestratigráfica das unidades triássicas do Rio Grande do Sul. Adaptado de Zeffass (2003).

fluxo apresenta-se desconfinado, as fácies passam para arenitos finos a muito finos com laminação plano-paralela de fluxo superior ou com estratificação cruzada de baixo ângulo (transição para fluxo superior). Na porção de topo, situam-se as associações C e D, compostas de (C) siltitos e lamitos com laminação plano-paralela ou maciços, mal selecionados (com grãos quartzosos de areia média ou grossa dispersos); (D) lamitos com expressivos níveis micáceos. Essa porção de topo representa o afogamento transgressivo do lago de inundação. Os lamitos e siltitos com níveis micáceos (D) ocorrem eventualmente, os quais foram formados a partir de vórtices e plumas de flotação gerados na região frontal dos fluxos de baixa

densidade na fase de afogamento. Por fim, a associação E, representa eventual exposição subaérea com formação de paleossolos da fase 3, nem sempre presente.

Horn (2015) situou estratigraficamente os depósitos do Gráben Arroio Moirão como sendo pertencentes à Supersequência Santa Maria II (*sensu* Zerbass, 2003). O estudo baseou-se na descoberta de um esqueleto parcial de rincossauro onde o único sulco presente entre as fileiras dentárias do maxilar permitiu atribuir o material ao gênero *Hyperodapedon*, justamente o fóssil guia da biozona *Hyperodapedon*, de idade Carniana.

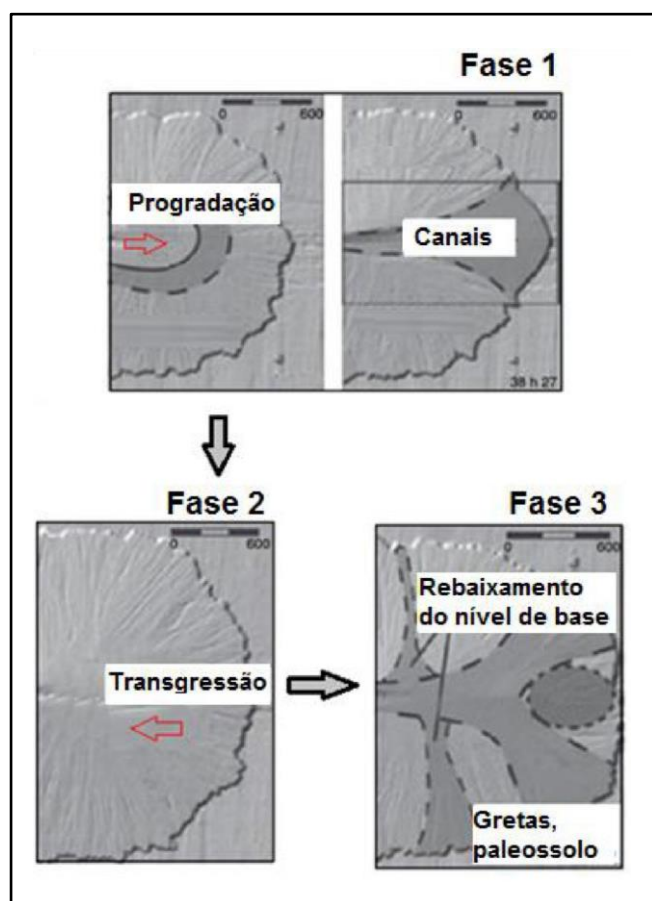


Figura 5 – Modelo experimental de fluxo de baixa densidade (modificado de Postma, 2014)

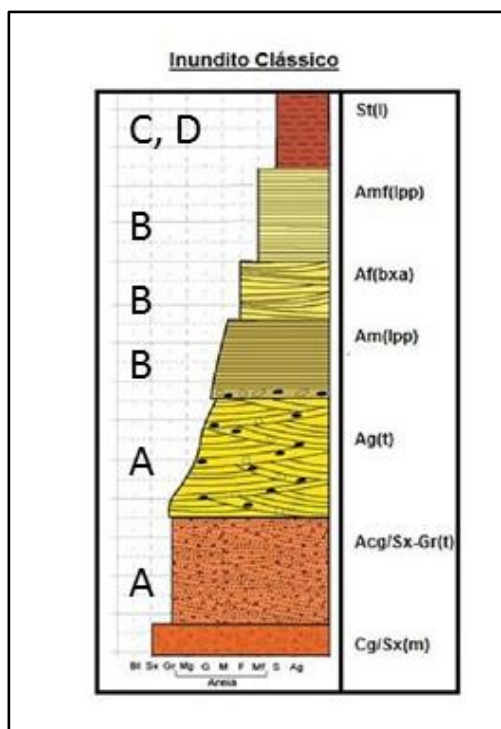


Figura 6 – Sucessão de fácies de depósitos efêmeros do tipo inundito (Lima, 2014).

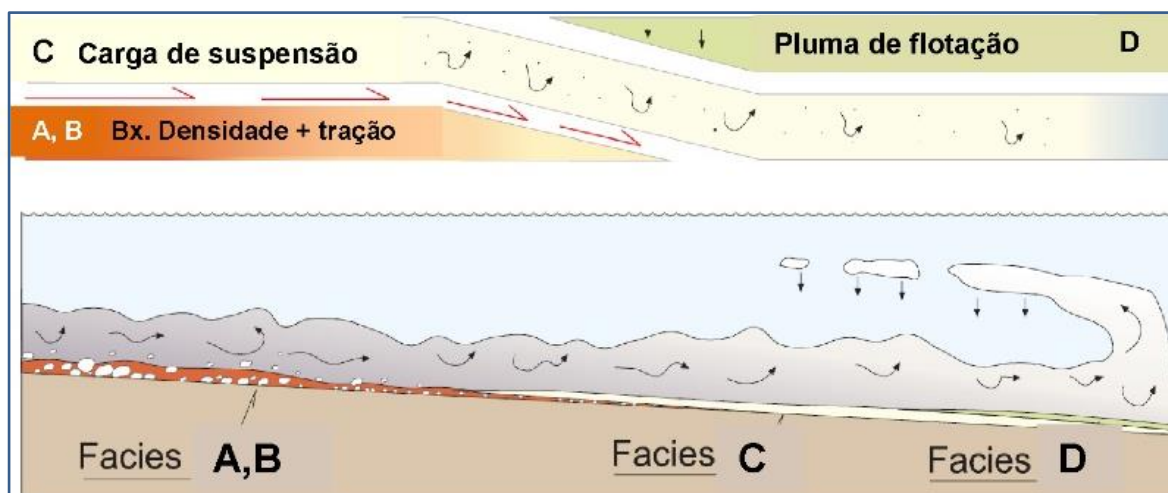


Figura 7 – Modelo de fluxos de hiperpicnais de baixa densidade (Zavala *et al.* 2011, modificado por Borsa 2015).

4. MÉTODOS E TESTES

As técnicas de investigação geológica que descreveremos a seguir estão consoantes com as necessidades e objetivos propostos delineados no item 1.3. O desenvolvimento da investigação foi feito por meio de uma abordagem onde as técnicas mais fundamentais precedem aquelas mais específicas e particulares. Dessa maneira, os dados obtidos concorrem de modo coerente e objetivo a partir de escalas mais amplas e sucessivamente para mais restritas e vice-versa, revelando a natureza da construção do conhecimento estratigráfico como uma abordagem geohistórica (evolutiva). Essa abordagem foi denominada pelo grande mestre em estratigrafia do Brasil como método telescópico (ver Fávera, 2001). Portanto, os raciocínios elaborados utilizaram as técnicas de estratigrafia de sequências, análise de fácies e seus desdobramentos para a obtenção de dados que permitem a elaboração de um arcabouço estratigráfico de alta resolução. Técnicas analíticas avançadas, como difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura serviram para detalhar as etapas supracitadas.

A seguir, serão detalhadas todas as etapas e procedimentos de obtenção de dados que permitiram o detalhamento dos depósitos triássicos do Gráben Arroio Moirão.

4.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta etapa fundamenta todo o trabalho e desenvolveu-se até o término da monografia, consistindo de ampla revisão de publicações como artigos científicos, boletins, relatórios técnicos de empresa, trabalhos de graduação, dissertações de mestrado, teses de doutorado, cartas topográficas, mapas geológicos, fotos aéreas e imagens orbitais.

4.2. OBTENÇÃO DE DADOS DE CAMPO

A campanha de campo foi realizada entre os dias 10 e 15 e abril de 2015. Foram utilizados dados de respectivas campanhas de campo da disciplina de Mapeamento de rochas sedimentares e formações superficiais na região de Canguçu UFRGS (2012, 2013, 2014).

Foram utilizadas como base para a navegação, mapeamento geológico e investigação de campo as cartas topográficas do exército em escala 1: 50.000 sendo elas, Santana da Boa Vista, Figueiras, Arroio Barracão e Arroio da Bica. Também coligiram-se informações de mapas geológicos (UFRGS, 1992) e de trabalhos de campo anteriores (Ketzer, 1997).

O mapeamento geológico do GAM utilizou técnica descritas em Lisle *et al.* (2014). Foram utilizadas tiras de campo ou subdivisões do mapa da área de estudo no formato A4 (2100 x 2970 mm), possíveis de serem dispostas em pranchetas, facilitando o manuseio e favorecendo a precisão e descrição de pontos no campo. Nessas tiras foram localizados os 35 perfis colunares levantados ao longo da BR-392 e por acessos locais em estradas de chão. Coletaram-se 133 amostras que representam as principais fácies descritas neste trabalho, dentre as quais, três foram encaminhadas para confecção de lâminas petrográficas e seis, para análise no difratômetro de raios X.

Os dados estruturais das unidades do GAM e a navegação durante a etapa de campo foram obtidos utilizando a bússola Brunton® com declinação magnética corrigida por meio de informações contidas na carta topográfica do exército. Os dados estruturais foram informados na notação de trama e serão utilizados para a análise estrutural preliminar dos dados de campo.

Em todos os pontos, foi efetuado o posicionamento via coordenadas georreferenciadas na Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) Datum WGS 84, utilizando-se o aparelho de Posicionamento Global (GPS) da marca Garmin. A documentação fotográfica foi efetuada utilizando câmera Nikon D3200 e D90.

4.3. ANÁLISE DE FÁCIES

Neste trabalho, a análise de fácies é utilizada como ferramenta fundamental na construção de modelos de dinâmica de fluidos e de deposição. A identificação de fácies e construção de perfis colunares fornece o arcabouço básico para a aplicação das técnicas de estratigrafia de seqüências e para a construção do edifício de EDSI, objetivos principais deste trabalho.

A análise de fácies é a metodologia basilar para a aplicação da estratigrafia de sequências. Essa metodologia conceitual e operacional carrega consigo a chave para a interpretação e dedução dos processos deposicionais. Uma fácies, termo primeiramente utilizado por Steno no século XVII e modernamente atribuído à Gressly (1893), é definida na literatura atual por “um conjunto particular de atributos sedimentares característicos: geometria, litologia, textura, grupo de estruturas sedimentares, conteúdo fossilífero, cor, padrão de paleocorrentes (...)”. (Tucker, 2014).

Já a Lei de Walther, importante para a reconstrução de modelos deposicionais, sustenta-se no significado genético das fácies, postulando que uma sucessão vertical concordante representa a variação lateral de fácies de um sistema em um mesmo tempo geológico (Schoch, 1989).

Porém, durante a maior parte do século XX, a interpretação de rochas sedimentares foi baseada na litoestratigrafia, resumindo-se ao empilhamento e hierarquização de unidades litoestratigráficas. Nos anos de 1970, surgiu uma nova abordagem da análise de fácies, sustentada por observações de ambientes de sedimentação atuais. Essa importante mudança de paradigma (Fávera, 2001) possibilitou a conceituação da estratigrafia de sequências a partir do estudo comparativo de registros sísmicos e sondagens de margens continentais. Essa abordagem da sismoestratigrafia (Vail *et al*, 1977) permitiu a visualização dos fenômenos sedimentares em escala de bacia, permitindo a interpretação do importante efeito que a variação no nível marinho desencadeia no controle da sedimentação.

No presente trabalho, o termo fácies descreve um corpo rochoso diferenciável pelas suas características litológicas, sedimentares e conteúdo fossilífero que representam a atuação de um processo sedimentar constante, segundo o *Modus Operandi* de análise de fácies de Dalrymple (2010). Dessa forma, a correta interpretação do registro sedimentar identificará não só fácies, mas superfícies de relevância estratigráfica que denotem a mudança de processos sedimentares dentro de uma associação de fácies e elementos arquiteturais. Essas superfícies podem representar desde os limites de *sets* de estratificações até superfícies regionais de erosão contemplando todo um intervalo de sedimentação. Os elementos arquiteturais compõem o bloco tridimensional fundamental para sistemas fluviais

(Miall, 1985), possuindo sua associação de fácies, geometria e orientação próprios. Logo, o conjunto de superfícies e elementos arquiteturais possibilita a interpretação do tipo de sistema fluvial (entrelaçado, meandrante ou anastomosado) e como esse evolui no tempo.

É importante salientar que, para os depósitos do GAM, esse método foi aplicado com cautela, visto que as unidades triássicas desse gráben não se encaixam em sistemas deposicionais usuais (Lima, 2014).

4.4. ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS

Neste trabalho, os conceitos de estratigrafia de sequências serão utilizados visando sua aplicabilidade para sequências flúvio-lacustres da Supersequência Santa Maria (*sensu* Zeffass, 2002). Serão definidas sequências deposicionais e suas correlações espaciais utilizando-se camadas-chave.

A estratigrafia de sequências (Catuenanu, 2006) permite a definição de um arcabouço estratigráfico do preenchimento de bacias em termos de unidades fundamentais definidas como sequências genéticas de deposição, limitadas por suas discordâncias limítrofes e conformidades relativas. Portanto, a estratigrafia de sequências é utilizada para definir um arcabouço cronoestratigráfico para correlação e mapeamento de fácies sedimentares e predição de modelos deposicionais e seus posicionamentos estratigráficos.

A elaboração dos conceitos de sequências deposicionais, neste trabalho, segue os pressupostos teóricos da estratigrafia de sequências (Vail *et al.* 1977; Van Wagoner *et al.*, 1988;1990; Posamentier & Vail, 1988; Posamentier *et al.*, 1988) que permitem a elaboração do arcabouço estratigráfico, ciclicidade de eventos deposicionais e a predição de modelos deposicionais e posicionamento na sequência.

Os conceitos da estratigrafia de sequências foram amplamente desenvolvidos para sucessões deposicionais costeiras, onde as subidas e quedas do nível de base, o aporte sedimentar e clima controlam os padrões de deposição estratal. A sua aplicação para sistemas puramente continentais, caso deste trabalho, requer uma adaptação da terminologia original. Os limites de sequência são interpretados como descontinuidades desenvolvidas durante quedas do nível de base. Sucessões

puramente continentais são controladas por fatores climáticos e tectônicos vigentes na bacia, relegando a um papel secundário as variações eustáticas do nível do mar.

Dessa maneira, a evolução das associações de fácies e arquiteturas deposicionais é controlada pelas taxas de geração e destruição de espaço de acomodação. Espaço de acomodação é o espaço disponível para o potencial acúmulo de sedimentos (Jervey, 1988). Portanto, para a preservação de sedimentos, parte-se do pressuposto de que existe espaço de acomodação abaixo do nível base de erosão.

O espaço de acomodação em ambientes fluviais é determinado por uma superfície conceitual chamada de superfície de equilíbrio, separando a erosão da deposição. Essa superfície está diretamente ligada ao conceito de nível de base. No caso deste estudo, o nível de base estratigráfico será assumido como sendo o perfil de equilíbrio fluvial melhor adaptado às condições de deposição longe do controle do nível do mar. As flutuações da posição do nível de base estratigráfico controlarão a geração e destruição do espaço de acomodação subaéreo e, junto com o aporte sedimentar, controlarão o padrão estratal e arquitetura dos corpos deposicionais. Em bacias de extensão intracontinentais, como no caso da deposição triássica em estudo, espera-se que o nível de base controlador do perfil de equilíbrio fluvial esteja ancorado por eventos como o de flutuações locais definidas por ciclos de afogamento lacustre (Zerfass, 2003).

4.5. ESTRUTURAS DE DEFORMAÇÃO EM SEDIMENTO INCONSOLIDADO E SISMITOS

Estruturas de deformação em sedimento inconsolidados (EDSI) registram processos sedimentares e tectônicos no registro sedimentar, desde que eles ocorram previamente a litificação ou ainda nos estágios iniciais. O termo sismoito foi cunhado por Seilacher (1969), em seu trabalho *Fault-graded beds interpreted as seismites*, definido como “camadas ou pacotes de camadas que apresentam abundante ocorrência de EDSI sismicamente induzidas”. Sismoitos vêm recebendo muita atenção na literatura por se tratar do melhor registro de terremotos não atuais.

A enorme variedade e a problemática de classificar a origem das EDSI foram o alvo de pesquisa dos primeiros trabalhos ainda na década de 1960. À época,

comparações das EDSI conhecidas com as poucas evidências encontradas no registro geológico até então, limitaram raciocínios mais aprofundados acerca de uma interpretação genética, sendo sempre mais supositivas do que propriamente factuais.

Dessa maneira, diversas interpretações errôneas solaparam o interesse da comunidade geológica pelas EDSI. O interesse por elas foi novamente levado à tona quando a análise de fácies e a formação de estruturas sedimentares foram objeto de estudos no final dos anos de 1970 e na década de 1980. Diversos artigos foram publicados versando sobre a importância de EDSI na reconstrução de ambientes deposicionais (Sims, 1978; Allen, 1982; Mills, 1983) e na reconstrução paleogeográfica (Brodzikowski & Van Loon, 1980, 1983, 1985).

Foram referidos sismitos em sedimentos paleoproterozoicos (Mazumder *et al.*, 2006) e meso a neoproterozoicos (Pratt, 1994; Owen, 1995; Van Loon & Su, 2013). Além de vasta representação temporal, os sismitos são descritos em quase todos os ambientes sedimentares (Van Loon, 2009), mas em particular nos ambientes continentais: (1) lacustre (Sims, 1973, 1975; Davenport & Ringrose, 1987; Alfaro *et al.*, 1997; Moretti & Ronchi, 2011), (2) glaciolacustre (Gruszka & Van Loon, 2007; Van Vliet-Lanoë *et al.*, 2010), (3) lago efêmero (*playa lake*) (Mountney & Jagger, 2004), (4) fluvial (Jones, 1962; Allen e Banks, 1986; Owen, 1995; Alfaro *et al.*, 1999), (5) eólico (Horowitz, 1982; Moretti, 2000; Moretti *et al.*, 2002), (6) *ergs* (Netoff, 2002).

Também são conhecidos especialmente em rochas antigas nos seguintes ambientes: (7) transicionais (Plint, 1983); iminentemente marinhos, como (8) *shoreface* superior (Seilacher, 1969; Rascoe, 1975); (9) *foreshore* (Montenat, 1980); (10) *offshore* (Van Loon *et al.*, 2008), (11) quebra de plataforma (Rindente & Trincardi, 2006), (12) marinho profundo (Long, 2004), (13) pelágico (Haczewski, 1986). Não obstante, foram descritos em diversos ambientes tectonicamente afetados, como regiões (14) sinrifte (Jackson *et al.*, 2005; Rodríguez-Lopez *et al.*, 2007) e (15) ambientes dominados por turbiditos (Roep & Everts, 1992).

No Brasil, diversos trabalhos retratam paleossismicidade em bacias sedimentares: dobras convolutas em arenitos eólicos cretáceos (Pflug, 1961); *megabeds* de turbiditos (Fávera, 1984); dobras convolutas, estruturas em prato, estruturas de sobrecarga, estruturas em chama, pseudonódulos, estruturas em pilares, estruturas

ball and pillow, escorregamentos e diques clásticos em depósitos lacustres no Cretáceo Inferior (Raja Gabaglia, 1992); diques clásticos em depósitos plataformais costeiros permianos (Chamani *et al.*, 1992; Riccomini *et al.*, 1992).

Mais recentemente, Rosseti (2000) descreveu sismitos na Formação Codó da Bacia do Grajaú, nordeste brasileiro, com base em diversos horizontes estratigráficos com recorrente EDSI intercalados com horizontes indeformados. Dentre as principais estruturas, encontram-se dobras convolutas, pseudonódulos, zonas de falha e fissuras e estruturas em dente molar; todas atribuídas a paleossismicidade da bacia.

Fernandes *et al.* (2007), descreveu sismitos em depósitos eocretáceos do paleodeserto de Caiuá, na Bacia de Bauru, como sendo estruturas de deformação sedimentar de grande porte, pequenas dobras em laminação cruzada de dunas eólicas e complexas dobras convolutas.

Perinotto *et al.* (2008) descreveu diques clásticos na Formação Corumbataí, Bacia do Paraná (SP). São diques predominantemente arenosos, podendo ser também siltico-arenosos, verticais ou horizontais, recorrentemente dobrados, de tamanho variando de centímetros a metros.

Santos *et al.* 2012, 2014 relatam recorrentes camadas afetadas por EDSI nos depósitos da Formação Guarda Velha, Bacia do Camaquã, RS. São identificáveis dobras convolutas, estruturas de escape de fluidos e liquefação.

A formação de EDSI é controlada pela ocorrência de água intergranular nos sedimentos onde o aumento de pressão de poro pode ocasionar a perda de resistência mecânica gerando uma enorme variedade de estruturas de deformação sinsedimentar. O termo liquefação, definido por Youd (1973), define que a transformação de um material granuloso para um material liquefeito ocorre devido ao aumento da pressão de água intergranular.

Lowe (1975) distinguiu três mecanismos básicos para a formação de EDSI a partir da expulsão da água intergranular, sendo eles:

- A) **Infiltração:** movimento lento para cima de fluidos em poros já existentes ou fluxo rápido em sedimentos compactados e confinados. Não formam fluxo de sedimento e, portanto, não formam estruturas.

- B) **Liquefação:** ocorre quando sedimentos inconsolidados são submetidos a uma perda mecânica súbita, associada ao colapso da trama dos grãos e aumento da pressão intergranular. Essa transformação modifica o arranjo intergranular suportado pelo grão para uma solução suportada pelo líquido.
- C) **Fluidificação:** ocorre quando um fluido ao percolar um agregado granular exerce força de arrasto suficiente para suspender os grãos contra a força da gravidade.

Lowe (1975) também considera três distintos meios de comportamento de material:

- A) **Comportamento hidrolástico:** sedimento com trama suportada pelos grãos, baixa velocidade de fluxo, insuficiente para fluidificação, podendo ser caracterizado por sedimentos com força coesiva elevada como argilas ou por resistência friccional em cascalhos e areias compactados.
- B) **Comportamento liquefeito:** fluxos onde há pouca resistência coesiva e friccional, típica de sedimentos pouco compactados e com fluidificação só das frações finas.
- C) **Deformação fluidificada:** grande parte do sedimento é fluidificada, com presença de fluxo turbulento, obliteração das estruturas primárias e elutriação das partículas móveis.

Rodríguez-Pascua (2000) sugeriu um edifício deformacional dos estratos (ver figura 8) onde associações de EDSI específicas representam sismos de maior magnitude afetando a pilha sedimentar. As diferentes EDSI, e, por consequência, a magnitude do sismo, são representadas pela presença de liquefação nos sedimentos submetidos a sismos acima da magnitude 5 na Escala de Mercalli.

Montenat *et al.* (2007) definiram sismitos como estruturas sedimentares específicas geradas pelo cisalhamento horizontal sofrido pelo sedimento inconsolidado e saturado em água. A pressão de fluidos exercida pelo cisalhamento horizontal é tal que (i) há liquefação do sedimento e deformação das estruturas sedimentares existentes, e (ii) uma mobilização de sedimentos fluidificados em sedimentos adjacentes.

Para Moretti & Van Loon (2014) há limitações no uso de EDSI para identificar sismitos, justo por não haver um critério diagnóstico e sim uma construção de

eventos e estruturas capaz de identificá-los. Porém, as seguintes características apresentam-se como as mais confiáveis para o reconhecimento de sismitos: (1) EDSI devem ocorrer em continuidade lateral, preferencialmente em camadas recorrentes, separadas por camadas não deformadas; (2) essas estruturas deformacionais devem ser comparáveis com estruturas conhecidas ativadas por atividade sísmica moderna; (3) as bacias sedimentares devem ser tectonicamente ativas à época da deposição; (4) a intensidade e abundância de EDSI nos prováveis sismitos deve variar lateralmente, dependendo da distância do epicentro.

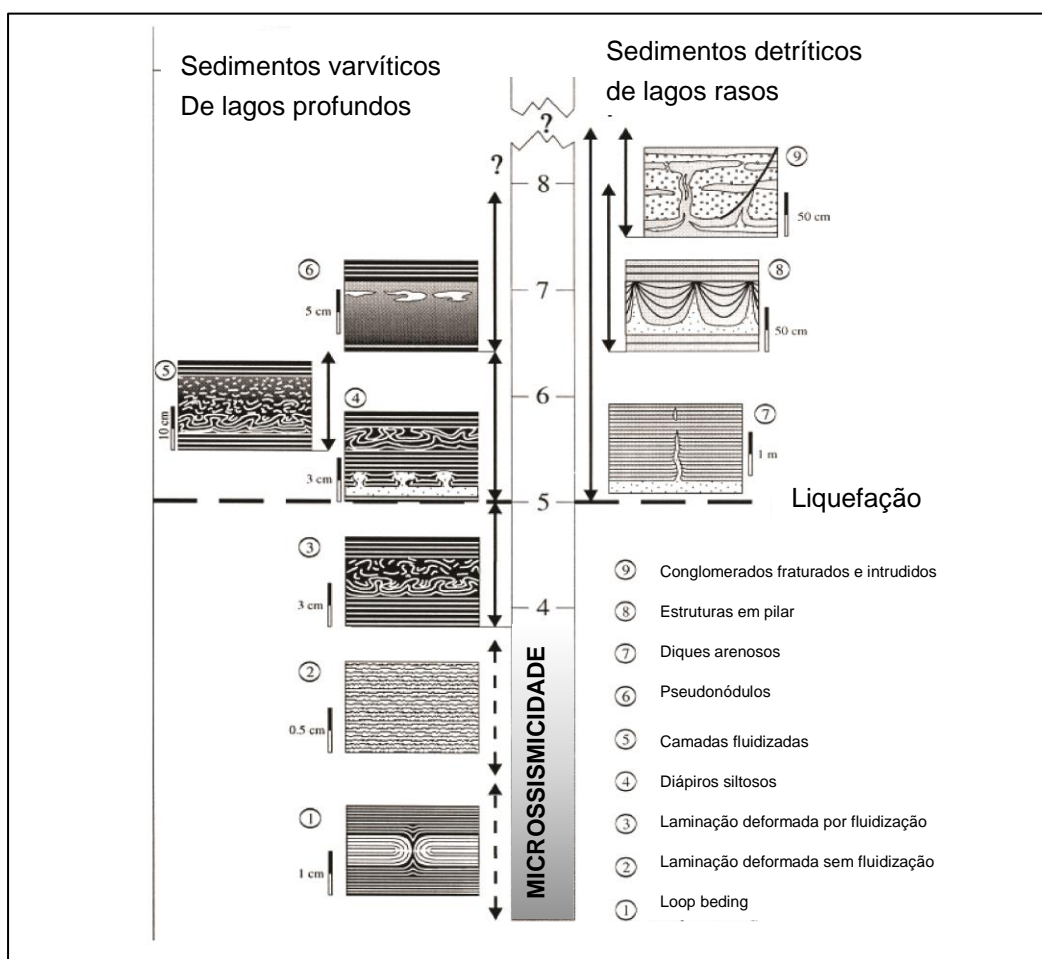


Figura 8 - Edifício deformacional dos sismitos classificados pela atuação de liquefação nos estratos e relacionados à escala de Mercalli (Rodríguez-Pascua, 2000, modificado por Borsa, 2015).

Revela-se que todos estes critérios possuem importantes exceções: (1) EDSI com grande expressão lateral podem ser ativadas por outros mecanismos de deformação. Além do mais, a total liquefação de camadas arenosas pode resultar na

total ausência de estruturas deformacionais. (2) Não existem estruturas deformacionais diagnósticas para comprovar atividade sísmica. (3) Sismitos ocorrem em áreas onde a atividade sísmica é baixa ou nula atualmente. (4) Presume-se que a variação lateral da intensidade da EDSI depende da distância do epicentro. Com efeito, Moretti e Van Loon (2014) relataram que o terremoto de Emilia (Maio de 2012, norte da Itália) afetou os depósitos fluviais arenosos, mas não as planícies de inundação de granulação fina.

Portanto, neste trabalho, pretende-se usar uma definição de sismitos em consonância com os trabalhos supracitados, uma vez que não existem definições quanto às estruturas típicas de sismitos. Pretende-se, dessa forma, melhor descrever as estruturas identificadas e a sua melhor correlação com os depósitos sedimentares do GAM.

4.6. PETROGRAFIA EM LÂMINA DELGADA

Com a análise petrográfica, procura-se caracterizar a composição detrítica de diques clásticos e suas rochas encaixantes a fim de determinar-se se é ou não um dique clástico. Busca-se, também, observar feições de cataclasamento nos diques que deporiam contra a hipótese de que estes são mobilizações com o sedimento ainda inconsolidado.

Para tanto, serão preparadas três Lâminas delgadas no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da UFRGS e descritas em um microscópio binocular Leitz, usando aumentos variáveis de 2,5 até 40x e técnicas de reconhecimento de minerais à luz duplamente polarizada e luz natural. As amostras laminadas também serão classificadas de acordo com o diagrama de Folk (1968).



Figura 9 – Microscópio óptico modelo Laborlux 12 POL S da marca Leitz.

4.7. DIFRAÇÃO DE RAIOS X

A técnica de difração de raios X é utilizada para identificar a fração fina de rochas ($FF < 2 \mu\text{m}$) onde se encontram os argilominerais. Neste trabalho, foram submetidas seis amostras de dois perfis para caracterizar as frações finas de camadas possivelmente homogeneizadas: no perfil PGAM12-010 foram coletadas duas amostras representativas das duas extremidades da camada de aproximadamente quatro metros e espessura de 15 cm. No perfil PGAM12-012, foram coletadas quatro amostras representando as extremidades inferior e superior da camada tabular homogeneizada de aproximadamente 10 m de espessura e 50 cm de altura. Uma vez identificado o tipo de argilominerais presentes, é possível interpretar sob quais condições essa camada foi depositada e buscar assinaturas de correlação com sismitos.

O fenômeno da difração ocorre quando uma onda encontra uma série de obstáculos espaçados regularmente que (1) são capazes de dispersar a onda, e (2) tem espaçamento de mesma grandeza que o comprimento de onda (Callister, 2000). Além disso, difração é uma consequência de específicas relações de fase que se estabelecem entre duas ou mais ondas que foram dispersadas pelo mesmo obstáculo.

Raios X são uma forma de radiação eletromagnética que possui alta energia e pequeno comprimento de onda – comprimento de onda na grandeza do espaçamento interatômico de sólidos (Callister, 2000). Quando um feixe de raios X incide em um material sólido, parte desse feixe será espalhado em todas as direções pelos elétrons associados a cada átomo ou íon que estiverem no seu caminho.

Para a difração por espaçamentos regulares – caso do plano interatômico das argilas – segue-se de acordo com a Lei de Bragg:

$$n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \theta$$

Sendo: (n) número inteiro, (λ) comprimento de onda dos raios X incidentes, (d) distância interplanos, (θ) ângulo de difração. Essa lei estabelece a relação entre os planos característicos para cada fase cristalina (Callister, 2000).

Para a análise das porções finas, o equipamento utilizado é um difratômetro Siemens–Bruker-AXS D5000 com goniômetro θ - θ e a radiação é $K\alpha$ em tubo de cobre nas condições de 40 kV e 25 mA. A amostra orientada natural será preparada de acordo com este protocolo: a) desagregação total da rocha em gral de ágata; b) adiciona-se o pó resultante com 450 mL de água deionizada em uma garrafa, por meio de um funil; c) desagregação por agitação da amostra engarrafada, durante 14 horas, no agitador orbital de marca Marconi; d) dispõe-se a amostra em um *becker* e agita-se a solução que contém a amostra com a finalidade de homogeneizá-la, para, em seguida, submete-se a amostra a vibração por meio de um equipamento de ultrassom de marca Sonics Vibracel, modelo VC750, por seis minutos; e) adiciona-se 1,5 ml de desfloculador pirofosfato de sódio na garrafa de decantação, que é preenchida com o material amostrado e água deionizada; mexe-se com pistão de vidro, mede-se a temperatura da solução com termômetro, pois a decantação da amostra depende dessa variável; f) retira-se a fração fina da garrafa de decantação

por meio de um sifão, que é realojada em um *Becker*; g) pipeta-se uniformemente a amostra em uma lâmina, que por isso, possuirá apenas a fração menor que 4 μm e dispor-se-á de forma orientada, privilegiando a observação das faces 001 para a identificação de argilominerais; h) secagem das lâminas em meio ambiente, resultando na obtenção de uma lâmina orientada natural; i) a lâmina entra no difratômetro de raios X Siemens–Bruker-AXS D5000; j) os resultados são processados em um software, DIFFRAC^{PLUS}; k) o produto gerado é um difratograma.

Para verificar a existência de argilominerais expansivos, deve-se obter uma amostra orientada glicolada. Para tanto, a amostra orientada natural é borrifada com etilenoglicol, sendo o excesso retirado com papel absorvente. Posteriormente, a lâmina é colocada em uma estufa aquecida a 60°C por 8 horas.

Para identificar de forma mais precisa o grupo das caulinitas, deve-se obter uma amostra calcinada. Para esse fim, a amostra orientada natural é aquecida a uma temperatura de 500°C durante duas horas. Nessas condições, avaliam-se os argilominerais cujas estruturas colapsam, como ocorre com o grupo das caulinitas.

Os minerais identificados na análise são comparados com os padrões do banco de dados (denominado: PDF2) e indicados/referenciados em um difratograma cujos picos mais importantes são diagnósticos de cada mineral. Esse tratamento de comparação de dados com os difratogramas-padrão é realizado por meio do software DIFFRAC^{PLUS}.



Figura 10 – Difratorômetro Siemens–Bruker-AXS D5000.

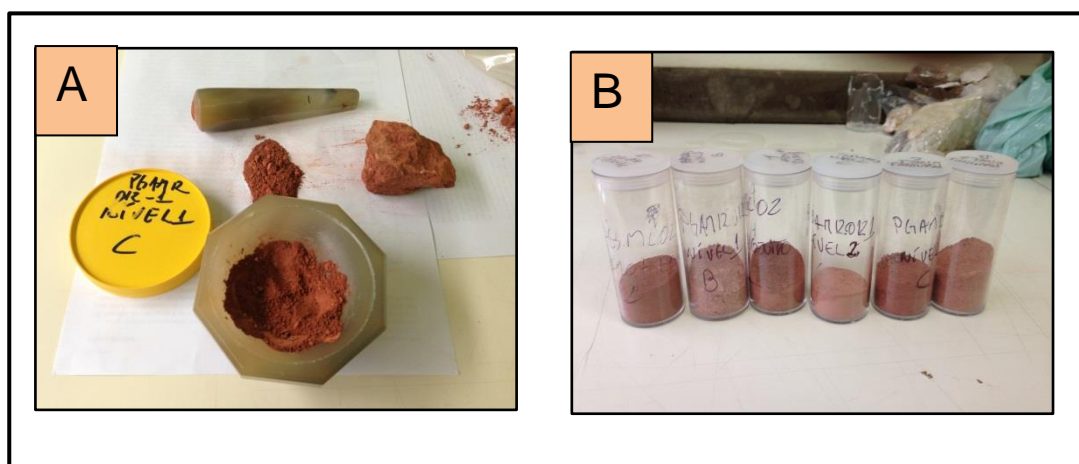


Figura 11 – Detalhe da preparação das amostras. A) Desagregação das amostras em gral de ágata; B) Amostras prontas para análise (Dados da Pesquisa, 2015).

4.8. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

O microscópio eletrônico de varredura é um instrumento de extrema importância para estudos e caracterização de superfícies de sólidos (Callister, 2000) Essa técnica gera como produtos imagens da morfologia de cristais em escala micrométrica (Klein e Dutrow, 2012), permitindo observar intercrescimentos cristalinos, texturas ou relações de reação. A resolução do MEV varia de 2,5 a 5 nanômetros com profundidade de campo, que resulta em imagens de altíssima resolução. Neste trabalho, busca-se observar possíveis homogenizações de estruturas sedimentares e usá-las como assinaturas de correlação para possíveis sismos.

Segundo Klein e Dutrow (2012), a técnica do MEV tem por base o escaneamento de uma superfície por um feixe de elétrons de alta intensidade. O impacto de um feixe de elétrons na superfície de uma amostra sólida ocasiona vários tipos de sinais de radiação que são registrados por detectores acima do espécime. Esses sinais de radiação incluem elétrons secundários, elétrons retroespalhados, raios X, catodoluminescência e elétrons absorvidos pelo espécime. Para que os detectores captem a interação do feixe de elétrons com a superfície é necessária a metalização da amostra, uma vez que alguns materiais sólidos são altamente absorvedores (Callister, 2000). A intensidade do sinal detectado em um detector de elétrons retroespalhados está relacionada ao número atômico médio do espécime, sua orientação cristalográfica e sua topografia superficial.

Microscópios eletrônicos de varredura, como o modelo Jeol JSM-6610, que será utilizado nesse trabalho, apresentam capacidade de foco muito superior aos microscópios óticos comuns. Além disso, apresenta elevada resolução, o que possibilita a visualização do hábito de argilominerais.

A preparação das amostras dar-se-á segundo o procedimento descrito por Mizusaki (1986) e será realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, seguindo as seguintes etapas: a) as porções de amostras são coladas com fita de carbono em porta-amostras especiais, com dimensão aproximada de 5 x 6 mm. b) as amostras são metalizadas, ou seja, são recobertas com uma película metálica constituída de liga de ouro, com

espessura média de 100 angstrom, para conduzir o feixe de elétrons; c) a amostra é inserida no MEV e impactada por elétrons; d) o produto gerado são fotografias da estrutura cristalina da amostra.



Figura 12 – Estação de MEV, modelo Jeol 6610-LV- EDS.

5. RESULTADOS

5.1. LINEAMENTOS

O Gráben Arroio Moirão é uma feição morfológica rebaixada interna ao ESRG, estruturada a noroeste pela Zona de Falha Açoteia-Piquiri, a sudeste pela Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu (ZCDC) e ainda cortado no meio pelas falhas do Chapadão e Coxilha do Algodão (CPRM, 2009) (Figura 13).

Foram identificados os principais lineamentos nas unidades triássicas do gráben a partir de utilizando imagens RASTER e plotados utilizando-se o software Stereonet, onde foi gerado um diagrama de roseta. Na Figura 14, destacam-se duas famílias de lineamentos. A primeira, com direção preferencial entre os azimutes 021 e 030, corresponde aos lineamentos limítrofes do GAM e relacionam-se à ZCDC. Também correspondem a muitas feições geomorfológicas como frentes de cuevas das unidades triássicas, e às falhas Coxilha do Algodão, Chapadão e Açoteia-Piquiri. Essa família de lineamentos apresenta comprimento de até 10 km e controla a principal direção das drenagens dentro do GAM.

A segunda família de lineamentos, com extensão de até 2 km e azimute preferencial 130, e outro secundário de 160, forma um padrão de segmentos em “espinha de peixe” vertebrados por um lineamento central NE. Essa família de lineamentos parece controlar as unidades sotopostas às unidades triássicas e pode estar relacionada ao embasamento do GAM, pertencente às unidades do Complexo Metamórfico Porongos.

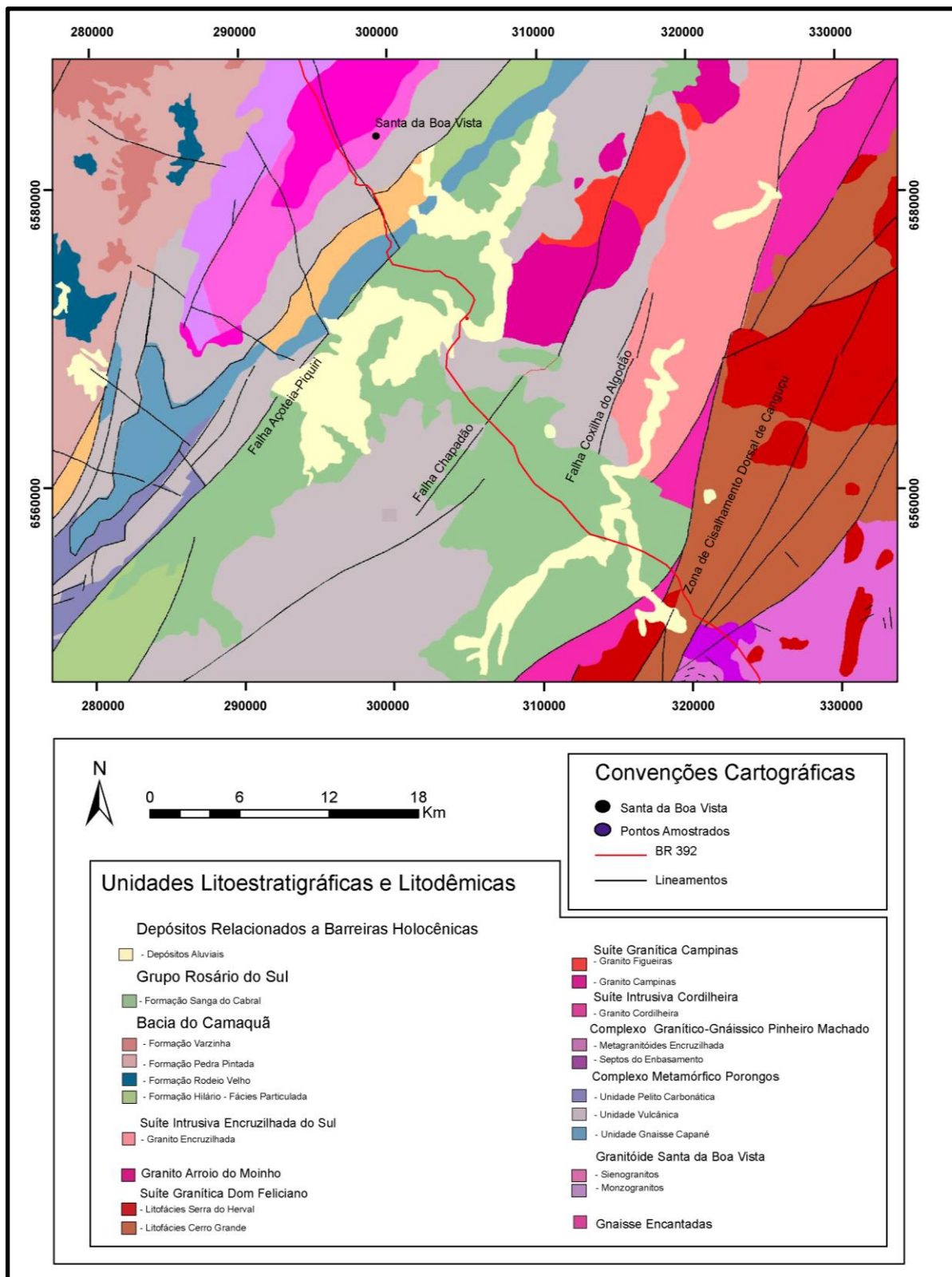


Figura 13 – Mapa Geológico do Gráben Arroio Moirão. Neste mapa, as unidades triássicas comparecem como sendo pertencentes à Formação Sanga do Cabral (CPRM, 2009 modificado por Borsa, 2015).

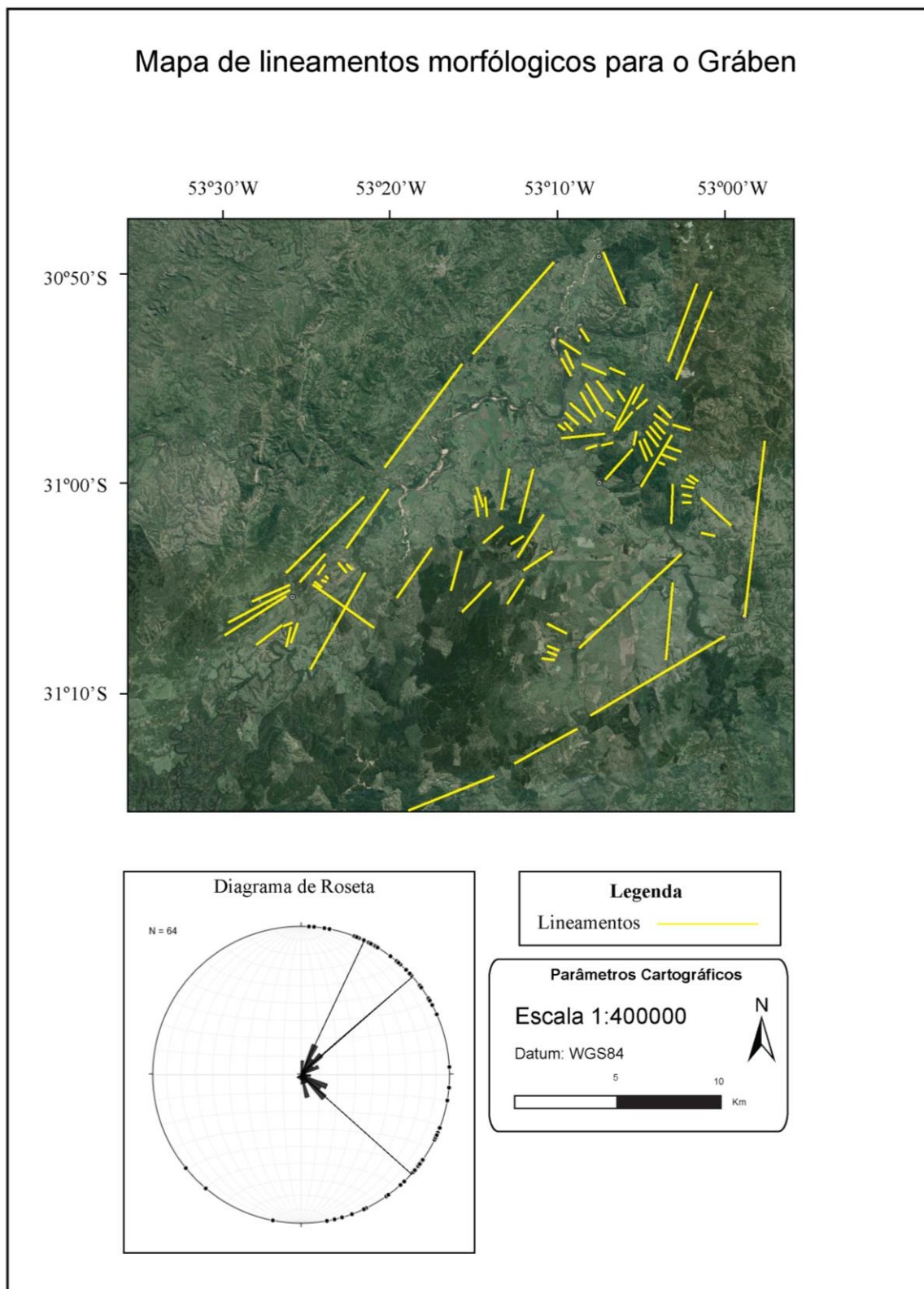


Figura 14 – Mapa de Lineamento do Gráben Arroio Moirão (Dados da Pesquisa, 2015).

5.2. ANÁLISE DE FÁCIES, ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES E MODELOS DEPOSICIONAIS

Os afloramentos investigados (figura 15) concentram-se no setor SW do gráben e, no setor SE, onde se alinham aproximadamente ao longo da BR 392. Em ambos os setores, os pacotes sedimentares de coloração avermelhada, e geometria comumente tabularoide encontram-se bem alterados. A espessura máxima dos depósitos difere de modo contrastante: nos afloramentos do setor SW, possuem mais de 30 metros de espessura, enquanto que ao longo da BR 392 possuem até 18 metros. A partir do levantamento de 28 perfis colunares (Apendice I), foram identificadas 19 fácies sedimentares (*sensu* Dalrymple, 2010) cuja nomenclatura de designação encontra-se na Figura 16.

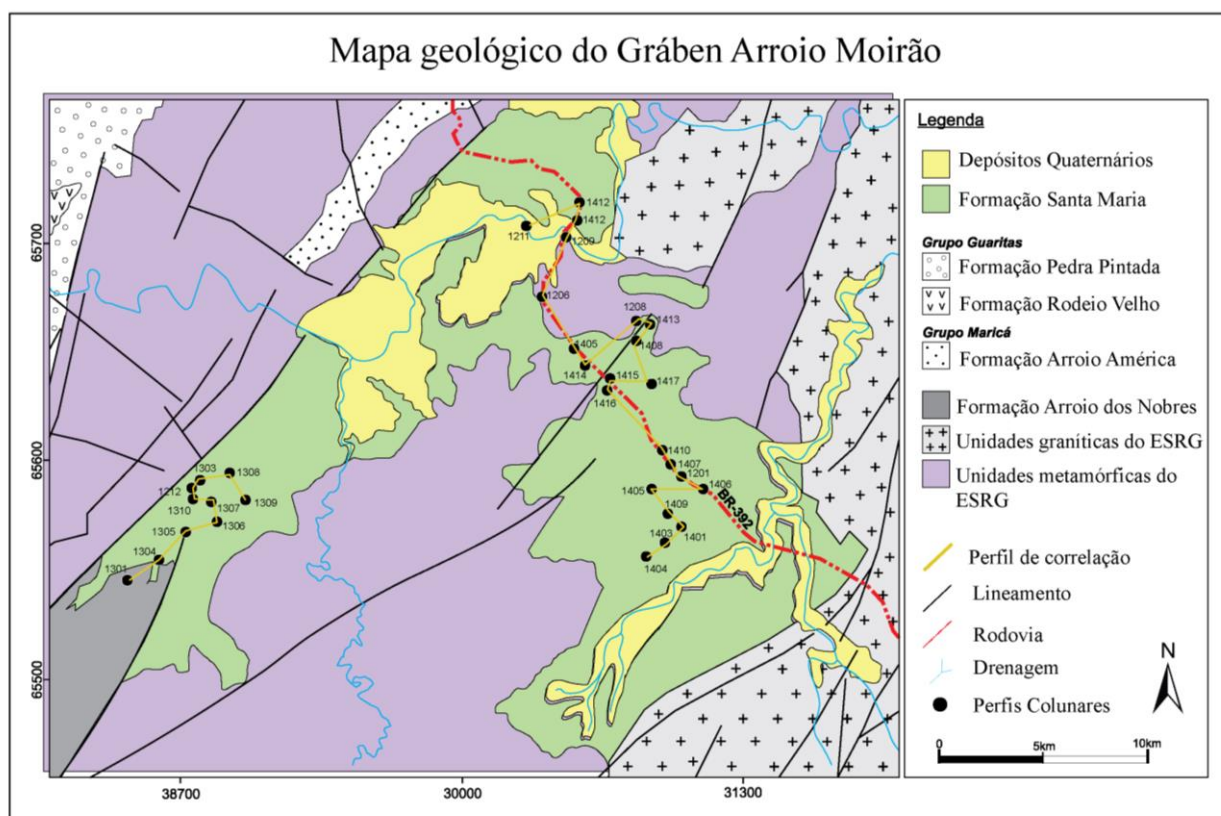


Figura 15 - Mapa Geológico do Gráben Arroio Moirão e localização dos perfis colunares. (Dados da Pesquisa, 2015, para as unidades sedimentares; Compilação CPRM 2009, para unidades do embasamento).

Estrutura do Código		Af / gr (pp) f			
		Textura	Sub textura	Estrutura	Detalhes
TEXTURA	SUB TEXTURA	ESTRUTURA		DETALHES	
Cg : Conglomerado	gr : Grânulos	t : Estratificação Tangencial		i : Intraclastos	
Pcg : Paraconglomerado	ag : Arenítico Grosso	pp : Estratificação Plano Paralela		f : Fósseis	
Acg : Arenito Conglomerático	s : Siltico	l : Laminação		b : Basal	
Ag : Arenito Grosso		m : Maciço		mi : Micáceo	
Am : Arenito Médio		mo : Marcas de Onda		pa : Paleossolo	
Af : Arenito Fino		gn : Gradação Normal			
Amf : Arenito Muito Fino		lmo : Laminação cruzada de marcas de onda			
S : Siltito		w : Wavy			
Ar : Argillito		fl : Flaser			
		li : Linsen			

Figura 16 – Chave para nomenclatura de fácies (Dados da Pesquisa, 2015).

A interpretação das fácies em termos de processos deposicionais e formas de leito possibilitou seu agrupamento em seis tipologias básicas, como segue:

- Formas de leito de dunas de crista sinuosa (3D) [**Acg(t)**, **Amg/g(tg)**, **Am(t)**]: fácies com estratificação cruzada tangencial e texturas variando desde conglomerado, arenito conglomerático, arenito muito grosso a grosso a arenito médio. Os conglomerados e arenitos conglomeráticos formam associações de fácies de depósitos de progradação de carga de fundo de fluxos de baixa densidade. Os arenitos muito grossos a médios formam depósitos de associações de fácies de canais rasos de dispersão de fluxos efêmeros e resultam de processos de correntes trativas de desaceleração de fluxo dispersivo em morfologias tabulares delgadas. Essas fácies foram denominadas de associação de fácies A, do modelo de Lima (2014).
- Formas de leito de dunas de crista reta (2D) [**Amg(ecba)**, **Am(ecba)**, **Af/mf(ecba)**]: fácies com estratificação cruzada tabular de baixo ângulo cuja textura varia desde arenito grosso até muito fino. Resultam de processos de correntes trativas de desaceleração de fluxos dispersivos com morfologias tabulares delgadas, formando associações de fácies e depósitos de canais

- rasos de dispersão de fluxos efêmeros. Correspondem à associação de fácies B do modelo de Lima (2014).
- c) Não há forma de leito evidente para as fácies maciças [**Cg(m)**, **Acg(m)**, **Amg/g(m)**, **Am(m)**, **Af/mf(m)**], pois em geral ocorrem amalgamadas. Porém, identificam-se três processos deposicionais: (i) conglomerados e arenitos conglomeráticos, maciços [**Cg(m)**, **Acg(m)**], formando pavimentos e fluxos de transição de baixa densidade relacionados a depósitos de progradação de carga de fundo (associação de fácies A de Lima, 2014); (ii) arenitos desde grossos até muito finos [**Amg/g(m)**, **Am(m)**, **Af/mf(m)**] com perda de estruturas por liquefação e escape de fluidos, originados em depósitos de canais rasos de dispersão de fluxos efêmeros (associação de fácies B, de Lima, 2014);
- d) Formas de leito tabulares representadas por fácies com gradação normal variando desde arenitos conglomeráticos, arenitos muito grossos a grossos, arenitos médios, arenitos finos a muito finos [**Acg(gn)**, **Amg/g(gn)**, **Am(gn)**, **Af/mf(gn)**]. Interpretadas como resultantes de processos de desaceleração de fluxos de baixa densidade e transição para fluxos trativos originados em depósitos de carga de fundo em transição para canais rasos. Corresponde à associação de fácies B de Lima (2014).
- e) Formas de leitos tabulares representadas por fácies de textura, arenitos grossos e finos a muito finos, com laminação plano-paralela [**Ag(pp)**, **Af/mf(pp)**] Foram interpretadas: (i) arenitos grosso, relacionados a dispersão de fluxos trativos de regime de fluxo inferior com morfologias tabulares; (ii) arenitos finos a muito finos, relacionados a dispersão de fluxos trativos de regime de fluxo superior com morfologias tabulares, originados por depósitos de canais rasos de dispersão de fluxos efêmeros rasos. Corresponde à associação de fácies B de Lima (2014).
- f) Formas de leitos tabulares representadas por fácies de textura siltitos a lamitos [**S(pp)**, **L(pp)**] relacionados a processos de suspensão e plumas de flotação geradas pela segregação de finos em fluxos de baixa densidade com morfologias tabulares. Corresponde à associação de fácies C e D de Lima (2014).

Com isso pode-se construir uma tabela de fácies simplificada (Quadro 1) com processos e correspondência ao modelo deposicional dos depósitos do Gráben Arroio Moirão.

Quadro 1 - Fácies, processos deposicionais e formas de leito (Dados da Pesquisa, 2015).

FÁCIES	Interpretação	Forma de leito	Associação de fácies do Modelo Depositional
A_{cg}(t)	Trativo, corrente subaquosa, fluxo inferior	3D	A
A_{mg/g}(tg)	Trativo, corrente subaquosa, fluxo inferior	3D	A
A_m(t)	Trativo, corrente subaquosa, fluxo inferior	3D	A
A_{mg}(ecba)	Trativo, corrente subaquosa, fluxo inferior	2D	B
A_m(ecba)	Trativo, corrente subaquosa, fluxo inferior	2D	B
A_{f/mf}(ecba)	Trativo, corrente subaquosa, fluxo inferior	2D	B
C_g(m)	Densidade, corrente subaquosa, fluxo inferior	Sem forma evidente de de leito	A
A_{cg}(m)	Trativo, corrente subaquosa, fluxo inferior	Sem forma evidente de leito	A
A_{mg/g}(m)	Trativo, corrente subaquosa, fluxo inferior	Sem forma evidente de leito	B
A_m(m)	Trativo, corrente subaquosa, fluxo inferior	Sem forma evidente de leito	B
A_{f/mf}(m)	Trativo, corrente subaquosa, fluxo inferior	Sem forma evidente de leito	B
A_{cg}(gn)	Trativo, corrente subaquosa, fluxo inferior	Tabular	B
A_{mg/g}(gn)	Trativo, corrente subaquosa, fluxo inferior	Tabular	B
A_m(gn)	Trativo, corrente subaquosa, fluxo inferior	Tabular	B
A_{f/mf}(gn)	Trativo, corrente subaquosa, fluxo inferior	Tabular	B
A_g(pp)	Trativo, corrente subaquosa, fluxo inferior	Tabular	B
A_{f/mf}(pp)	Trativo, corrente subaquosa, fluxo superior	Tabular	B
S(pp)	Suspensão, corrente subaquosa, inferior	Tabular	C
L(pp)	Suspensão, corrente subaquosa, inferior	Tabular	D

As fácies de cada perfil colunar de ambos os setores do GAM foram agrupadas em termos de sucessões de fácies com base em parâmetros de variação do tamanho de grão granodecrescente ascendente, e de superfícies de erosão ou não deposição. Tais sucessões representam ciclos deposicionais. Em todos os perfis colunares foram observadas sucessões de fácies granodecrescentes ascendentes, porém, com diferentes padrões de variação do tamanho do grão (figura 17).

Os padrões de sucessões de fácies I, II e III representam depósitos proximais onde, na base, são constituídos por litologias grossas, como conglomerados com intraclastos, que gradam para arenitos grossos, médios e granulosos com estratificação tangencial, e no topo, para arenitos finos com laminação plano paralela, siltitos e argilitos. Os padrões de sucessões de fácies IV e V são constituídos na base por texturas grossas como conglomerados e arenitos conglomeráticos que mudam abruptamente para arenitos finos e maciços (SF IV) ou para arenitos médios e, em seguida, para arenitos finos granulosos (V). O padrão de sucessão de fácies VI é constituído na base por arenitos médios que variam abruptamente para espessos siltitos laminados. A interpretação quanto ao contexto estratigráfico desses padrões de sucessões de fácies será explicada no capítulo 5.7.

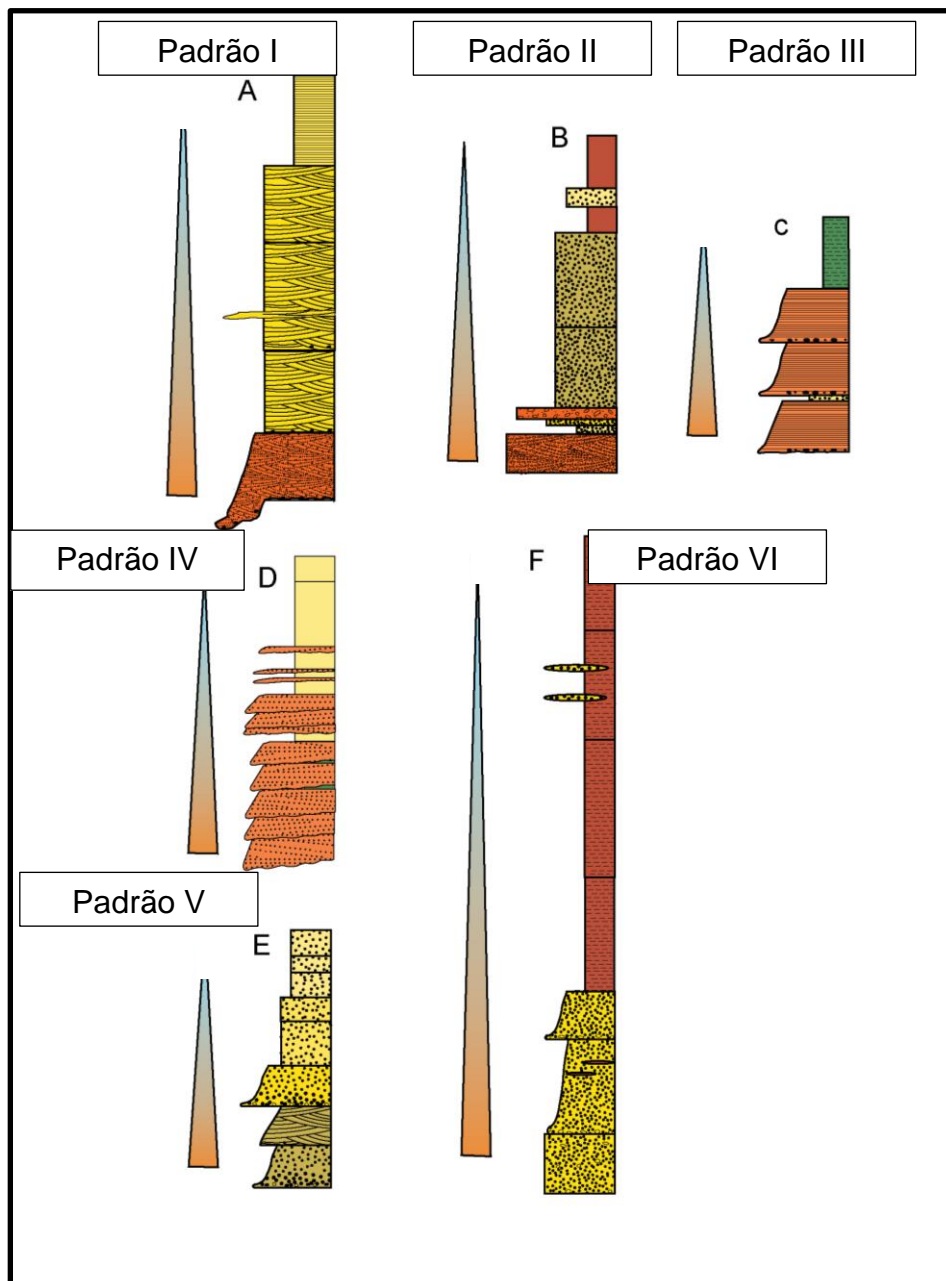


Figura 17 – Padrões de sucessões de fácies granodecrescentes ascendentes do Gráben Arroio Moirão. Sendo: I, II e III proximais; IV e V medianas; e VI distal (Dados da Pesquisa, 2015).

5.3. ESTRUTURAS DE DEFORMAÇÃO EM SEDIMENTO INCONSOLIDADO

Foram descritos cinco tipos de estruturas de deformação em sedimento inconsolidado (EDSI): (1) diques clásticos, (2) estruturas em flama, (3) superfícies de sobrecarga, (4) estruturas em pilar, (5) homogenitos, em quatro perfis do GAM, sendo eles PGAM12010, 12012, 1308 e 14012. Os perfis 12012 e 1308 situam-se no setor SW do gráben enquanto os perfis 12010 e 14012 situam-se ao longo da BR-392 perto da ponte do Rio Camaquã. Os perfis do setor SW apresentam todos os tipos de EDSI, enquanto os perfis da BR 392 apresentam apenas homogenitos e diques clásticos. A distância aproximada entre os dois setores é de 27 km. As descrições de todas as EDSI constam em detalhe a seguir.

5.3.1. Diques Clásticos

Os diques clásticos são estruturas de forma retilínea a lobada, de espessura máxima de 25 cm, de composição arenosa conglomerática, com grânulos e seixos de quartzo, e cortam pacotes de fácies por mais de cinco metros (figura 18). Ocorrem estruturados em feixes de diques, onde os mais espessos (diques de ordem 1) são acompanhados por até quatro diques de menor espessura (diques de ordem 2), espaçados de até 6 metros. A direção principal de 205° também coincide com algumas feições da geomorfologia do GAM. Muito embora a composição seja semelhante à da rocha encaixante, a ausência de feições de cataclase na análise de campo possibilita interpretar esses diques como zonas de mobilização de material com o sedimento ainda inconsolidado apresentando, também, deslocamentos de até 45 centímetros de camadas encaixantes ao dique.

5.3.2. Estruturas em flama

As estruturas em flama são estruturas de interdigitação de camadas sobrepostas e sotopostas sem controle por zonas de fratura (figura 19). Foram identificadas duas ocorrências desse tipo de estrutura com interdigitação de camadas de areia média a grossa em camadas de siltitos. As estruturas são de ordem centimétrica, com

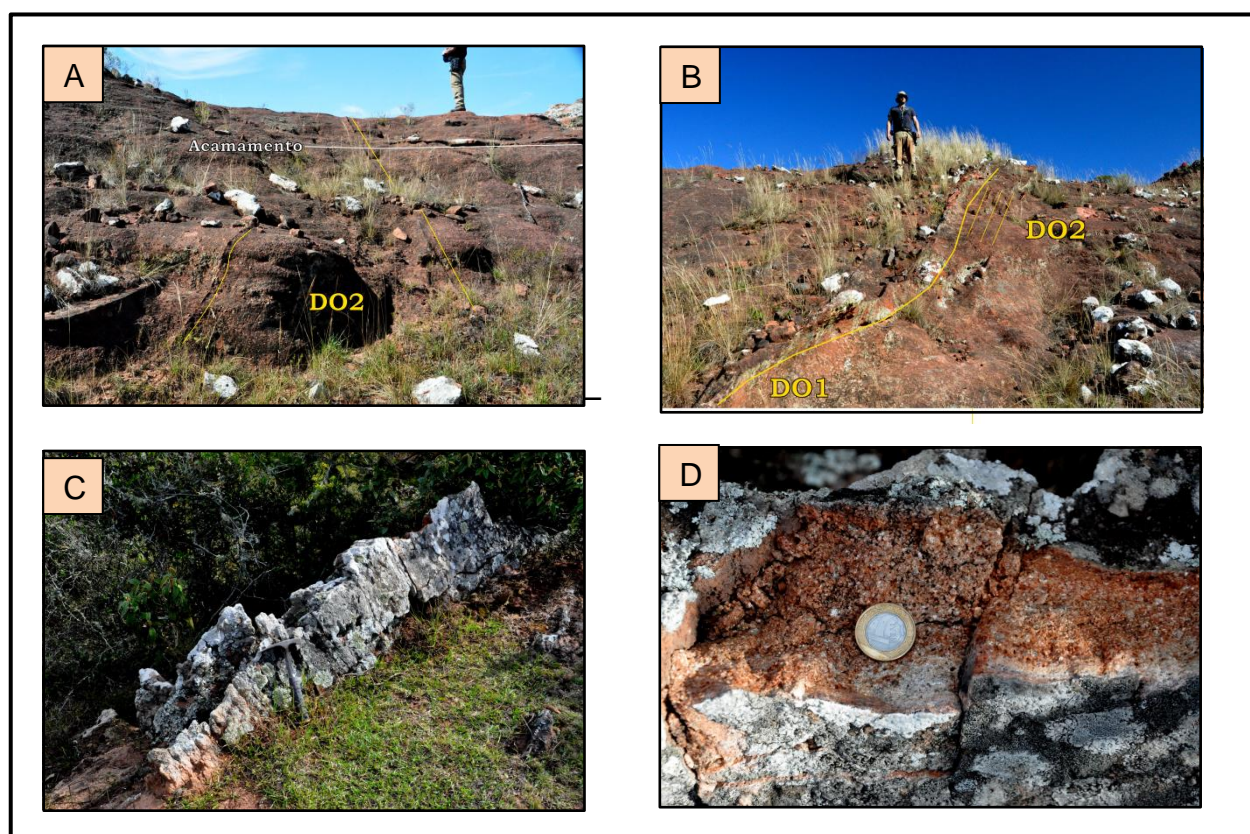


Figura 18 – EDSI registradas nos perfis PGAM1308 e PGAM1305. (Dados da Pesquisa, 2015).

Sendo: A) Diques clásticos no perfil PGAM1308 de ordem dois (DO2) discordantes do acamamento; B) Feixes de diques clásticos no perfil PGAM1308 sendo diques de ordem dois paralelizados ao dique de forma lobada de ordem um (D01); C) Dique clástico no ponto PGAM1305; D) Detalhe da composição do dique clástico. Perfil PGAM1305. (Dados da Pesquisa, 2015).

contatos irregulares e mantendo a continuidade com o restante do corpo. No perfil PGAM12-012 (figura 19B), a estrutura em flama está associada a uma superfície de sobrecarga onde o estrato superior – arenito grosso, que se interdigita em um siltito sotoposto, o qual apresenta feições de sobrecarga. No ponto PGAM12012 (figuras 19C e 19D), a camada inferior de areia grossa interdigita-se em um lamito, cujas estruturas deposicionais estão deformadas.

5.3.3. Superfícies de sobrecarga

As superfícies de sobrecarga são feições presentes principalmente nos contatos onde litologias finas estão sotopostas a litologias mais grossas (figura 19C). Além do contato irregular entras as duas litologias, são identificáveis, na camada sotoposta,

deslocamentos tanto no acamamento quanto a formação de fraturamentos não persistentes na litologia sobreposta e estruturas em flama (figura 20 A e B).

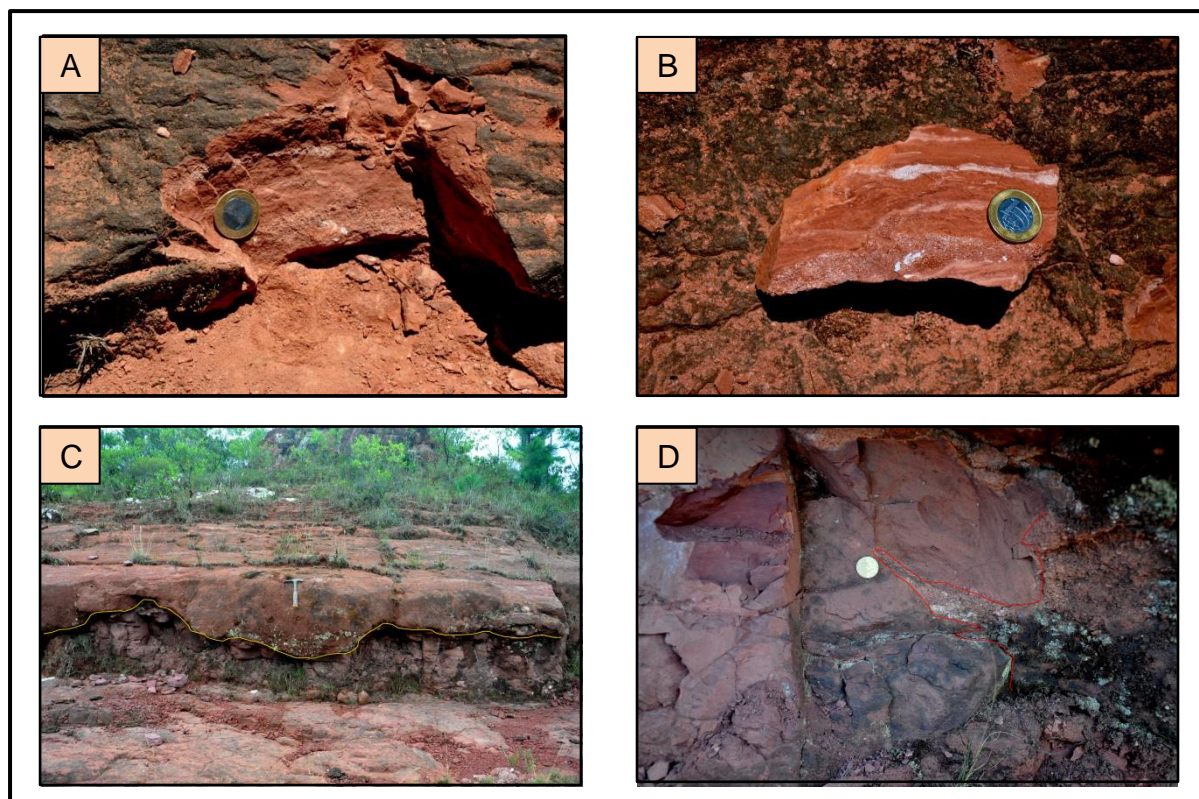


Figura 19 – EDSI registradas nos perfis PGAM1308 e PGAM12012.

Sendo: A) Estruturas em flama no perfil PGAM1308; B) Detalhe das estruturas em flama da fotografia 19A; C) Estruturas de sobrecarga no perfil PGAM12012 com estruturas em flama na camada sotoposta; D) Detalhe das estruturas em flama na camada sotoposta à superfície de sobrecarga conforme fotografia 19C (Dados da Pesquisa, 2015).

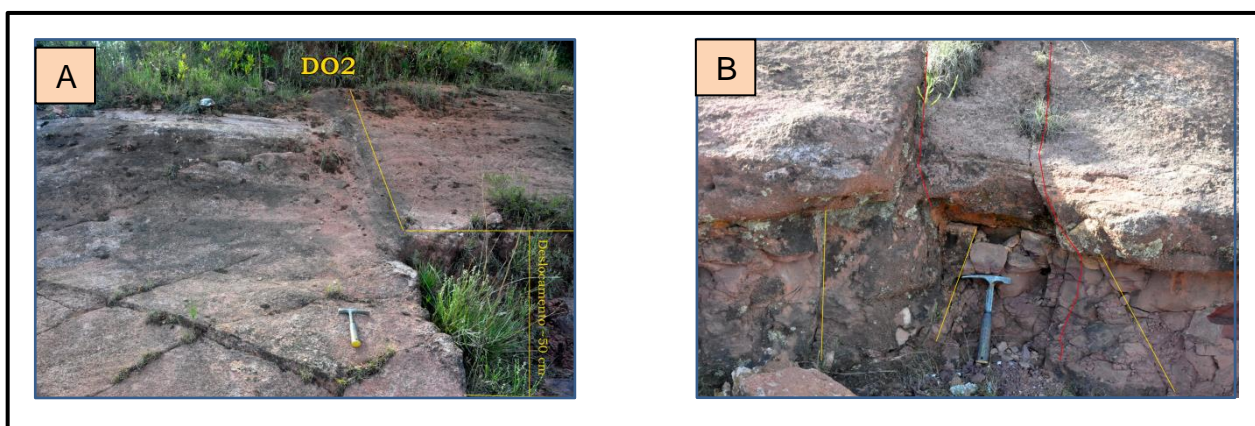


Figura 20 – A) Deslocamento no acamamento PGM12012; B) Duas famílias de fraturas sendo: vermelha persistente em ambas camadas e amarelo exclusiva da camada sotoposta (Dados da Pesquisa, 2015).

5.3.4. Estruturas em pilar

As estruturas em pilar são semelhantes às superfícies de sobrecarga e se formam como interdigitações de litologias mais grossas sobrepostas a litologias mais finas (figura 21). Porém, diferem em tamanho das superfícies de sobrecarga.



Figura 21 – Estrutura em pilar no perfil PGAM12012 (Dados da Pesquisa, 2015).

5.3.5. Homogenitos

Os homogenitos são camadas cujo aspecto aparenta obliteração total das estruturas sedimentares por possível ação de sismo (figura 22). No perfil PGAM12010 e 12012 as camadas têm um metro de espessura, composição argilosa a siltosa, sem direção preferencial de fraturas (o homogenito distingue-se perfeitamente das camadas soto e sobrepostas). A caracterização em detalhe dessa camada será explicada nos itens 5.5 e 5.6.

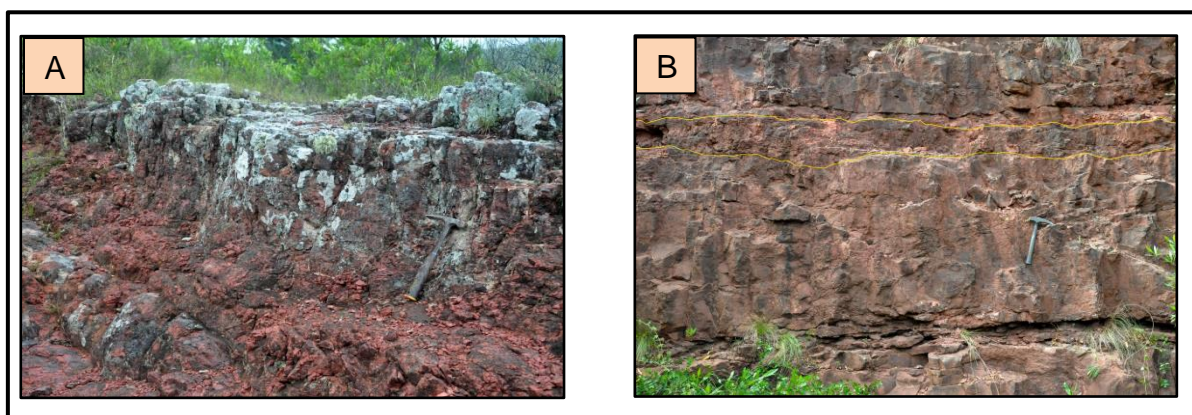


Figura 22 – A) Camada homogenizada por possível ação de sismo no perfil PGAM12012; B) Camada homogenizada no Perfil PGAM12010 (Dados da Pesquisa, 2015).

5.3.6. Edifício deformacional de EDSI

Foram elaborados edifícios deformacionais para os perfis PGAM12010, 12012, 1308 e 14012 onde a sucessão vertical de diferentes litologias mostra a variação das EDSI para cada perfil (figuras 23, 24, 25 e 26). No perfil PGAM12010 são identificados homogenitos, apresentando estrutura obliterada, geometria tabular e há uma descontinuidade das famílias de fraturas presentes nas camadas sobreposta e sotoposta. O perfil PGAM12012 apresenta diques clásticos métricos cortando os pacotes conglomeráticos, superfícies de sobrecarga de areias grossas em areias finas e estruturas em flama de conglomerados em siltitos. O perfil PGAM1308 apresenta enxames de diques, sendo os maiores diques encontrados com até nove metros de comprimento, cortando litologias de arenito grosso e interrompidos por uma camada de argilito com laminação plano paralela. O perfil PGAM14012 também apresenta diques clásticos com diques secundários e uma fácies conglomerática monomítica com seixos e blocos subangulosos de quartzo leitoso, limitada na base por expressiva superfície erosiva resultante de variação de nível de base. Essa fácies é encontrada no perfil PGAM13010 e é relacionada à base dos depósitos do GAM.

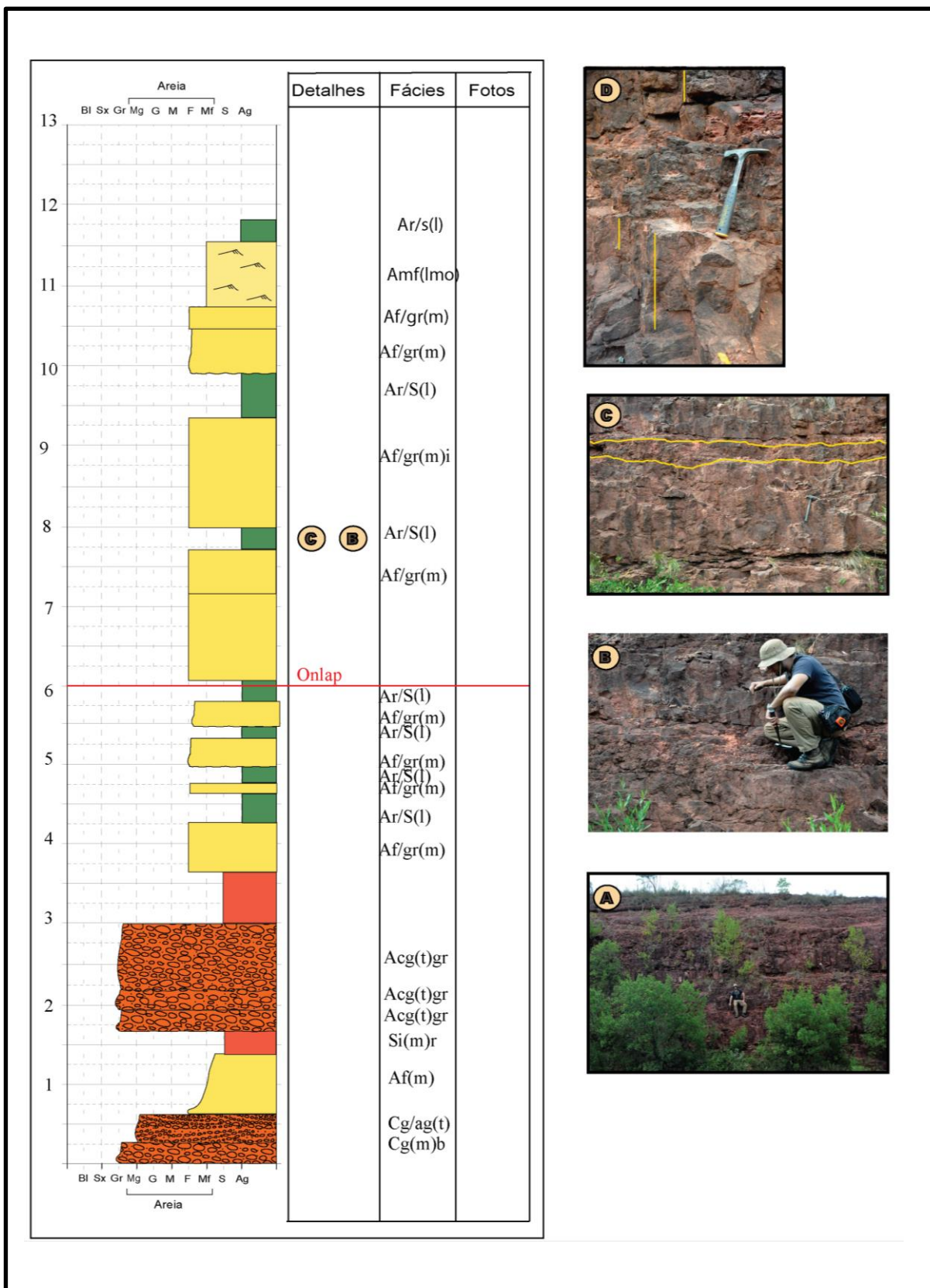


Figura 23 – Edifício deformacional registrado no perfil PGAM12010.

Sendo: A) Vista geral do afloramento; B) Camada homogeneizada; C) Limites da camada homogeneizada; D) Família de fraturas não persistentes no homogenitos. (Dados da Pesquisa, 2015).

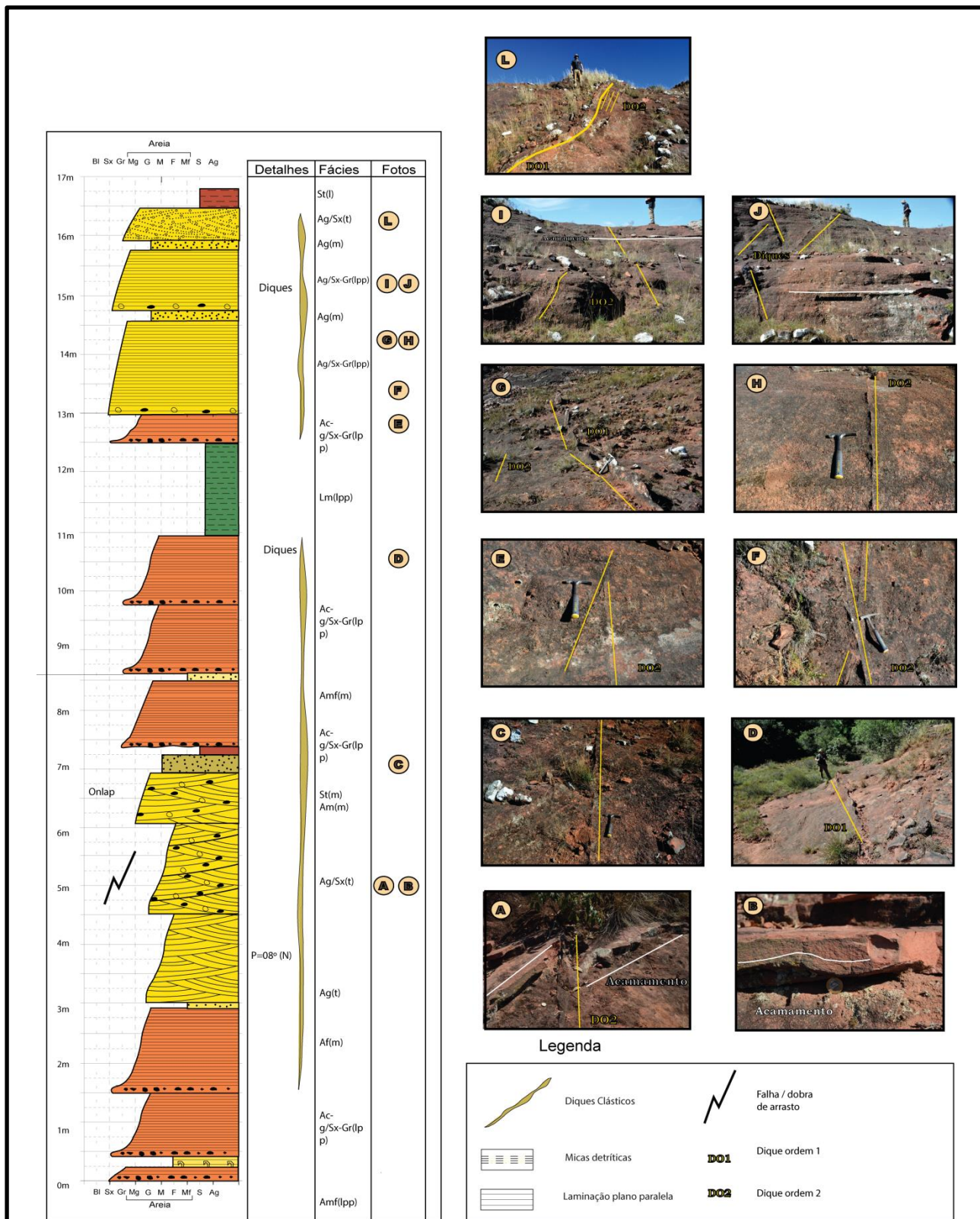


Figura 24 – Edifício deformacional registrado no perfil PGAM1308. (Dados da Pesquisa, 2015).

Sendo: A) Dique clástico deslocando camadas; B) Detalhe das camadas deslocadas; C, D, E, F, G, H, I, J e L assinalam feixes de diques clásticos. (Dados da Pesquisa, 2015).

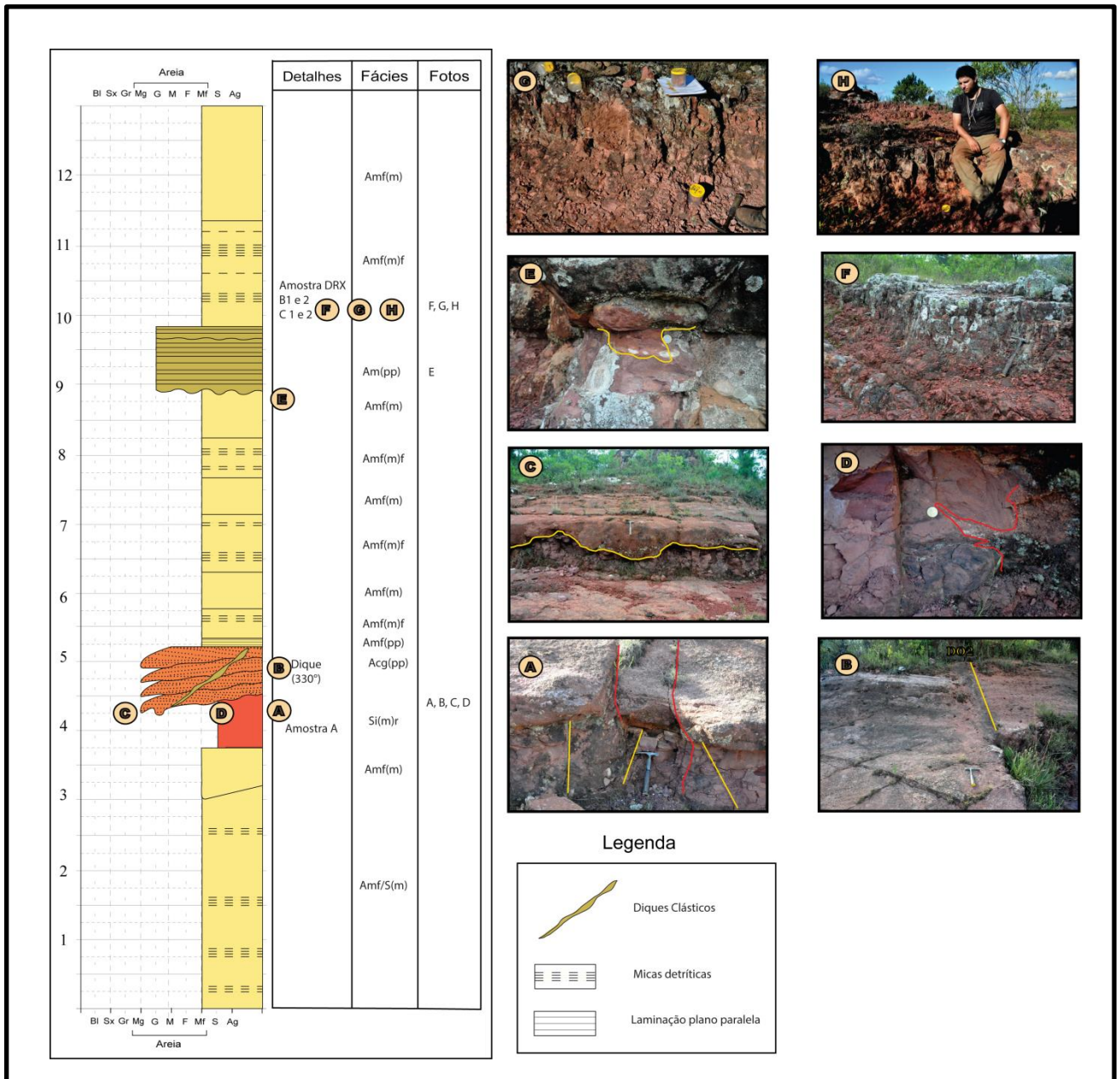


Figura 25 – Edifício deformacional registrado no perfil PGAM12012. (Dados da Pesquisa, 2015).

Sendo: A) Famílias de fraturas não persistentes (em amarelo); B) Dique clástico associado a falhas; C) Superfície de Sobrecarga; D) Estrutura em flama; E) Estrutura em pilar; F) Camada homogenizada; G e H) Detalhe da amostragem da camada homogenizada. (Dados da Pesquisa, 2015).

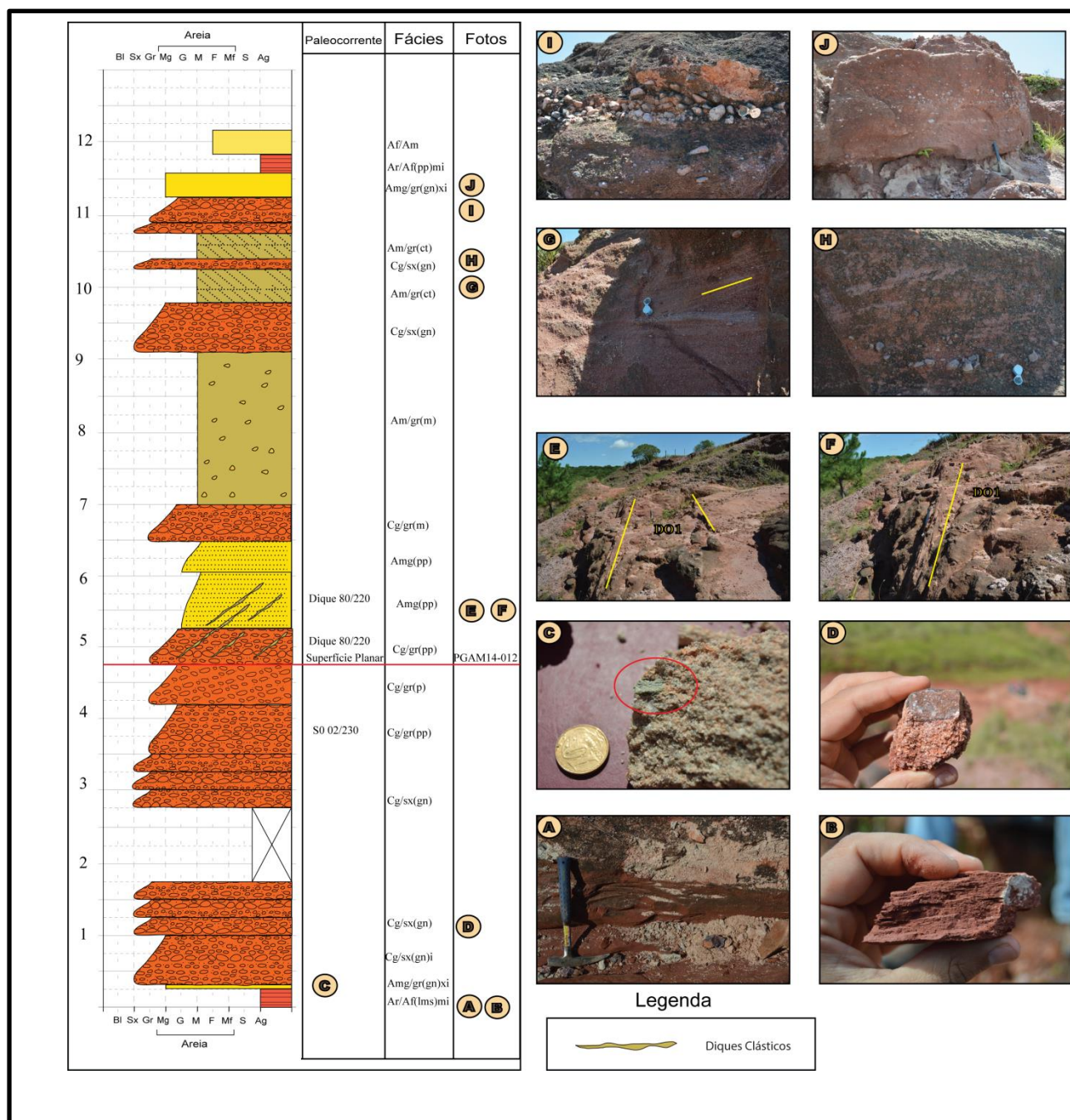


Figura 26 – Edifício deformacional registrado no perfil PGAM14012. (Dados da Pesquisa, 2015).

Sendo: A e B) Argilitos com laminação plano paralela; C) Arenito muito grosso com grânulos de xisto [amg/gr(gn)xi]; D) Detalhe da variação granulométrica da fácies [Cg/sx(gn)]; E e F) Diques clásticos de ordem 1; G) Detalhe das estratificações cruzadas planas; H) Gradação normal intraestratal; I e J) Conglomerática monomítica com seixos e blocos subangulosos de quartzo leitoso, relacionado à base dos depósitos do GAM (Dados da Pesquisa, 2015).

5.4. CARACTERIZAÇÃO MICROSCÓPICA DE DIQUES CLÁSTICOS

Neste item, apresentamos a comparação composicional de diques clásticos com suas rochas encaixantes. Os diques foram selecionados em dois perfis colunares, PGAM1309 e PGAM1305, por apresentarem espessura suficiente para amostragem e confecção de lâminas delgadas. Em campo, os diques apresentam composição idêntica à rocha encaixante, sendo descritos como arenitos conglomeráticos, com seixos e grânulos de quartzo e matriz argilosa. Em ambos os perfis, os diques apresentam orientação diferente do acamamento sedimentar da rocha encaixante, sendo dispostos em feixes de diques menores orientados paralelamente ao dique de ordem 1.

No perfil PGAM1309 (figura 27), a encaixante é constituída por arenito conglomerático lamoso, lítico, cujo arcabouço tem composição de quartzo tanto monocristalino (28%) como policristalino (61%), e feldspatos caulinitizados (11%). Na matriz argilosa, ocorre substituição de micas por caulinita. Nesse perfil, o dique clástico apresenta composição semelhante, com quartzo monocristalino (60%), quartzo policristalino metamórfico de aspecto fitado (35%) e feldspato completamente caulinitizado (5%). Na matriz argilosa, ocorre a substituição de micas por caulinita diagenética e cimentos de óxido de ferro. A classificação composicional no diagrama de Folk (1968) tanto dos diques quanto dos arenitos encaixantes encontra-se no campo dos arenitos subarcóseos (figura 27).

O arenito encaixante identificado no perfil PGAM1305 é muito grosso, lamoso, lítico e com fragmentos de mica. O arcabouço é composto por quartzo policristalino metamórfico com aspecto fitado (64%), quartzo monocristalino (30%) e feldspato completamente alterado para caulinita (6%). A composição do arcabouço do dique clástico é constituída de quartzo policristalino (60%), quartzo monocristalino (28%), feldspatos caulinitizados (12%). Fragmentos de micas ocorrem na matriz (Figura 28). Tanto os diques como os arenitos encaixantes são classificados, de acordo com o diagrama de Folk (1968), como subarcóseos.

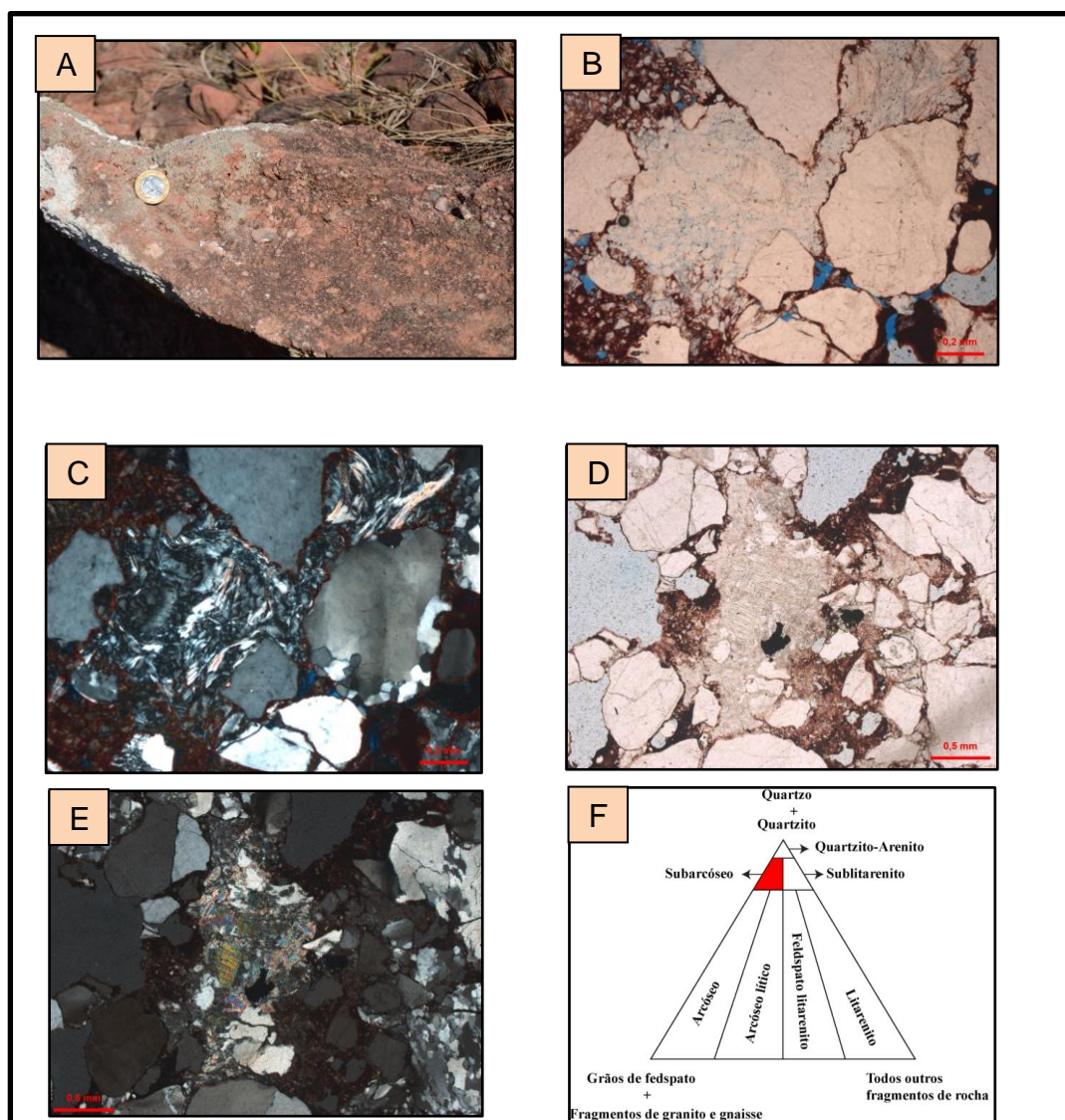


Figura 27 – Texturas macroscópicas e microscópicas dos diques clásticos e encaixantes identificados no Perfil PGAM 1309. (Dados da Pesquisa, 2015.)

A) Detalhe macroscópico da textura do dique clástico; B) Fotomicrografia do arenito encaixante (luz natural); C) Fotomicrografia do arenito encaixante em que se evidencia a substituição de mica por caulinita diagenética (nicois cruzados); D) Fotomicrografia do dique clástico em que se evidencia quartzo policristalino, o feldspato substituído por caulinita, e caulinita diagenética substituindo mica (luz natural); E) Fotomicrografia do dique clástico idêntica a anterior, porém com nicois cruzados; F) Diagrama composicional onde a área em vermelho assinala a composição dos diques e arenitos encaixantes (Folk, 1968, modificado por Borsa, 2015).

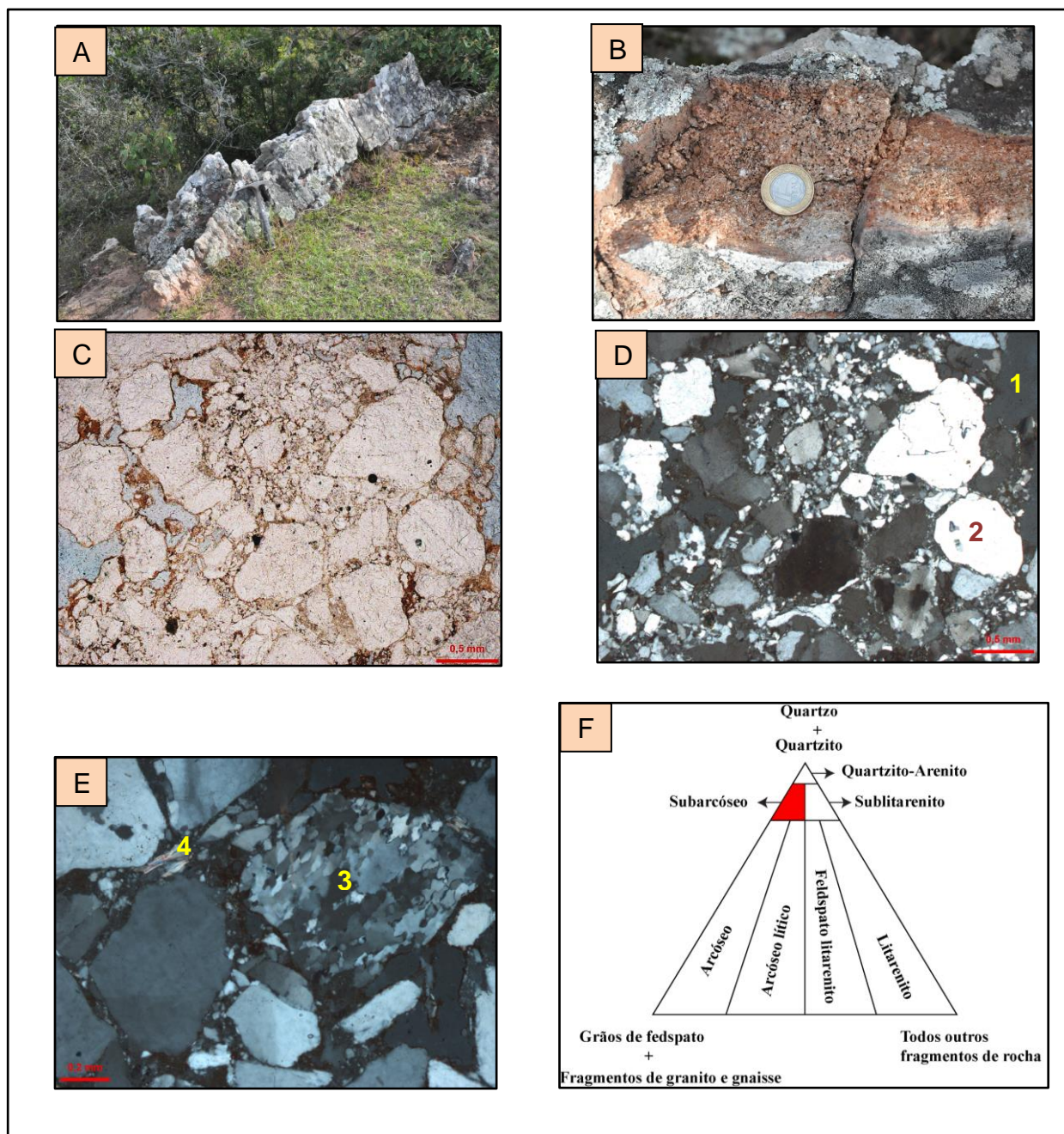


Figura 28 – Texturas macroscópicas e microscópicas dos diques clásticos e encaixantes identificados no Perfil PGAM 1305. (Dados da Pesquisa, 2015).

A) Morfologia de dique clástico resultante de erosão diferencial com a encaixante; B) detalhe da textura macroscópica do dique clástico; C) Fotomicrografia da textura do arenito encaixante (luz natural); D) Composição textural do arenito encaixante (nicóis cruzados): 1 – feldspato alterado, 2 quartzo monocristalino; E) Fotomicrografia a nicóis cruzados: quartzo policristalino (3) e fragmento de mica (4); F) Diagrama composicional cuja área em vermelho assinala a composição de diques clásticos e arenitos encaixantes (Modificado de Folk, 1968). (Dados da Pesquisa, 2015).

5.6. CARACTERIZAÇÃO ANALÍTICA DE HOMOGENITOS.

Para uma maior compreensão das camadas homogeneizadas, aplicaram-se análises de detalhamento por meio de difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura. Dessa forma, foram classificadas as frações finas dos homogenitos inferiores a $<4\ \mu\text{m}$ com a difração de raios X e assinaturas texturais dos sismitos.

A análise macroscópica dos homogenitos identificados nos perfis PGAM12012 e PGAM 1210 revela uma composição argilosa a siltosa, com aspecto de obliteração das estruturas sedimentares. A caracterização por difração de raios X mostra picos evidentes de caulinita e quartzo e, em menor expressão, illita. A análise por microscopia eletrônica de varredura mostra um carácter detrítico das frações argilosas recobrindo possíveis grãos maiores, presença de caulinita pseudo-hexagonal, substituição de grãos de feldspato por caulinita tipo 'livreto' (*booklet*) e presença de possíveis grãos de mica.

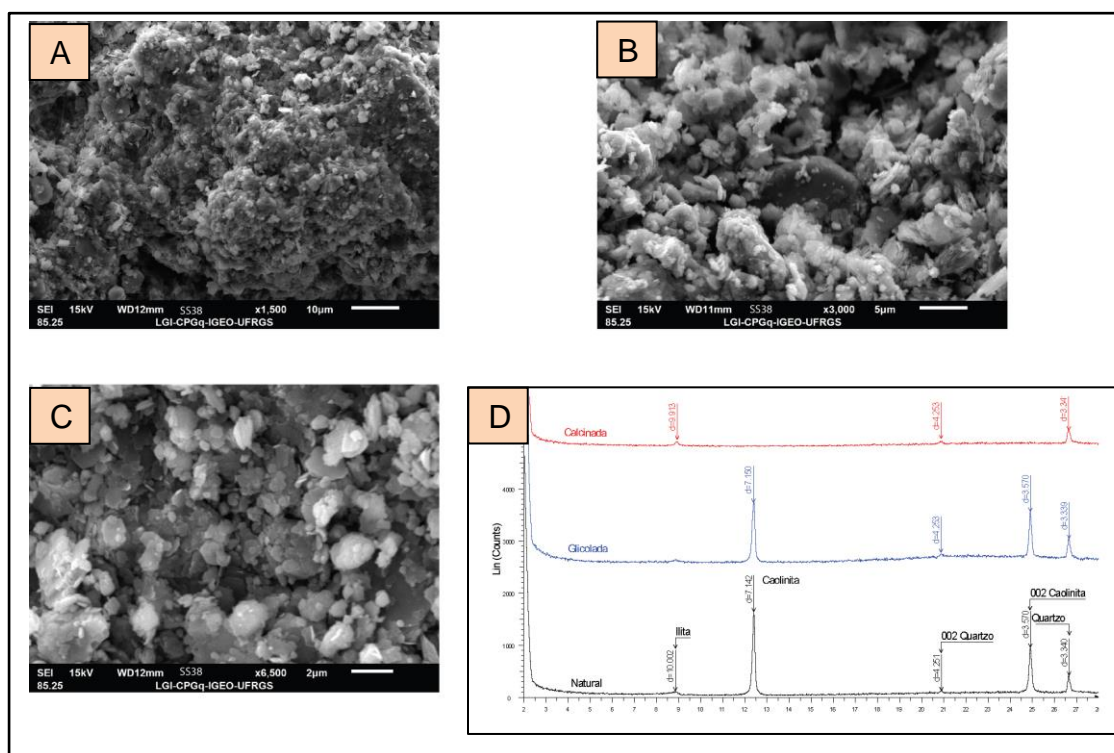


Figura 29 – Imagens micrográficas obtidas por MEV de homogenito identificado em PGAM12010. (Dados da pesquisa, 2015.)

A) Microtextura detrítica de argilas recobrindo um possível grão; B) Grão recoberto por caulinita pseudo-hexagonal; C) Detalhe de caulinitas pseudo-hexagonais; D) Difratoograma que tipifica a ocorrência de caulinita e quartzo. (Dados da pesquisa, 2015.)

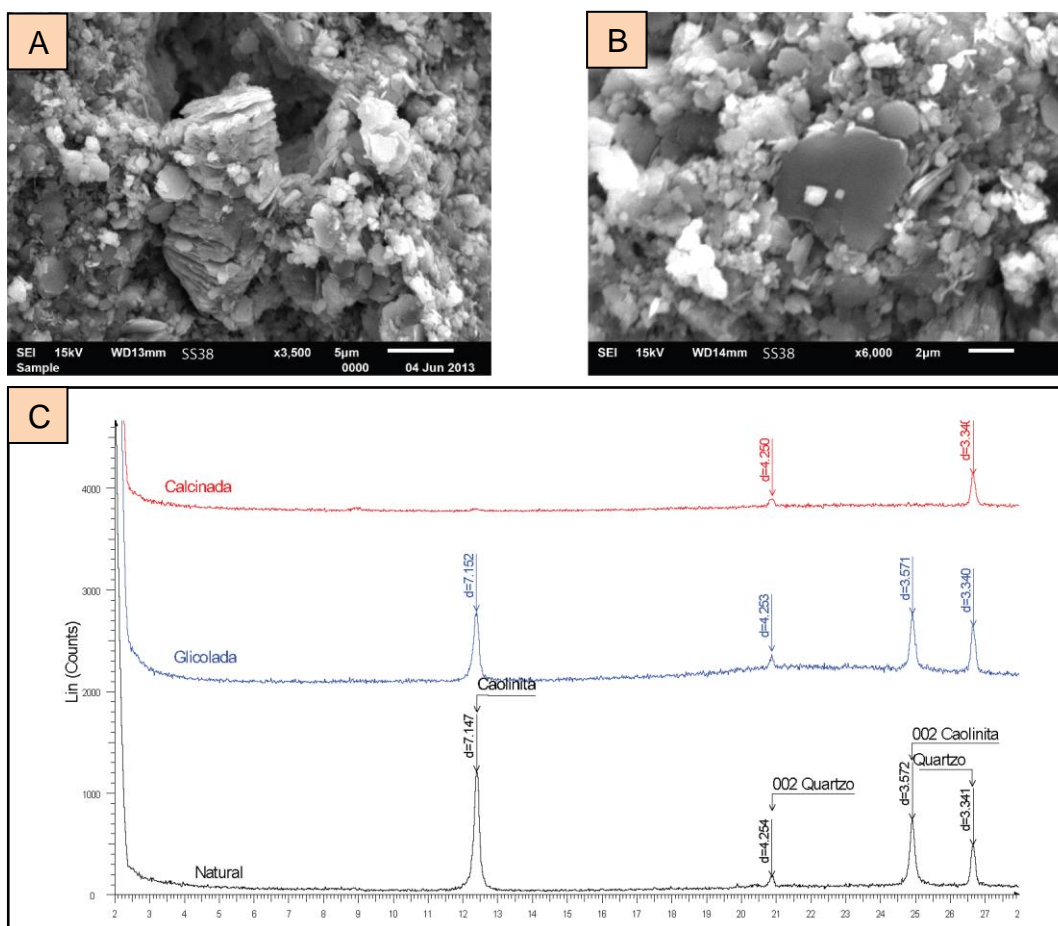


Figura 30 – Imagens micrográficas obtidas por MEV de homogenito identificado em PGAM 12010.

A) Agregado de caulinita euédrica tipo 'livreto' (*booklet*). B) Detalhe de caulinitas pseudo-hexagonais; C) Difratoograma que tipifica a ocorrência de caulinita e quartzo. (Dados da pesquisa, 2015.)

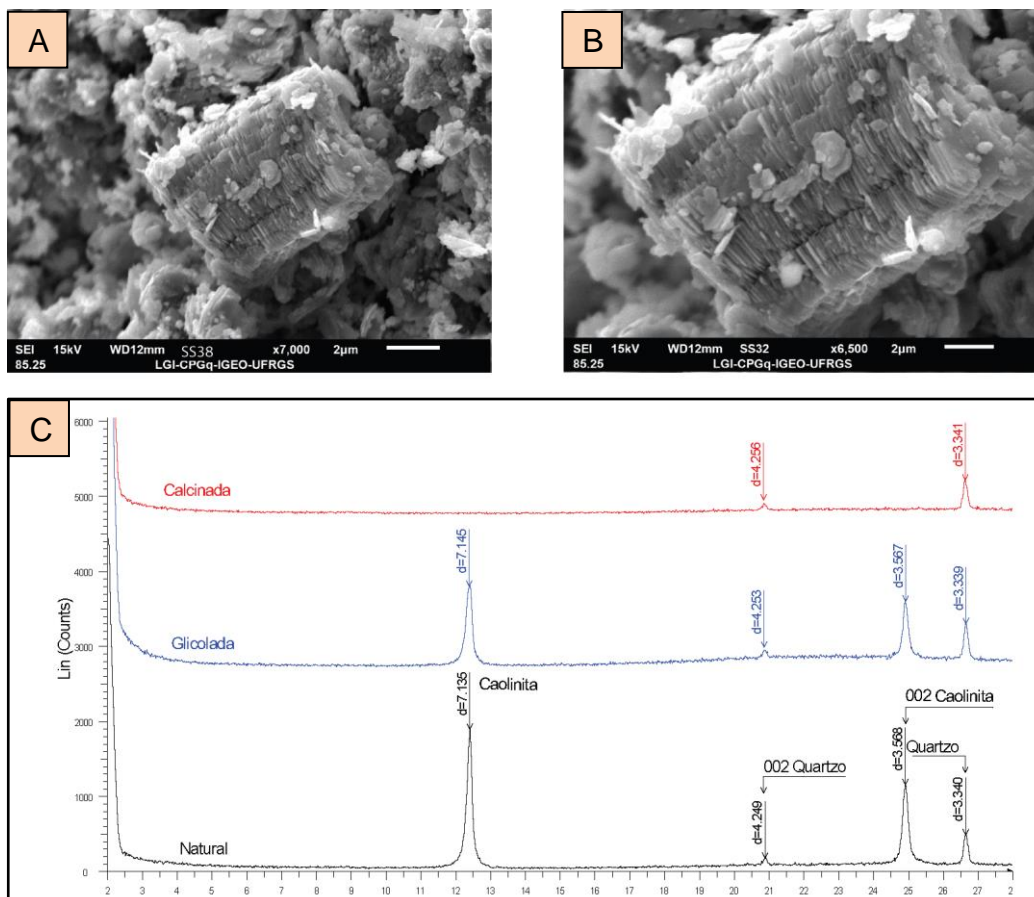


Figura 31 – Imagens micrográficas obtidas por MEV de homogenito identificado em PGAM12012.

A e B) Detalhae de agregado euédrico de caulinita tipo 'livreto' (*booklet*) recobrando possível grão de feldspato; C) Difratoograma que tipifica a ocorrência de caulinita e quartzo. (Dados da pesquisa, 2015.)

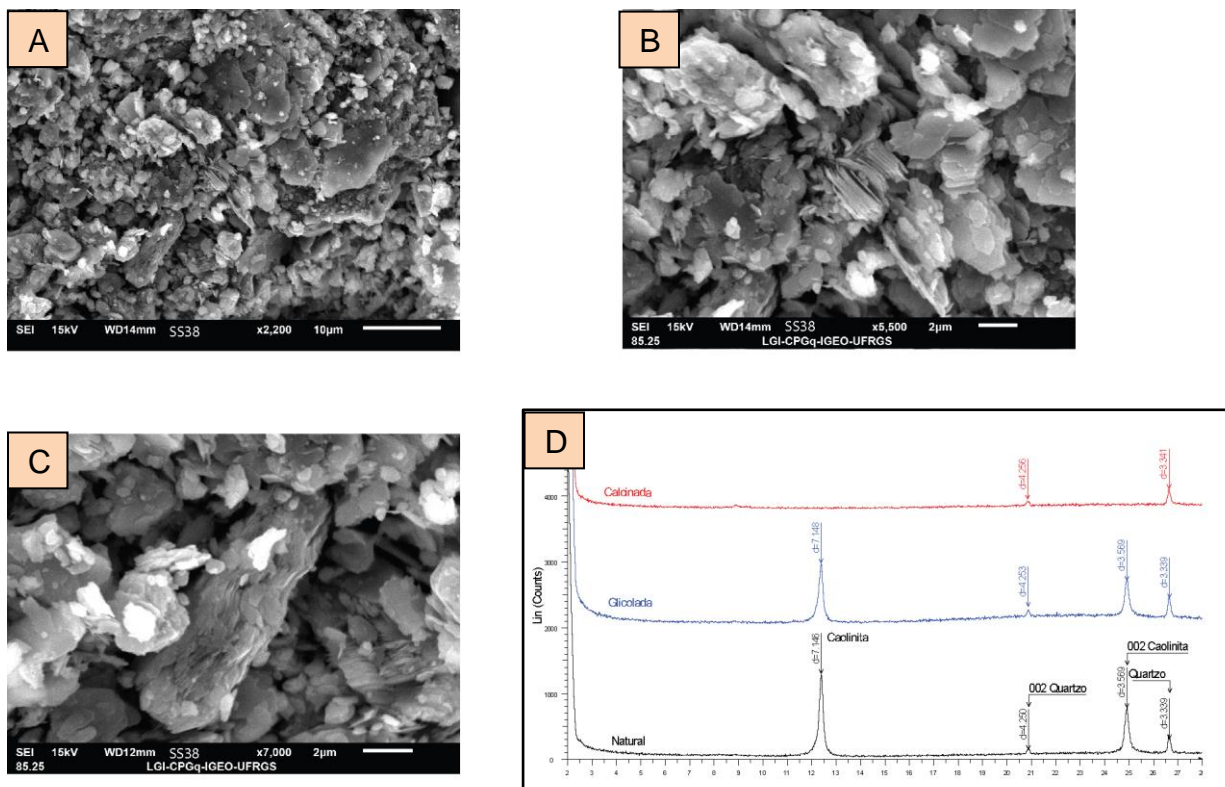


Figura 32 – Imagens micrográficas obtidas por MEV de homogenito identificado em PGAM12012.

A) Caulinita pseudo-hexagonal; B) Detalhe de caulinitas tipo 'livreto' (*booklet*); C) Possível agregado de mica; D) Difratoograma que tipifica a ocorrência de caulinita e quartzo. (Dados da pesquisa, 2015.)

5.7. ARCABOUÇO ESTRATIGRÁFICO

Para a elaboração do arcabouço estratigráfico de alta resolução das unidades triássicas aflorantes no GAM, foram elaboradas duas seções de correlação dos perfis colunares ali levantados. A seção ao longo da BR 392 é formada por 17 perfis colunares e estende-se por aproximadamente 20 km (figura 34). Já a seção do setor SW conta com 11 perfis colunares ao longo de aproximadamente 8 km de extensão (figura 35). A construção do arcabouço estratigráfico foi feita por meio da identificação de padrões texturais granodecrescentes ascendentes (figura 17) e do reconhecimento de superfícies chaves de correlação (figura 33). Com base nesses parâmetros, foram definidos ciclos deposicionais identificados em cada perfil colunar e, posteriormente, correlacionados. Define-se que tais ciclos estão completos quando se encontram limitados na base e no topo por superfícies de erosão e, incompletos quando se identificada apenas a superfície basal de erosão. Esses critérios operacionais definem uma aplicação prática da metodologia de sequências deposicionais (Catuneanu, 2006) próprias para a área mapeada em que ocorrem depósitos eminentemente continentais.

5.7.1. Superfícies chave de correlação

Dessa forma, procedeu-se inicialmente a identificação, em cada perfil, das superfícies-chave de correlação (figura 33), cujos critérios seguem abaixo:

- a) **Superfície de erosão:** reconhecimento em campo da própria superfície marcada por acentuada diferença textural, com frequente presença de intraclastos e tendo como superfície-tipo aquela identificada no perfil PGAM1402, onde um conglomerado maciço com intraclastos encontra-se sobreposto por meio de contato erosivo a um siltito.
- b) **Superfície de erosão conforme:** correlata à superfície de erosão, porém, devido à variação lateral dos sistemas deposicionais, a diferença do tamanho de grão entre a litologia sotoposta à superfície limitante e a sobreposta é menor. É identificada em arenitos granulosos, médios, e conglomeráticos sobrepostos a arenitos muito finos e siltitos.

- c) **Superfície de afogamento em argilito:** representa o máximo afogamento dos ciclos granodrecrescente ascendentes.
- d) **Superfície de afogamento conforme em arenito fino:** representa o afogamento dos ciclos granodrescentes ascendentes em arenitos finos, arenitos com *climbing ripples*, arenitos com estratificação plano paralela. São correlatas às superfícies de afogamento em argilito.
- e) **Superfície de afogamento conforme em siltito:** representa o afogamento dos ciclos granodrescentes ascendentes em siltitos. Correlatas às superfícies de afogamento em argilito.
- f) **Superfície de afogamento conforme em arenito:** superfícies correlatas de afogamento em litologias de textura mais grossa, como arenitos finos e muito finos. Expressa a variação lateral dos depósitos correlata aos afogamentos.

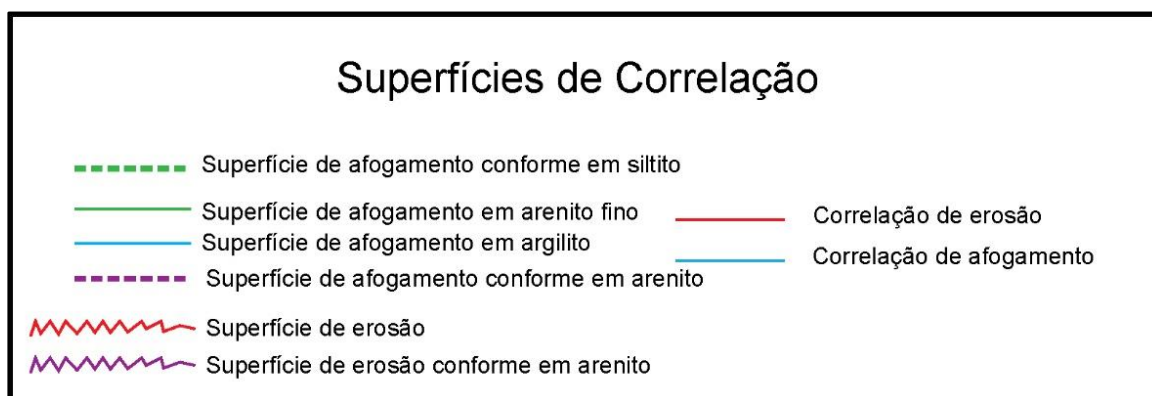


Figura 33 – Tipologias de superfícies chaves de correlação. (Dados da Pesquisa, 2015.)

Fez-se, também, o reconhecimento de horizontes caracterizados como sismitos para utilizá-los como camadas guias. Identificaram nos perfis estratigráficos as litologias com ocorrência de EDSI para correlacioná-las lateralmente (Figura 34). Contudo, a ocorrência restrita a poucos perfis não possibilitou sua ampla utilização como camada guia de correlação lateral. Investigações mais pormenorizadas poderão avançar no seu uso dessa possibilidade técnica.

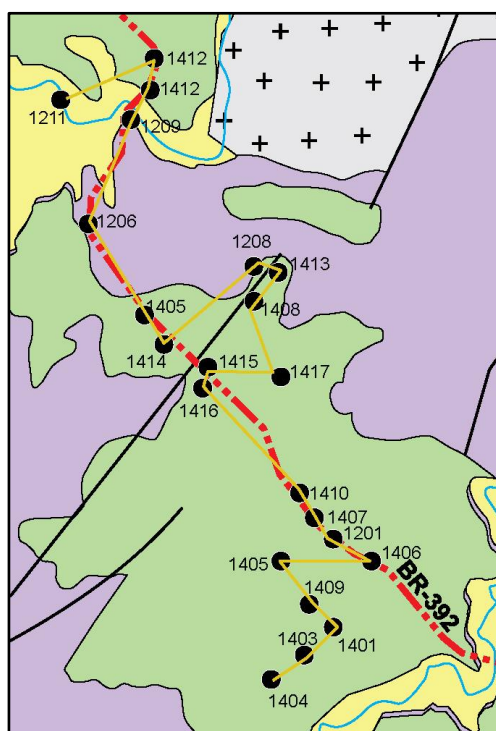


Figura 34 – Localização de perfis colunares da seção ao longo da BR 392 no Gráben Arroio Moirão. (Dados da Pesquisa, 2015.)

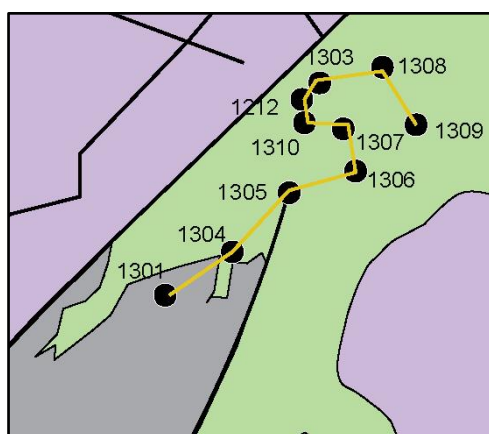


Figura 35 - Localização de perfis colunares da seção do setor SW do Gráben Arroio Moirão. (Dados da pesquisa, 2015.)

5.7.2. Seção de correlação ao longo da BR 392: Ciclos Depositionais I e II

A seção de correlação ao longo da BR 392 (figuras 38 e 39) é composta por dois ciclos deposicionais. O **Ciclo Depositional I** (CD I), completo e limitado na base e topo por superfícies erosivas, e o **Ciclo Depositional II** (CD II), incompleto, limitado na base por sua superfície erosiva. A espessura média do **Ciclo Depositional I** (CD I) é de dez metros e apresenta rastreabilidade ao longo de toda seção. Esse ciclo tem por característica depósitos proximais, como aqueles representados no perfil PGAM1204, formados por espessos pacotes de fácies de conglomerados na base, gradando para o topo para arenitos médios a grossos com seixos, sendo equivalentes às associações de fácies A do modelo de Lima (2014). As porções medianas encontram-se bem representadas no perfil PGAM1208, cujos arenitos muito grossos com estratificação cruzada tangencial estão encimados por arenitos finos com laminação plano paralela, sendo equivalente às associações de fácies B do modelo de Lima (2014). Por fim, as porções distais têm melhor representação no perfil PGAM12010, com arenitos finos alternando com argilitos e lateralmente correlacionados a depósitos de heterolitos e, no perfil PGAM1402, com arenitos finos com laminação plano paralela encimados por espesso pacote de siltitos, sendo equivalentes às fácies distais C e D do modelo de Lima (2014). O CD I é limitado no topo pela superfície de erosão basal de CD II.

O **Ciclo Depositional II** (CD II) tem espessura média de 10 m e apresenta uma superfície de erosão basal bem marcada em quase todos os perfis colunares dessa seção, sendo melhor correlacionável aquela do CD I. A melhor expressão da superfície de erosão basal é reconhecida no perfil PGAM1401, onde está representada pelo contato erosivo de conglomerados maciços com intraclastos lamosos sobrepostos aos depósitos de siltitos. O Ciclo Depositional II evidencia o afogamento para o topo nos perfis PGAM1401 e PGAM1202, com espessos pacotes de siltitos e, nos perfis PGAM1210 e PGAM1211, pelos espessos depósitos com alternância de heterolitos e argilitos. Uma característica peculiar desse ciclo é a ocorrência de um nível de seixos monomíticos, quartzosos e subangulosos no perfil PGAM14012. Esse nível é comparável àquele que ocorre na base do perfil PGAM13010, da seção de correlação do setor SW (Figura 36 A).

5.7.3. Seção de correlação do setor SW: Ciclos Depositionais I a V

Na seção de correlação dos perfis colunares do setor SW (figuras 40 e 41) foram reconhecidos 5 ciclos deposicionais, sendo completos os ciclos deposicionais I e II (CDI e CDII), limitados na base e no topo por superfícies erosivas; o CD III e CD IV, também estão completos, porém o primeiro, é restrito a 3 perfis; e, o segundo, a dois perfis. Por fim, o Ciclo Depositional V, é incompleto e restrito a somente dois perfis.

O **Ciclo Depositional I** tem a superfície basal de erosão muito bem caracterizada ao longo do perfil por meio do contato irregular de fácies de texturas grossas, com intraclastos e seixos de composição quartzosa (Figura 36B), sobrepondo eventualmente arenitos finos. O nível quartzoso, que ocorre no perfil PGAM13010, é considerado a porção basal das unidades sedimentares do GAM.

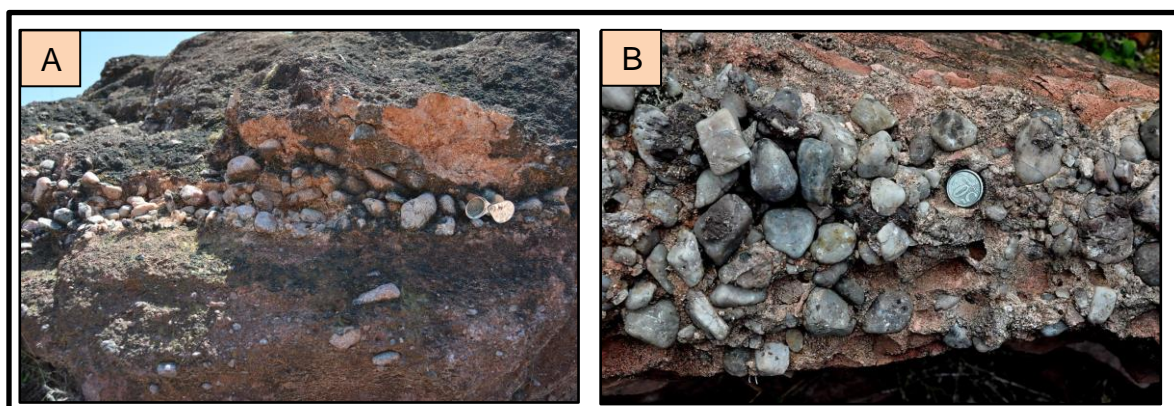


Figura 36 – Detalhe dos níveis seixosos de quartzo que ocorrem (A) no Perfil PGAM14012 da BR 392; e (B) no Perfil PGAM13010, setor SW. (Dados da Pesquisa, 2015.)

As porções proximais do CDI têm melhor representação no perfil PGAM1308, cujos pacotes de conglomerados com estratificação plano-paralela e níveis de intraclastos na base gradam em direção ao topo para arenitos com estratificação cruzada de baixo ângulo e intraclastos dispersos. No perfil PGAM1309, evidencia-se, nesse ciclo, um nítido afogamento, representado por espesso pacote de siltitos laminados. O CD I apresenta porções proximais e medianas equivalentes às associações de fácies A e B do modelo de Lima (2014).

O **Ciclo Depositional II (CDII)** apresenta superfície de erosão basal evidenciada pelo contraste textural que ocorre nos perfis PGAM1309, 1308, 12012, 1307, 1310.

Há um contato erosivo bem marcado por conglomerados e arenitos grossos com intraclastos sobreposto aos pacotes de argilito e siltito do topo da CDI. O Ciclo Depositional II apresenta espessamento das porções distais no perfil PGAM1309 e ocorrência de níveis de arenitos finos com expressiva quantidade de mica detrítica, como observado no perfil PGAM1212 (Figura 37), representando às associações de fácies D do modelo de Lima (2014). As espessas de fácies de porções medianas, representados por arenitos médios, granulosos e com estratificação cruzada de baixo ângulo nos perfis PGAM1301, PGAM1302 e PGAM1304, representam bem as associações de fácies B do modelo de Lima (2014).

O **Ciclo Depositional III** (CDIII) não está presente em todos os perfis do setor SW. Sua melhor expressão ocorre entre os pontos PGAM1305, 1306, 1310 e com correlações laterais incompletas com os perfis 12012 e 1309. O CDIII apresenta superfície basal de erosão marcada por conglomerados em contato erosivo com os arenitos finos de topo da sequência CDII. Evidenciam-se também fácies da porção mediana, as quais estão representadas no perfil PGAM1305 por fácies com estruturas festonadas que indicam certo grau de canalização desses depósitos medianos. As porções distais, e, por consequência, as superfícies de inundação, marcam um afogamento no CDIII mais pronunciado que os ciclos sotopostos, estando representado por arenitos finos e argilitos, no perfil PGAM12012, e apenas por argilitos, no topo do perfil PGAM1309.



Figura 37 – Arenito fino com grande quantidade de mica detrítica. (Dados da Pesquisa, 2015.)

Os **Ciclos Depositionais IV e V** representam pequenos intervalos granodecrescentes ascendentes que ocorrem apenas em dois perfis, PGAM 1305 e PGAM1306. A pouca rastreabilidade das superfícies erosivas que os limitam, não fornece critérios suficientes para sua correlação.

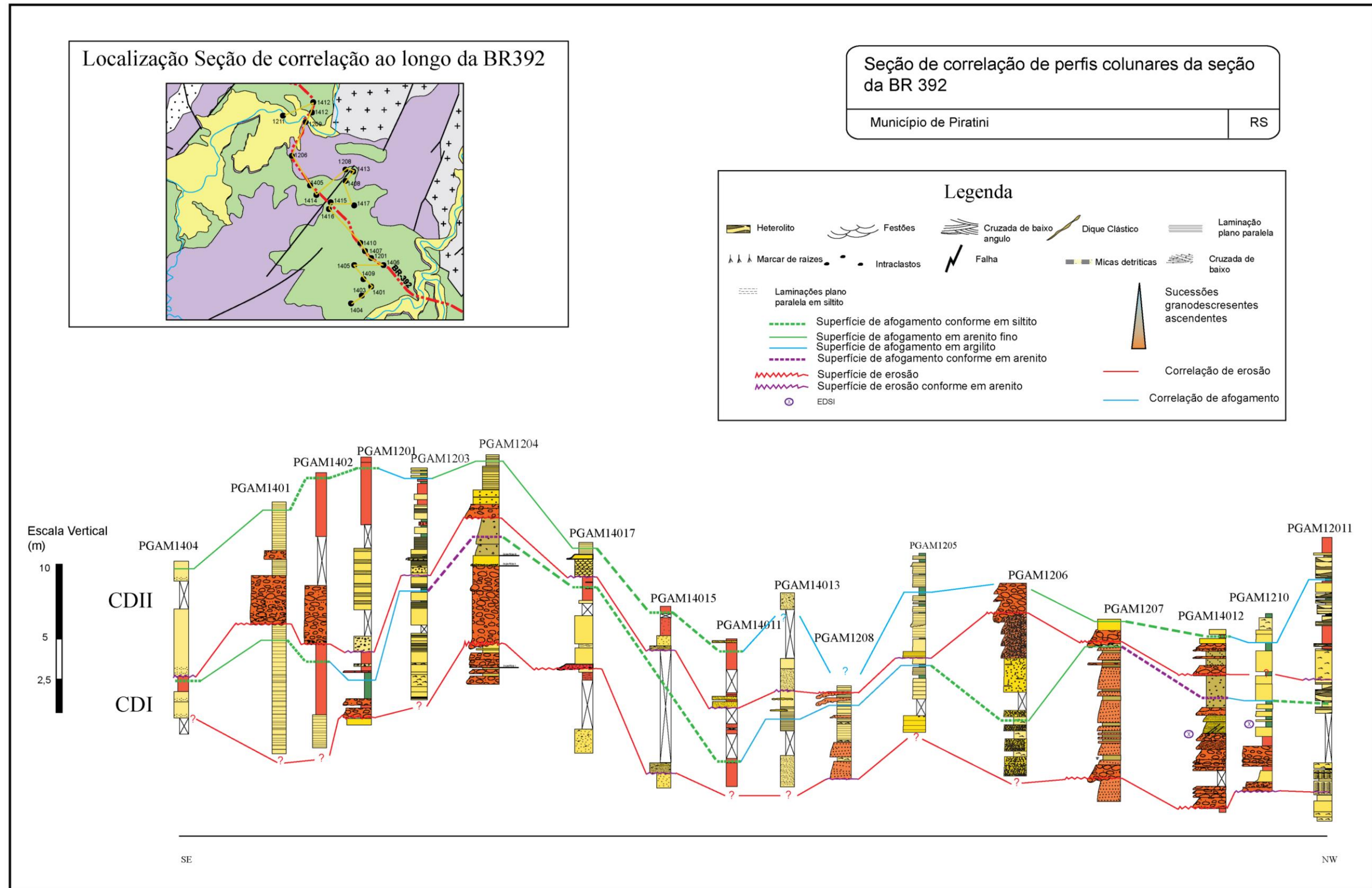


Figura 38 – Correlação estratigráfica dos perfis colunares da seção da BR 392. (Dados da Pesquisa, 2015.)

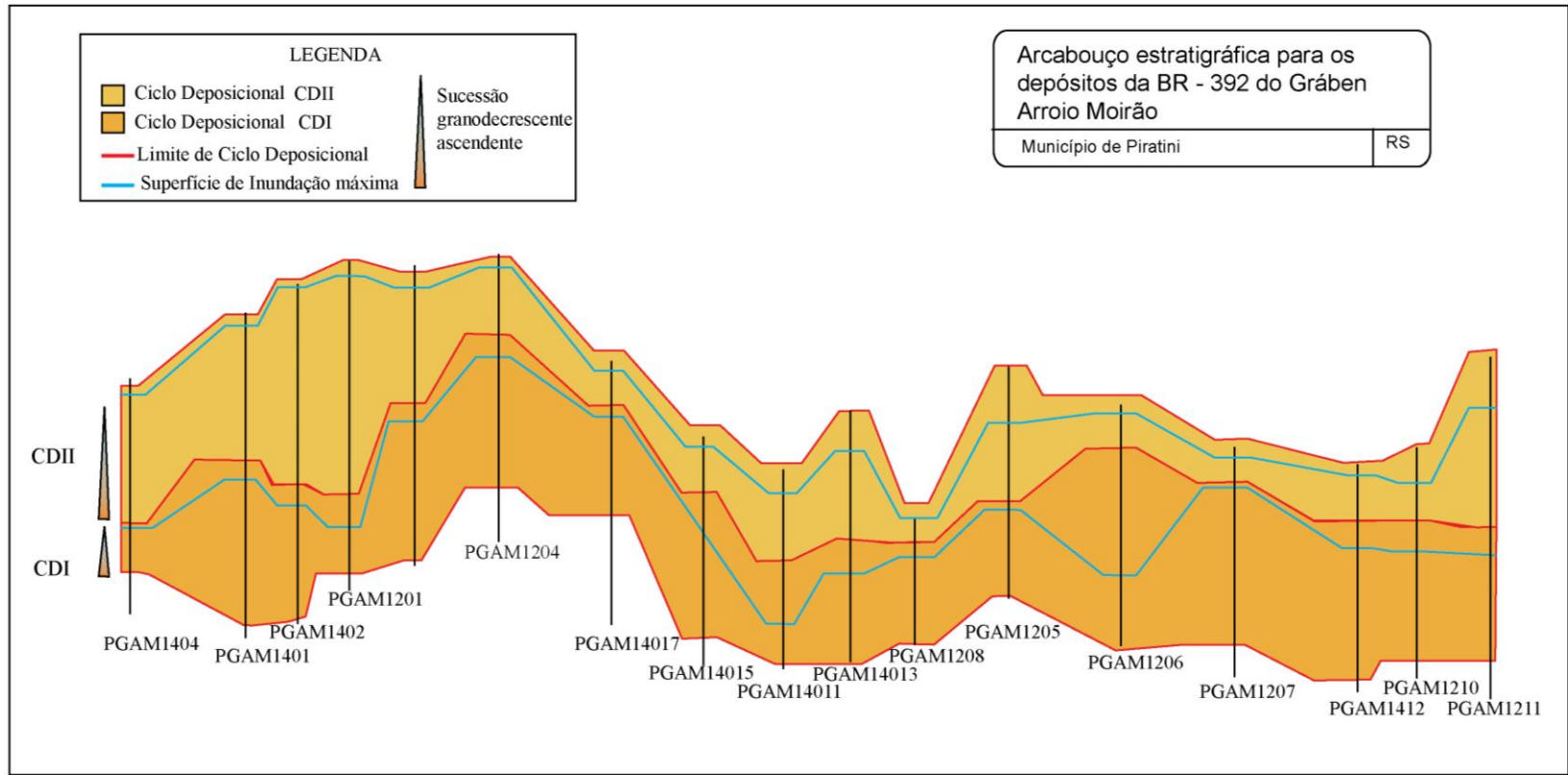


Figura 39 – Arcabouço estratigráfico de alta resolução da seção da BR 392 das unidades triássicas do GAM. (Dados da Pesquisa, 2015.)

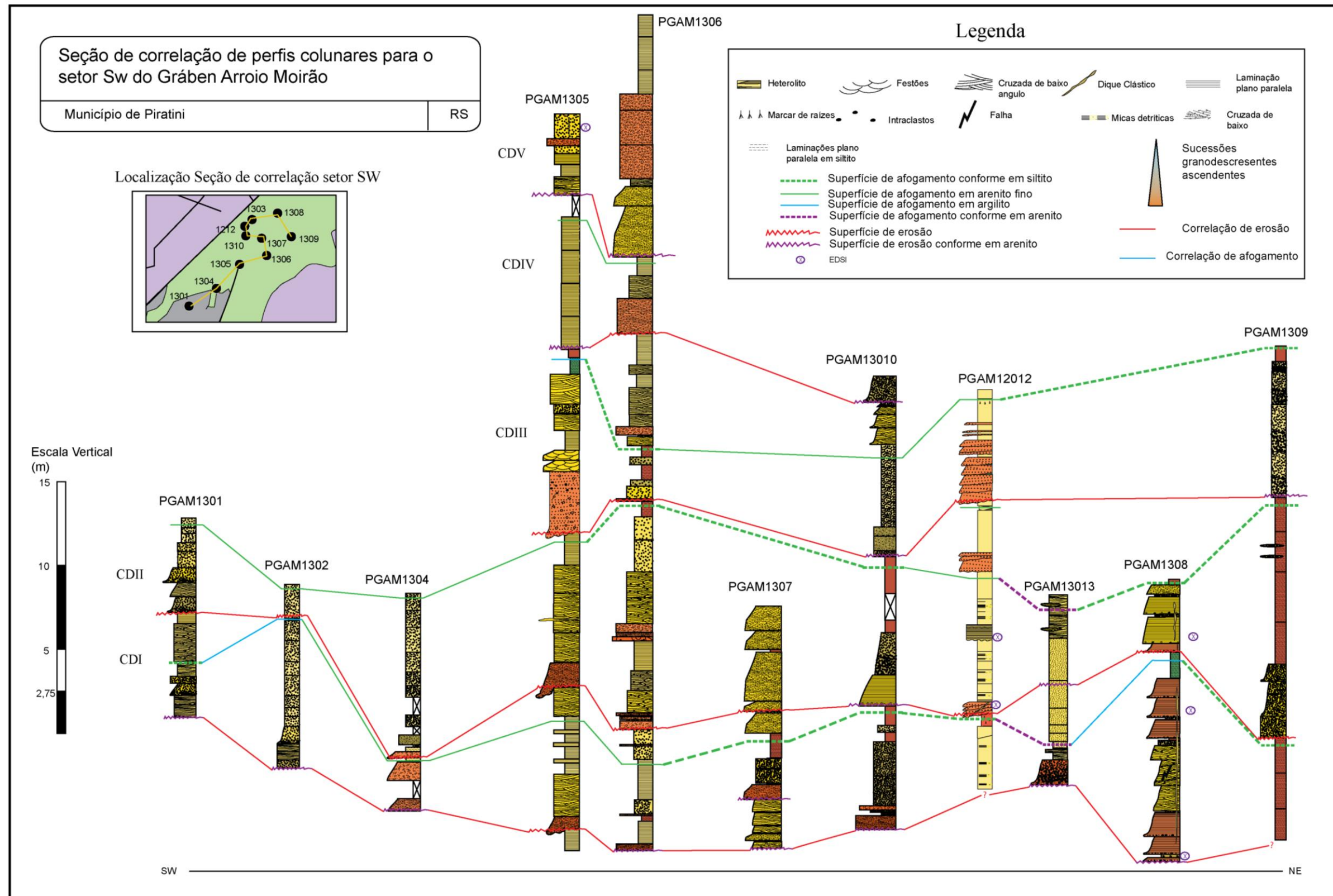


Figura 40 – Correlação estratigráfica dos perfis colunares da seção SW. (Dados da Pesquisa, 2015.)

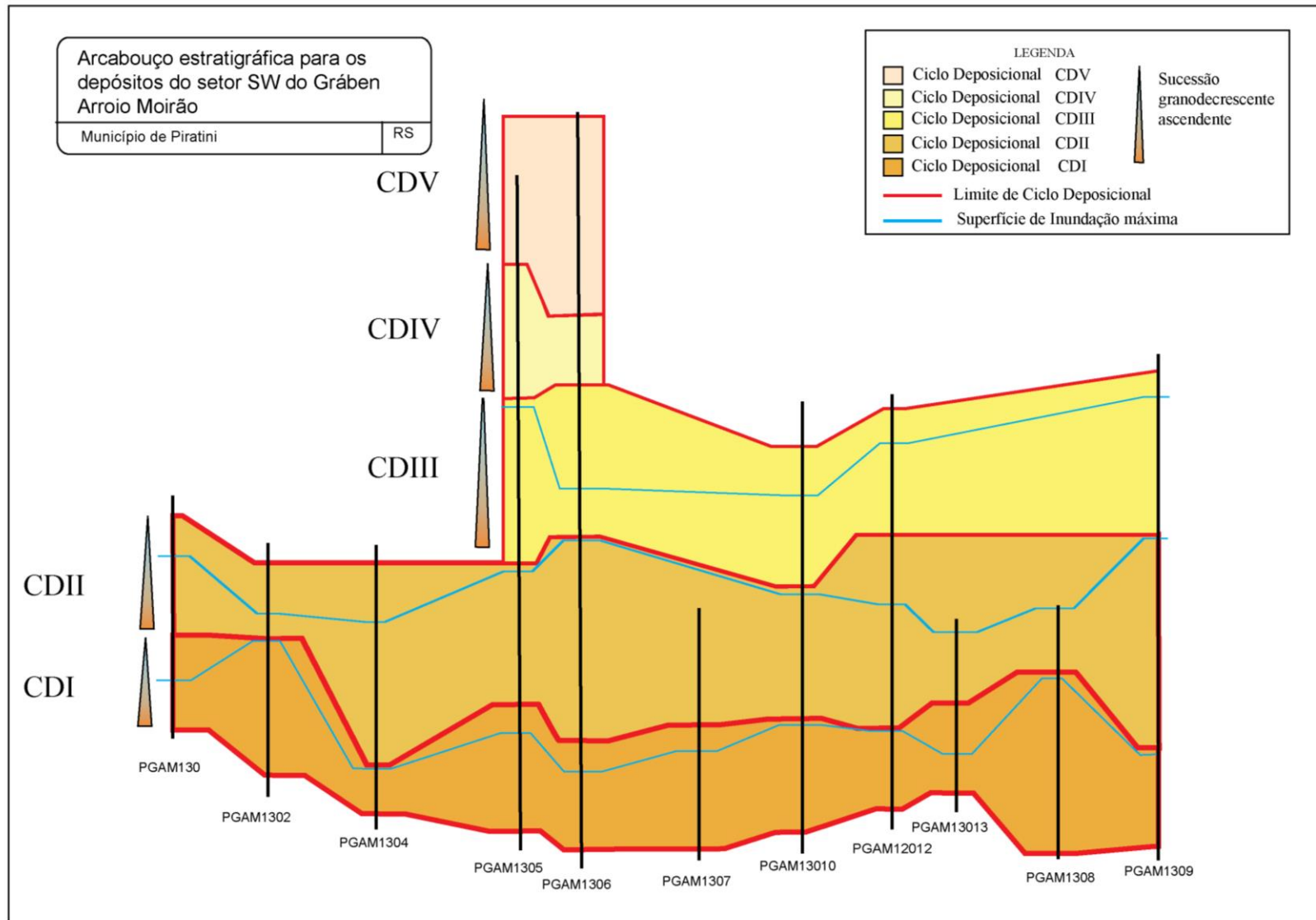


Figura 41 – Arcabouço estratigráfico de alta resolução do setor SW do GAM. (Dados da Pesquisa, 2015.)

6. DISCUSSÕES

O principal propósito deste trabalho foi o de contribuir com o crescente interesse da comunidade acadêmica na investigação do Triássico da Bacia do Paraná aflorante no Rio Grande do Sul. Longe de tentar oferecer soluções definitivas, a contribuição desta monografia está em explorar conceitos ainda não aplicados na correlação das unidades triássicas aflorantes no Gráben Arroio Moirão. A ocorrência isolada desses pacotes sobre o ESRG dificultou sobremaneira sua correlação com unidades triássicas contíguas à Bacia do Paraná, a ponto de sua idade triássica ser tema de discussão recorrente. O que este trabalho revela é uma carência de estudos aprofundados tanto da história tectônica do GAM como *locus* deposicional e sua relação com o contexto geotectônico do ESRG, como de investigações de estratigrafia que posicionem cronoespacialmente esses depósitos. A integração do arcabouço estratigráfico com um arcabouço geotectônico do GAM poderia revelar ainda mais informações sobre as unidades triássicas da Bacia do Paraná que ocorrem somente no estado do Rio Grande do Sul.

O foco deste trabalho está justamente em propor um arcabouço estratigráfico de alta resolução, identificando superfícies chaves próprias do registro sedimentar do GAM e como melhor utilizá-las para correlação estratigráfica. Os conceitos da Estratigrafia de Sequências foram amplamente utilizados pois fornecem a ferramenta preditiva de raciocínio para a compreensão de depósitos sedimentares. Ora, como a variação do nível de base é um processo recorrente de sua subida e descida, espera-se que o registro sedimentar marque essa variação na forma de superfícies erosivas e/ou de não deposição e de superfícies de afogamentos. Com isso tem-se a chave para aplicar critérios operacionais no registro sedimentar do Gráben Arroio Moirão.

De maneira semelhante, o estudo de sismitos, fornece uma ferramenta de raciocínio preditivo para unidades sedimentares. Embora tema recorrente na literatura sedimentar, sismitos ainda não tinham sido utilizados como chave de correlação estratigráfica. A possibilidade de sismitos serem marcadores síncronos de sequências deposicionais é quase autoevidente, o que possibilita sua utilização como chave de correlação estratigráfica.

O que se segue é uma discussão da abordagem deste trabalho levando em conta todas as técnicas abordadas e os resultados obtidos.

6.1.1. Sucessões de fácies e modelos deposicionais

A análise de fácies e a proposição de modelos deposicionais é o ponto de partida para a elaboração do arcabouço estratigráfico do Gráben Arroio Moirão. Lima (2014) propôs um modelo de fluxos episódicos do tipo inunditos para o GAM, baseado nos modelos de Zavala (2007) e Postma (2014). A autora reconhece o empilhamento de sucessões granodecrescentes ascendentes, com variações bruscas de litologia marcadas justamente por superfícies erosivas e propôs um modelo de associações de fácies de inunditos. Essas associações de fácies representam a progradação de fluxos de inunditos, com posterior afogamento por lagos efêmeros e por fim o rebaixamento e exposição dos depósitos associados (figura 6).

De modo semelhante, este trabalho descreve o empilhamento de ciclos granodecrescentes ascendentes, reconhece as associações de fácies relacionadas aos sistemas deposicionais do GAM, identifica superfícies de erosão marcadas por diferenças litológicas acentuadas (contatos erosivos de conglomerados sobrepostos a siltitos) e, além disso, reconhece as fácies que correspondem a superfícies de afogamento (Figura 34). Isso torna possível aplicar a sugestão de Wright & Marriot (1993), ao propor tratos de sistemas para bacias eminentemente continentais. Levando-se em conta a superposição continuada de pacotes proximais e medianos, pode-se estimar um trato de baixa acomodação continental. De maneira semelhante, o espessamento de porções distais poderia representar um trato de sistemas de alta acomodação. Tais predições para sistemas continentais devem ser exploradas com mais detalhe, sendo objeto de pesquisa futuras.

Outro fator a ser discutido, são os processos desencadeadores desses fluxos episódicos do tipo inundito. Há diferenças entre os modelos de sedimentação dita normal para depósitos fluviais e deltaicos e as observações de campo dos inunditos. Basicamente, não há acentuada segregação granulométrica nos depósitos do GAM. Mesmo em porções mais distais ocorrem nas fácies mais finas tamanhos de grãos bem maiores. De modo inverso, as porções proximais sempre apresentam abundância de material fino e é evidente a gradação normal como uma das principais estruturas sedimentares. A gradação abrupta de fácies proximais para

distais representa rápida segregação do fluxo sendo compatível com a ideia de pulsos episódicos de sedimentação.

A ideia de estratigrafia de eventos é reforçada pelas evidências sedimentológicas e abre espaço para uma discussão quanto ao controle climático e tectônico desses depósitos. A possibilidade da consonância de eventos climáticos como grandes precipitações e eventos de movimentação tectônica de blocos já foi sugerida por Lima (2014). De fato, há uma tectônica rúptil registrada no GAM, há evidências de fácies de provável reativação tectônica e toda a proposição de sismitos parte do princípio de a região GAM ter sido um *locus* deposicional tectonicamente ativo durante o triássico. Contudo, a abordagem tectônica ainda carece de estudos. O que se observa neste trabalho é um controle climático, como seria esperado pelo modelo de inunditos. Essa abordagem abre interpretações para a definição de qual ordem de sequência sedimentar ocorrem no GAM, assunto que será melhor explorado a seguir, quando da discussão sobre o arcabouço estratigráfico.

6.1.2. Sismitos

A proposição de sismitos como marcadores estratigráficos é um dos temas inovadores dessa monografia. As unidades triássicas preservadas no ESRG são provas de que a borda da Bacia do Paraná estava ativa naquele período e que essa movimentação estendeu-se para o escudo. Na tese de doutorado de Zerfass (2003), foram levantados diversos aspectos sobre os diferentes contextos geotectônicos e os diferentes tipos de bacias presentes no triássico da Argentina, considerando modelos deposicionais correlatos de bacias extensionais para os registros triássicos do Rio Grande do Sul.

Dessa forma, é possível atribuir atividade sísmica sindeposicional aos depósitos do Gráben Arroio Moirão. Partindo dessa premissa, foram descritas as estruturas de deformação em sedimento inconsolidado (EDSI) reconhecidas no GAM. Dentre as EDSI a de maior expressão são os diques clásticos em arenitos, podendo atingir até dez metros de comprimento e formando feixes de diques ao redor de um principal. Essas estruturas formam-se em zonas de alívio de pressão ou onde a pressão de água intergranular é tal que desfaz o arranjo grão a grão da fábrica dos arenitos (Lowe, 1978) e possibilita a remobilização do material. Como descrito no item 5.4., os diques clásticos não possuem diferença de composição de seus arenitos

encaixantes, limitando a interpretação de mobilizações que possam ser pervasivas a uma grande pilha sedimentar. Nota-se, também, que os diques são limitados no topo por camadas de argilitos. O modelo de Lowe (1975) sugere que essas camadas possuem maior coesão que as areias quando ainda eram sedimentos, funcionando como camadas bloqueadoras da propagação de diques clásticos. Outro fato considerado, é a ausência de feições de cataclase que colocariam os diques clásticos como manifestações posteriores à litificação.

Duas outras EDSIs são explicadas pela necessidade da deformação ocorrer com os sedimentos ainda inconsolidados e saturados em água. Superfícies de sobrecarga e estruturas em flama ocorrem devido ao sobrepeso e instabilidade do sedimento. Ambas ocorrem associadas, juntamente com diques clásticos, no perfil deformacional PGAM12012 (figura 25) onde uma superfície de sobrecarga forma-se no contato entre conglomerados sobrepostos a siltitos. Os siltitos apresentam fraturamento recorrente e não persistente nos conglomerados. Os siltitos também são intrudidos por pequenas “flamas” arenosas do conglomerado formando uma intrusão com contatos irregulares típica das estruturas em flama. De maneira semelhante, a superfície de sobrecarga formam-se estruturas em pilar, que se formam no contato de camadas mais grossas sotopostas as mais finas camadas mais finas (figura 25).

As camadas chamadas de homogenitos apresentam total obliteração das estruturas sedimentares primárias e foram objeto de estudo em detalhe nessa pesquisa. Foram caracterizadas quanto a sua fração fina, sendo composta basicamente por caulinita. Texturalmente são argilas, com diagênese de pouca profundidade, apresentam muita alteração de feldspatos para caulinitas, evidenciadas pela substituição de grãos formando caulinitas *booklets*. A análise microscópica no MEV pretendia também observar aspectos texturais referentes a homogeneização e obliteração das estruturas. O fato é que por se tratar de uma amostra restrita da rocha e, pelo próprio aspecto deposicional das argilas, não foram possíveis maiores interpretações quanto à obliteração das estruturas sedimentares primárias dos sismitos.

A construção de edifícios deformacionais possibilitou a visualização de uma sucessão vertical de EDSI. No perfil PGAM12012, observou-se a melhor sucessão, compreendendo todas as estruturas descritas embora a sua atribuição a sismos

requer mais evidências. Como não há estruturas diagnósticas para definir sismitos e sua determinação fica embasada, também, em um contexto geológico tectonicamente ativo, é necessária cautela para interpretações.

O modelo de Rodriguez-Páscua (2000) propôs uma sucessão vertical de EDSI baseado na liquefação dos estratos. Ele sugere que sismos acima do grau 5 na escala de Mercalli ativariam estruturas com liquefação das camadas. O que se observa nas EDSI do GAM é justamente que todas as estruturas possuem liquefação de sedimentos. Se utilizado o modelo de Rodriguez-Páscua as EDSI do GAM corresponderiam a sismos de até 9 na escala de Mercalli. Moretti & Van Loom (2014) sugerem cautela na utilização desses critérios uma vez que ainda não há estruturas diagnósticas para identificação de sismitos e sim uma construção de eventos que levam a interpretação de sismitos.

Em termos gerais, as EDSI do Gráben Arroio Moirão mostram pouca expressão ao longo dos perfis de correlação realizados, não havendo continuidade lateral para usa-las como camada guia. A atribuição de EDSI como sismitos é baseada no contexto de tectônica ativa que se evidencia no triássico da Bacia do Paraná porém se faz necessária a continuidade de estudos para uma determinação mais precisa.

6.1.3. Arcabouço Estratigráfico

A proposição de um arcabouço estratigráfico de alta resolução para as unidades triássicas do Gráben Arroio Moirão é um avanço na compreensão desses relictos preservados sobre o ESRG. A identificação de 5 ciclos deposicionais abre caminho para a discussão quanto à origem dos mecanismos controladores da deposição no GAM. O que se constata é que os ciclos deposicionais I e II encontrados nas duas seções de correlação, BR 392 e setor SW, se equivalem. Ambos apresentam os mesmos padrões de sucessões granodécrescentes ascendentes bem como a mesma tipologia de superfícies de correlação. Os ciclos deposicionais II, IV, e V (presentes somente no setor SW) estão relacionados à morfologias locais e também ao fato dessa seção ser mais espessa do que a da BR392. A hierarquia e magnitude dos ciclos deposicionais do GAM é um problema ainda a ser resolvido. O biozoneamento para essas unidades triássicas ainda é de baixa resolução, os ciclos deposicionais não são tão espessos e a necessidade de mais estudos tectônicos limita interpretações de maior acurácia.

Desse modo, pode-se estimar que os ciclos deposicionais do Gráben Arroio Moirão sejam de 4ª ou 5ª ordem, relacionados a mudanças alocíclicas de controle climático. Tem-se então que, devido a pouca referência de trabalhos com esse tipo de ordem de sequência, e também para não gerar problemas nomenclaturais, pois as unidades de maior hierarquia que englobem essas unidades menores deveriam, por sua vez, passar a designações como “Super-super-“ ou “Hiper-super Sequência”, preferiu-se denominá-las simplesmente de **Ciclos Depositionais**. Entende-se, também, que a hierarquização não é uma classificação determinística e, discussões sobre magnitude e controle dos ciclos sedimentares, são tema recorrente na estratigrafia, em particular, e também na geologia, em geral.

7. CONCLUSÕES

A proposição deste trabalho em avançar os estudos sobre as unidades sedimentares triássicas preservadas sobre o ESRG, elaborando um arcabouço estratigráfico de alta resolução, bem como a descrição e utilização de sismitos como camada guia mostrou-se fértil. Partiu-se das premissas de que essas unidades concentram informações das relações entre sedimentação e tectônica por situarem-se em borda de bacia, da deposição sinsísmica e da sua correlação lateral. Foram postuladas hipóteses de trabalho que preconizaram a identificação de unidades chaves e superfícies chave e o registro de sismitos e EDSI como úteis para a correlação.

De acordo com isso, os objetivos deste trabalho foram traçados em termos da elaboração de arcabouço estratigráfico de alta resolução. Fazendo uso de uma ampla gama de técnicas estratigráficas e analíticas, pode-se levantar conjunto de dados e documentação estratigráfica e analítica, onde se incluem:

- a) Levantamento de 28 perfis colunares, totalizando 413 m de espessura de rochas descritas;
- b) Identificação de 19 fácies, 64 sucessões de fácies, 06 padrões de sucessões de fácies;
- c) Reconhecimento de 6 tipos de superfícies-chave de correlação.
- d) Descrição de 5 tipos de EDSI, definição de 4 edifícios deformacionais.
- e) Elaboração de duas seções de correção e respectivos arcabouços estratigráficos onde foram definidos cinco Ciclos Deposicionais, numerados por algarismos romanos da base para o topo de I a V.
- f) Caracterização petrográfica de diques clásticos por meio de duas lâminas.
- g) Caracterização analítica de seis amostras de homogenitos por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios X.

A integração de dados possibilitou a definição de um arcabouço estratigráfico de alta resolução a partir do qual se pode concluir que:

- 1) As unidades deposicionais triássicas do GAM pertencem à Formação Santa Maria, no sentido litoestratigráfico, e à Sequência Santa Maria 2 (*sensu* Zeffass, 2003), diferentemente de mapeamentos anteriores que foram incluídas como pertencentes à Formação Sanga do Cabral.
- 2) As fácies e sua distribuição lateral, bem como vertical, dão suporte à identificação de um modelo deposicional de inunditos e lagos efêmeros.
- 3) Os cinco Ciclos Depositionais constituem-se em unidades de 4 ou 5 ordem, controladas predominantemente por fatores climáticos.
- 4) A repetição vertical de EDSI permite reconhecer que foram produzidos por sismos, cuja magnitude provável na escala de Mercalli pode ser até 9.

Essas conclusões mostram que os objetivos foram plenamente alcançados bem como as hipóteses mostraram-se devidamente suportadas pelos dados.

Além disso, novas questões se colocam para estudos dessa natureza, como por exemplo:

1. A correlação de unidades com registro de EDSI pode abrir novas perspectivas de definição cronograestratigráfica.
2. Estudos tectônicos podem contribuir fortemente para o agrupamento cronoestratigráfico dos ciclos deposicionais por meio da identificação de tectono fácies.
3. Além disso, o estudo tectônico pode contribuir sobremaneira para endossar técnicas de correlação e entender a extensionalidade das unidades deposicionais ali ocorrentes.
4. A identificação de fósseis e biozoneamento se colocam como fundamental para definir a cronocorrelação dos ciclos deposicionais e confirmar de modo mais precisa a ordem hierárquica a qual pertencem.

8. REFERÊNCIAS

- Alfaro, P., Estévez, A., Moretti, M. & Soria, J.M. 1999. Structures sédimentaires de déformation interprété escomme séismites dans le Quaternaire du Bassin du Bas Segura (Cordillère Bétique orientale). *Comptes Rendues de l'Académie de Sciences de Paris*,328: 17-22.
- Alfaro, P., Moretti, M. & Soria, J.M. 1997. Soft-sedimentation structures induced by earthquakes (seismites) in Pliocene lacustrine deposits (Guadix-Baza Basin, central Betic Cordillera). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 90: 531-540.
- Allen, J.R. L. & Banks, N.L. 1986. An interpretation and analysis of recumbent-folded deformed cross-bedding. *Sedimentology*, 19: 257-283.
- Catuenanu, O. 2006. Principles of sequence stratigraphy. Amsterdam: Elsevier. 375 p.: il.
- Coe, A.L. 2010. *Geological field techniques*. Milton Keynes (UK), Wiley-Blackwell, 323p.
- Callister, William D.2000. *Materials science and engineering: an introduction*. 5 ed. New York, Miley, 871p.
- Dalrymple, R.W. 2010. Interpreting Sedimentary Successions: facies, facies analysis and facies models. *In: James, N.P. & Dalrymple, R.W. (Eds.) 2010.Facies Models 4*. Labrador (CA), Geological Association of Canada, 3-18.
- Davenport, C. A. & Ringrose, P.S. 1987. Deformation of Scottish Quaternary sediment sequences by strong earthquake motion. *In: Jones, M.E. & Preston, R.M. F. (Eds). Deformation of sediments and sedimentary rocks. Geological Society of London, Special Publication 29: 350p.*
- Einsele, G. 2000. *Sedimentary basins*. Berlin, Springer-Verlag, 628p.
- Faccini, U.F., Schultz, C.L., Figueiredo, C.E., Sangineto, L.R.& Soares, S.C. 1990. Sobre a ocorrência de vertebrados fósseis triássicos na região de Santana da Boa Vista (RS). *Ciência e Natura*, 12:103-104.
- Fávera, J.C.D. 2001. Fundamentos de estratigrafia moderna. Rio de Janeiro: UERJ. 264 p
- Fávera, J.C.D 1984, Eventos de sedimentação episódica nas bacias brasileiras: uma contribuição para atestar o caráter pontuado do registro sedimentar. Congresso Brasileiro de Geologia 33, Rio de Janeiro, Brasil. Anais, SBG, 489-501.
- Fernandes, L.A., Castro, A.B. & Basilici, G. 2007. Seismites in continental sand sea deposits of the Late Cretaceous Caiuá Desert, Bauru Basin, Brazil. *Sedimentary Geology*, 199: 51–64.
- Folk, R.L. (1968). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin: Hemphill's, 1968. 182p.
- Gruszka, B. & Van Loon, A. J., 2007. Pleistocene glaciolacustrinebreccias of seismic origin in an active graben (central Poland). *In: Gruszka, B., Van Loon, A. J., Zielinski, T., (eds). Quaternary Geology — Bridging the gap between East and West. Sedimentary Geology, 193: 93-104.*

- Haczewski, G. 1986. Long-distance correlation of laminae and their seismic deformation in pelagic interbeds in flysch. *7th International Association of Sedimentologists Regional Meeting on Sedimentology (Kraków, 1986)*, 74.
- Horowitz, D. H. 1982. Geometry and origin of large-scale deformation structures in some ancient wind-blown sand deposits. *Sedimentology*, 29: 155-180.
- Jackson, C. A. L. 2005. Normal faulting as a control on the stratigraphic development of shallow marine syn-rift sequences: The Nukhul and Lower Rudeis Formations, Hammam Faraun fault block, Suez Rift, Egypt. *Sedimentology*, 52: 313-338.
- Jervey, M.T. 1988. Quantitative Geological Modeling of Siliciclastic Rock Sequences and their Seismic Expression. In, Posamentier, H.W; Ross, C.A; Van Wagoner, J.C. (Eds) *Sea-level changes: an integrated approach*, SEPM. Special publication, 42: 47-69.
- Lowe, D.R. 1975. Water scape structure in coarse-grained sediments. *Sedimentology*, 22: 157 – 204.
- Posamentier, H.W; Ross, C.A; Van Wagoner, J.C. (Eds) *Sea-level changes: an integrated approach*, SEPM. Special publication 42: 47-69.
- Jones, G. P. 1962. Deformed cross-stratification in Cretaceous Bima Sandstone, Nigeria. *Journal of Sedimentary Petrology*, 32: 231- 239.
- Ketzer, J.M.M. 1997. Cronoestratigrafia das unidades gonduânicas preservadas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense (Formação Caneleiras). Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 215 p.
- Klein, C. & Dutrow, B. 2012. *Manual de Ciências dos Minerais*. 23ª ed.
- Lavina, E.L. 1982. Paleontologia, Estratigrafia e Bioestratigrafia da Formação Sanga do Cabral (Triássico Inferior do Grupo Rosário do Sul) na Folha de Catuçaba, RS. Porto Alegre, 230f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lima, Laís Gabrielli Análise de fácies e modelos deposicionais de unidades triássicas da Bacia do Paraná sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense na região do Gráben Arroio Moirão, RS em busca de marcadores estratigráficos. Trabalho Temático em Geologia. IGEO/UFRGS, 2014. 105 p.
- Lisle, R.J., Brabham, P., Barnes, J. 2014. *Mapeamento Geológico; Guia de campo*. [Tradução de Rualdo Menegat et al.]. Porto Alegre: Bookman, 231 p.
- Long, D. G. F. 2004. The tectonostatigraphic evolution of the Huronian basement and the subsequent basin fill: Geological constraints on impact models of the Sudbury event. *Precambrian Research*, 129: 203-223.
- Mazumder, R., Van Loon, A. J. & Arima, M. 2006. Soft-sediment deformation structures in the Earth's oldest seismites. *Sedimentary Geology*, 186: 19-26.
- Menegat, R. & Scherer, C.M.S. 1993. Formação Caneleiras (RS): Devoniana ou Permotriássica?; Critérios para o enquadramento estratigráfico de sequências isoladas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1., Rio Claro(SP). Resumos expandidos IG/UNESP. 90-93.

- Miall, A.D. 1999. Principles of sedimentary basin analysis. 3ed. New York, Springer-Verlag, 616p.
- Mizusaki, A.M.P., 1986. Rochas ígneo-básicas do Neocomiano da Bacia de Campos. Caracterização e comportamento como reservatório de hidrocarbonetos. Rio de Janeiro: Inst. Geof. UFRJ. 104p. (Dissertação de Mestrado, inédita).
- Montenat, C. 1980. Relation entre déformations synsédimentaires et paléoséismicité dans le Messiniénne de San Miguel de Salinas (Cordillères Bétiques orientales, Espagne). *Bulletin de la Société de Géologie de France*, 7: 501-509.
- Montenat, C., Barrier, P., Ott, D'Estevou, P., Hibsich, C. 2007. Seismites: An attempt at critical analysis and classification. *Sedimentary Geology*. 196: 5-30.
- Moretti, M. 2000. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in Middle-Late Pleistocene aeolian deposits (Apulian foreland, southern Italy). *Sedimentary Geology*, 135: 167-179.
- Moretti, M., Owen, G. & Tropeano, M. 2011. Soft-sediment deformation induced by sinkhole activity in shallow marine environments: A fossil example in the Apulian foreland (southern Italy). *Sedimentary Geology*, 235: 331-342.
- Moretti, M., Pieri, P. & Tropeano, M. 2002. Late Pleistocene soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in paralic deposits in the City of Bari (Apulian foreland, southern Italy). *Geological Society of America Special Paper*, 359: 75-85.
- Mountney, N. P. & Jagger, A. 2004. Stratigraphic evolution of an aeolian erg margin system: The Permian Cedar Mesa Sandstone, SE Utah, USA. *Sedimentology*, 51: 713-743.
- Netoff, D. 2002. Seismogenically induced fluidization of Jurassic erg sands, south-central Utah. *Sedimentology*, 49: 65-80.
- Owen, G. 1995. Soft-sediment deformation in Upper Proterozoic Torridonian sandstones (Applecross Formation) at Torridon, northwest Scotland. *Journal of Sedimentary Research*, A65:495-504.
- Owen, G. 1995. Soft-sediment deformation in Upper Proterozoic Torridonian sandstones (Applecross Formation) at Torridon, northwest Scotland. *Journal of Sedimentary Research*, A65: 495-504.
- Perinotto, J. A.J., Etchebehere, M.L.C., Simões, L.S.A. & Zanardo, A. 2008. Diques clásticos na formação Corumbataí (P) no nordeste da Bacia do Paraná, SP: análise sistemática e significações estratigráficas, sedimentológicas e tectônicas. *Geociências*, 27(4): 469-491.
- Plint, A. G. 1983. Liquefaction, fluidization and erosional structures associated with bituminous sands of the Bracklesham Formation (Middle Eocene) of Dorset, England. *Sedimentology*, 30: 525- 535.
- Pratt, B. R. 1994. Seismites in the Mesoproterozoic Altyn Formation (Belt Supergroup), Montana: A test for tectonic control of peritidal carbonate cyclicity. *Geology*, 22: 1091-1094.
- Rascoe Jr., B. 1975. Tectonic origin of preconsolidation deformation in Upper Pennsylvanian rocks near Bartlesville, Oklahoma. *AAPG Bulletin*, 59: 1626-1638.

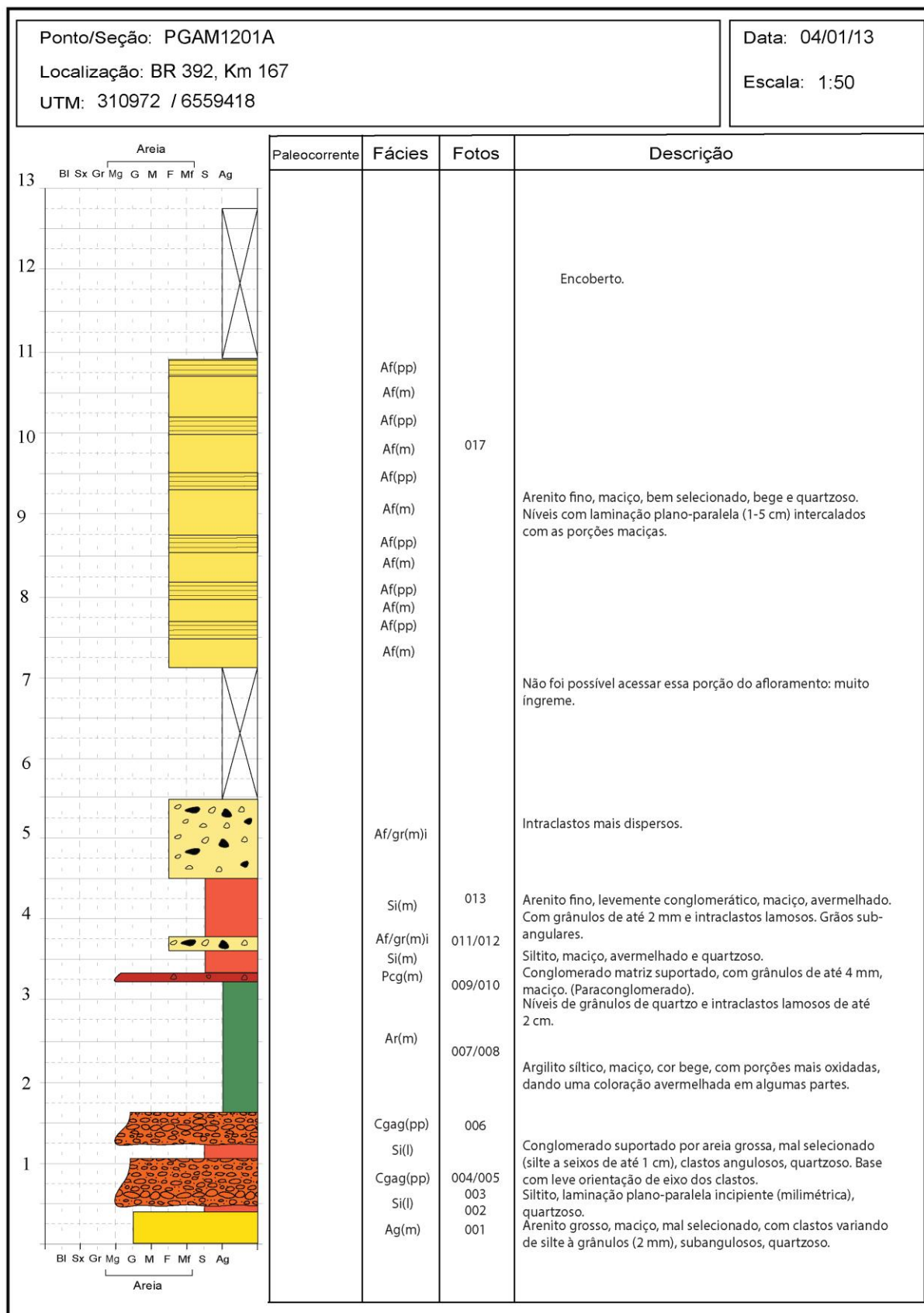
- Ridente, D. & Trincardi, F. 2006. Active foreland deformation evidenced by shallow folds and faults affecting Late Quaternary shelf-slope deposits (Adriatic Sea, Italy). *Basin Research*, 18:171-188.
- Rodríguez-Lopez, J. P., Meléndez, N., Soria, A. R., Liesa, C.L. & Van Loon, A.J. 2007. Lateral variability of ancient seismites related to differences in sedimentary facies (the syn-rift Escucha Formation, mid-Cretaceous, Spain). *Sedimentary Geology*, 201:461-484.
- Roep, T. B. & Everts, A. J. 1992. Pillow-beds: A new type of seismites? An example from an Oligocene turbidite fan complex Ali cante, Spain. *Sedimentology*, 39: 711-724.
- Rossetti, D.F. & Goes, A.M. 1999. (2000) Deciphering the sedimentological imprint of paleoseismic events: an example from the Aptian Codó Formation, northern Brazil. *Sedimentary Geology*, 135: 137–156.
- Santana, R.G. 1992. Tetrápodes fósseis da formação Sanga do Cabral (Eotriássico do RS). Porto Alegre, 95p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Schoch, R. M. 1989. Stratigraphy- principles and methods. Van Nostrand Reinhold. New York. 365p.
- Schultz, C.L. 1995. Subdivisão do Triássico do Rio Grande do Sul com base em macrofósseis: problemas e perspectivas. *Com. Mus. Cien. Tec*, n. 1, pp. 25– 32.
- Seilacher, A., 1969. Fault-graded beds interpreted as seismites. *Sedimentology*, 13: 155-159.
- Silva, S.D. 1999. Biostratigraphy of the Permian–Triassic boundary in southern Brazil. *Ameghiniana*, 36 (4): 10.
- Sims, J. D. 1973. Earthquake-induced structures in sediments of Van Norman Lake, San Fernando, California. *Science*, 182: 161-163.
- Sims, J. D. 1975. Determining earthquake recurrence intervals from deformational structures in young lacustrine sediments. *Tectonophysics*, 29: 141-152.
- Tucker, M.E. 2014. *Rochas Sedimentares; guia geológico de campo*. 4ed. Porto Alegre, Bookman, 324p.
- UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. 1992. *Mapa Geológico da Folha de Santana da Boa Vista*, Escala 1:50.000. Trabalho de Graduação. Porto Alegre, Instituto de Geociências.
- UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. 2012. Mapeamento geológico de rochas sedimentares das folhas XXX, Escala 1:50.000. Relatório preliminar. Porto Alegre, Instituto de Geociências
- UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. 2013. Mapeamento geológico de rochas sedimentares das folhas XXX, Escala 1:50.000. Relatório preliminar. Porto Alegre, Instituto de Geociências
- UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. 2014. Mapeamento geológico de rochas sedimentares das folhas XXX, Escala 1:50.000. Relatório preliminar. Porto Alegre, Instituto de Geociências

- Van Loon, A. J. 2008. Soft-sediment deformation structures in Paleoproterozoic offshore seismites from E India. *In: REGIONAL MEETING OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF SEDIMENTOLOGISTS (IAS) / SEPM-CES SEDIMENT*, 26. Bochum, Germany, SDGG, 2008.
- Van Loon, A. J. & Su, D. C. 2013. Deformed stromatolites in marbles of the Mesoproterozoic Wumishan Formation as evidence for synsedimentary seismic activity. *Journal of Palaeogeography*, 2 (4): 390-401.
- Van Vliet-Lanoë, B., Gudmundsson, A., Guillou, H., Guégan, S, Van Loon, A. J. & De Vleeschouwer, F. 2010. Glacial Terminations II and I as recorded in NE Iceland. *Geologos*, 16: 201–222.
- Zavala, C., M. Arcuri, M. Di Meglio, H. Gamero Diaz, and C. Contreras. 2011. A genetic facies tract for the analysis of sustained hyperpycnal flow deposits. In: R. M. Slatt and C. Zavala. (eds.). 2011. Sediment transfer from shelf to deep water - Revisiting the delivery system: AAPG Studies in Geology 61, p. 31–51.
- Zerfass, H., Chemale Jr., F., Schultz, C. L. & Lavina, E. L. 2004. Tectonics and sedimentation in Southern South America during Triassic. *Sedimentary Geology*, 166, 265-292.
- Walker, R.G. (Ed.). 1992. *Facies models 2*. 2nd ed. St. John's (Canada), Geological Association of Canada, 317p.
- Wright, V.P. & Marriot, S.B. 1993. The Sequence Stratigraphy of fluvial depositional systems: the role of floodplain sediment storage, *Sedimentary Geology*, 86: 203-210.
- Youd, T. L. 1973. Liquefaction, flow and associated ground failure. U. S. Geological Survey Circular 688, 16p.

APÊNDICE: PERFIS COLUNARES

[ver arquivo separado]

ANEXO: PERFIS COLUNARES DA ÁREA DE ESTUDO



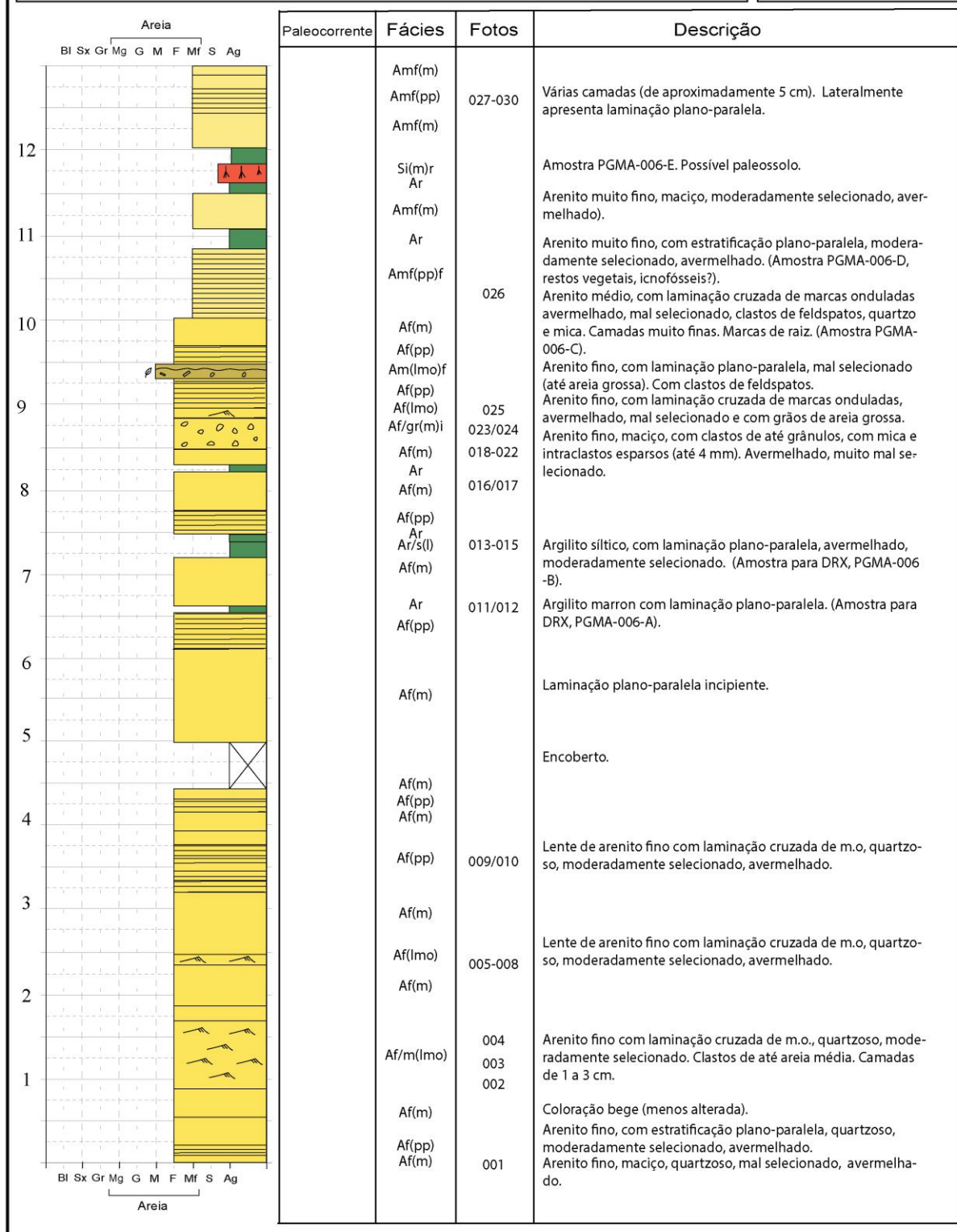
Ponto/Seção: PGAM1203A

Localização: BR 392, Km 168

UTM: 309892 / 6560167

Data: 6/01/2013

Escala: 1:50



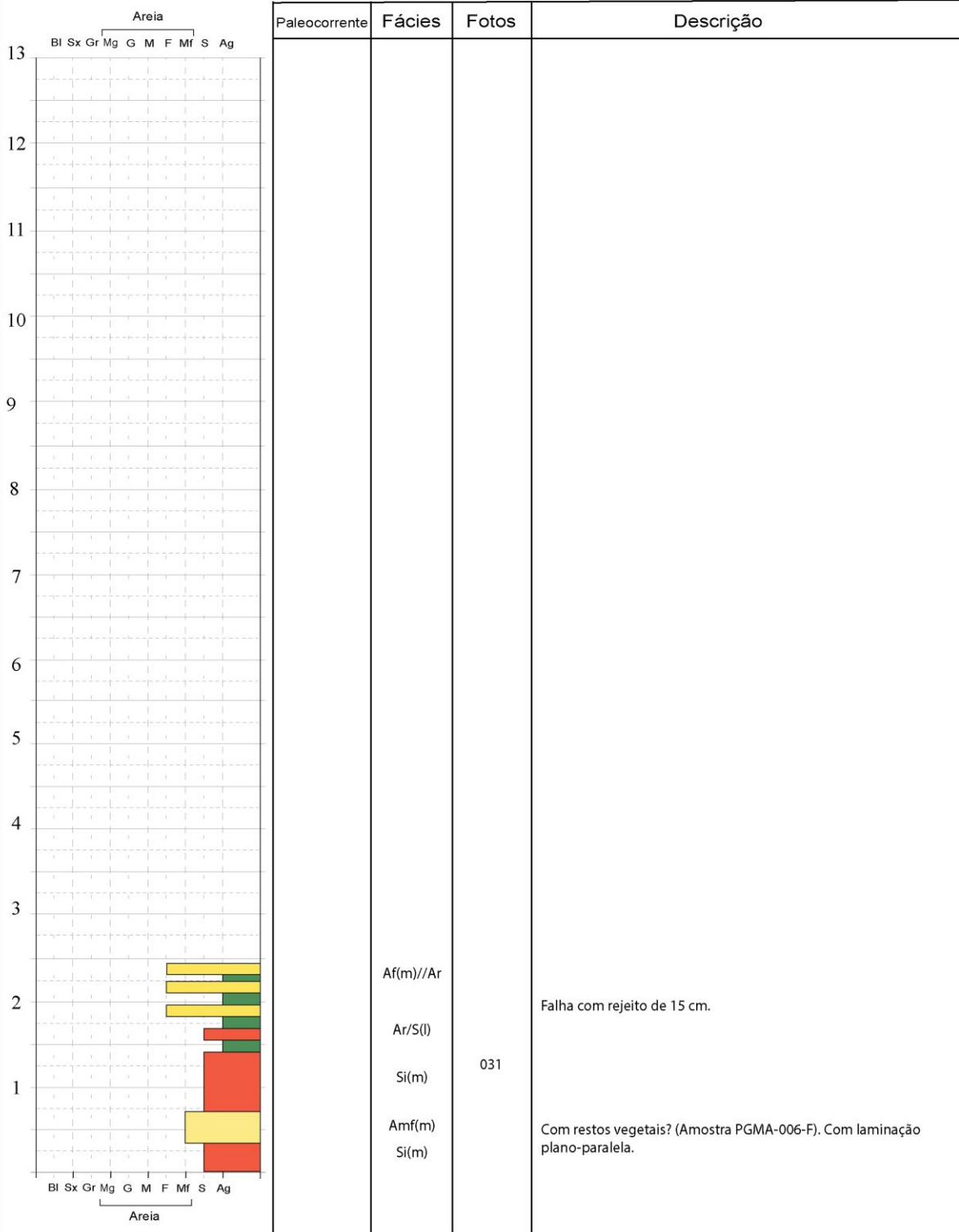
Ponto/Seção: PGAM1203B

Localização: BR 392, Km 168

UTM: 309892 / 6560167

Data: 6/01/2013

Escala: 1:50



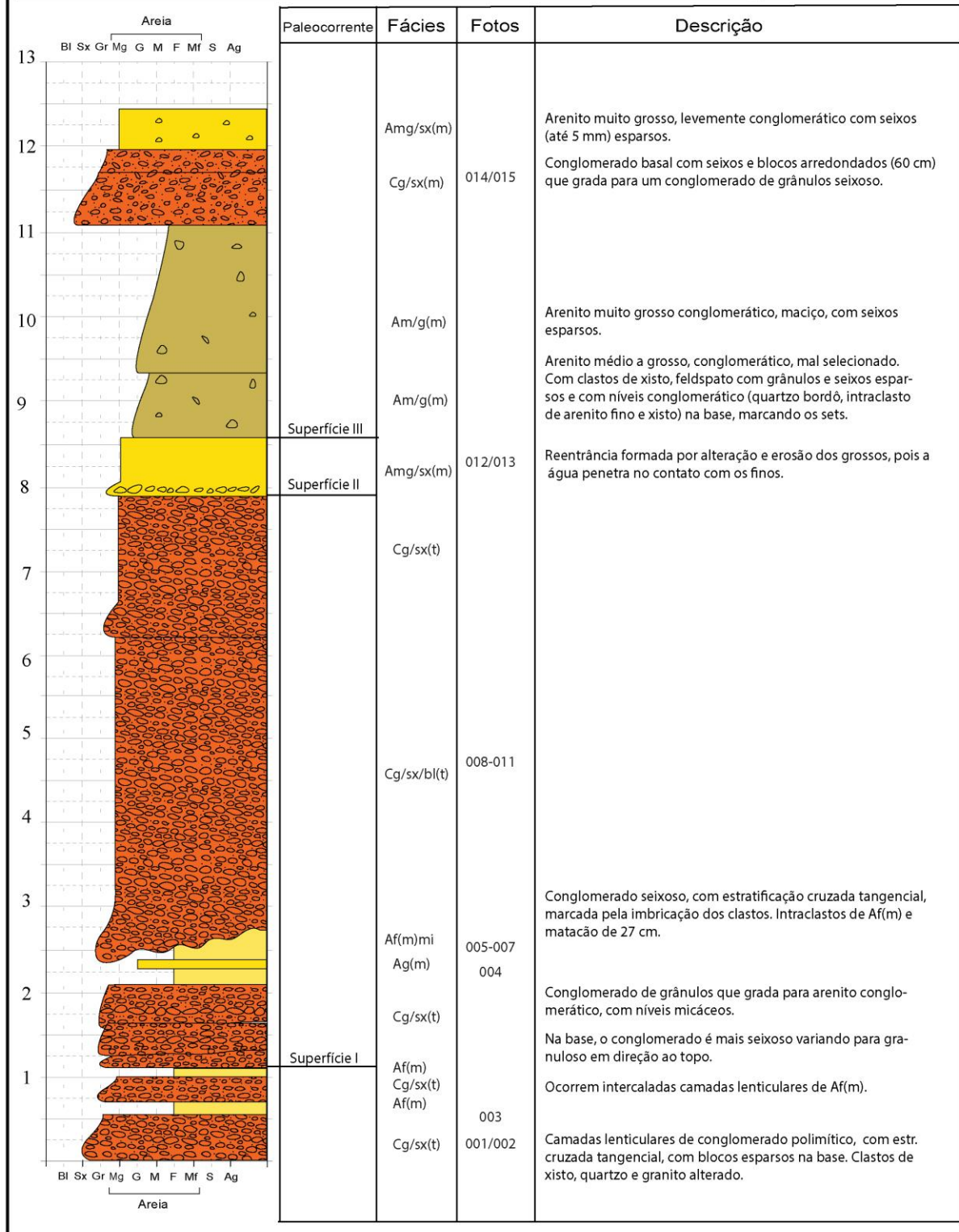
Ponto/Seção: PGAM1204A

Localização: BR 392, Km 170

UTM: 308916 mE / 6561367 mN

Data: 09/01/2013

Escala: 1:50



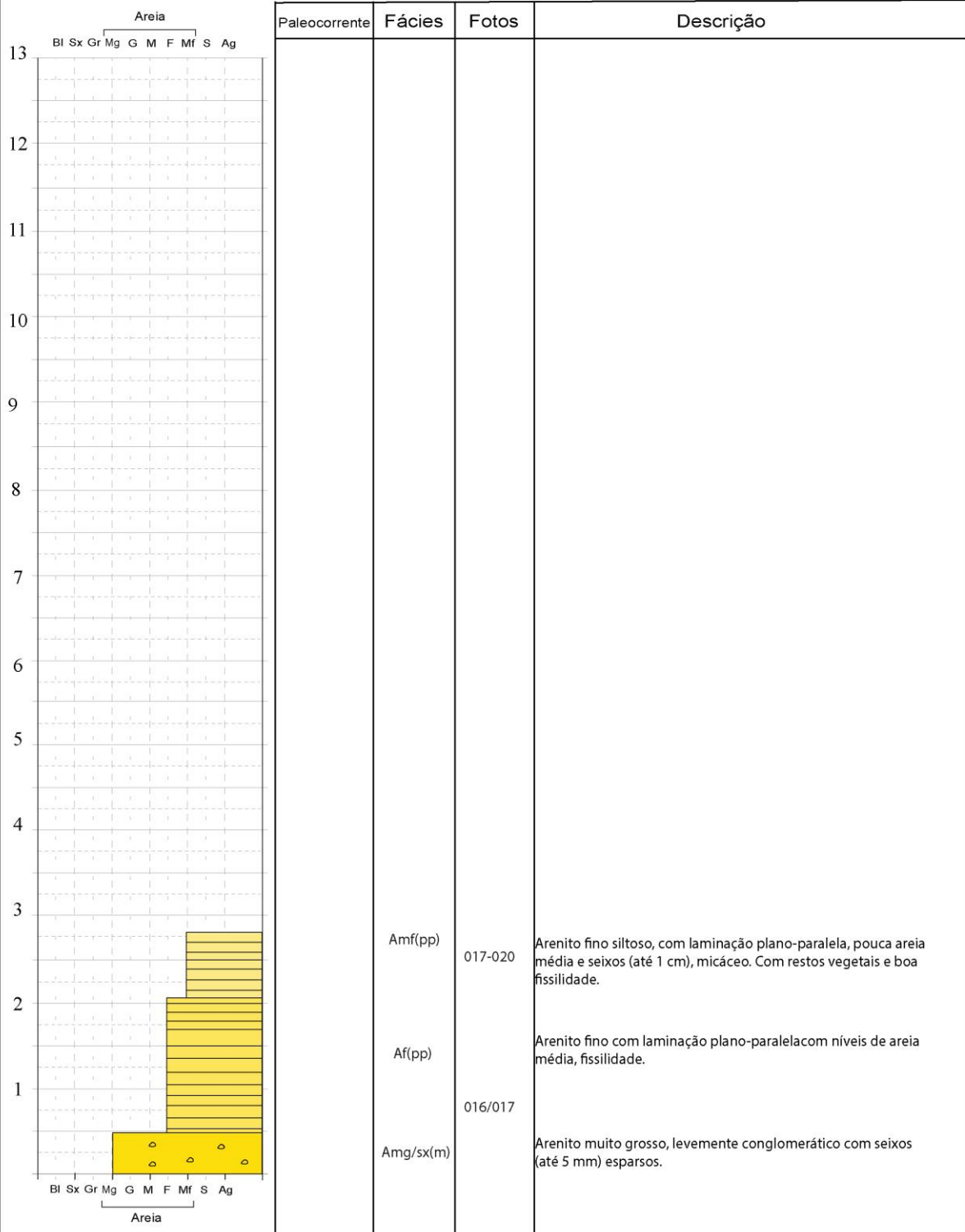
Ponto/Seção: PGAM1204B

Localização: BR 392, Km 170

UTM: 308916 mE / 6561367 mN

Data: 09/01/2013

Escala: 1:50



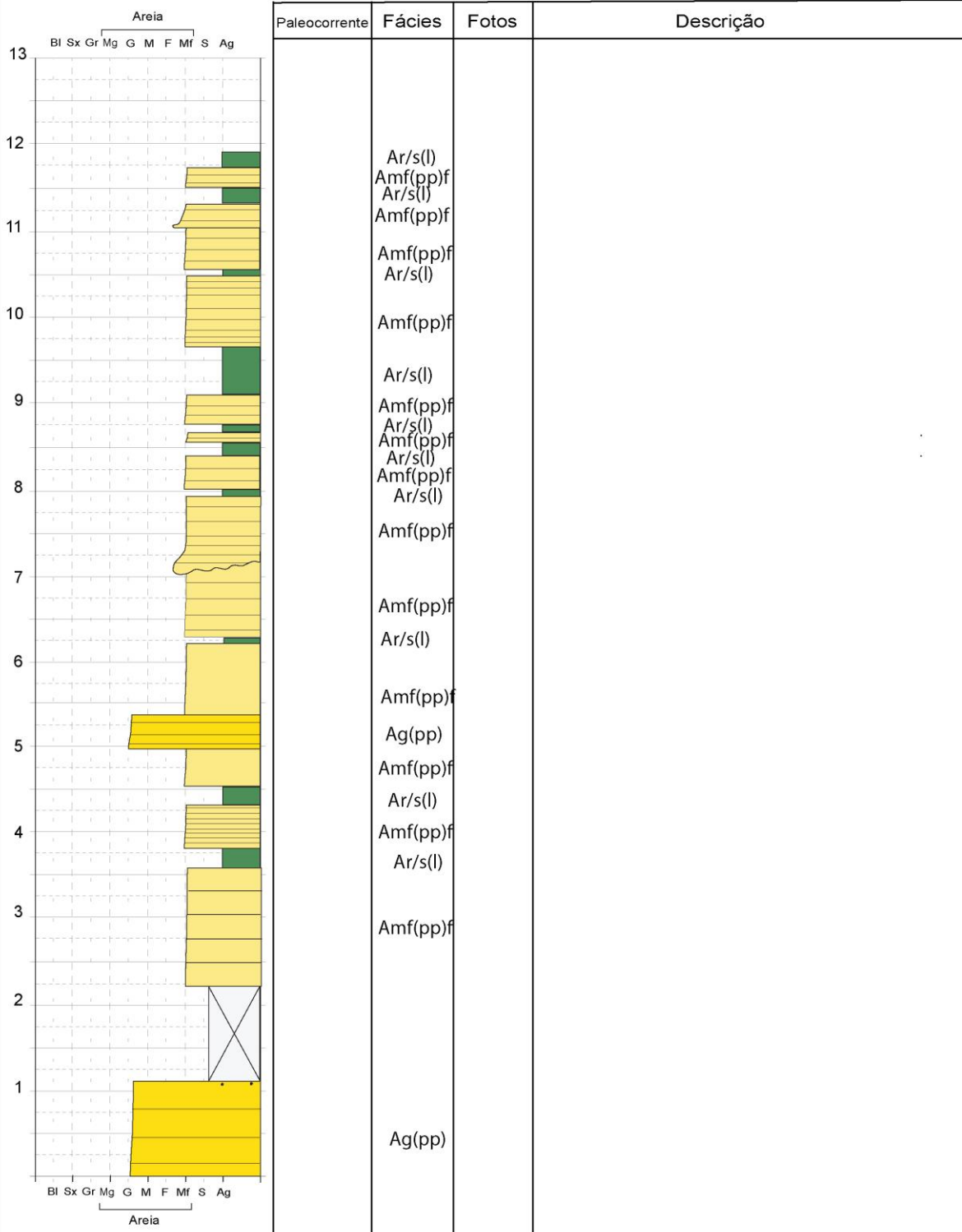
Ponto/Seção: PGAM1205

Localização:

UTM: 305583 / 6565548

Data: 01/2013

Escala: 1:50



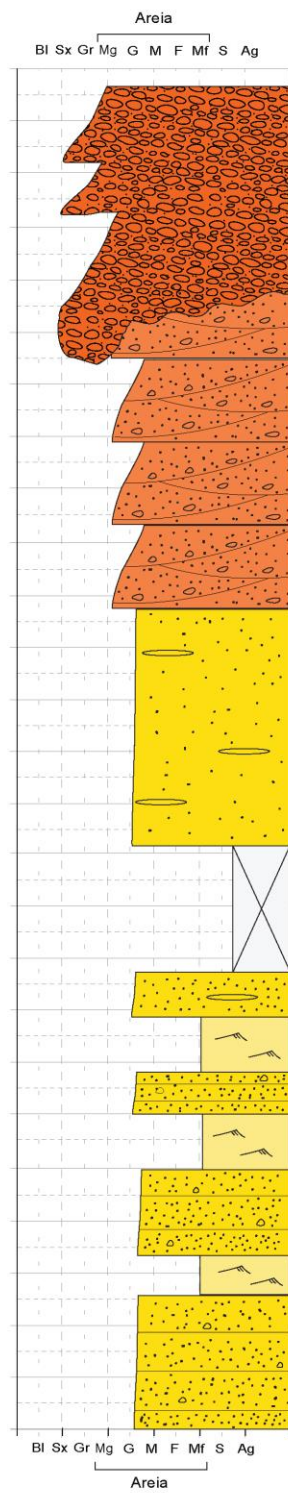
Ponto/Seção: PGAM1206

Localização:

UTM: 303980 / 6567740

Data: 01/2013

Escala: 1:50



Paleocorrente	Fácies	Fotos	Descrição
	Cg/ag(t)		
	Acg(t)		
	Acg(t)		
	Acg(t)		
	Acg(t)		
	Ag(l)		
	Ag(l)		
	Amf(lmo)		
	Ag(pp)		
	Amf(lmo)		
	Ag(pp)		
	Amf(lmo)		
	Ag(pp)		

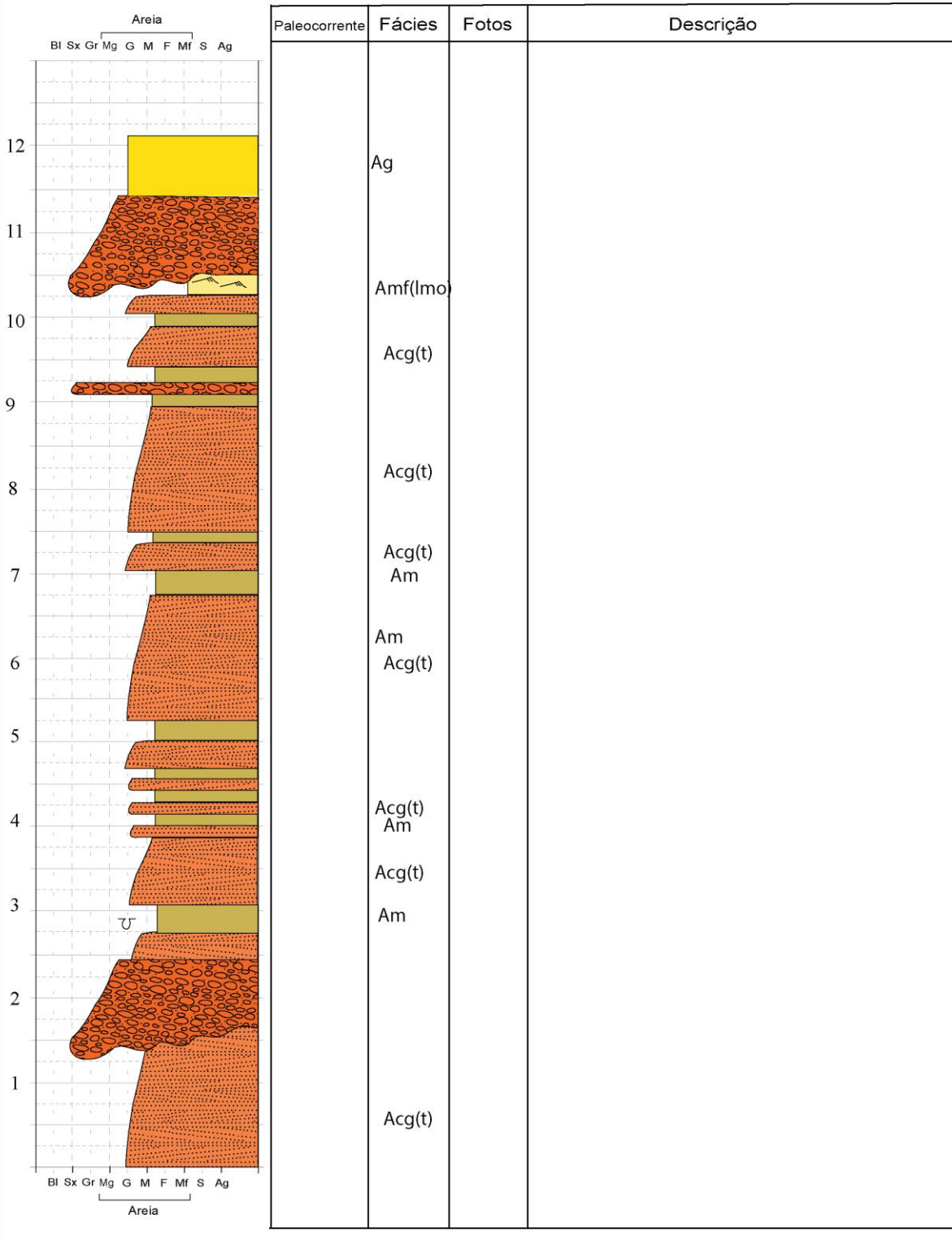
Ponto/Seção: PGAM1207

Localização:

UTM:

Data:

Escala:



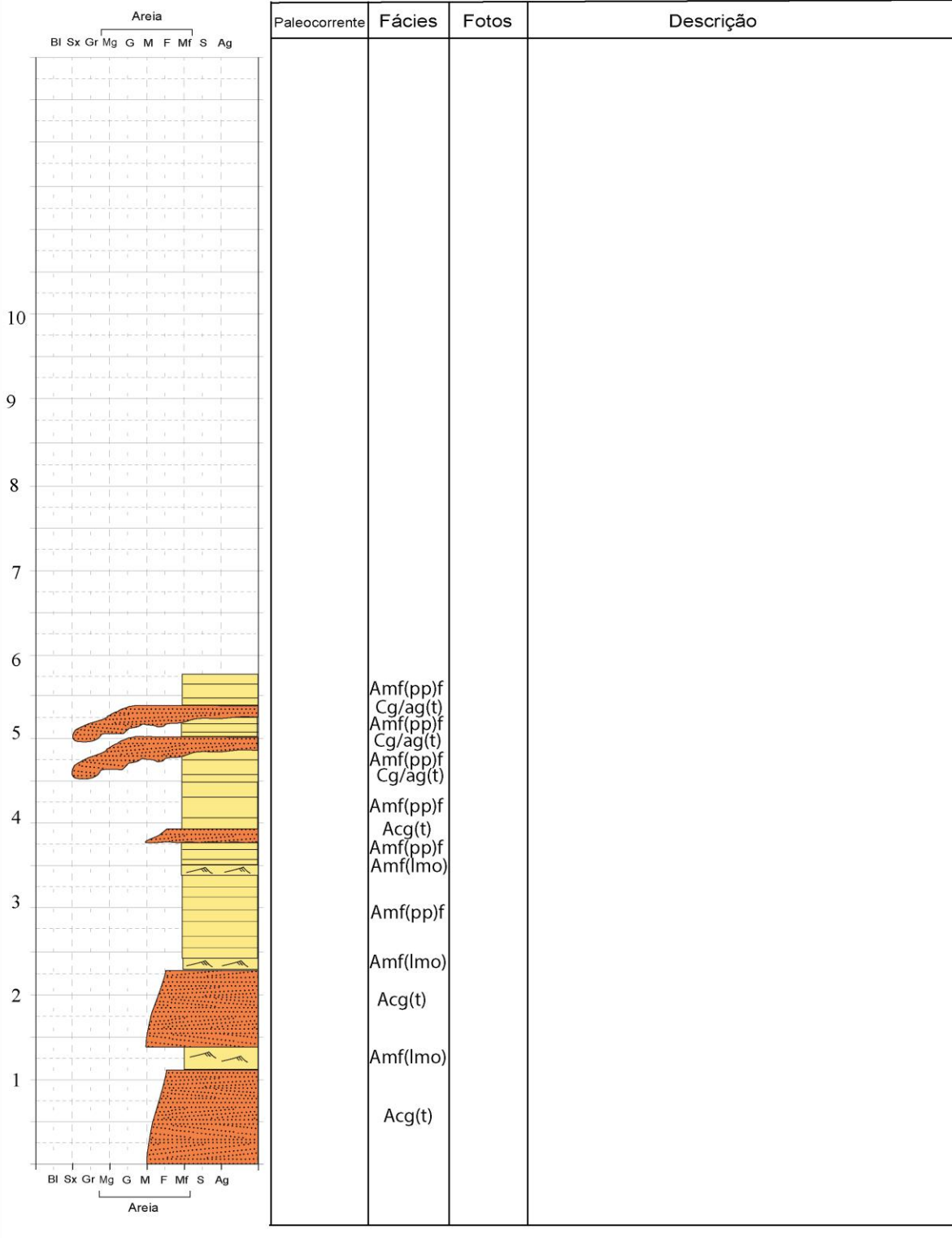
Ponto/Seção: PGAM1208

Localização:

UTM: E307825 N6566581

Data: Jan/2013

Escala: 1:50



Ponto/Seção: PGAM12-10

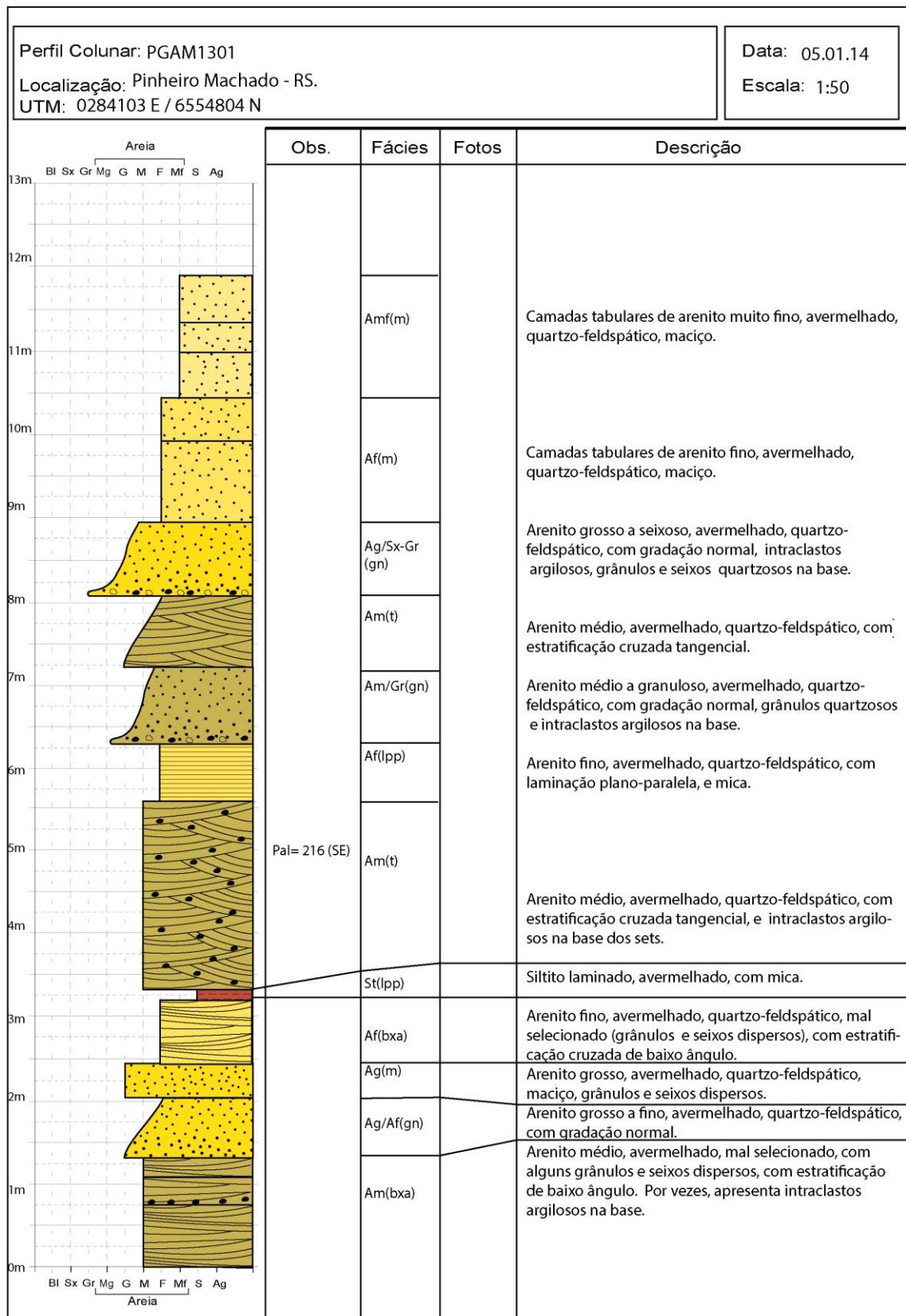
Localização:

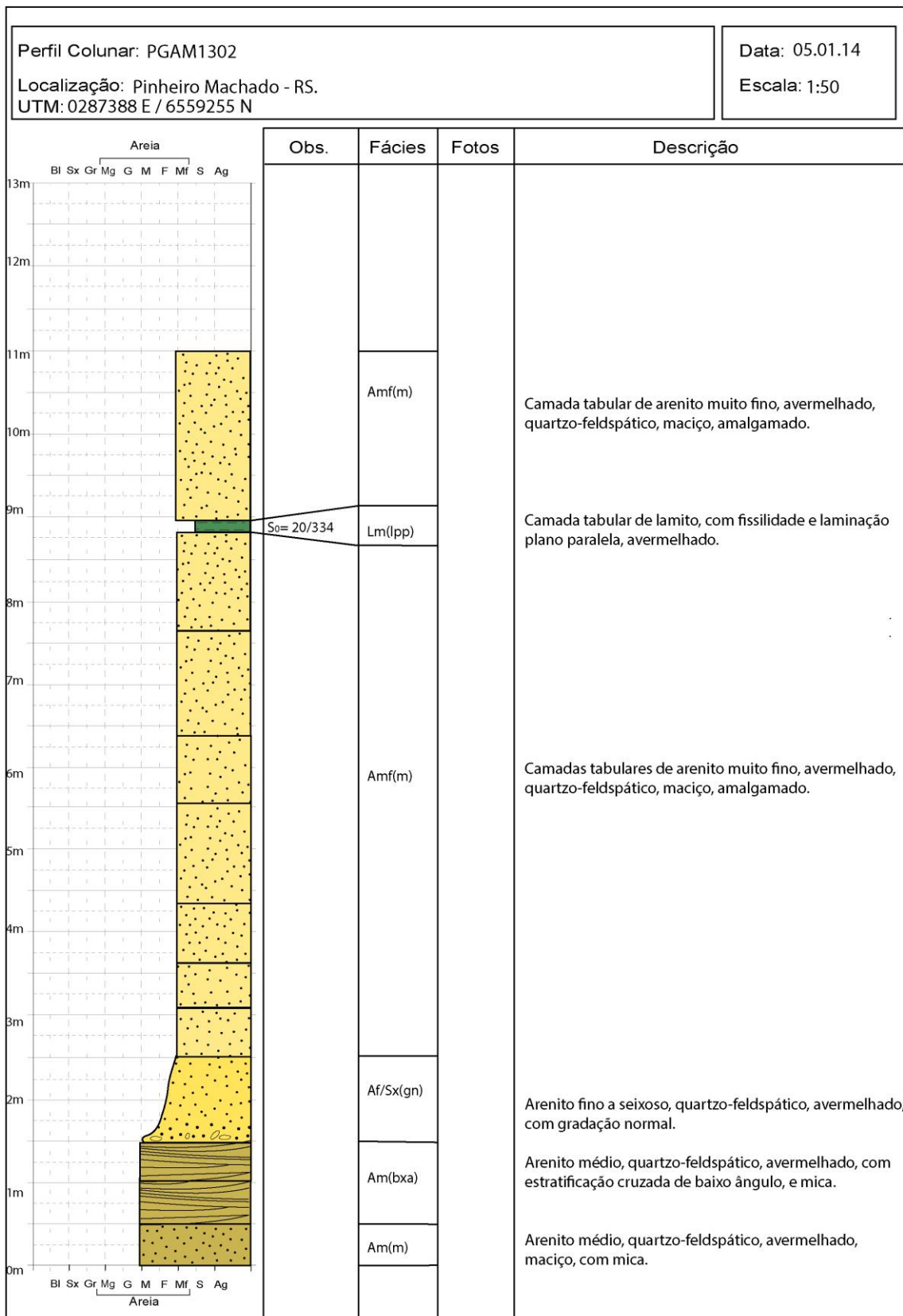
UTM: E304828 N6571688

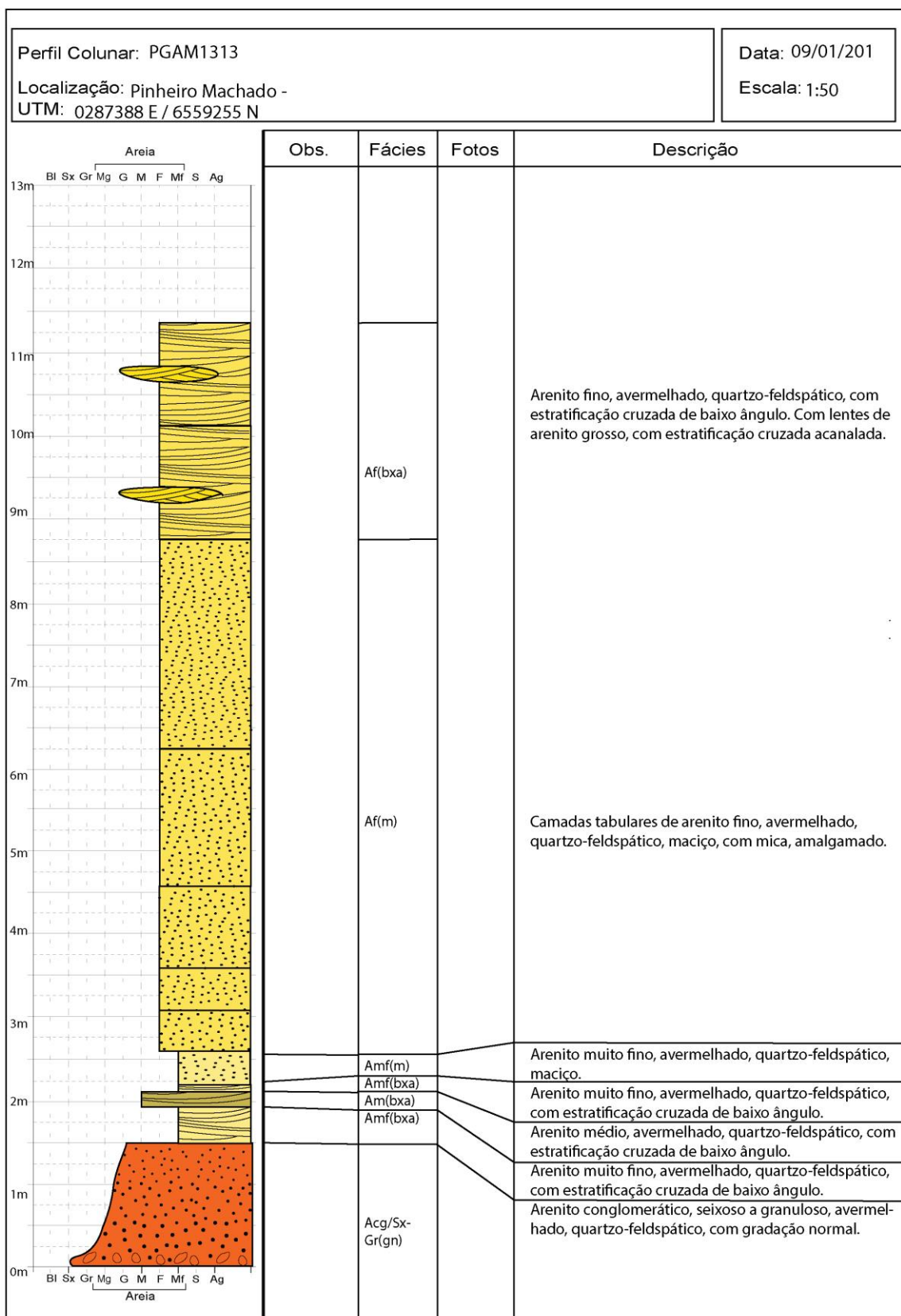
Data: Jan/2013

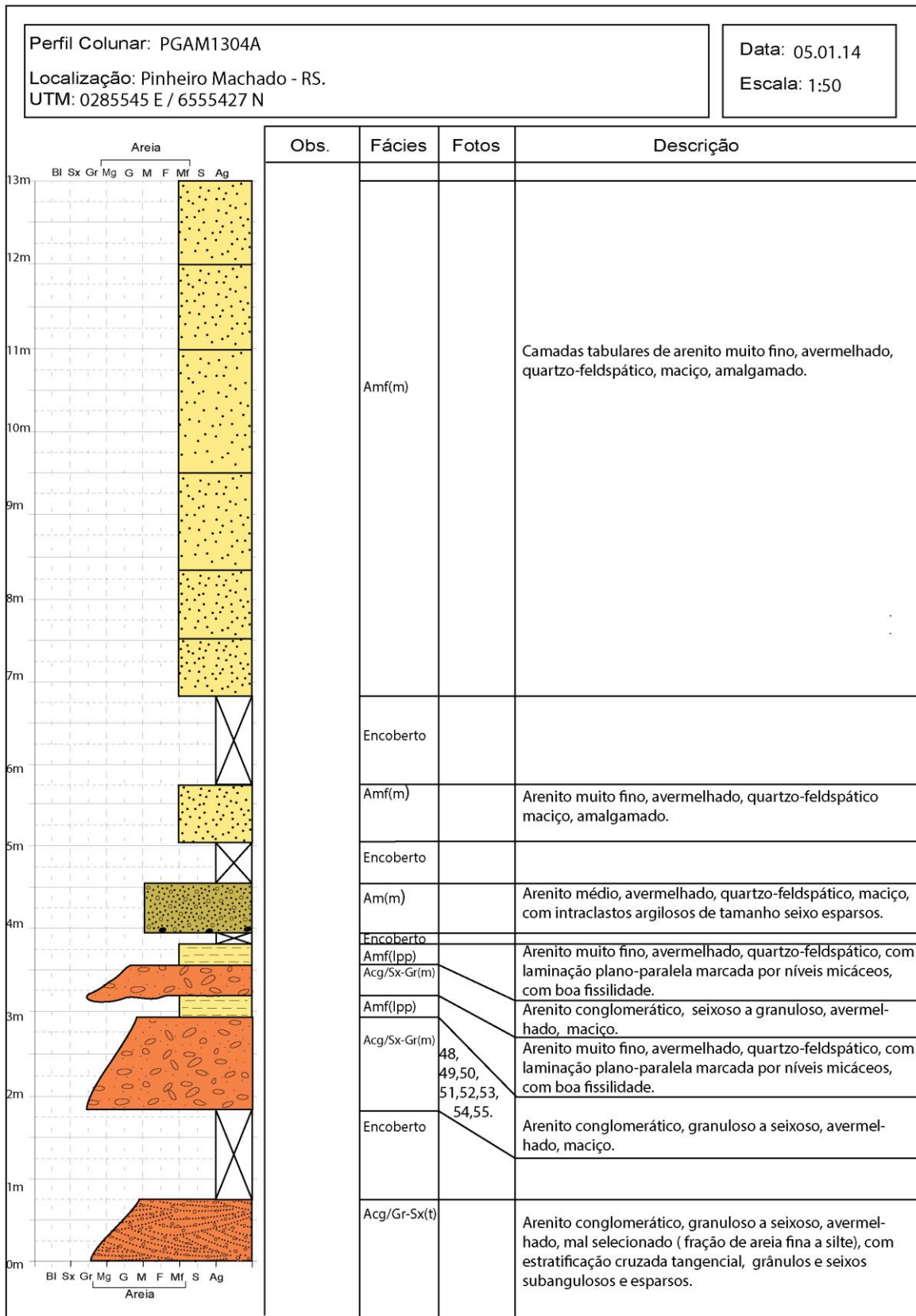
Escala: 1:50



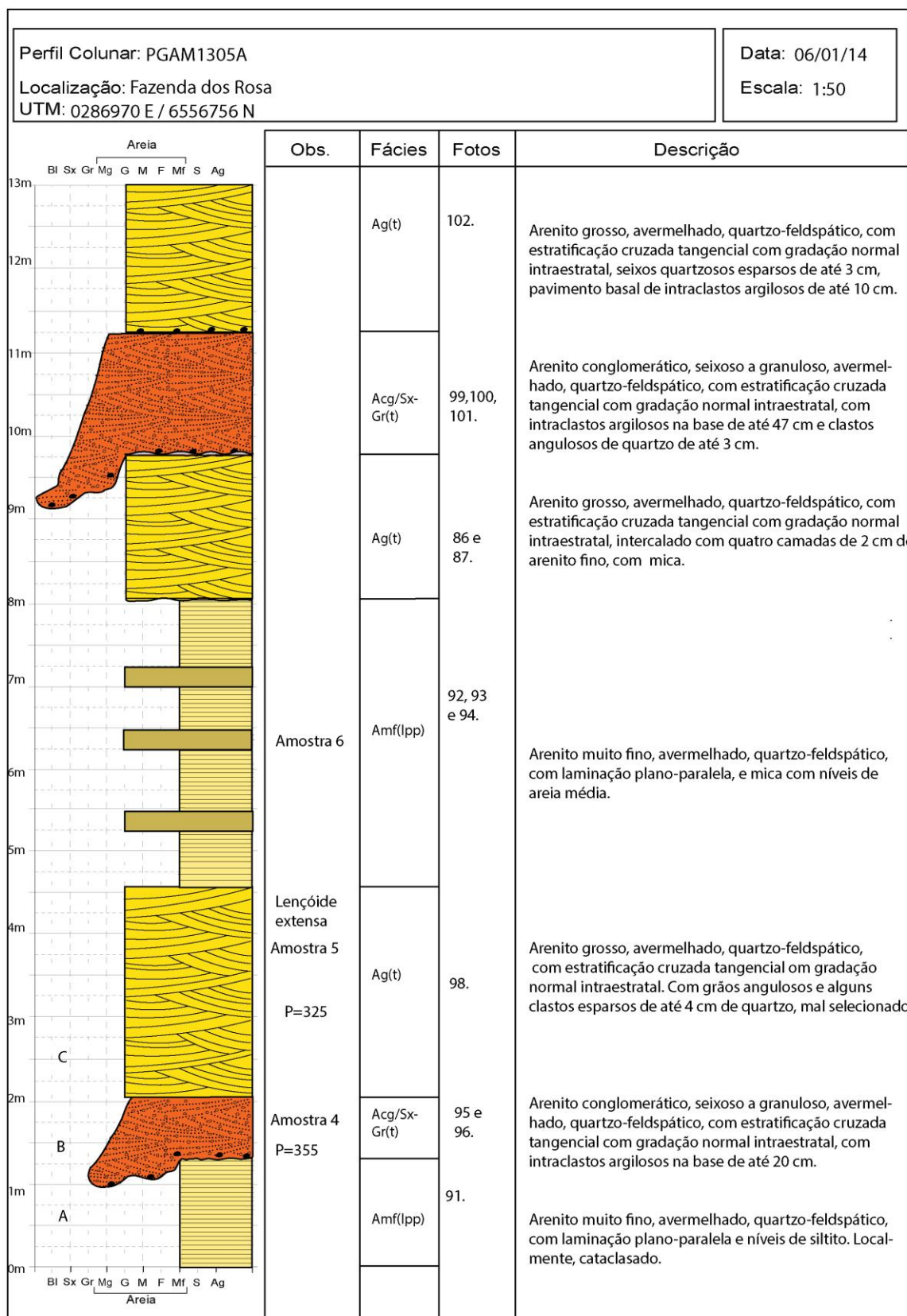




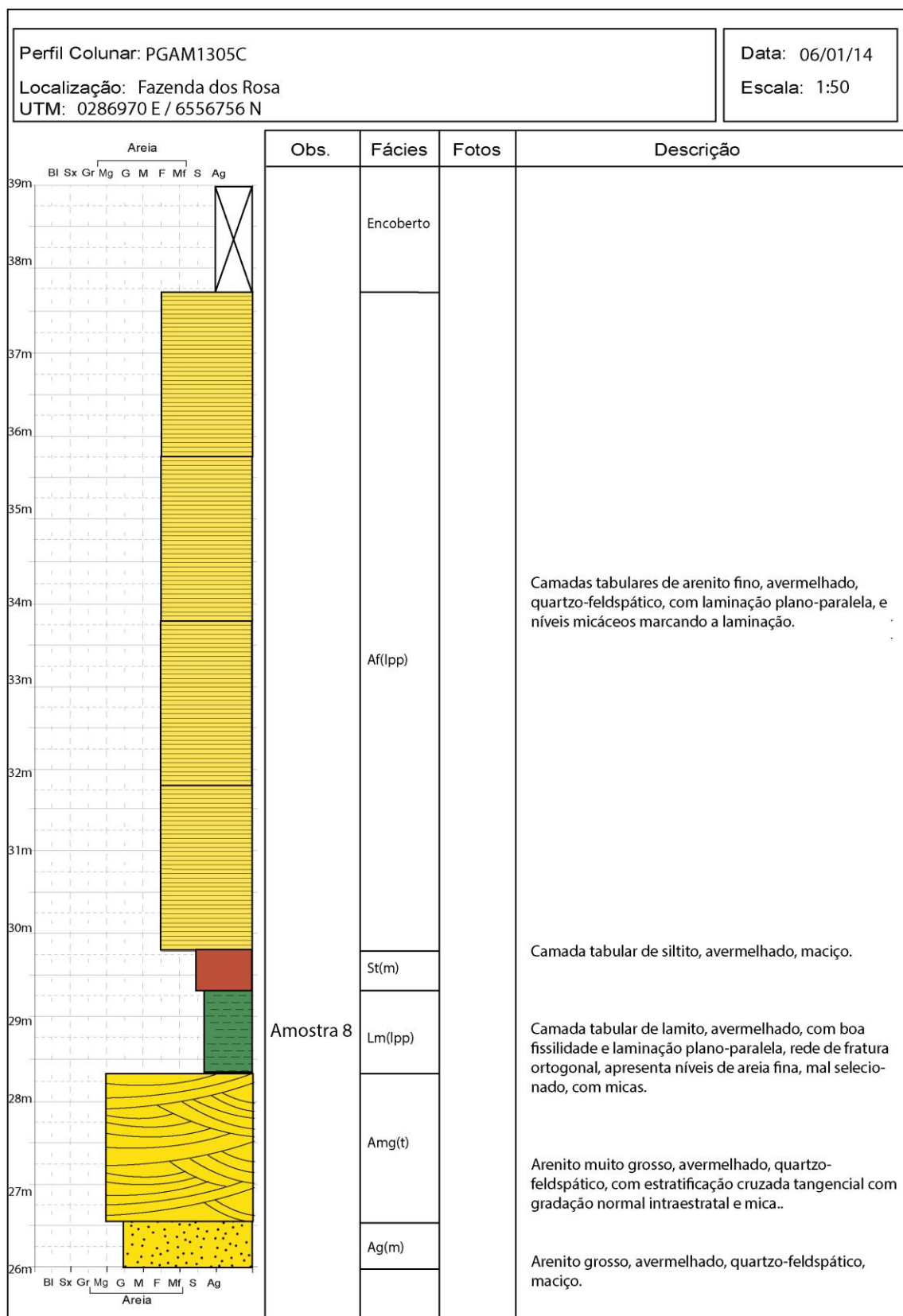




Perfil Colunar: PGAM1304B		Data: 05.01.14			
Localização: Pinheiro Machado - RS.		Escala: 1:50			
UTM: 0285545 E / 6555427 N					
		Obs.	Fácies	Fotos	Descrição
26m	Areia Bl Sx Gr Mg G M F Mf S Ag				
25m					
24m					
23m					
22m					
21m					
20m					
19m					
18m					
17m					
16m					
15m					
14m			Amf(m)		Arenito muito fino, quartzo-feldspático, avermelhado, maciço.
13m	Areia Bl Sx Gr Mg G M F Mf S Ag				

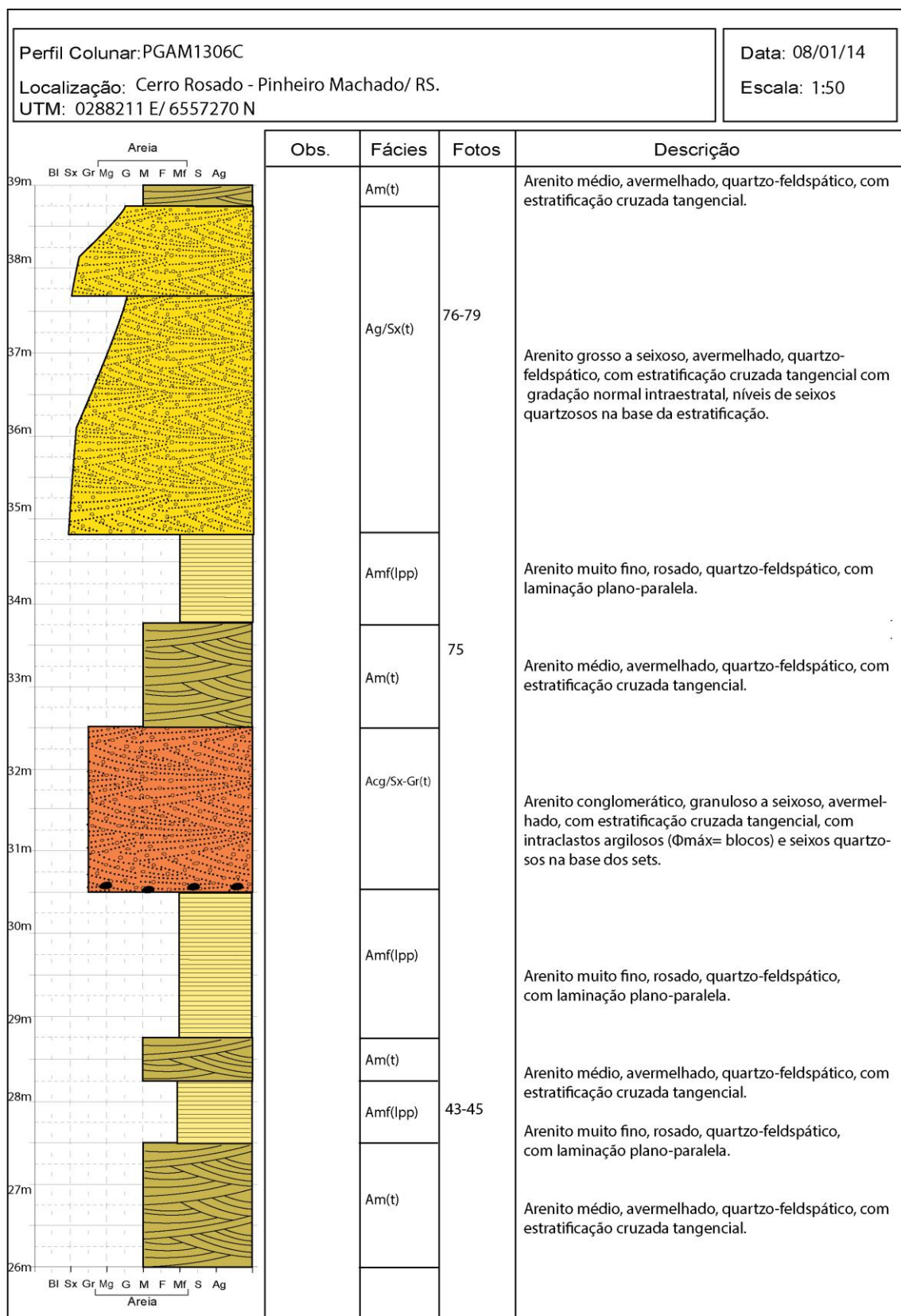


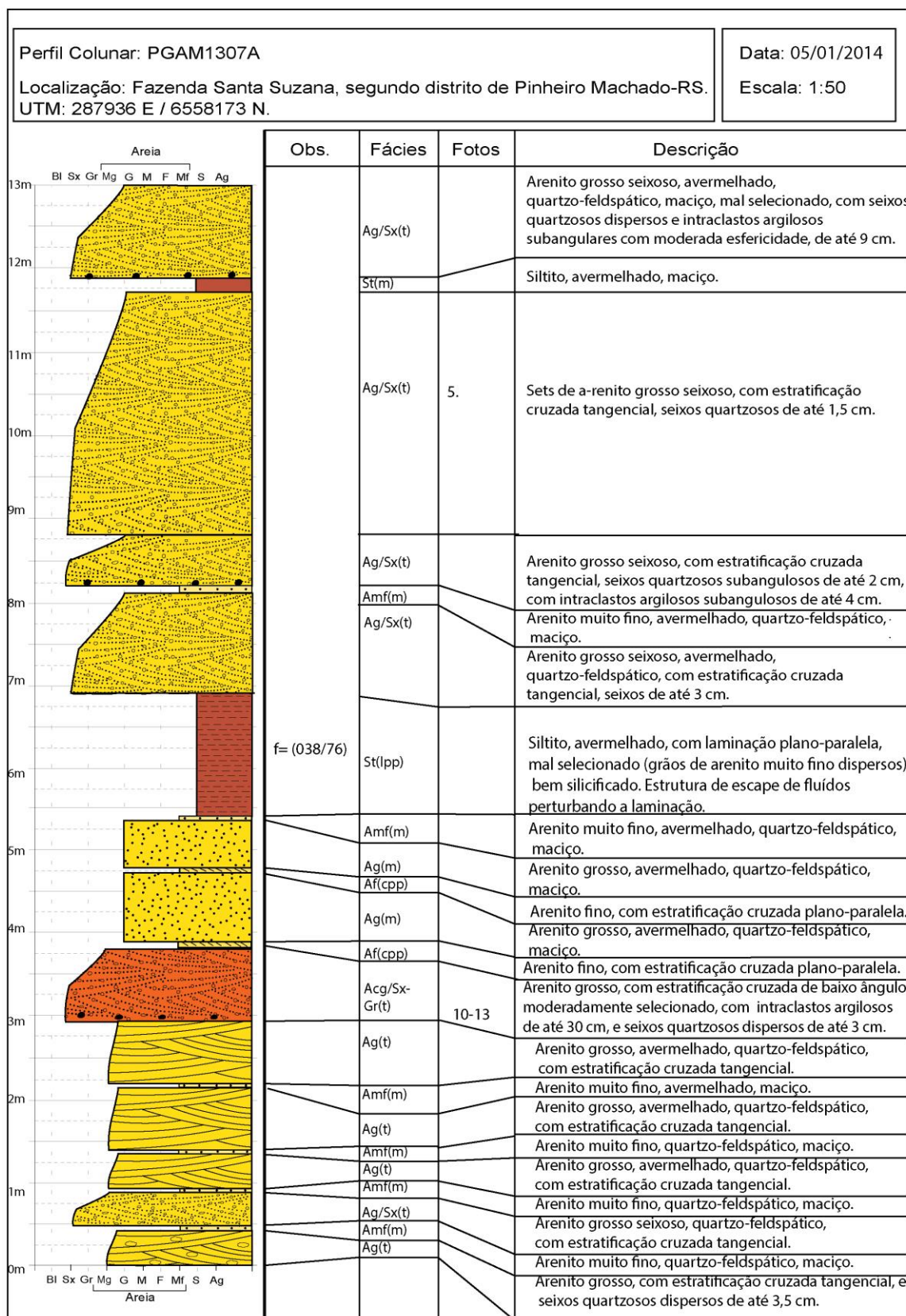
Perfil Colunar: PGAM1305B		Data: 06/01/14		
Localização: Fazenda dos Rosa		Escala: 1:50		
UTM: 0286970 E / 6556756				
	Obs.	Fácies	Fotos	Descrição
		Ag(t)		Arenito grosso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial.
		Amf(lpp)		Arenito muito fino, avermelhado, quartzo-feldspático, com laminação plano-paralela, e mica.
		Ag/Sx(f)	88,89.	Arenito grosso, seixoso a granuloso, avermelhado, quartzo-feldspático, festonado com graduação normal intraestratal.
		Acg/Sx-Gr(t)	90.	Arenito festonado de pequeno porte, seixoso a granuloso, avermelhado, quartzo-feldspático, estratificação cruzada tangencial com graduação normal intraestratal, com pavimento basal de intraclastos argilosos ($\Phi_{\text{máx}}= 8$ cm) e seixos quartzosos ($\Phi_{\text{máx}}= 3,5$ cm).
		Amf(lpp)		Arenito muito fino, avermelhado, quartzo-feldspático, com laminação plano-paralela, e mica.
	Ag(t)		Arenito grosso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial com graduação normal intraestratal, mal selecionado, em sua textura tem grãos tamanho areia fina e muito grossa dispersos, por vezes, com intraclastos argilosos na base de até 10 cm.	



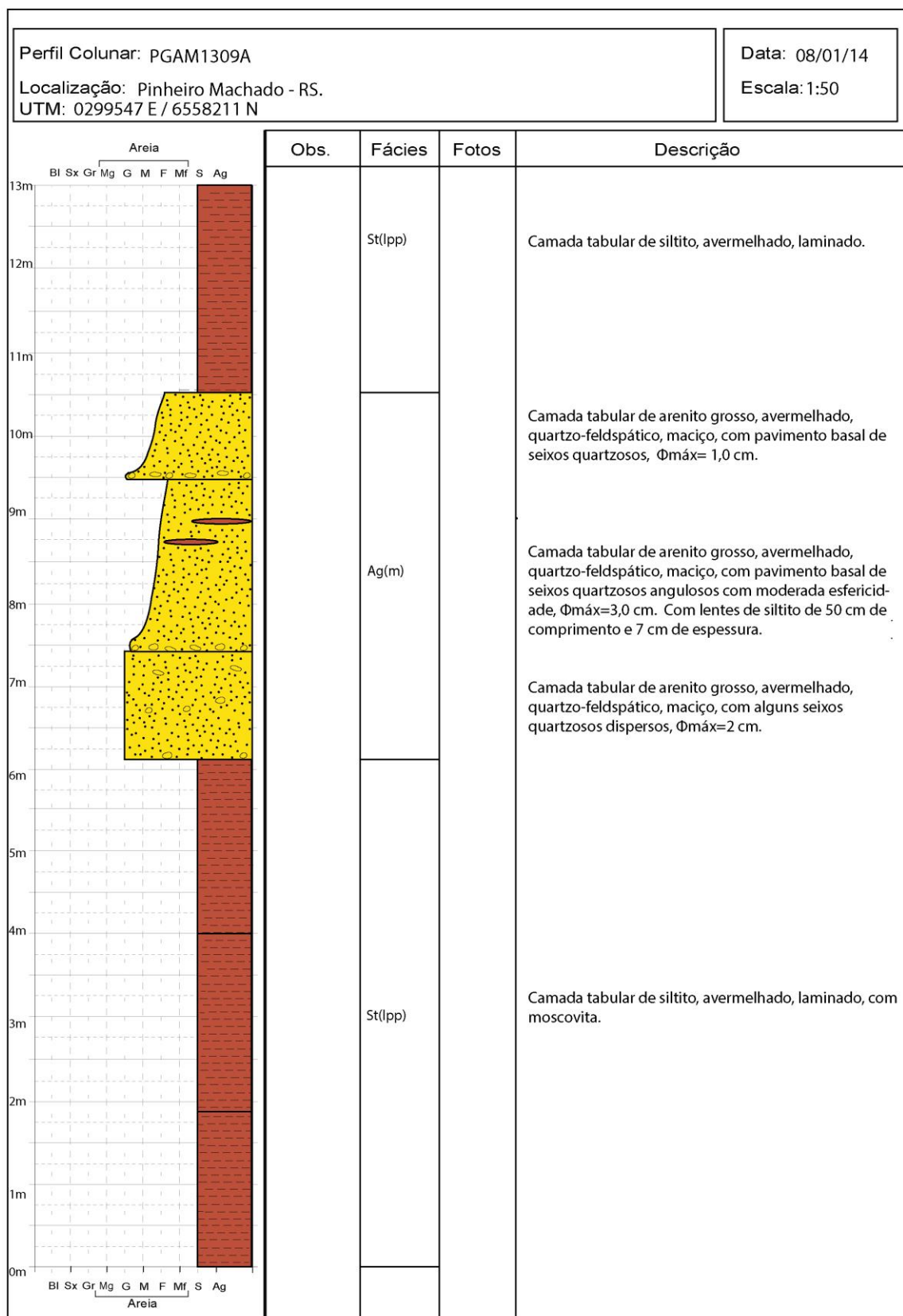
Perfil Colunar: PGAM1306A		Cota: 140 m.	Data: 08/01/14	
Localização: Cerro Rosado - Pinheiro Machado/ RS.		Escala: 1:50		
UTM: 0288211 E/ 6557270 N				
	Obs.	Fácies	Fotos	Descrição
		Acg/Sx-Gr(t)	29-34	Arenito conglomerático seixoso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial e gradação normal intraestratal, intraclastos argilosos.
		Cg/Bl(m)	69-71	Conglomerado blocoso, avermelhado, maciço, com intraclastos argilosos.
		Af(lpp)	26-28	Arenito fino, avermelhado, quartzo-feldspático, com laminação plano-paralela, e micas, com níveis de siltito.
		Am(t)		Arenito médio, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial, e intraclastos e seixos marcando a estratificação.
		Ag/Sx(t)	23-25	Conjuntos lenticulares de arenito grosso seixoso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial e gradação normal intraestratal, intraclastos argilosos e seixos na base dos sets.
		Cg/Sx(t)		Conglomerado seixoso, avermelhado, com estratificação cruzada tangencial, e intraclastos argilosos.
		Ag(t)		Arenito grosso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial e intraclastos argilosos.
		Acg/Gr(m)		Arenito conglomerático granuloso a seixoso, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço, com intraclastos.
		Ag(m)		Arenito grosso, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço.
		Acg/Gr-Sx(m)		Arenito conglomerático granuloso a seixoso, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço, com intraclastos.
		Af(m)	68	Arenito fino, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço.
		Acg/Gr-Sx(m)		Arenito conglomerático granuloso a seixoso, avermelhado, maciço, com intraclastos argilosos.
		Af(m)		Arenito fino, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço.
	Amf(lpp)		Arenito muito fino, avermelhado, quartzo-feldspático, com laminação plano-paralela.	
	Af(m)		Arenito fino, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço. Arenito conglomerático granuloso, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço.	
	Acg/Sx-Gr(m)		Siltito com fissilidade, laminado, avermelhado. Flora <i>dicroidium</i> .	
	St(lpp)			
	Amf(lpp)	18-22 e 108-110.	Arenito muito fino, avermelhado, com laminação plano-paralela, com fragmentos de carvão e concreções ferruginosas de até 4,5 cm.	
	Cg/Bl-Sx(t)	16 e 17	Camada tabular de conglomerado blocoso a seixoso, avermelhado, maciço, monomítico (clastos quartzosos). No topo, crosta laterítica.	

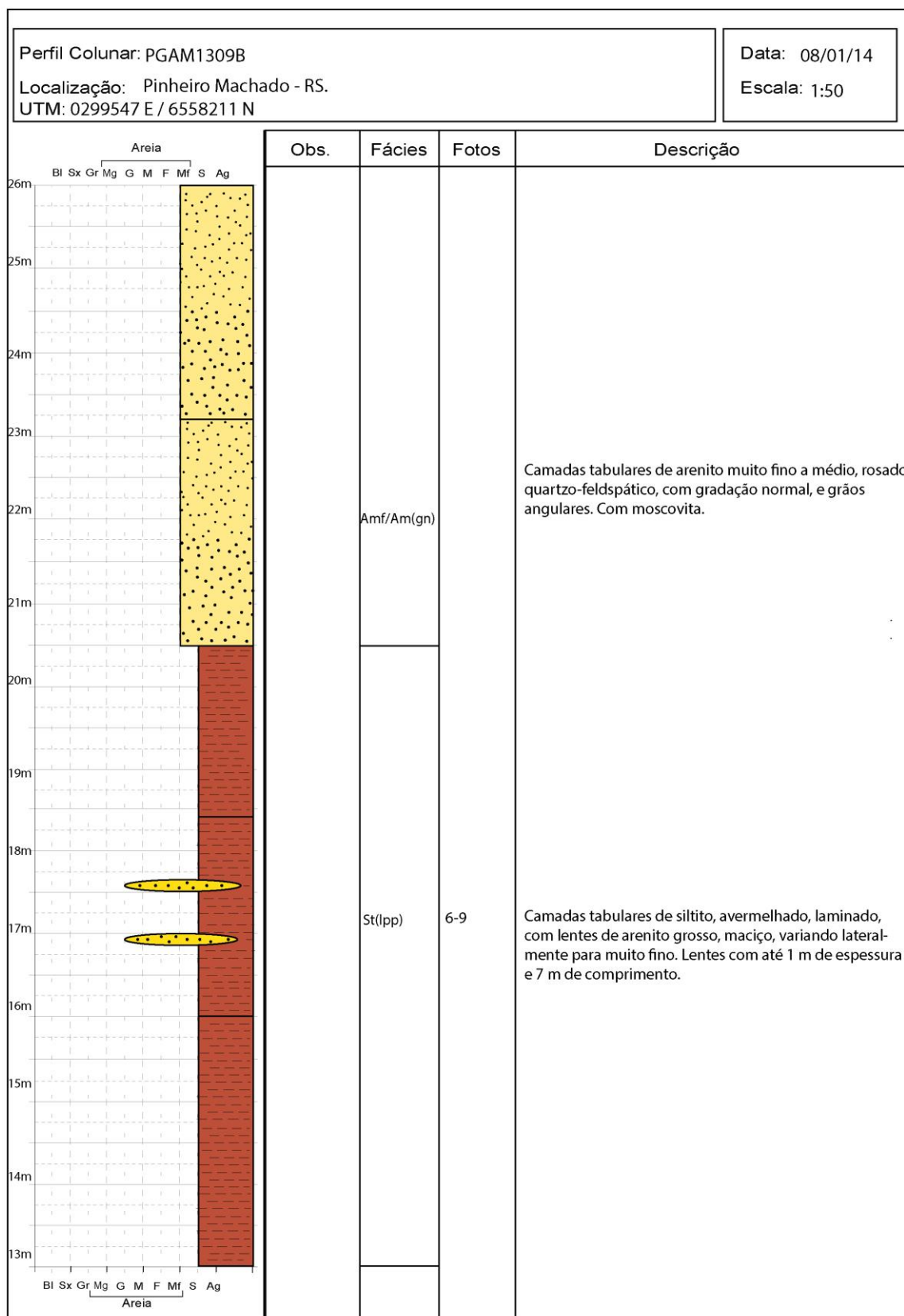
Perfil Colunar: PGAM1306B		Data: 08/01/14			
Localização: Cerro Rosado - Pinheiro Machado/ RS.		Escala: 1:50			
UTM: 0288211 E/ 6557270 N					
	Obs.	Fácies	Fotos	Descrição	
		Am(t)			Arenito médio, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial.
		Acg/Sx-Gr(m)			Arenito conglomerático seixoso a granuloso, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço.
		Amf(m)			Arenito muito fino, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço.
		Ag/Sx(t)	39-42		Arenito grosso seixoso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial e gradação normal intraestratal. com seixos na base dos sets.
		St(lpp)			Camada tabular de siltito laminado, avermelhado, com mica.
		Am(m)	73		Arenito médio, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço, com mica.
		St(lpp)			Camada tabular de siltito laminado, avermelhado, com mica.
		Am(m)			Arenito médio, quartzo-feldspático, avermelhado, maciço, com mica.
		Ag(m)			Arenito grosso, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço.
		Cg/Sx(t)	72		Conglomerado seixoso, avermelhado, com estratificação cruzada tangencial.
		St(lpp)	35-38		Camada tabular de siltito, laminado, avermelhado.
		Af(m)			Arenito fino, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço. Com rede de fraturas ortogonais. Com níveis centimétricos de arenito grosso e siltito.
		Ag(t)			Arenito grosso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial, com intraclastos argilosos e seixos na base dos sets.
	Acg/Sx-Gr(m)			Arenito conglomerático seixoso a granuloso, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço.	

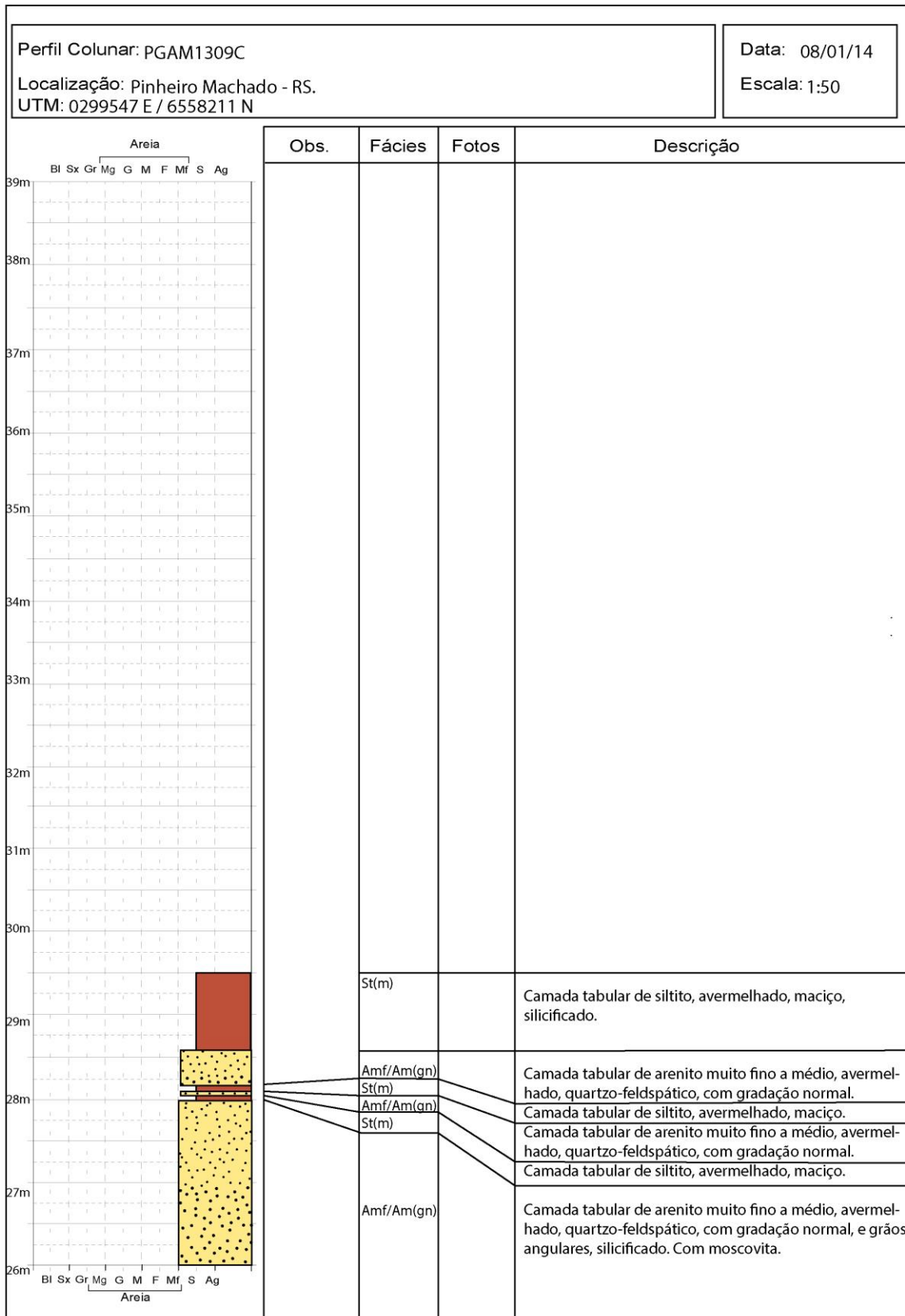




Perfil Colunar: PGAM1307B		Data: 05/01/2014			
Localização: Fazenda Santa Suzana, segundo distrito de Pinheiro Machado-RS.		Escala: 1:50			
UTM: 287936 E / 6558173 N.		Obs.	Fácies	Fotos	Descrição
			Ag/Sx(t)		Arenito grosso seixoso, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço, mal selecionado, com composição predominantemente quartzosa, seixos de quartzo dispersos e intraclastos argilosos subangulares com moderada esfericidade de até 9 cm.







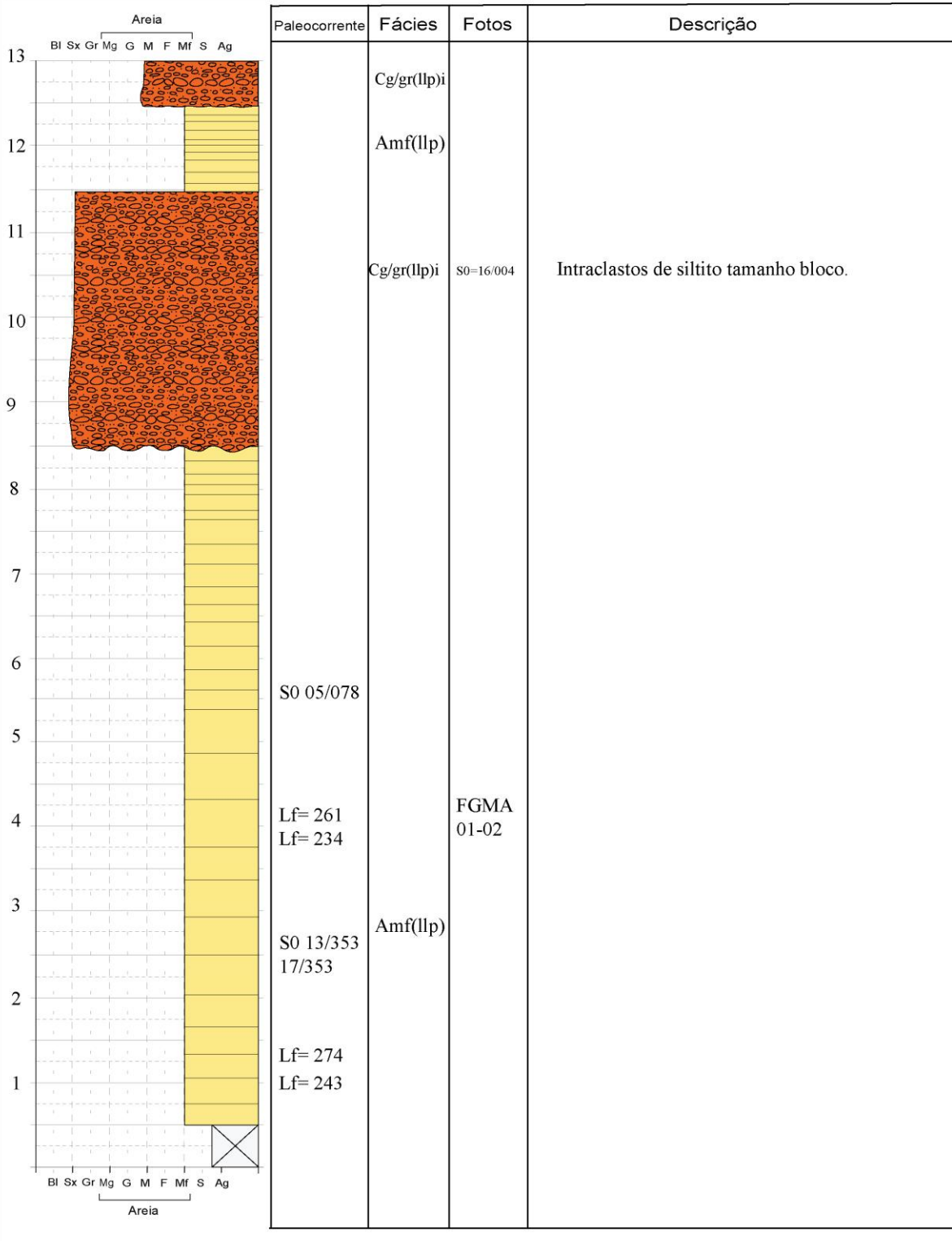
Ponto/Seção: PGAM1401A

Localização: Próximo a Estância Jury

UTM: 310448 / 6757712

Data: 18/12/2014

Escala: 1:50



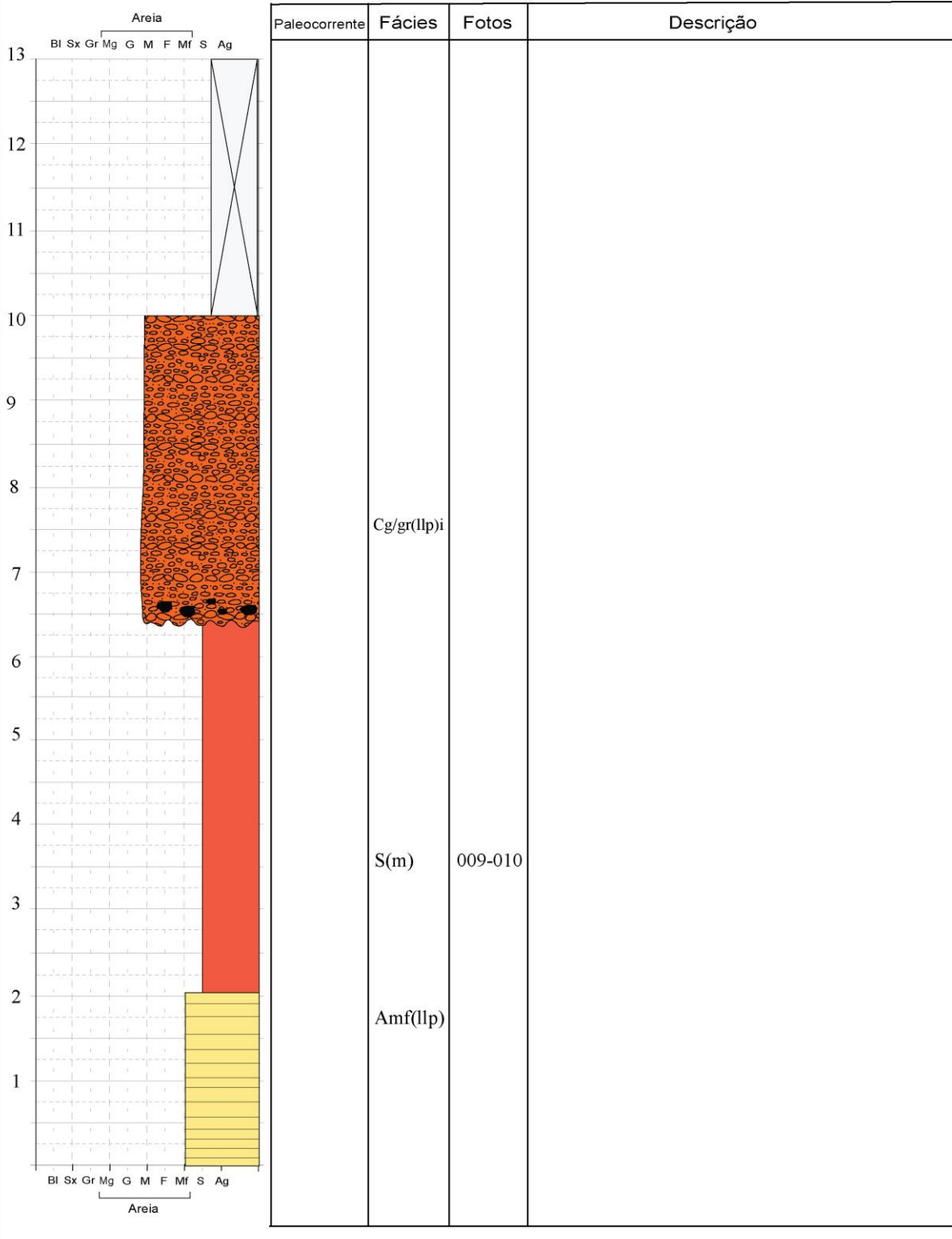
Ponto/Seção: PGAM1402A

Localização: 700km à NW do final do PGMA001

UTM: 310325 / 6558106

Data: 18/12/2014

Escala: 1:50



Ponto/Seção: PGAM1402B

Localização: 700km à NW do final do PGMA001

UTM: 310325 / 6558106

Data: 18/12/2014

Escala: 1:50

		Paleocorrente	Fácies	Fotos	Descrição
<p style="text-align: center;">Areia</p> <p>Bl Sx Gr Mg G M F MF S Ag</p> <p>13</p> <p>12</p> <p>11</p> <p>10</p> <p>9</p> <p>8</p> <p>7</p> <p>6</p> <p>5</p> <p>4</p> <p>3</p> <p>2</p> <p>1</p> <p style="text-align: center;">Bl Sx Gr Mg G M F MF S Ag</p> <p style="text-align: center;">Areia</p>					

S(m)

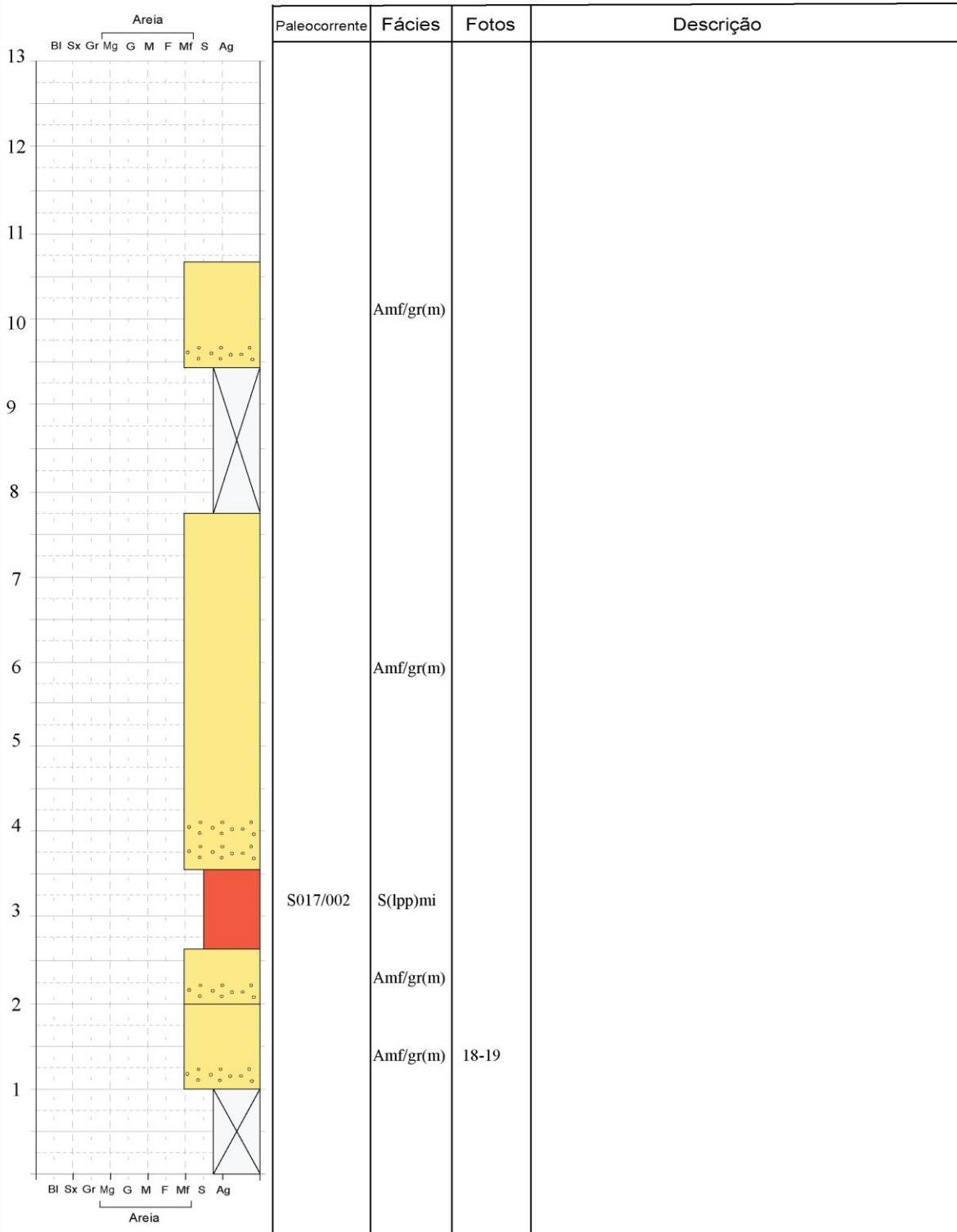
Ponto/Seção: PGAM1404

Localização:

UTM: 308244 / 6555855

Data: 20/12/2014

Escala: 1:50



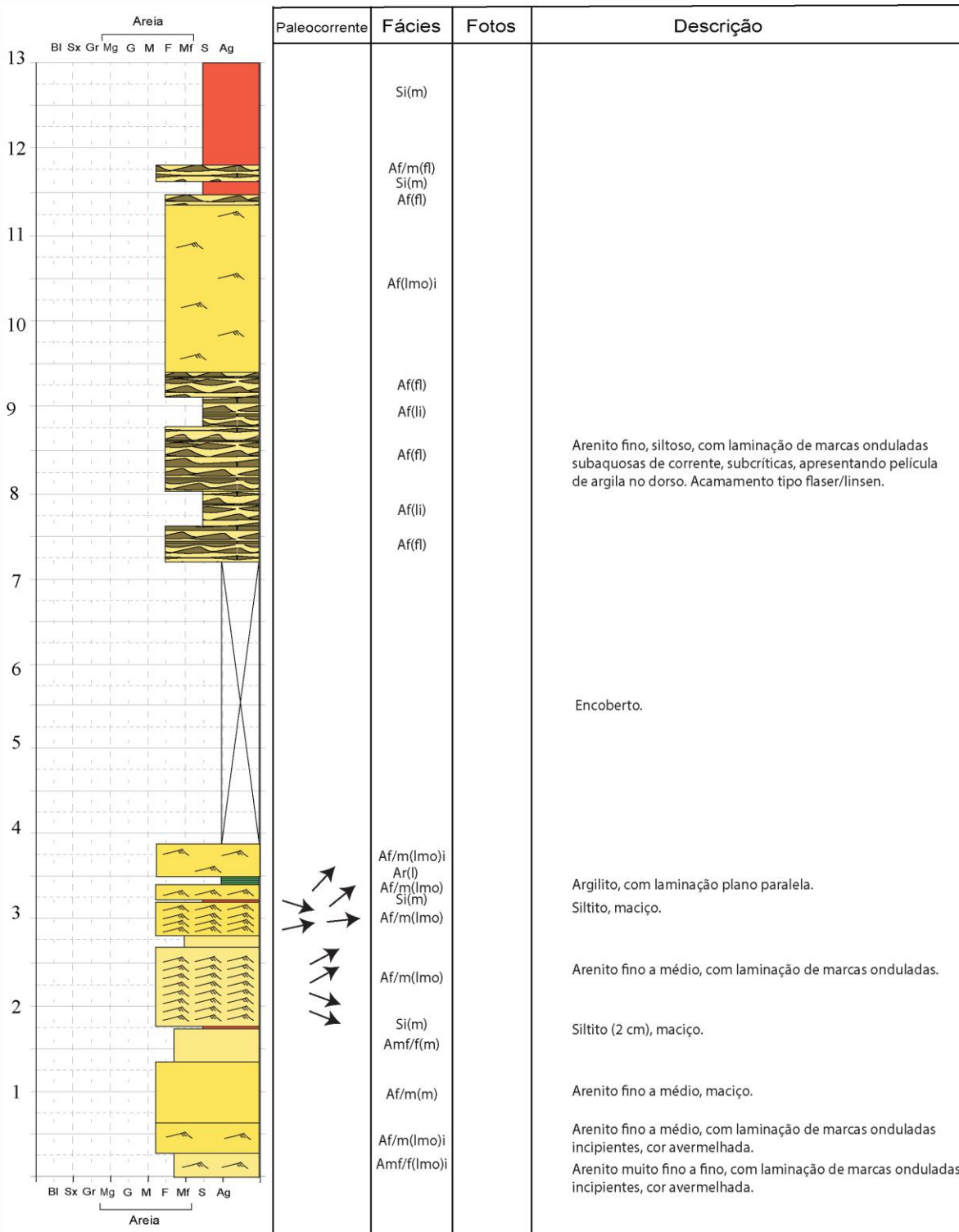
Ponto/Seção: PGAM12011A

Localização: Estância do Dr. Itamar.

UTM: 302691 mE / 6571733 mN

Data: 05/01/2013

Escala: 1:50



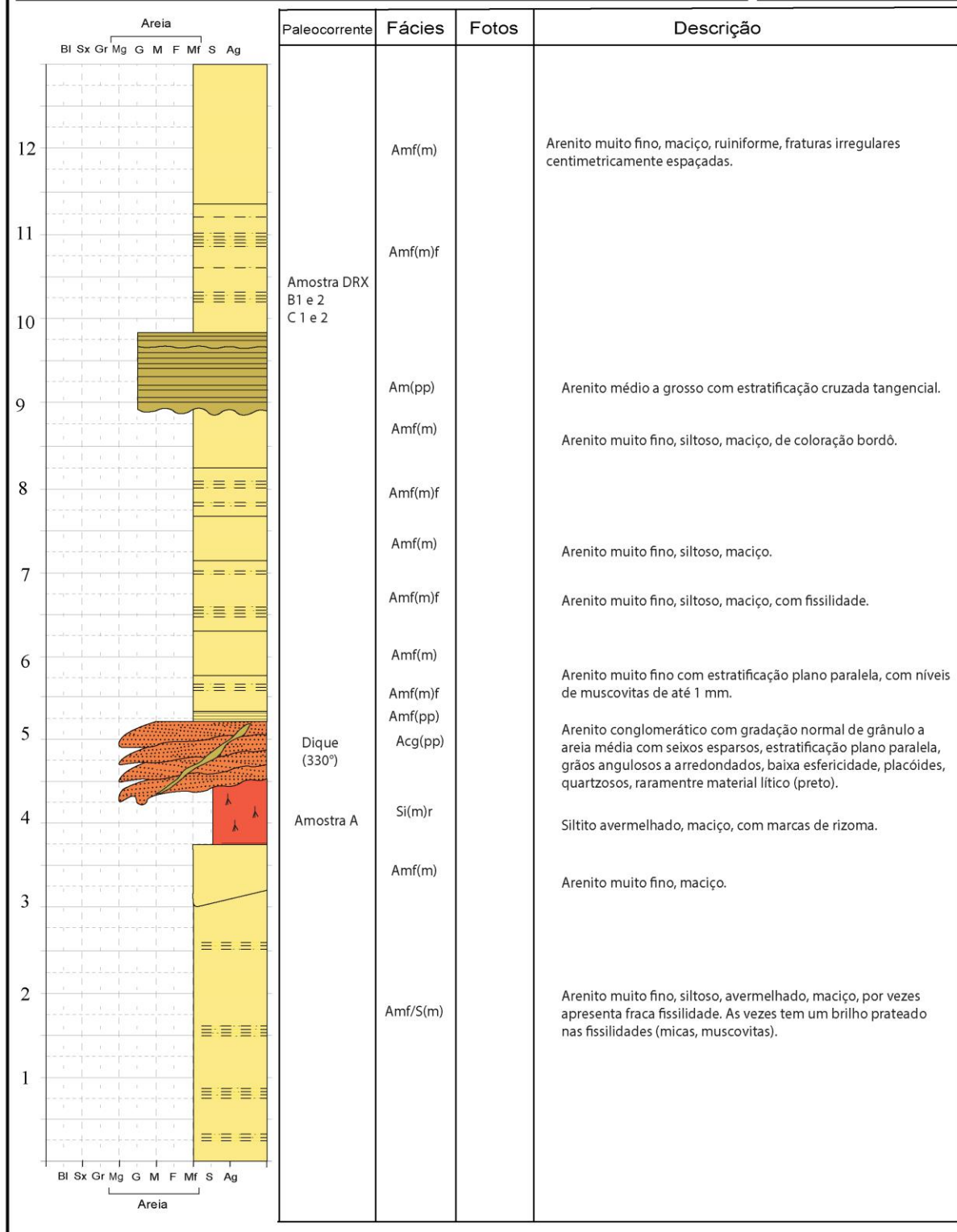
Ponto/Seção: PGAM12012A

Localização: Cerro do Raio.

UTM: 286966 / 6558838

Data: 07/01/2013

Escala: 1:50



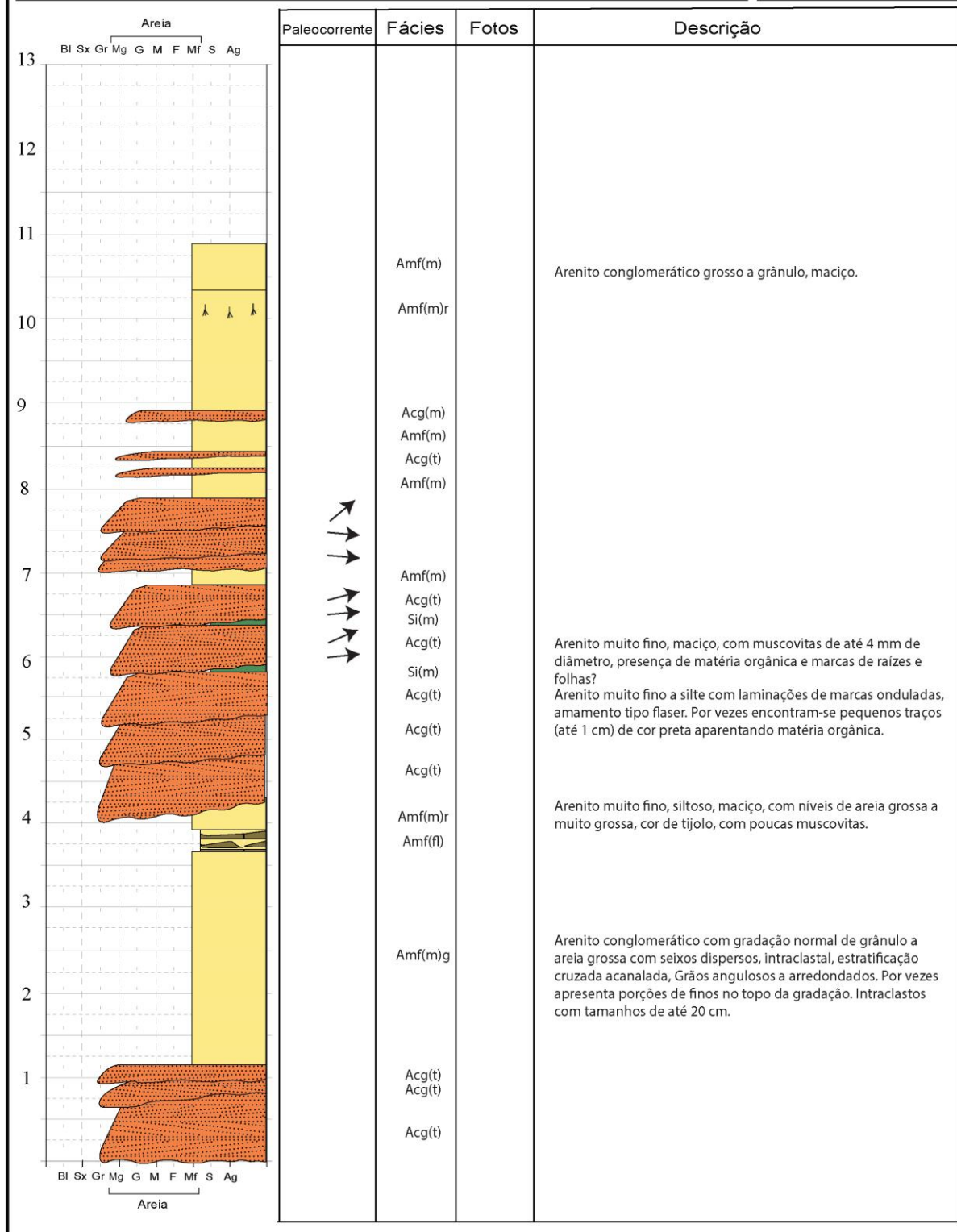
Ponto/Seção: PGAM12012B

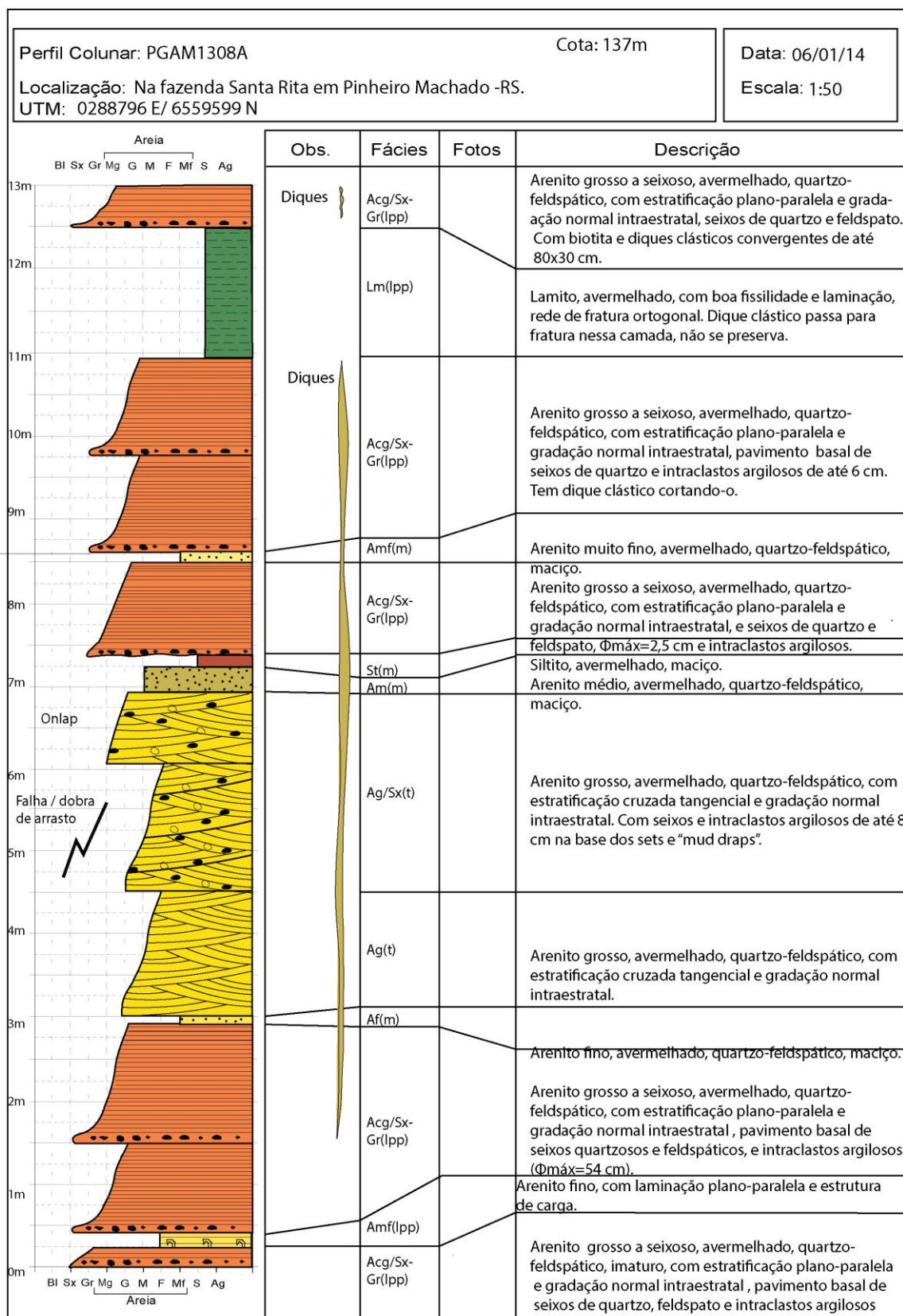
Localização: Cerro do Raio.

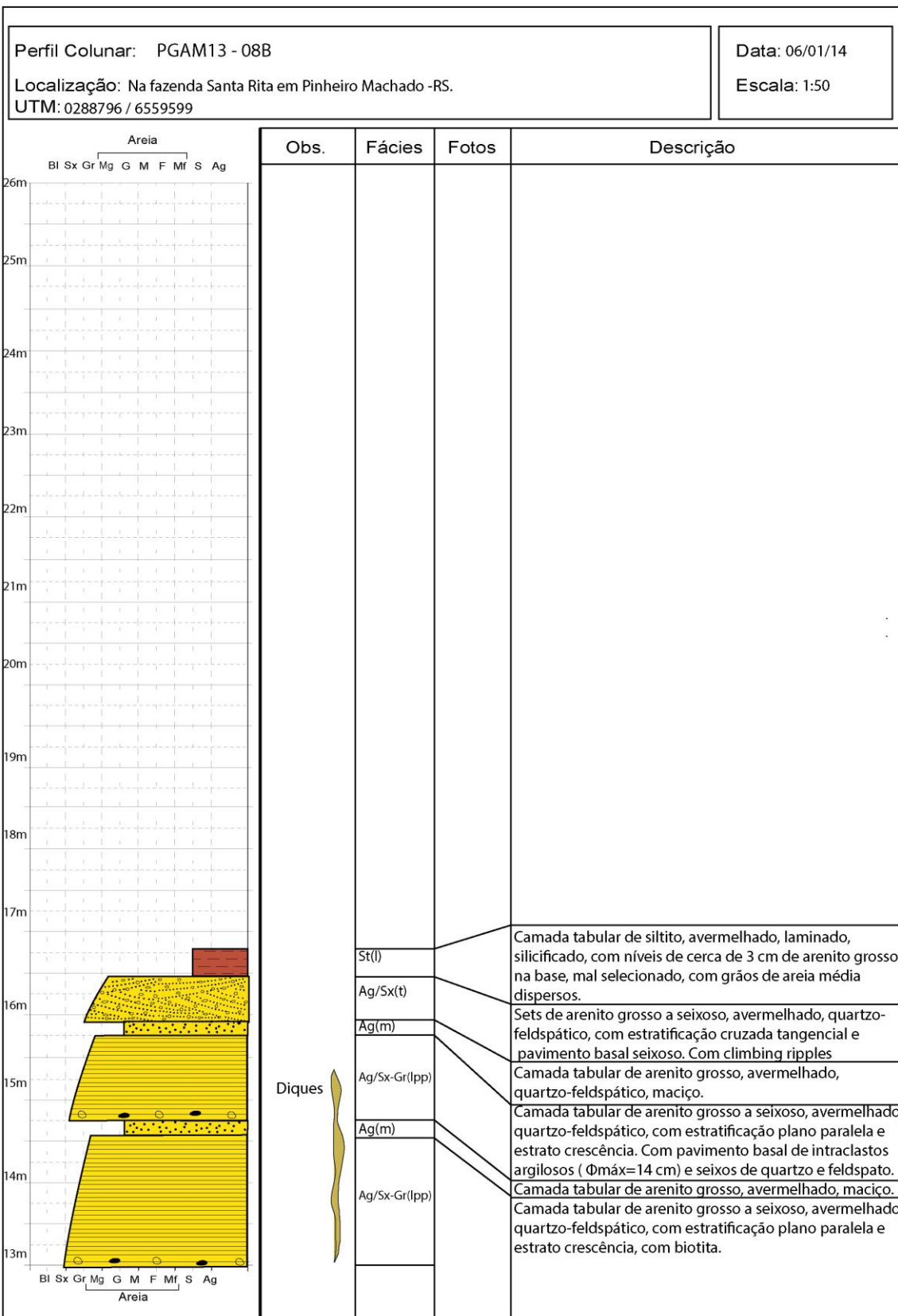
UTM: 287027 / 6558839

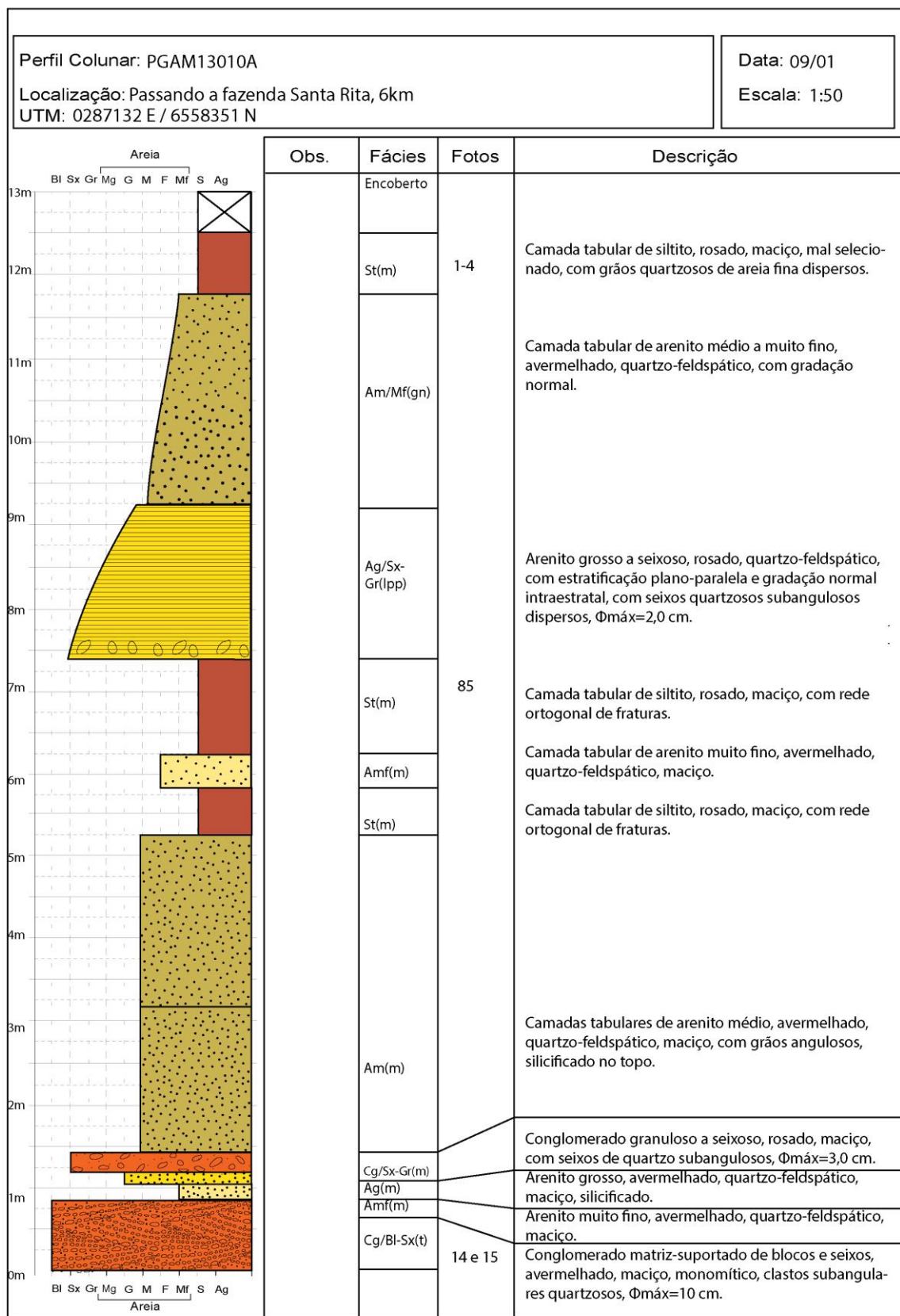
Data: 07/01/2013

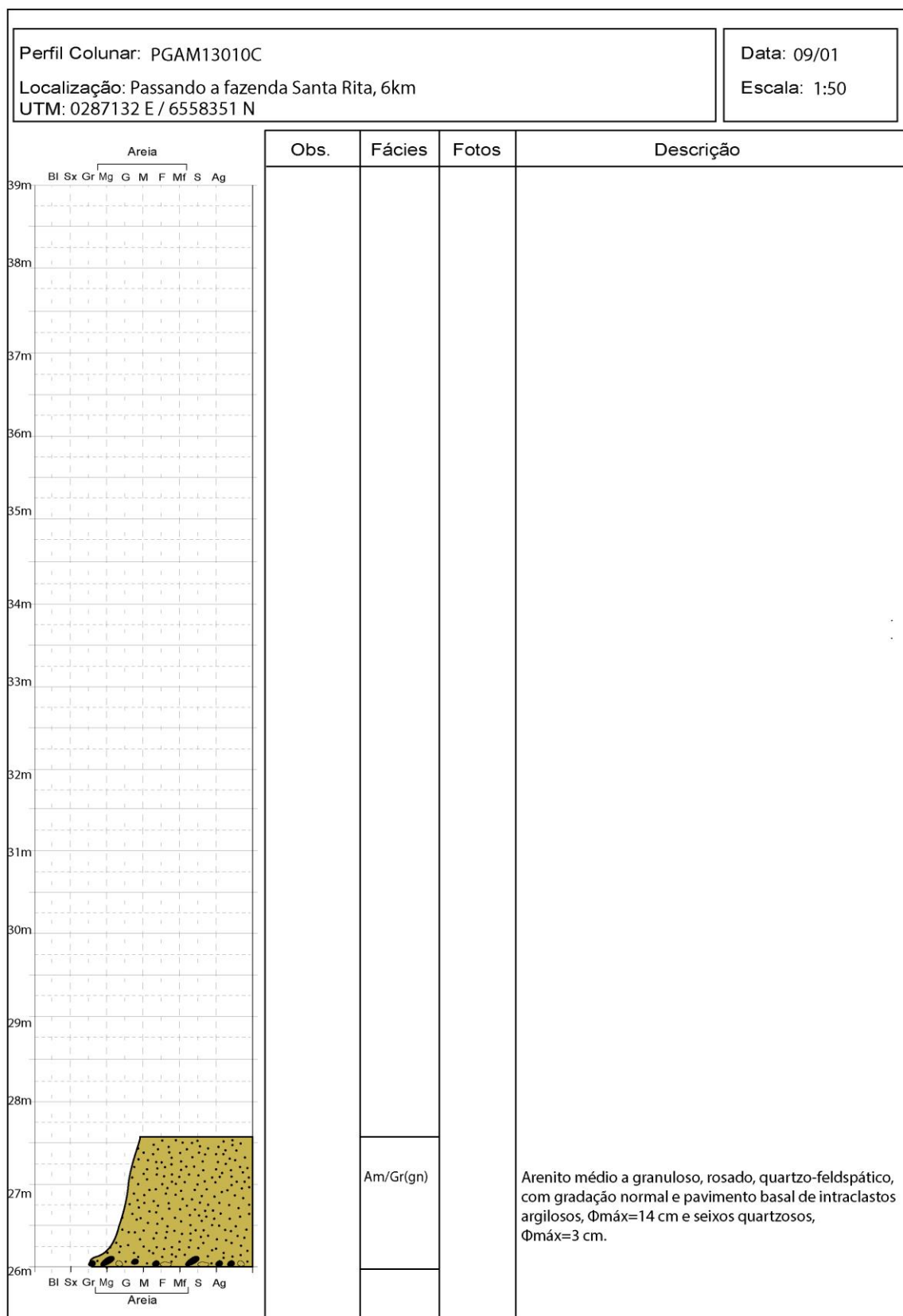
Escala: 1:50

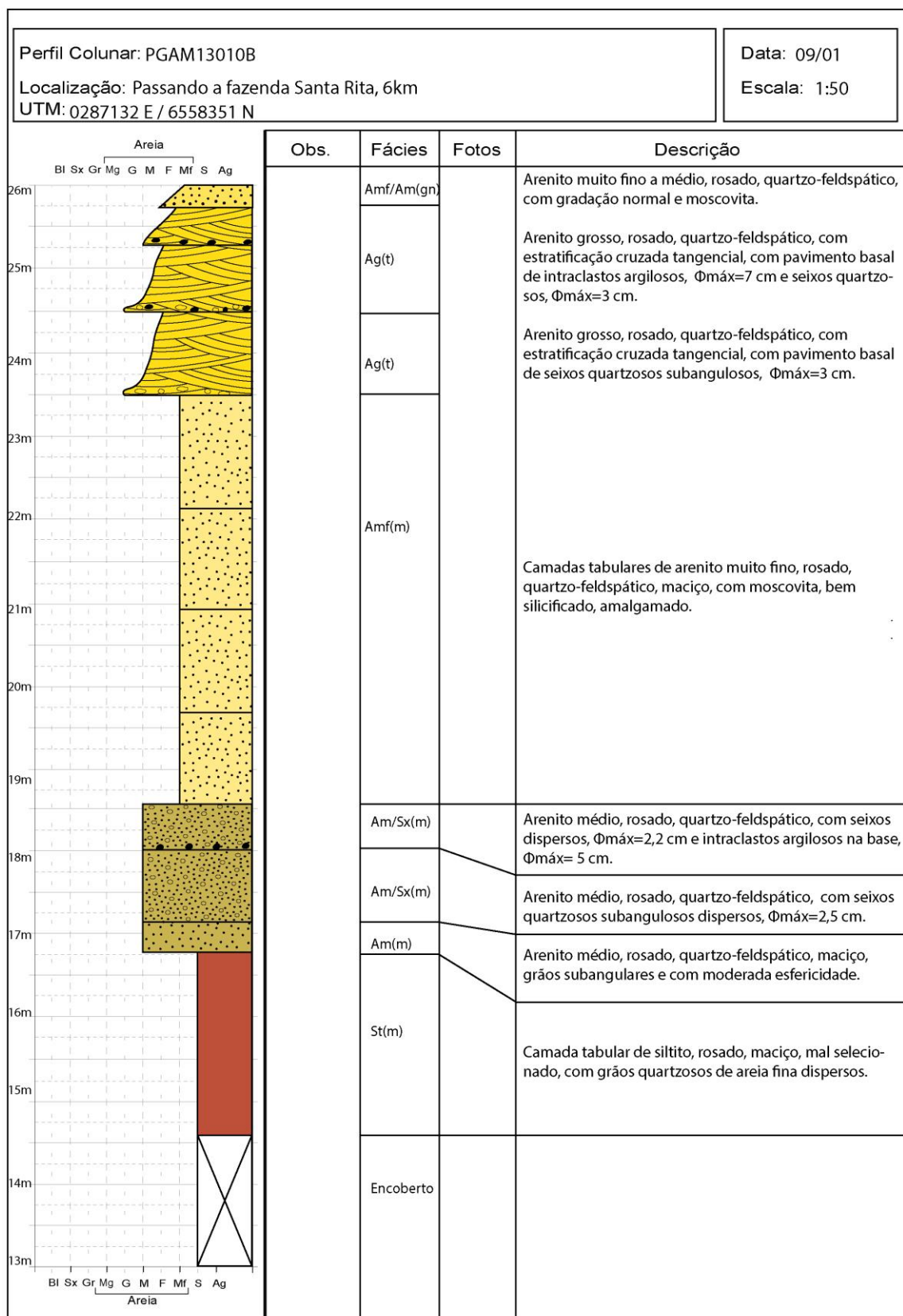












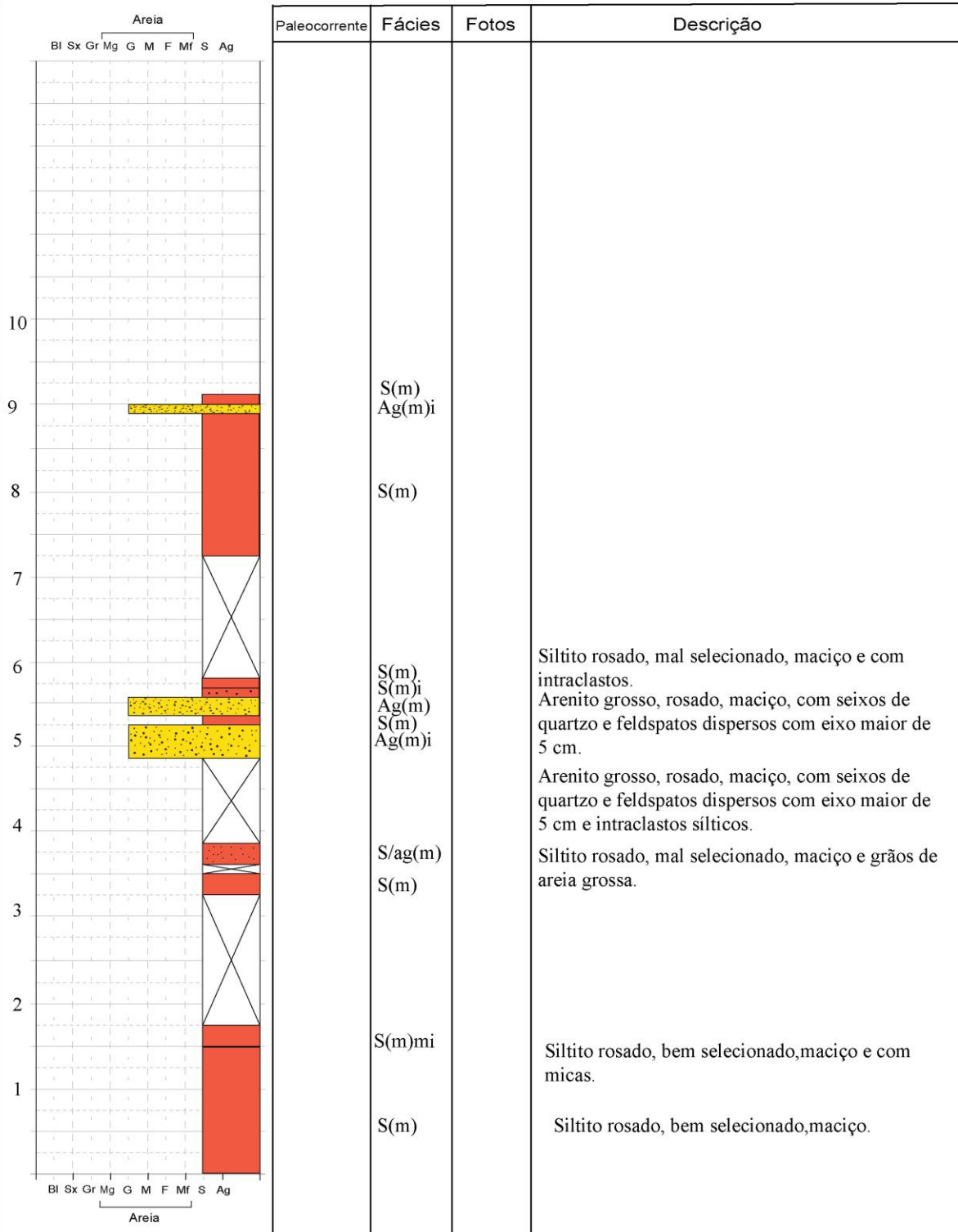
Ponto/Seção: PGAM14011

Localização: A 1 km para W da Br-293

UTM: 308106 / 6566110 Cota: 174m

Data: 20/12/2014

Escala: 1:50



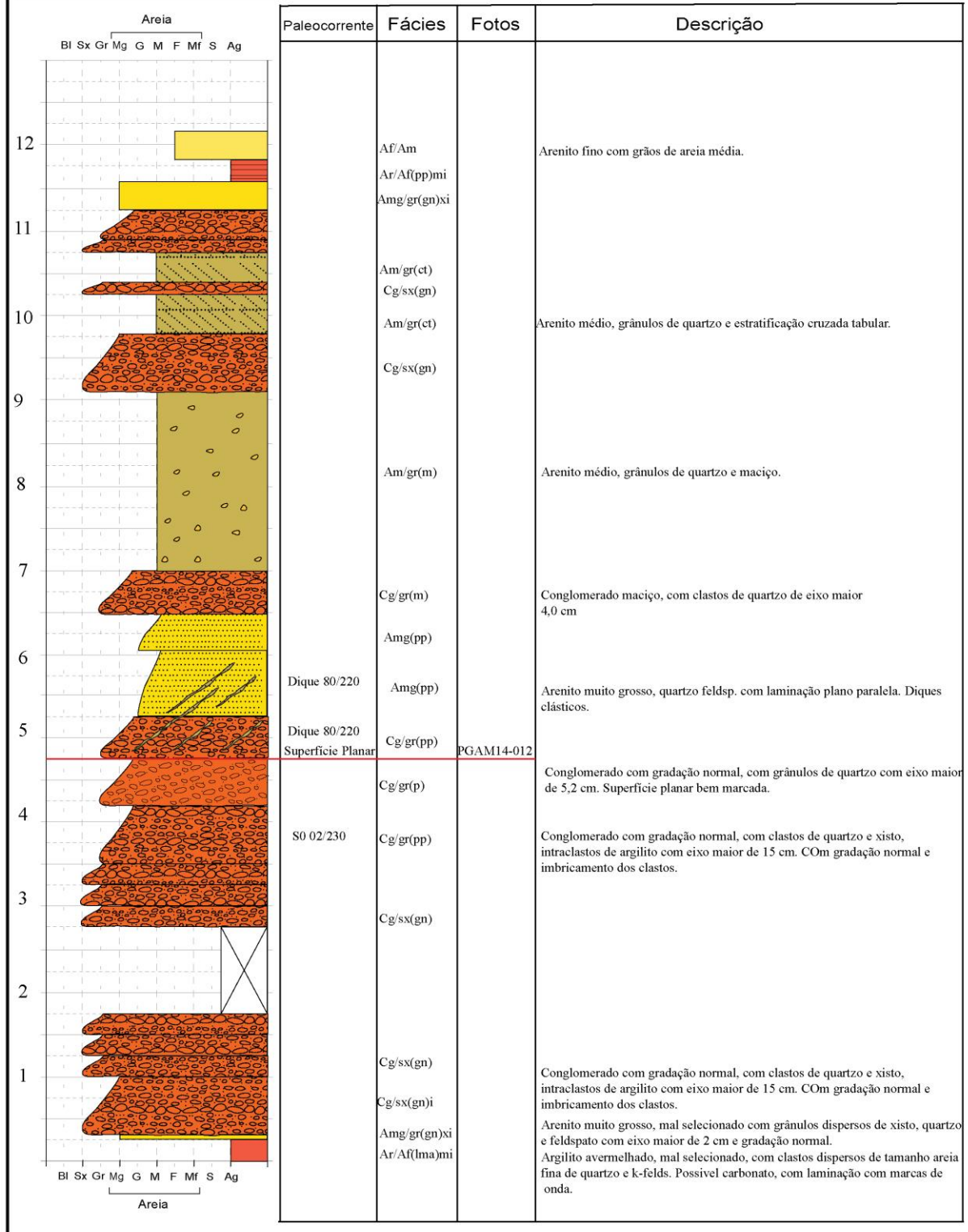
Ponto/Seção: PGAM14-012

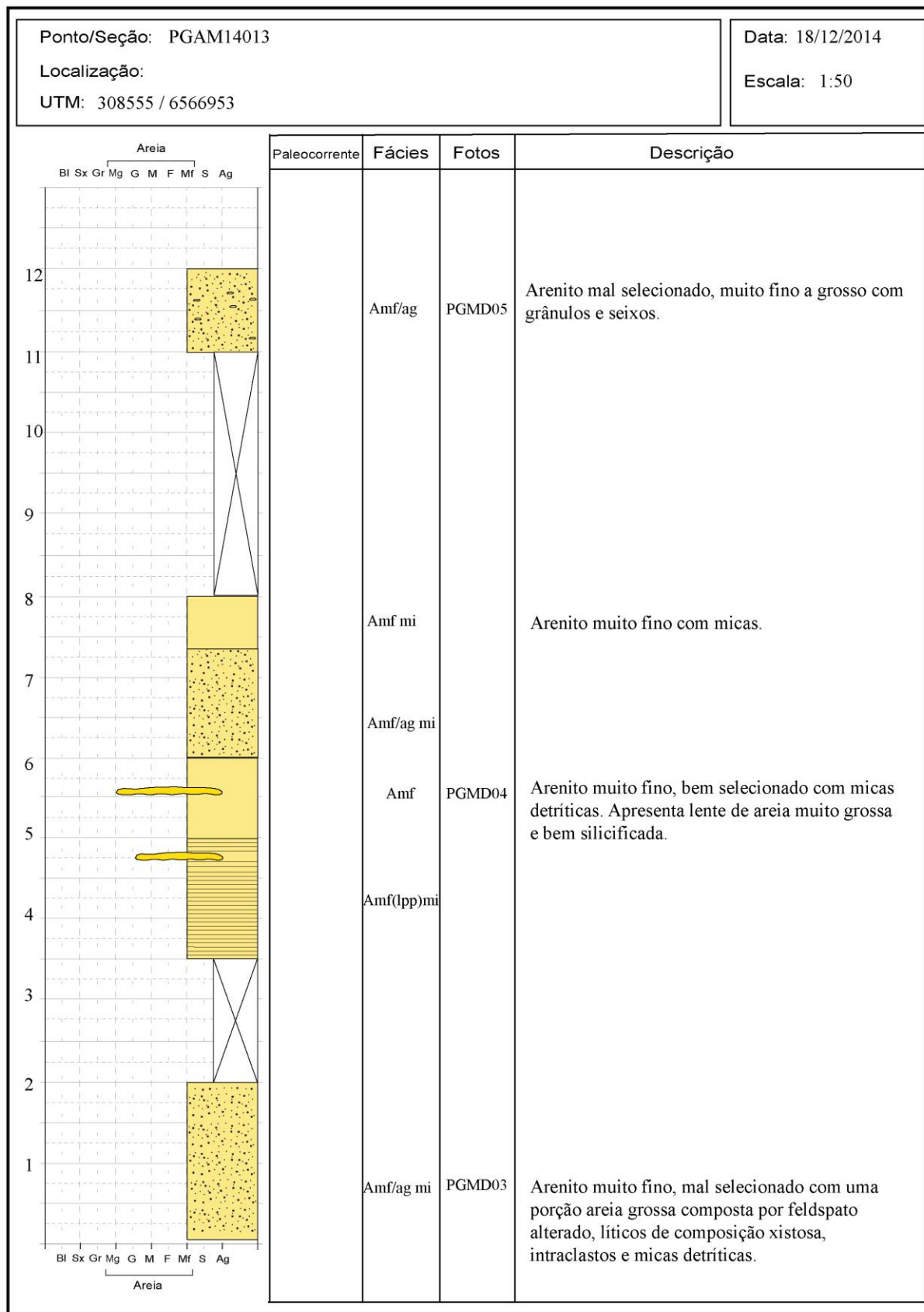
Localização: Beira da BR-392, sentido Santana da Boa vista após o Rio Camaquã.

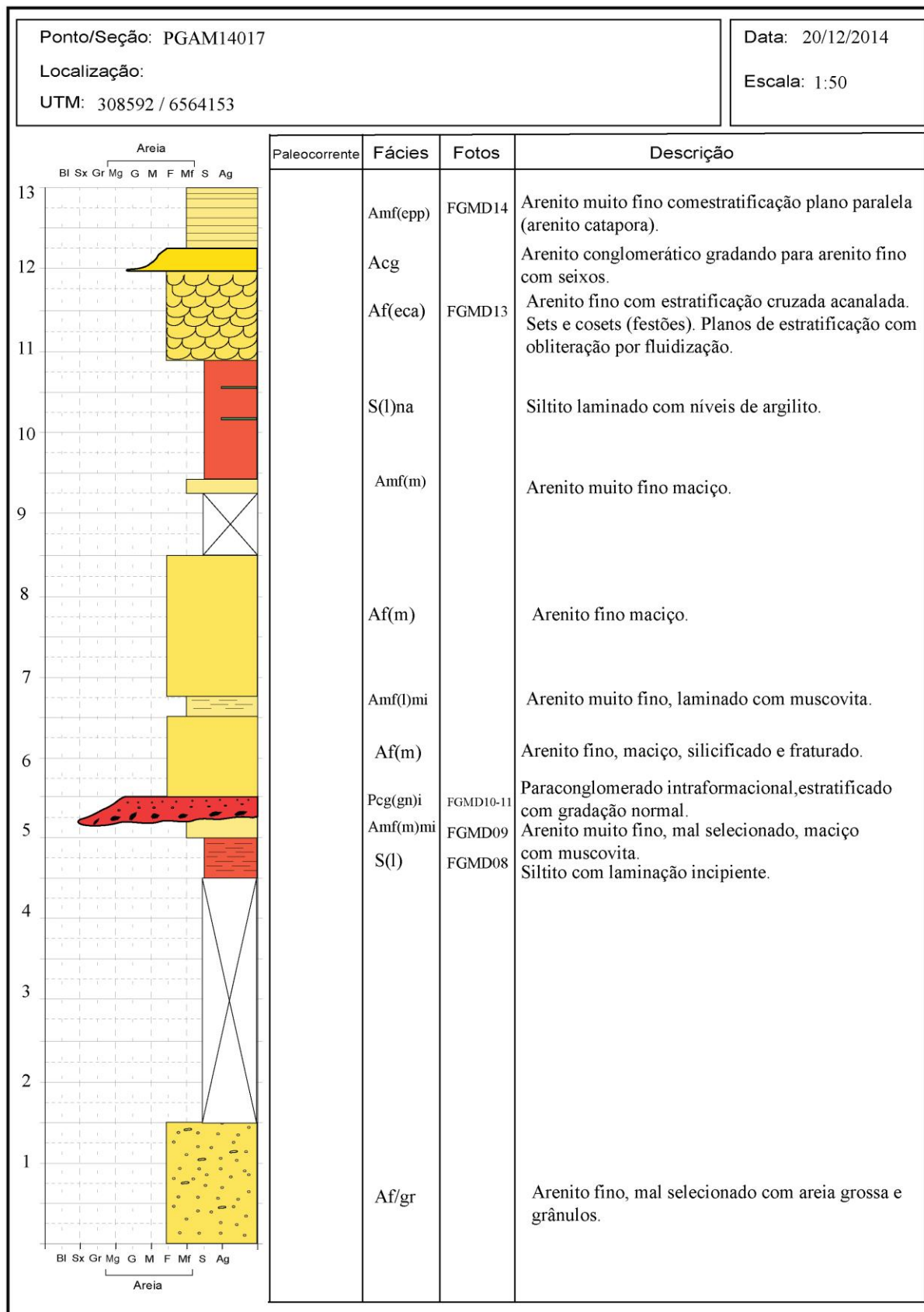
UTM: 6517718 / 304842 Cota 116 m

Data: 22/12/2014

Escala: 1:50







GEO-03015 - PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

Título da Monografia:	Novas chaves de correlação para as Unidades Triássicas do Graben	
Autor:	Guilherme Nunes de Oliveira Botra	
Orientador(es):	Prof. Dr. Rivaldo Menegat / Prof.ª Dr.ª Ana Maria Mizutaki	
Nota Final (1 até 10):	4,9	
Examinador:	Dr. Anderson José Marcoschin	Data: 04/12/2013

- O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia? Sim (x). Não (). Em parte ().
- O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia? Sim (x). Não (). Em parte ().
- As ilustrações são úteis e adequadas? Sim (x). Não (). Em parte ().
- O manuscrito apresenta estrutura organizada? Sim (x). Não (). Em parte ().
- A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia? Sim (x). Não (). Em parte ().
- Os materiais e métodos são descritos adequadamente? Sim (x). Não (). Em parte ().
- Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente? Sim (x). Não (). Em parte ().
- As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos? Sim (x). Não (). Em parte ().
- As referências são convenientes e usadas adequadamente? Sim (x). Não (). Em parte ().
- O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)? Sim (x). Não (). Em parte ().

Comentários: O objetivo proposto para o desenvolvimento da Monografia, embora detalhado, tornou-se, até o momento, o mais completo e abrangente estudo técnico e estratigráfico dos rios e planícies aluviais no Graben Sul-Riograndense. Definir o contexto estratigráfico e os mecanismos de sedimentação para esse depósito requer dedicação integral à geologia de campo, bem como um "arcabouço teórico" e capacidade de interpretação dos dados. Todos esses quesitos foram satisfatoriamente demonstrados pelo autor, comprovando sua habilidade em desenvolver pesquisas acadêmicas de alta qualidade. Destaco ainda os itens "discussão" e "conclusão", ambas agregadores dos resultados do trabalho e ponto de vista pessoal do autor.

Não há praticamente erros de digitação e/ou ortográficos, exceto no "Resumo". Assim, parabéns ao autor e seus orientadores pela contribuição consistente da Estratigrafia e pela qualidade (técnica e científica) da Monografia. Sugiro formatá-la como manuscrito e submetê-la à publicação.

Dr. Anderson J. Marcoschin

GEO-03015 - PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

Título da Monografia: Novas chaves de correlação para as unidades triássicas do Gráben Arroio Moirão: caracterização de sismitos e aplicação na Estratigrafia	
Autor: Guilherme Nunes. De O. Borsa	
Orientador(es): Profs. Rualdo Menegat e Ana Maria P. Mizusaki	
Nota Final (1 até 10): 7,5	
Examinador: Karin Goldberg	Data: 30/11/2015

1. O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia? Sim Não (). Em parte ().
2. O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia ? Sim (). Não (). Em parte
3. As ilustrações são úteis e adequadas? Sim Não (). Em parte ()
4. O manuscrito apresenta estrutura organizada? Sim Não (). Em parte ()
5. A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia? Sim Não (). Em parte ()
6. Os materiais e métodos são descritos adequadamente? Sim Não (). Em parte ()
7. Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente? Sim (). Não (). Em parte
8. As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos? Sim (). Não (). Em parte
9. As referências são convenientes e usadas adequadamente? Sim Não (). Em parte ()
10. O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)? Sim Não (). Em parte ().

Comentários:

Trabalho interessante e proposta inovadora acerca das estruturas deformacionais; boa descrição das estruturas, bem como em vários perfis. Entretanto, já na introdução se comprometeu com uma interpretação (de sismitos) que não pode ser demonstrada com os dados coletados. Algumas sugestões: i) avaliar a identificação de homocritos em relação a critérios distintivos de outras unidades rochosas; ii) reforçar diferenças de proveniência entre diques de basalto e andesito; iii) distribuir contatos das unidades deposicionais, relacionando a variação na taxa de acomodação e espessura, clima e tectônica; iv) verificar interpretações conflitantes (i.e. presença de sismito em base não alter tectonicamente, cujo controle principal é climático). Karin Goldberg