



**CARACTERIZAÇÃO DE ARENITOS DE DEPÓSITOS
EFÊMEROS DE UNIDADES TRIÁSSICAS NA REGIÃO DO GRÁBEN
ARROIO MOIRÃO, RS: POTENCIAIS ANÁLOGOS DE
RESERVATÓRIOS**

Porto Alegre, 2015.

YOLANDA CALIMAN RODRIGUES

**CARACTERIZAÇÃO DE ARENITOS DE DEPÓSITOS
EFÊMEROS DE UNIDADES TRIÁSSICAS NA REGIÃO DO GRÁBEN
ARROIO MOIRÃO, RS: POTENCIAIS ANÁLOGOS DE
RESERVATÓRIOS**

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: Profa. Dra. Ana Maria Pimentel Mizusaki.

Prof. Dr. Rualdo Menegat

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

Rodrigues, Yolanda Caliman

Caracterização de arenitos de depósitos efêmeros de unidades triássicas na Região do Gráben Arroio Moirão, RS: potenciais análogos de reservatórios. / Yolanda Caliman Rodrigues. – Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015.

[69 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): Ana Maria Mizusaki

Coorientador(es): Rualdo Menegat

1. Formação Santa Maria 2. Ciclos deposicionais 3. Inunditos 4. Supersequência Gondwana II I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sibila F. Tengaten Binotto

CRB 10/1743

**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 “CARACTERIZAÇÃO DE ARENITOS DE DEPÓSITOS EFÊMEROS DE UNIDADES TRIÁSSICAS NA REGIÃO DO GRÁBEN ARROIO MOIRÃO, RS: POTENCIAIS ANÁLOGOS DE RESERVATÓRIOS”, de autoria de YOLANDA CALIMAN RODRIGUES, 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 aos meus amigos que me apoiaram e com quem aprendi muito
e dedico especialmente à minha família e ao meu pai, *in memoriam*,
Laércio Paína Rodrigues.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos a todos que tornaram possível este trabalho. Agradeço a orientação dos professores Dra. Ana Maria Pimentel Mizusaki e Dr. Rualdo Menegat, pelo incentivo e atenção que dedicaram. Atribuo grande parte da minha aprendizagem aos amigos Guilherme Borsa, Eduardo Fontana, Aurélio Fagundes, Patrícia Zacca, Mateus Generoso, Juliano Lima e Giovana Antollini. Ao Programa de Formação de Recursos Humanos – PFRH-Petrobras; à assistência estudantil PRAE-UFRGS, e ao Instituto de Geociências.

"Depois de cada noite há um amanhecer,
De cada dor brota uma esperança."
(Laercio Paína Rodrigues, 23 de julho de 1981).

RESUMO

O estudo de reservatórios de óleo e gás de ambientes continentais tem enfatizado, nas últimas décadas, os arenitos associados a modelos eólicos, aluviais, fluviais e deltaicos. Alguns estudos buscaram analisar a presença de reservatórios em modelos efêmeros, como depósitos de inunditos, fluviais efêmeros e de desaceleração de fluxos hiperpicnais em corpos de água rasa. Embora esses depósitos eventualmente possam constituir-se como reservatórios de óleo e gás, a literatura não tem dedicado estudos para entender sua arquitetura e heterogeneidade, resultando em dificuldades de reconhecimento e de exploração. Como compreender a heterogeneidade de tais depósitos sedimentares? Que depósitos efêmeros podem apresentar características de análogos de reservatórios de óleo e gás? O presente estudo visa analisar as unidades sedimentares triássicas que ocorrem como fragmentos isolados no Gráben Arroio Moirão (RS). O objetivo principal é a identificação de corpos arenosos que seriam potenciais modelos análogos de reservatórios de sistemas efêmeros. A metodologia consiste na aplicação de teorias de análise de heterogeneidade de fácies, estratigrafia de seqüências e suas respectivas técnicas como: levantamento de perfis colunares, definições de sucessões e associações de fácies de modelos efêmeros. Além do uso de técnicas de petrografia, difratometria de raios X e microscopia eletrônica de varredura (MEV), visando à determinação e quantificação da porosidade. A integração dos dados é apresentada em termos de um modelo de variação lateral e vertical de fácies de depósitos efêmeros como análogos de reservatórios. Além disso, também se propõe o arcabouço estratigráfico por meio da correlação de superfícies e unidades-chave onde ocorrem esses análogos de reservatórios para fins de prospecção em outras áreas da bacia.

Palavras-Chave: Formação Santa Maria, ciclos deposicionais, inunditos, Supersequência Gondwana II.

ABSTRACT

In recent decades, oil and gas reservoirs' studies in continental environments have emphasized aeolian, alluvial, fluvial and deltaic sandstones. Some studies have sought to analyze ephemeral depositional models, like inundite, fluvial ephemeral deposits and hyperpycnal flow deceleration deposits in shallow water bodies as potential reservoir. Although these deposits may eventually be constituted as oil and gas reservoirs, the literature has not dedicated studies to understand its architecture and heterogeneity, resulting in difficulties for further recognition and exploitation. How to understand the heterogeneity of such sedimentary deposits? That ephemeral deposit may have similar characteristics of oil and gas reservoirs? This study aims to examine the sedimentary units that outcrop like isolated fragments of the Paraná Basin in the Arroio Moirão Graben (RS). The main objective is to identify sand bodies that would be potential analogue models of reservoirs ephemeral systems. The methodology consists of applying facies heterogeneity analysis theories and methods, stratigraphic sequences and their techniques as: columnar profiles, facies successions and associations of ephemeral sedimentary systems. Data from petrographic techniques, diffraction and X-ray scanning electron microscopy (SEM) in order to determine and quantify the porosity support interpretations and models. The integration of data is presented in terms of a lateral and vertical facies variation of ephemeral deposits as reservoirs analogues. The stratigraphic framework through the correlation surfaces and key units were proposed in order to define analogous reservoirs for mining purposes in other areas of the basin.

Key-words: Santa Maria Formation, depositional cycles, inundite, Gondwana II Supersequence.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – CARTA CRONOESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARANÁ. [FONTE: MILANI <i>ET AL.</i> , 2007, MODIFICADO POR ESTA PESQUISA, 2015]. O RETÂNGULO VERMELHO DESTACA AS SUPERSEQUÊNCIAS GONDWANA I E GONDWANA II, E O POSICIONAMENTO DAS FORMAÇÕES SANGA DO CABRAL (SCB) E SANTA MARIA (SM).	19
FIGURA 2: MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DO RIO GRANDE DO SUL. [FONTE: ZERFASS, 2003, MODIFICADO POR RODRIGUES 2015.]	21
FIGURA 3 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO GRÁBEN ARROIO MOIRÃO NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, DESTACADO PELO QUADRADO LARANJA [FONTE: KETZER, 1997].	22
FIGURA 4 – MAPA GEOLÓGICO DO GAM E LOCALIZAÇÃO DE PERFIS DA ÁREA DE ESTUDO. [FONTE: UNIDADES SEDIMENTARES – DADOS DA PESQUISA, 2014, 2015; UNIDADES DO EMBASAMENTO, CPRM, 2005, MODIFICADOS POR ESTA PESQUISA, 2015.]	23
FIGURA 5 – FLUXOGRAMA PROJETUAL COM AS PRINCIPAIS ETAPAS E CRONOGRAMA GERAL DE ATIVIDADES. (DADOS DA PESQUISA, 2015).	25
FIGURA 6 – ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS ARROIO BARRAÇÃO E ARROIO DA BICA, LOCALIZAÇÃO DA FAIXA DE MAPEAMENTO, DAS TIRAS DE CAMPO E DOS PERFIS COLUNARES DE DETALHE.	27
FIGURA 7 – CLASSIFICAÇÕES COMPOSICIONAL (À ESQUERDA) E TEXTURAL (A DIREITA) DE ARENITOS. [FONTE: PETTIJOHN, 1987; UDDEN-WENTWORTH E BLAIR & MACPHERSON, 1999, MODIFICADO POR TUCKER 2001].	31
FIGURA 8 - DIFRATÔMETRO SIEMENS–BRUKER-AXS D5000. [FONTE: DADOS DA PESQUISA, 2015].	34
FIGURA 9 – ESTAÇÃO DE MEV, MODELO JEOL 6610-LV- EDS. [FONTE: DADOS DA PESQUISA, 2015].	36
FIGURA 10 – SUCESSÃO DE FÁCIES DE UM CICLO DEPOSICIONAL QUE OCORRE NO PGAM1305. (DADOS DA PESQUISA, 2015.)	45
FIGURA 11 – PERFIL ESQUEMÁTICO EXEMPLIFICANDO A SUCESSÃO DE FÁCIES CARACTERÍSTICA DE UM INUNDITO. (LIMA 2014).	46
FIGURA 12 - PRANCHA DE POSICIONAMENTO DA FÁCIES ARENITO GROSSO SEIXOSO [Ag/Sx(T)], NO PERFIL COLUNAR PGAM 1308, ILUSTRADA COM FOTOGRAFIAS E FOTOMICROGRAFIAS: A) ASPECTO DE CAMPO; B E C) FOTOMICROGRAFIA EM ND, D) FOTOMICROGRAFIA EM NC. CAU= CAULINITA, QTZ=QUARTZO. (DADOS DA PESQUISA, 2015).	50
FIGURA 13 - PRANCHA DE POSICIONAMENTO DA FÁCIES ARENITO CONGLOMERÁTICO SEIXOSO GRANULOSO [ACG/Sx-Gr (LPP)], NO PERFIL COLUNAR PGAM 1308. A) ASPECTO DE CAMPO; B, C E D) FOTOMICROGRAFIA EM ND. CAU= CAULINITA, QTZ=QUARTZO (DADOS DA PESQUISA, 2015).....	51
FIGURA 14 – PRANCHA DE POSICIONAMENTO DA FÁCIES ARENITO GROSSO SEIXOSO GRANULOSO [Ag/Sx-Gr (LPP)], NO PERFIL COLUNAR PGAM 1308, : A) ASPECTO DE CAMPO; B, C E D) FOTOMICROGRAFIA EM ND. (DADOS DA PESQUISA, 2015).	52
FIGURA 15 – PRANCHA DE POSICIONAMENTO DA FÁCIES ARENITO CONGLOMERÁTICO SEIXOSO GRANULOSO [ACG/Sx-Gr(T)], NO PERFIL COLUNAR PGAM 1305. A) ASPECTO DE CAMPO; B E C) FOTOMICROGRAFIA EM ND, D) FOTOMICROGRAFIA EM NC QTZ=QUARTZO; IC=INTRA CLASTO. (DADOS DA PESQUISA, 2015).	53
FIGURA 16 - PRANCHA DE POSICIONAMENTO DA FÁCIES ARENITO GROSSO SEIXOSO [Ag/Sx (T)], NO PERFIL COLUNAR PGAM 1305, A) ASPECTO DE CAMPO; B E C) FOTOMICROGRAFIA EM ND, D) FOTOMICROGRAFIA EM NC QTZ=QUARTZO; CAU=CAULINITA. (DADOS DA PESQUISA, 2015).	54
FIGURA 17 – DIFRATOGRAMA DA FRAÇÃO FINA DA FÁCIES Ag/Sx(T), DO PERFIL PGAM1305, RESULTANDO COMO ARGILOMINERAL PREDOMINANTE A CAULINITA. TRATADAS NO SOFTWARE MATCH 3.0.1. (DADOS DA PESQUISA, 2015.)	55
FIGURA 18 – IMAGENS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA. “A” COMPOSIÇÃO ESSENCIALMENTE ARGILOSA COM PREDOMÍNIO DE CAULINITA, EM AUMENTO DE 7000 VEZES. “B”, CAULINITA PSEUDOHESAGONAL EM AGREGADOS DO TIPO “BOOKLET”, EM AUMENTO DE 3000 VEZES. (DADOS DA PESQUISA, 2015).	56
FIGURA 19 – FOTOMOSAICOS 1, 2 E 3 CORRESPONDENTES AO PERFIL COLUNAR PGAM1308, NOS QAIS FORAM MARCADAS AS PRINCIPAIS SUPERFÍCIES. OBSERVAR QUE NÃO HÁ TRUNCAMENTO DE SUPERFÍCIES E NEM INCISÃO DAS MESMAS.	58
FIGURA 20 - FOTOMOSAICOS 4 E 5 CORRESPONDENTES AO PERFIL COLUNAR PGAM1305, NOS QAIS FORAM MARCADAS AS PRINCIPAIS SUPERFÍCIES. AS LINHAS CONTÍNUAS REPRESENTAM CONTATOS DE FÁCIES TABULARES E, AS LINHAS PONTILHADAS, REPRESENTAM SUPERFÍCIES DE MENOR ORDEM, PROVAVELMENTE REATIVAÇÃO DA ESTRATIFICAÇÃO CRUZADA ACANALADA (FOTOMOSAICO 5). (DADOS DA PESQUISA, 2015.).....	59
FIGURA 21 – SEÇÃO DE CORRELAÇÃO DE PERFIS COLUNARES DO SETOR SW DO GAM E CICLOS DEPOSICIONAIS (CDI, CDII, CDIII, CDIV, CDV). (DADOS DA PESQUISA, 2015.).....	62
FIGURA 22 – ARCABOUÇO ESTRATIGRÁFICO DE DETALHE E CICLOS DEPOSICIONAIS (CDI, CDII, CDIII, CDIV, CDV) (FONTE: BORSA, 2015).	63
FIGURA 23 – MODELO DA DISTRIBUIÇÃO LATERAL E HETEROGENEIDADE DE FÁCIES. OS RETÂNGULOS AZUIS IDENTIFICAM O POSICIONAMENTO DO PERFIL COLUNAR PGAM1308 EM B E O POSICIONAMENTO DO PERFIL COLUNAR PGAM1305 EM C. [FONTE: ZAVALA <i>ET AL.</i> , 2011, MODIFICADO POR RODRIGUES, 2015.].....	64

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - FÁCIES, PROCESSOS DE DEPOSICIONAIS E FORMAS DE LEITO DOS PERFIS PGAM1305 E PGAM1308. (EM DESTAQUE AS FÁCIES DETALHADAS PARA ESTUDO DE RESERVATÓRIO).	38
QUADRO 2 – FÁCIES, FORMA DE LEITO, PROCESSOS DEPOSICIONAIS E ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES. (LIMA, 2014, MODIFICADO POR RODRIGUES, 2015).....	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. PROBLEMA E HIPÓTESES	14
1.2. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	14
2. ESTADO DA ARTE	15
2.1. O ESTUDO DE ANÁLOGOS DE RESERVATÓRIOS	15
2.2. A BACIA DO PARANÁ	18
2.3. ÁREA DE ESTUDO.....	21
3. MÉTODOS E TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO DE DADOS E TESTE DE HIPÓTESES	24
3.1. FLUXOGRAMA	24
3.2. OBTENÇÃO DE DADOS DE CAMPO	26
3.3. ANÁLISE DE FÁCIES, MODELOS E SEQUÊNCIAS DEPOSICIONAIS	28
3.1.1. Fotomosaicos e geometria de depósitos e fácies	29
3.1.2. Correlação estratigráfica	29
3.1.3. Análise petrográfica	30
3.4. TÉCNICA DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X	32
3.5. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	34
4. RESULTADOS	36
4.1. ANÁLISE DE FÁCIES, ELEMENTOS ARQUITETURAIIS E PROCESSOS DEPOSICIONAIS	36
4.2. ANÁLISE DAS SUCESSÕES DE FÁCIES E MODELOS DEPOSICIONAIS	44
4.3. PERFIS COLUNARES E CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA	46
4.4. DIFRAÇÃO DE RAIOS X E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	55
4.5. GEOMETRIA DOS DEPÓSITOS PROPOSTOS COMO ANÁLOGOS DE RESERVATÓRIO	56
4.6. CORRELAÇÃO E MODELO ANÁLOGO	60
5. CONCLUSÕES	65
6. REFERÊNCIAS	67
7. ANEXO – PERFIS COLUNARES: PGAM1305 e PGAM1308	70

1. INTRODUÇÃO

Denomina-se reservatório a rocha com porosidade e permeabilidade adequadas à acumulação de hidrocarbonetos. Nas bacias sedimentares produtoras de hidrocarbonetos, o estudo de reservatórios em subsuperfície é de fundamental importância, pois permite não só o conhecimento do sistema petrolífero como também a melhor exploração das reservas. Os reservatórios em subsuperfície, normalmente, encontram-se a grandes profundidades e os dados para seu estudo provêm da aplicação de métodos indiretos (perfilagem geofísica, por exemplo) e restritos (testemunhos). Assim, há necessidade do estabelecimento de modelos análogos de reservatórios em superfície que permitem um melhor entendimento.

O estudo de análogos para reservatórios de óleo e gás de ambientes continentais tem enfatizado, nas últimas décadas, arenitos associados à deposição em ambientes eólicos, aluviais, fluviais e deltaicos. Os arenitos são de grande potencial como reservatório, especialmente aqueles associados a ambientes eólicos. No entanto, corpos arenosos com porosidade e permeabilidade também podem ocorrer em associação com depósitos efêmeros predominantemente argilosos e podem constituir análogos de reservatório (North & Taylor, 1996).

North & Taylor (1996) buscaram analisar a presença de reservatórios nesses depósitos efêmeros e em depósitos sedimentares como inunditos, (Zavala *et al.*, 2011) apresentaram estudos aprofundados de desaceleração de fluxos hiperpicnais em corpos de água rasa. Como compreender o sistema permo-poroso e a heterogeneidade de tais depósitos sedimentares? Que depósitos efêmeros podem apresentar características de análogos de reservatórios de óleo e gás?

Como as respostas a essas questões seriam de muita importância para eventual exploração e exploração de óleo e gás em modelos sedimentares efêmeros, aprimorar o conhecimento desses modelos torna-se uma questão chave. Nas unidades triássicas da Bacia do Paraná que ocorrem isoladas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense, esses depósitos efêmeros têm sido recentemente identificados (Lima, 2014). Tais unidades que ocorrem no Gráben Arroio Moirão (GAM), por exemplo, podem vir a ser adequadas para o estudo de um modelo análogo de reservatório associado a sistemas deposicionais efêmeros, como aqueles que ali se

encontram. O presente trabalho visa estudar esses depósitos efêmeros que ocorrem nessas unidades, com intuito de caracterizá-los como possíveis rochas reservatórios análogas.

1.1. PROBLEMA E HIPÓTESES

O problema central deste projeto formula-se da seguinte maneira: os depósitos sedimentares efêmeros apresentam características de modelos análogos de reservatórios de óleo, gás e água?

A partir desse problema e das teorias de análise de heterogeneidade de reservatórios, postulam-se as seguintes hipóteses:

- a) Os arenitos relacionados a modelos sedimentares efêmeros da região do GAM apresentam características de reservatórios de óleo e gás.
- b) Os depósitos de arenitos da região do GAM servem de análogos de reservatórios.

Dessa maneira, para testar essas hipóteses, propor-se-á, neste trabalho, a elaboração de um modelo que caracterize adequadamente os depósitos areníticos de sistemas efêmeros da região do GAM. Cabe ainda, ressaltar que o presente estudo tem a natureza de um exercício exploratório no que se refere tanto à proposição de modelos efêmeros para as unidades do gráben Arroio Moirão quanto à possibilidade de depósitos efêmeros constituírem-se em análogos de reservatórios.

1.2. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O presente estudo tem como objetivo geral a identificação e caracterização de corpos arenosos, em depósitos efêmeros, que se colocam como análogos potenciais para reservatórios de óleo e gás.

A aplicação de teorias de análise de heterogeneidade de fácies, estratigrafia de seqüências e suas respectivas técnicas como: levantamento de perfis colunares, definições de sucessões e associações de fácies de modelos efêmeros, serão necessários para caracterizar depósitos efêmeros. Identificar onde se distribuem as fácies mais arenosas e em que medida elas podem constituir-se em um análogo de reservatório. Assim, os objetivos específicos são:

- 1) Caracterizar as fácies, sucessões de fácies e elementos arquiteturais (Walker, 1992; Dalrymple, 2010; Tucker, 2014) de arenitos de depósitos efêmeros das unidades triássicas do GAM;
- 2) Definir o arcabouço estratigráfico de alta resolução do intervalo estudado consoante análise e hierarquização de superfícies-chave conforme preconizado pela estratigrafia de sequências e análise de fácies (Walker, 1992; Dalrymple, 2010; Tucker, 2014);
- 3) Definir as diferentes escalas de heterogeneidades deposicionais de arenitos de depósitos efêmeros;
- 4) Definir a geometria externa dos corpos arenosos e de que forma estão conectados;
- 5) Identificar a mineralogia e definir o grau de diagênese e a permoporosidade dos arenitos.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. O ESTUDO DE ANÁLOGOS DE RESERVATÓRIOS

A análise integrada voltada à caracterização físico-química de rochas- reservatório é uma atividade multidisciplinar que agrega dados provenientes de descrição e coleta de amostras de rochas em afloramentos para o estudo de modelos análogos, estudos petrológicos (análise diagenética integrada e caracterização dos espaços inter e intragranulares em lâmina delgada) e análises petrofísicas de permeabilidade (Paim, 2003).

O entendimento da complexidade do meio poroso, resultante dos processos deposicionais e diagenéticos envolvidos na definição dos espaços permoporosos do reservatório, está diretamente relacionado ao fator de recuperação de reservatórios. Este fator representa um índice que exprime a eficiência das técnicas utilizadas para o aproveitamento da energia natural/introduzida nos reservatórios, visando a produzir parte do volume original de petróleo no campo. A recuperação do fluido armazenado em um reservatório resulta em grande parte das inter-relações entre as heterogeneidades presentes no reservatório, compreendidas em três escalas de observação (Paim, 2003):

- a) Escala gigascópica a megascópica que está relacionada à escala de bacia, envolvendo a estratigrafia de sequências e tectônica de bacia. Essas heterogeneidades são controladas pelo arcabouço estratigráfico e estrutural da bacia.
- b) Escala macroscópica a mesoscópica que envolve as dimensões de um campo de petróleo ou regiões entre poços. As heterogeneidades são definidas a partir dos elementos arquiteturais, da faciologia e dos trends de permeabilidade, com forte controle do contexto deposicional.
- c) Escala microscópica atinge a escala de lâmina delgada e, muitas vezes, em intervalos específicos da escala de camada. Corresponde à identificação e quantificação de porosidade e permeabilidade petrofísica, a partir de análises petrológicas e definição de modelos diagenéticos.

A análise integrada dessas heterogeneidades constitui-se em importante ferramenta para reduzir as incertezas sobre os procedimentos a serem adotados no desenvolvimento e na produção de campos de petróleo (Paim, 2003).

A arquitetura estratigráfica define, em escala megascópica, as variações regionais quanto à distribuição das fácies-reservatório. Para isso, são importantes os estudos paleogeográficos em campo e análises de proveniência.

As investigações paleoambientais nas escalas macroscópica e mesoscópica remetem a análise à escala das heterogeneidades relacionadas aos elementos arquiteturais e à distribuição de litofácies no reservatório. Neste nível de caracterização são reconhecidas as continuidades e descontinuidades laterais e verticais das litofácies, cujos atributos permoporosos são definidos por estudos petrológicos e petrofísicos.

Os principais parâmetros a influenciar os valores de porosidade inicial em arenitos-reservatório, controlados direta ou indiretamente pelo ambiente deposicional, são: composição mineralógica, tamanho do grão, arredondamento, esfericidade, seleção, orientação dos grãos e composição química da água de formação. Estes parâmetros influenciam inicialmente a maior ou menor percolação dos fluidos intersticiais e, conseqüentemente, a origem e distribuição dos primeiros constituintes autigênicos (argilas infiltradas em ambientes subaéreos e cimentos eodiagenéticos).

Rochas-reservatório são aquelas que contêm valores de porosidade e de permeabilidade adequadas à acumulação de hidrocarbonetos. Define-se porosidade como porcentagem em volume dos poros da rocha em relação à rocha total (Slatt, 2006). Já a permeabilidade é a capacidade da rocha de transmitir fluido, sendo expressa em Darcy (D) ou milidarcy (mD) e função da quantidade, geometria e grau de conectividade dos poros. De modo geral, porosidade e permeabilidade são diretamente proporcionais ao grau de seleção e tamanho dos grãos e inversamente proporcional à esfericidade.

Dentre os fatores capazes de influenciar a evolução e intensidade dos processos diagenéticos encontram-se:

- 1- Os atributos das litofácies incluindo desde a distribuição vertical e lateral das diferentes litologias até os atributos composicionais e texturais da mineralogia detrítica original dos sedimentos.
- 2- A composição dos fluidos intersticiais que percolam os depósitos e que se mantém aprisionados no interior dos sedimentos, no caso de depósitos continentais diretamente relacionados ao ambiente deposicional e ao clima.
- 3- A história de soterramento, particularmente controlando o maior ou menor tempo de residência de um depósito junto à superfície ou em diferentes profundidades (manutenção da maior ou menor das condições de temperatura e pressão sobre os depósitos) (Byrnes, 1994).

Os estudos petrográficos sobre lâminas delgadas de amostras criteriosamente coletadas, a partir de variações texturais e composicionais (físicas e químicas) internas das litofácies, permitem a análise das heterogeneidades microscópicas diretamente vinculadas com os tipos (geometria) e distribuição dos poros. Os processos e constituintes diagenéticos, incluindo compactação mecânica, dissolução e precipitação de fases minerais, ocorrem e se distribuem em conformidade com a participação dos diferentes fatores capazes de influenciar na diagênese (Paim, 2003).

A análise da composição e distribuição dos constituintes detríticos e diagenéticos, a análise e quantificação dos tipos e geometrias de poros, avaliação da história diagenética das rochas-reservatório e entendimento dos processos diretamente

responsáveis pela geração e destruição de porosidade são atividades importantes e necessárias para complementação e definição final das propriedades permoporosas de rochas-reservatório. Esses resultados integram-se, na sequência das investigações, com os resultados das análises petrofísicas de permeabilidade (Bjorlykke, 2010).

2.2. A BACIA DO PARANÁ

A Bacia do Paraná, onde se insere a área a ser estudada, está localizada na região sul-sudoeste do Brasil, oeste do Paraguai, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, com área aproximada de 1.500.000 km² de abrangência e 7.000 m de espessura de rochas sedimentares e magmáticas. A bacia compreende, segundo Milani *et al.*(2007), seis supersequências deposicionais, sendo elas, da base para o topo: Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II, Gondwana III e Bauru. Essas unidades foram definidas a partir de superfícies de discordância e constituem-se em sequências de segunda ordem, ou seja, aquelas causadas por grandes eventos tectônicos e eustáticos.

O posicionamento estratigráfico das unidades depositadas diretamente sobre o embasamento, como exposições isoladas no Escudo Sul-Rio-Grandense, segundo Milani *et al.* (2007), apresenta incertezas devido à falta de elementos bioestratigráficos. Dessa forma, autores como Milani & Ramos (1998) referem que esses pacotes de rochas pertencem à Supersequência Gondwana I (Figura 1), mais especificamente à Formação Sanga do Cabral, Por sua vez, Uliana & Biddle (1988) inserem esses fragmentos na Supersequência Gondwana II, mais detalhadamente, na Formação Santa Maria, caracterizada como sendo essencialmente continental e representando uma distensão generalizada do continente Gondwana.

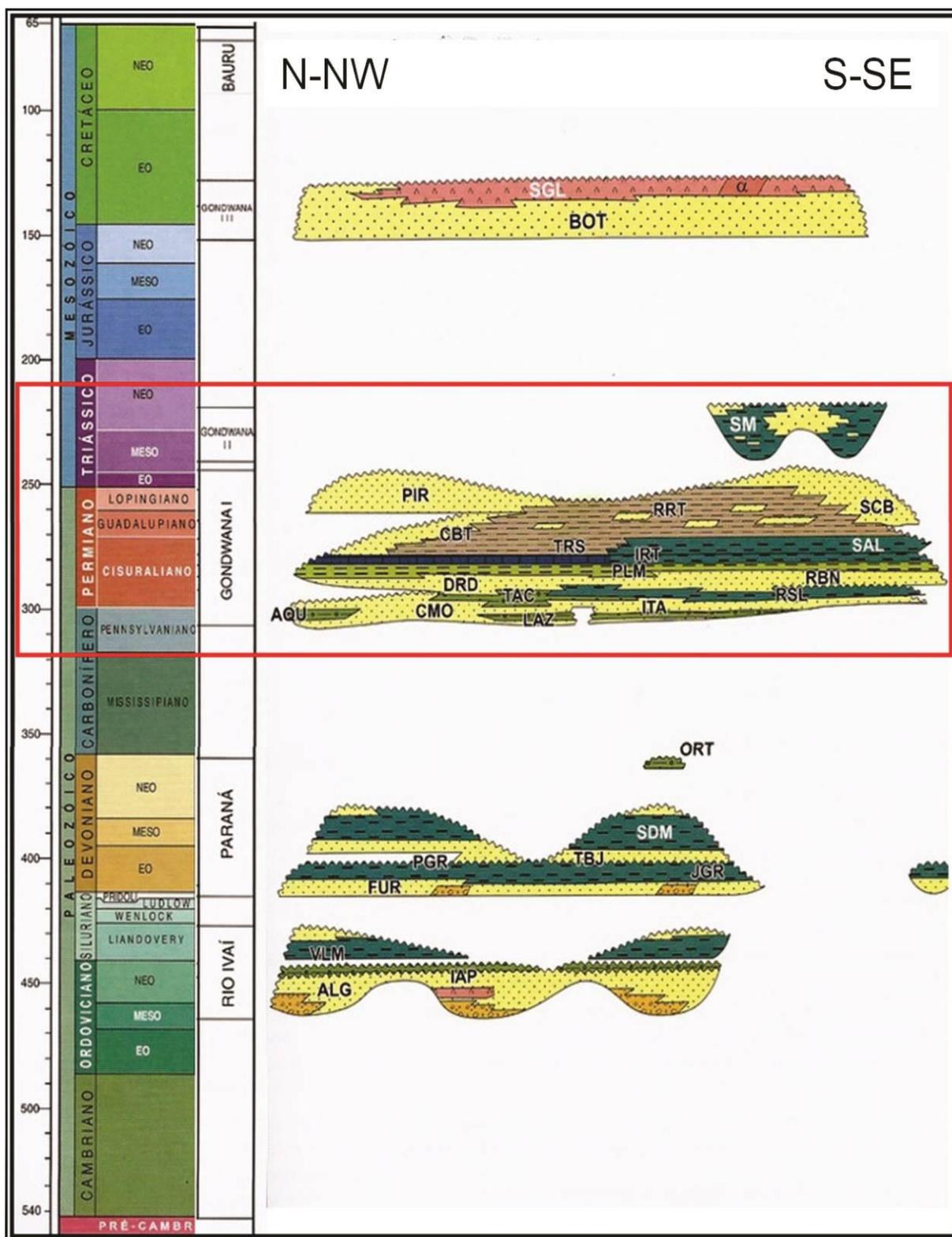


Figura 1 – Carta cronoestratigráfica da Bacia do Paraná. [Fonte: Milani *et al.*, 2007, modificado por esta pesquisa, 2015]. O retângulo vermelho destaca as superseqüências Gondwana I e Gondwana II, e o posicionamento das formações Sanga do Cabral (SCB) e Santa Maria (SM).

Em um estudo aprofundado sobre tectônica e sedimentação triássica da Bacia do Paraná, (Zerfass *et al.*, 2003, 2004) propuseram um arcabouço estratigráfico mais

detalhado (Figura 2). Esses autores com base em critérios tectono-faciológicos definiram duas supersequências para o intervalo triássico, denominadas: Sanga do Cabral, mais antiga, e Santa Maria, mais recente, sendo ambas desenvolvidas com influência de paleoclima semiárido. Com relação à Supersequência Sanga do Cabral, esses autores afirmam que ela representa um sistema fluvial efêmero de baixa sinuosidade, desenvolvido sobre uma planície aluvial de gradiente baixo, com área fonte de terrenos sedimentares disposta a sul. A presença de fósseis de tetrápodes foi reconhecida por diversos trabalhos, como os de Lavina (1982), Barberena *et al.* (1985), Santana (1992); Schultz (1995) e Silva (1999). Já, em relação à Supersequência Santa Maria, esses autores propõem que foi gerada por sistemas deposicionais flúvio-lacustres, com área-fonte também situada a sul relacionada a rochas do embasamento soerguido dos escudos Sul-Rio-Grandense e Uruguaio.

Especificamente na região do Gráben Arroio Moirão a ocorrência de fósseis tetrápodes, incluindo-se rincossauros, relatada por Faccini *et al.* (1990), possibilitou correlacionar os pacotes que ali ocorrem com a Cenozona de Rincossauros. Com base nessa cenozona, Zerfass (2003) incluiu o pacote do Gráben Arroio Moirão na sequência Santa Maria 2. Esse autor referiu, ainda, que há notável similaridade faciológica entre os pacotes sedimentares do Gráben Arroio Moirão com os da Supersequência Santa Maria que ocorrem na região de São Pedro do Sul e Mata.

Diferentemente de Zerfass (2003) e Zerfass *et al.* (2003), os trabalhos de CPRM (1999; 2000) incluíram o pacote sedimentar da região do Gráben Arroio Moirão no Grupo Rosário do Sul, o qual compreende as formações Sanga do Cabral e Santa Maria. Posteriormente, em 2005, o mapa geológico da CPRM (2005) incluiu esse pacote na Formação Sanga do Cabral. No trabalho da CPRM (2000), foi interpretada uma sedimentação em condições proximais ao Escudo-Sul-Rio-Grandense, sob clima desértico e com domínio de regime de enxurradas, que ocasionavam lagos efêmeros associados a um sistema deposicional flúvio-deltaico lacustre.

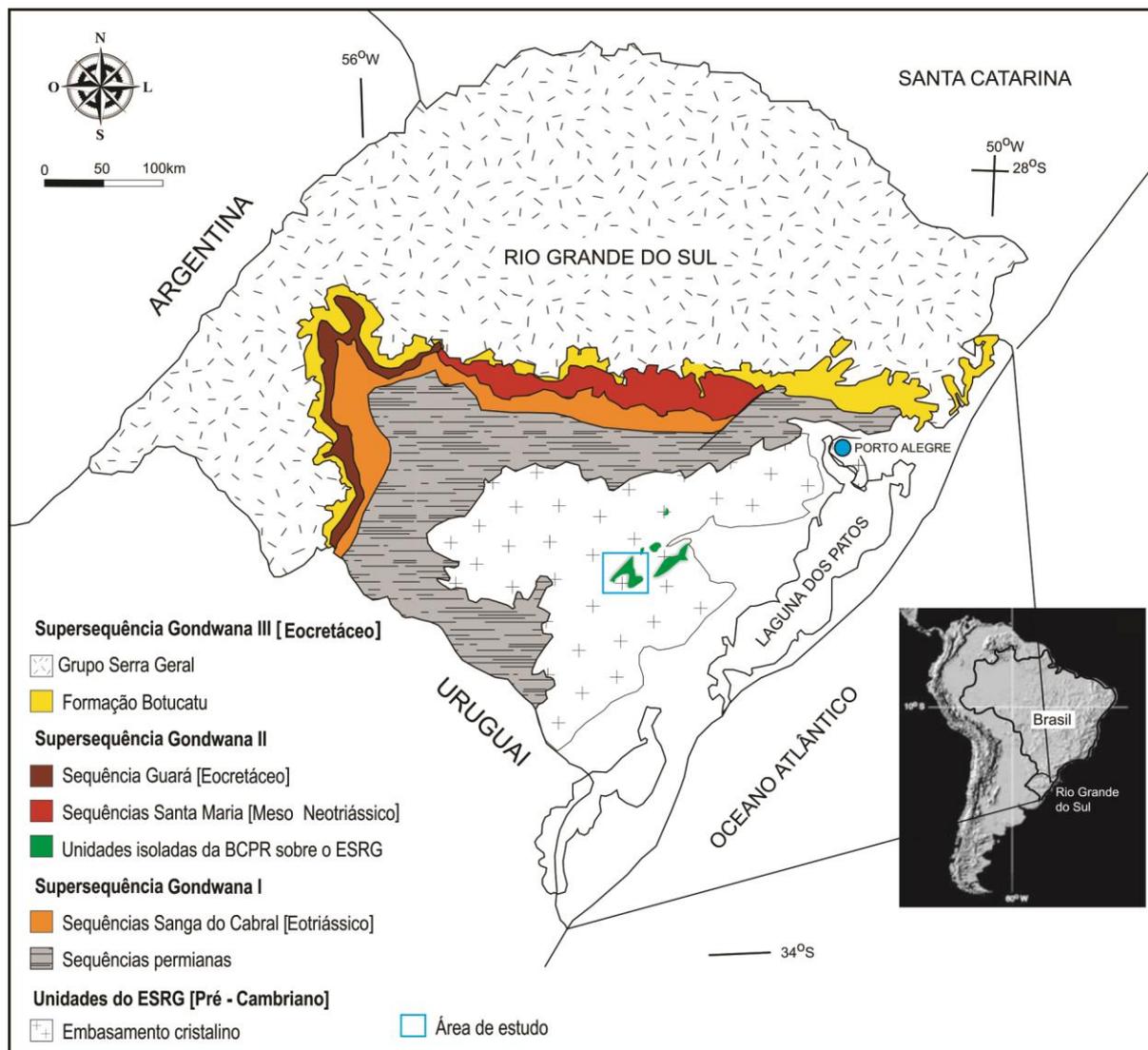


Figura 2: Mapa geológico simplificado do Rio Grande do Sul. [Fonte: Zeffass, 2003, modificado por Rodrigues 2015.]

2.3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende depósitos gonduânicos triássicos que ocorrem no Gráben Arroio Moirão (GAM), sobre o Escudo-Sul-Rio-Grandense. A região situa-se ao sul da Bacia do Paraná, entre as cidades de Canguçu e Santana da Boa Vista (RS). Trata-se, dessa forma, de depósitos efêmeros característicos de ambiente tectônico estensional (Urban, 2014) (Figura 3).

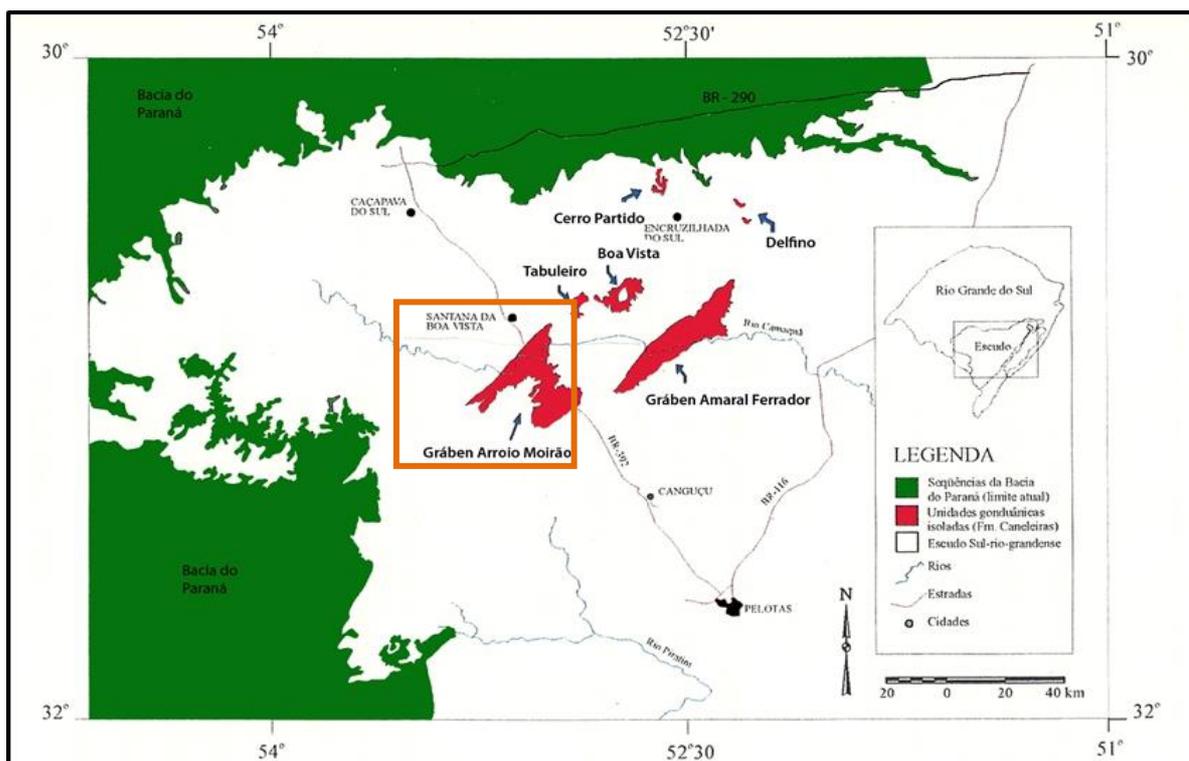


Figura 3 - Mapa de localização do Gráben Arroio Moirão no Estado do Rio Grande do Sul, destacado pelo quadrado laranja [Fonte: Ketzer, 1997].

Nessa região, estudos prévios realizados durante a disciplina de Mapeamento Geológico de Rochas Sedimentares pelo Departamento de Paleontologia e Estratigrafia do Instituto de Geociências da UFRGS em 2012 e 2013 (UFRGS, 2012; UFRGS 2013) mostraram que os depósitos correspondem à inunditos, definidos como turbiditos rasos (Della Fávera, 2001).

Segundo o mapeamento geológico da Folha de Pedro Osório (SH.22-Y-C) da CPRM (1999), as unidades sedimentares que afloram ao longo da BR 392, na região do Gráben Arroio Moirão, foram individualizadas em duas unidades distintas: a Fm. Sanga do Cabral e a Fm. Santa Maria. Contudo, no mapeamento geológico da CPRM de 2005, essas unidades foram incluídas apenas na Formação Sanga do Cabral (CPRM, 2005) (Figura 4).

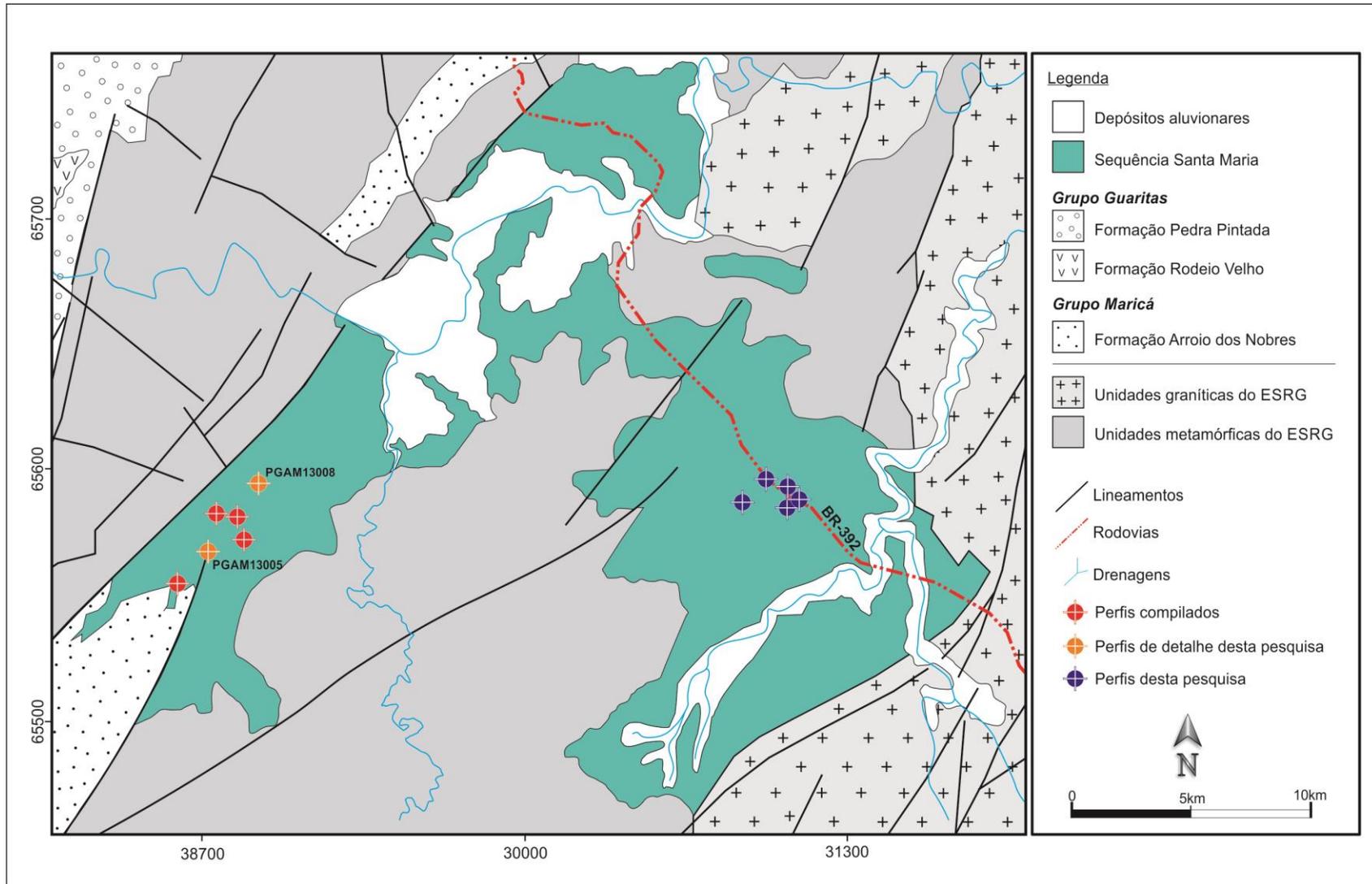


Figura 4 – Mapa geológico do GAM e localização de perfis da área de estudo. [Fonte: Unidades sedimentares – Dados da Pesquisa, 2014, 2015; Unidades do embasamento, CPRM, 2005, modificados por esta pesquisa, 2015.]

3. MÉTODOS E TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO DE DADOS E TESTE DE HIPÓTESES

A metodologia deriva da aplicação de teorias de análise de fácies e modelos deposicionais, de estratigrafia de sequências, de heterogeneidade de fácies, da caracterização de reservatórios, e suas respectivas técnicas. Assim, para testar nossas hipóteses, faz-se necessário:

- a) Mapeamento sistemático da área de estudo, de acordo com metodologias de campo propostas em Lisle *et al.* (2014), Coe (2010) e Tucker (2014); Stow (2005).
- b) Levantamento de perfis colunares e documentação dos afloramentos com base na metodologia de Walker (1992), Dalrymple (2010), James e Dalrymple (2010);
- c) *Modus operandi* de análise de fácies segundo metodologias de Walker (1992), James e Dalrymple (2010) e Dalrymple (2010) para identificar fácies e suas sucessões e associações;
- d) Identificação de modelos deposicionais de acordo com técnicas de Miall (1999), Einsele (2000), Potter e Pettijohn (1977);
- e) Análise petrográfica detalhada, visando à caracterização de permeabilidade e porosidade.
- f) Difração de raios X (identificação da fração fina inferior a 2 μm);
- g) Microscopia eletrônica de varredura (MEV) para identificação da origem de argilas (diagenética, detrítica ou por alteração de minerais);
- h) Correlação e definição do arcabouço estratigráfico (Catuneanu, 2006).

A integração dos dados resultará na elaboração de um modelo de variação lateral e vertical de fácies de depósitos efêmeros como análogos de reservatório.

3.1. FLUXOGRAMA

O Fluxograma Projetual apresentado na Figura 5 consiste em uma série de etapas e atividades dispostas segundo um cronograma.

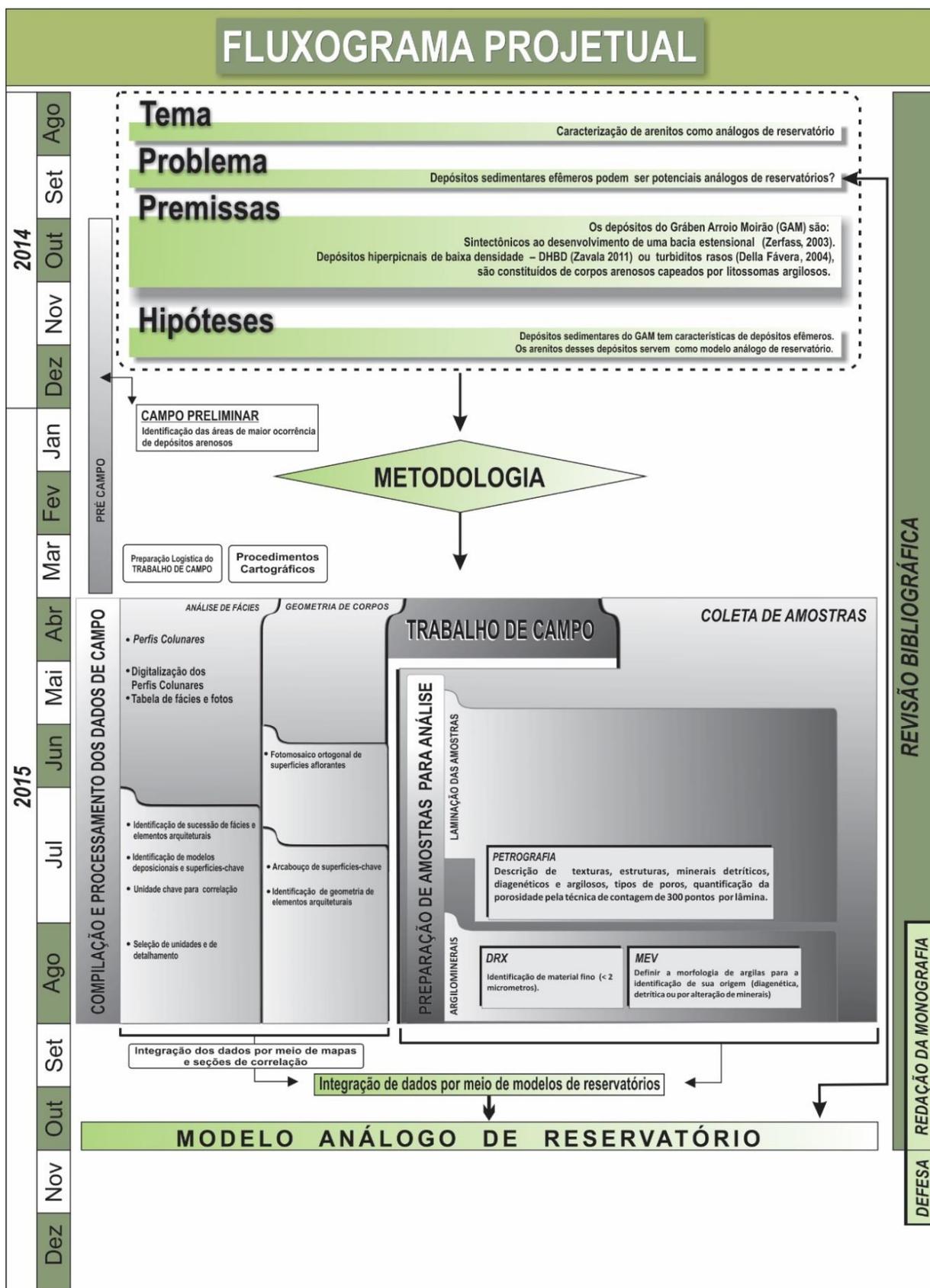


Figura 5 – Fluxograma projetual com as principais etapas e cronograma geral de atividades. (Dados da Pesquisa, 2015).

3.2. OBTENÇÃO DE DADOS DE CAMPO

Primeiramente foi realizado o trabalho de campo em dezembro de 2014, durante a disciplina de Mapeamento de Rochas Sedimentares e Formações Superficiais do Instituto de Geociências da UFRGS, na região de Canguçu-RS. Essa etapa de campo foi importante para o reconhecimento da área de estudo e investigação das porções mais arenosas do gráben, litologias alvo em estudos de reservatório. Uma segunda etapa de campo, para o detalhamento dos afloramentos mais importantes para este trabalho, ocorreu entre os dias 10 e 15 de Abril de 2015.

Na preparação logística de campo, foram obtidas as cartas topográficas Arroio da Bica e Arroio Barracão, em escala 1:50.000, da Divisão de Levantamento do Exército, como base para a navegação em campo e localização dos afloramentos, anteriormente identificados no Google Earth. Segundo as informações contidas nessas cartas foi possível atualizar a declinação magnética das bússolas utilizadas tipo Brunton.

Para o mapeamento geológico do Gráben Arroio Moirão (GAM) foi utilizada a técnica de Lisle *et al.* (2014) que consiste em subdividir o mapa base da área de estudo em tiras de campo, para melhor serem dispostas em pranchetas (Figura 6). Esse procedimento facilita o manuseio de mapas durante a navegação e permite uma maior precisão na plotagem dos pontos. Estes foram posicionados em UTM, *Datum* Córrego Alegre, utilizando-se um GPS da marca Garmin. As medidas estruturais foram feitas segundo a notação de trama. Todos os afloramentos foram registrados por fotografia utilizando-se câmeras Nikon D3200, D90 e Lumix DMC-LS5.

Fazendo uso principalmente dessas ferramentas e de acordo com a técnica de análise de fácies foram descritos 20 afloramentos e levantados sete perfis colunares ao longo da BR-392 e em demais locais, pelo acesso de estradas vicinais. Foram coletadas 36 amostras representativas das principais fácies, devidamente embaladas e identificadas. Posteriormente, foram descritas macroscopicamente com auxílio de lupa de aumento de 10 vezes.

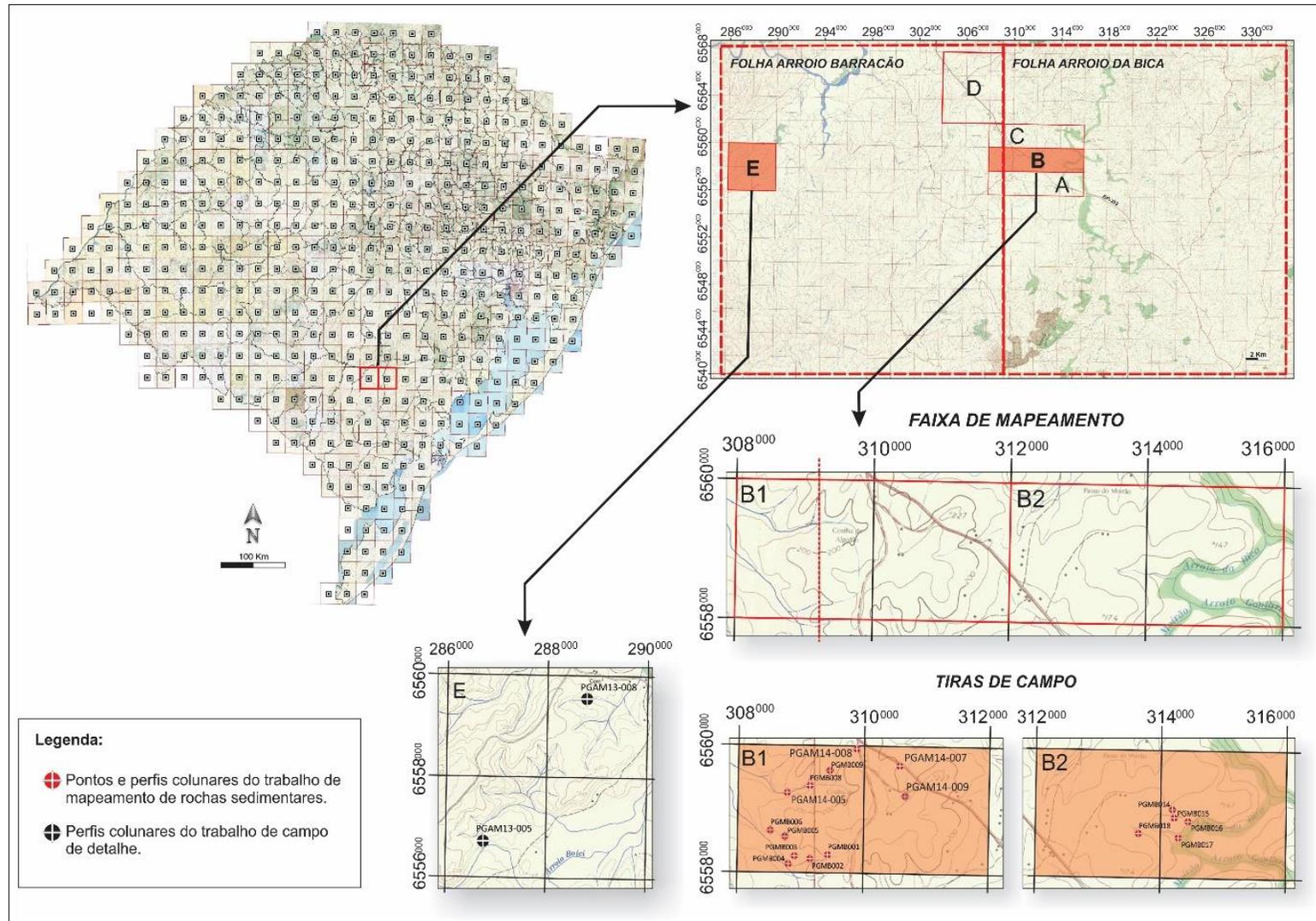


Figura 6 – Articulação das folhas Arroio Barracão e Arroio da Bica, localização da faixa de mapeamento, das tiras de campo e dos perfis colunares de detalhe.

3.3. ANÁLISE DE FÁCIES, MODELOS E SEQUÊNCIAS DEPOSICIONAIS

A partir do estudo de fácies e suas associações, por meio de levantamentos de perfis colunares, é possível identificar modelos e sequências deposicionais. Esse método foi empregado inicialmente em campo de acordo com o *Modus Operandi* de análise de fácies (Dalrymple, 2010), de onde foram extraídas as informações para se reconhecer o modelo de depósitos efêmeros, suas heterogeneidades, distribuições e geometrias de fácies. Além disso, possibilita a correlação de perfis, o que resulta no entendimento da extensão dos depósitos de interesse.

Os procedimentos adotados no uso dessas técnicas são:

- a) Reconhecimento e descrição de fácies;
- b) Análise e interpretação do processo sedimentar a partir das fácies;
- c) Análise e interpretação de sucessões, associações de fácies e elementos arquiteturais;
- d) Definição de modelos deposicionais e superfícies-chave;
- e) Elaboração de perfis colunares compostos e correlação dos mesmos;
- f) Identificação de unidades-chave para correlação;
- g) Definição do arcabouço stratigráfico.

Diversos atributos de uma rocha sedimentar combinam-se para definir uma fácies, tais como: a litologia ou composição mineralógica do sedimento; a textura, que se refere às feições e aos arranjos dos grãos nos sedimentos, pelo exame do tamanho do grão e suas variações; as estruturas sedimentares e superfícies de acamamento; paleocorrentes; a cor dos sedimentos; a geometria e as relações das camadas ou unidades de rocha entre si e suas variações laterais e verticais em termos de espessura e composição; e natureza, distribuição e preservação dos fósseis contidos nas rochas sedimentares (Tucker, 2014).

O estudo de fácies e avaliação dos tipos de contatos entre as camadas são exemplos de descrições documentadas em forma de perfis colunares. Esse método empregado para coleta de dados de campo fornece uma percepção visual imediata do pacote sedimentar e, a partir dele, pode-se correlacionar e comparar com afloramentos equivalentes de outras áreas.

Os perfis colunares foram levantados em escala 1:50, sendo que os perfis PGAM13-005 e PGAM13-008 foram selecionados para estudo de detalhe, por apresentarem depósitos arenosos significativos para o estudo de reservatórios. Os perfis foram digitalizados em software Adobe Illustrator CS6 (ver Anexo). A localização desses perfis encontra-se no mapa da Figura 4.

Nesses afloramentos selecionados para aquisição de dados de pesquisa, foram coletadas 11 amostras. Estas foram selecionadas para serem laminadas e descritas microscopicamente, analisadas no difratômetro de raios X e no microscópio eletrônico de varredura.

3.1.1. Fotomosaicos e geometria de depósitos e fácies

Para o melhor entendimento de geometrias, continuidades das camadas ao longo dos afloramentos e identificação de superfícies que as delimitam, fez-se uso também da técnica de fotomosaicos (Miall, 1999). Esta consiste em obter-se fotografias ortogonais à superfície aflorante, em intervalos regulares, mantendo-se uma sobreposição de até 40% entre uma imagem e sua subsequente. A montagem do fotomosaico, por sua vez, é feita por meio de digitalização em software gráfico Corel Draw.

3.1.2. Correlação estratigráfica

A estratigrafia de seqüências é baseada no reconhecimento de tratos de sistemas (unidades deposicionais) limitados por superfícies-chave. Essas superfícies podem representar eventos de erosão regional ou de deposição síncrona em toda a bacia (Catuneanu, 2006). Os tratos de sistemas são geneticamente relacionados à variação do nível de base. Tais tratos são, por sua vez, constituídos por modelos deposicionais e suas sucessões e associações de fácies. Dessa forma, aplica-se nesse trabalho a metodologia de Catuneanu (2006) e Dalrymple (2010). Contudo, conforme apontado por Zerfass *et al.* (2004), essa metodologia deve ser aplicada para seqüências continentais tendo como premissa a variação de nível de base devido a causas tectônicas e também, em outra ordem, por ciclos climáticos. Dessa forma, rastreiam-se as superfícies-chave, como superfícies erosivas e de máxima inundação lacustre e suas correlatas. Para fins práticos, identificam-se unidades operacionais em cada perfil colunar com base em critérios de delimitação de superfícies erosivas na base e no topo, reconhecimento da variação granulométrica

granodescrescente ascendente, bem como de considerável variação do tamanho do grão entre o topo da sucessão sotoposta e a base da sobreposta. Essas unidades operacionais correspondem, assim por definição, às unidades sequenciais controladas pelas variações do nível de base.

3.1.3. Análise petrográfica

A análise petrográfica é importante para a identificação de minerais detríticos e diagenéticos, bem como para a descrição de texturas, estruturas, tipos de poros e quantificação da porosidade presentes em uma rocha-reservatório. Para fins deste estudo, foram analisadas cinco lâminas delgadas, preparadas a partir de amostras impregnadas com resina azul, no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da UFRGS, e descritas em microscópio óptico de polarização modelo Laborlux 12 POL S da marca Leitz.

A partir desse microscópio é possível obter-se imagens ampliadas da lâmina petrográfica colocada na sua base, denominada platina. Esta base é giratória, possui eixo de rotação N-S, e nela está acoplado o *charriot* que tem a função de movimentar a lâmina segundo intervalos regulares, o que torna possível a análise modal dos constituintes da lâmina. A ampliação é produzida pela combinação de duas lentes: a objetiva e a ocular. A função da lente objetiva, colocada na parte inferior do tubo microscópio, é a de produzir imagens ampliadas nítidas e claras da lâmina. Já o papel da ocular é o de ampliar mais essa imagem (Klein & Dutrow, 2012).

O microscópio possui quatro lentes objetivas com aumentos de 2,5 a 50 vezes, indicado em seu corpo metálico. Elas aparecem montadas em um porta-objetiva giratório, o que permite que elas sejam sucessivamente trocadas. As oculares, que ficam localizadas na parte superior do tubo do microscópio, exibem retículos cruzados, um N-S e outro E-W, para melhor localizar pequenos grãos ou ainda fazer medidas angulares segundo a clivagem de um mineral (Klein & Dutrow, 2012).

Abaixo da platina está localizada a lente condensadora que pode ser inserida ou retirada do sistema óptico do microscópio e tem a função de convergir fortemente a luz para o centro do campo de observação do microscópio. Há também um diafragma-íris que está posicionada abaixo da platina e que pode ser aberto ou fechado e que controla a profundidade de foco ou ainda, regular a intensidade de luz

que penetra no microscópio. Além desses itens, há um polarizador localizado abaixo da platina que transmite luz plano-polarizada que vibra na direção N-S. O analisador colocado no tubo do microscópio, acima da platina, pode ser removido ou inserido no tubo do microscópio. Este também transmite luz plano-polarizada, mas que vibra na direção E-W. Diz-se que quando o polarizador e analisador estão em suas posições eles estão cruzados. A lente de Bertrand é um acessório utilizado para se observar figuras de interferência (Klein & Dutrow, 2012).

Neste trabalho, utiliza-se a contagem qualitativa de componentes da rocha diretamente em lâmina petrográfica, por estimativa visual de acordo com escala de Terry & Chilingar (1955) para a descrição da mineralogia e porosidade. O procedimento baseia-se na contagem comparativa a escalas de estimativa porcentual para cada componente mineralógico em lâmina. Com esses dados é possível fazer a classificação da rocha e determinar a sua porosidade. Os minerais podem estar isolados ou em fragmentos de rocha, denominados fragmentos líticos. Independente do tipo de ocorrência, cada mineral é contado separadamente. Após essa etapa, faz-se um recálculo, para 100% da lâmina, com os valores dos principais constituintes: feldspato, quartzo e grãos líticos utilizados para classificação da rocha. A classificação textural é baseada na contagem dos seguintes constituintes: lama, areia e cascalho (Tucker, 2001). Para tanto, utiliza-se o diagrama “b” (Figura 7).

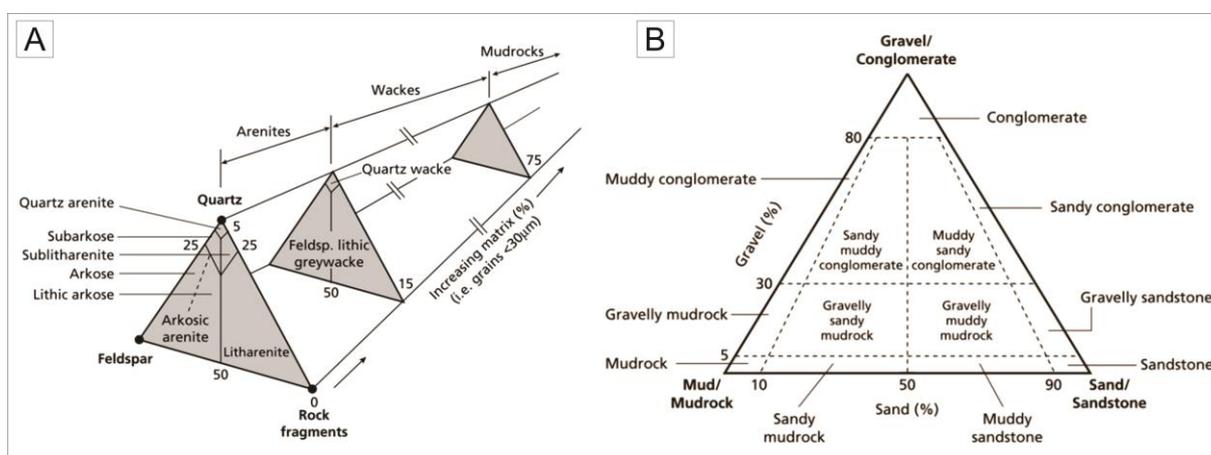


Figura 7 – Classificações composicional (à esquerda) e textural (a direita) de arenitos. [Fonte: Pettijohn, 1987; Udden-Wentworth e Blair & MacPherson, 1999, modificado por Tucker 2001].

3.4. TÉCNICA DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X

A difratometria de raios X (DRX) é uma técnica importante para identificação de minerais, especialmente aqueles de fração fina das amostras ($FF < 2 \mu\text{m}$). Neste trabalho, realizou-se a análise de DRX em 10 amostras, previamente coletadas e preparadas. O objetivo dessas análises é reconhecer os argilominerais que podem estar preenchendo os poros dos arenitos. Fator esse importante para caracterizar e definir a qualidade de uma rocha reservatório.

Segundo Klein & Dutrow (2012), essa técnica baseia-se na emissão de raios X quando elétrons em alta velocidade chocam-se com átomos de qualquer elemento químico. Esses elétrons bombardeiam o material-alvo dentro do tubo de raios X. Dessa forma, são gerados dois tipos de raios X: contínuos e característicos.

Quando um feixe de raios X atinge um mineral, ou seja, um arranjo ordenado tridimensional faz com que os elétrons deste arranjo vibrem com a mesma frequência da radiação X incidente. Esses elétrons absorvem parte da energia dos raios X e atuam como fontes para novas frentes de onda, reemitindo (espalhando) esta energia como radiação X de mesma frequência e comprimento de onda. Em geral, as ondas espalhadas interferem destrutivamente, mas em algumas direções específicas elas se reforçam (interferem construtivamente) para produzir um efeito de espalhamento cooperativo conhecido como difração (Klein & Dutrow, 2012).

Essas difrações seguem de acordo com a Lei de Bragg, que estabelece a relação entre os planos característicos para cada fase cristalina:

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

Conforme a equação: n é um número inteiro, λ é o comprimento de onda dos raios X incidentes, d é a distância interplanos e θ é o ângulo de difração.

Na análise por difração de raios X, no Laboratório de Difração de raios X do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, utiliza-se um difratômetro Siemens–Bruker-AXS D5.000 equipado com ânodo de cobre, filtro de níquel, fendas de 1° , 40 mA de corrente e 30 kV de tensão do feixe (Figura 8).

Primeiramente, as amostras são desagregadas em gral de ágata, e, em seguida, diluídas em água deionizada com a adição de floculante (utilizado para a solução

não flocular devido à possível presença de sais na amostra). Após, as amostras serão deixadas em um processo de agitação por aproximadamente 24 horas para a obtenção de uma solução homogênea. Continuando este processo, as amostras permanecem em repouso por cerca de 3 horas para que a fração inferior a 2 μm possa ser separada, com o auxílio de sifão, e extraída com pipeta para as lâminas de vidro. O líquido restante é preservado, caso seja necessário repetir a análise. A fração menor que 2 μm é, então, distribuída homogênea com espátula em movimentos na mesma direção e sentido nas lâminas de vidro. Essa técnica produz uma boa orientação dos argilominerais, tendo a vantagem de não produzir segregação mineralógica. Por fim, as lâminas são secas à temperatura ambiente e analisadas no difratômetro.

Na preparação das amostras, as lâminas são submetidas a três preparações onde se obtêm três resultados (normal, glicolado e calcinado), cuja interpretação conjunta identifica os argilominerais presentes, já que suas características físico-químicas têm respostas diferentes aos tratamentos efetuados. Por exemplo, a glicolagem é fundamental para a identificação de argilominerais expansivos, como a esmectita. A calcinação tem a finalidade de determinar os argilominerais sensíveis ao aquecimento como a caulinita. As três sequências de análises são as seguintes:

1. Amostra natural: o material depositado na lâmina com pipeta é, então, distribuído homogênea com espátula em movimentos na mesma direção e sentido nas lâminas de vidro. E, dessa forma, é seco naturalmente e analisado no difratômetro;
2. Amostra glicolada: a lâmina, após ser analisada ao natural, é colocada em um dessecador recoberto com etileno glicol ($\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$) até o momento de a amostra ser analisada novamente no difratômetro;
3. Amostra calcinada: a lâmina é colocada em um forno a 500°C durante 2 horas. Depois de esfriar naturalmente, também é analisada no difratômetro.

Finalmente, após todos esses processos, são feitas as análises, as comparações dos difratogramas e a identificação dos argilominerais que é obtida através do procedimento padrão segundo Brown & Brindley (1980) a partir da medida da altura dos picos principais.

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 Match 3.0.1.

Nas etapas de preparação das amostras é preciso cautela para que não haja quaisquer contaminações, bem como, deve-se respeitar o tempo necessário para a preparação das lâminas glicoladas e calcinadas para que sejam alcançados resultados confiáveis.



Figura 8 - Difratômetro Siemens–Bruker-AXS D5000. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

3.5. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é principalmente utilizado para a obtenção de informações sobre as feições morfológicas superficiais de materiais na escala micrométrica, incluindo a observação direta dos intercrescimentos cristalinos, texturas ou relações de reação (Klein & Dutrow, 2012). O MEV apresenta capacidade de foco muito superior aos microscópios óticos comuns, o que permite,

neste trabalho, a caracterização morfológica de argilominerais e identificação de possíveis eventos de recristalização e neoformação para fins de avaliação da porosidade dentre outras características que indicam a qualidade de uma rocha-reservatório.

Segundo Klein & Dutrow (2012), o MEV tem uma coluna eletrônica, de onde parte um fino feixe de elétrons que impacta a superfície de uma amostra sólida e 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.

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. A resolução do MEV varia de 2,5 a 5 nanômetros e tem grande profundidade de campo, o que resulta em imagens de altíssima resolução (Klein & Dutrow, 2012).

As amostras foram preparadas segundo o procedimento descrito por Mizusaki (1986) e analisadas no Laboratório de Geologia Isotópica (LGI) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, utilizando-se um equipamento de modelo Jeol 6610-LV- EDS (Figura 9). As análises adotam os seguintes procedimentos: 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 recebem metalização, ou seja, recobrimento de película metálica constituída de liga de ouro, com espessura média de 100 Å, com a finalidade de tornarem-se boas condutoras do feixe de elétrons; c) a amostra, assim preparada, é inserida em uma câmara porta-amostras no MEV e impactada pelos elétrons gerados pela coluna eletrônica; d) como produtos, são geradas fotomicrografias das feições de interesse observadas nas análises das amostras.

Um possível problema com os resultados a partir dessa técnica é a geração de imagens com excesso de brilho, devido a possível falha na metalização. Nesse caso, deve-se repetir a metalização e cuidar para que a amostra preparada seja mantida em ambiente com pouca umidade.



Figura 9 – Estação de MEV, modelo Jeol 6610-LV- EDS. [Fonte: Dados da Pesquisa, 2015].

4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISE DE FÁCIES, ELEMENTOS ARQUITETURAIS E PROCESSOS DEPOSICIONAIS

A partir dos perfis colunares de detalhe PGAM13-005 e PGAM13-008, foram identificadas 16 fácies, cujas abreviaturas, descrições, interpretação do processo deposicional e fotografias encontram-se relacionados no Quadro 1. Nesse quadro, as fácies que são objeto de estudo deste trabalho encontram-se destacadas, sendo elas: Acg/Sx-Gr (t), Acg/Sx-Gr (lpp), Ag/Sx (t). De modo geral, as fácies desses perfis e, de modo particular, as fácies aqui destacadas como objeto de detalhamento, apresentam geometria tabular, coloração avermelhada, má seleção, cimentação por óxido de ferro, e composição quartzo-feldspática.

Com base na geometria, textura e estrutura das fácies, pode-se agrupá-las de acordo com os processos hidrodinâmicos de sua formação. Esses grupos relacionam as principais formas de leito e características de certos elementos arquiteturais. Tal agrupamento de fácies de acordo com esses critérios também foi descrito por Lima (2014). Os principais grupos de fácies de acordo com estruturas e formas de leito que registram as condições hidráulicas de sua formação são a seguir descritos (ver Quadro 2):

- a) **Fácies com estratificação cruzada tangencial, representando leitos dunoides 3D**, cujas texturas variam de arenito conglomerático, arenito muito grosso a grosso. Foram interpretadas como resultantes do processo de segregação textural em fluxos de baixa densidade e transição para correntes trativas (arenitos conglomeráticos) formando associações de fácies e depósitos de progradação de carga de fundo de fluxos de baixa densidade; de processos de correntes trativas de desaceleração de fluxo dispersivo em morfologias tabularoides delgadas (arenito muito grosso a grosso), formando depósitos e associações de fácies de canais rasos de dispersão de fluxos efêmeros.
- c) **Fácies com estrutura maciça, sem visualização aparente da forma de leito**, cujas texturas variam de conglomerados, e arenitos grossos a siltitos. Foram interpretadas como resultantes dos seguintes processos: formação de pavimentos devido a fluxos de transição de baixa densidade para tração, produzidos em depósitos de progradação de carga de fundo (conglomerados); de perda de estruturas por liquefação e escape de fluidos, originados em depósitos de canais rasos de dispersão de fluxos efêmeros (desde arenitos muito grossos até muito finos); e de processos do limite suspensão/tração com obliteração de estruturas, originados por depósitos de plumas de suspensão de correntes de baixa densidade (siltito).
- d) **Fácies com estratificação cruzada de baixo ângulo representando formas de leitos dunoides 2D**, cuja textura é composta por arenito grosso a granuloso. Foram interpretadas como resultantes de processos de correntes trativas de rápida dispersão, resultando em

Quadro 1 - Fácies, processos de deposicionais e formas de leito dos perfis PGAM1305 e PGAM1308. (Em destaque as fácies detalhadas para estudo de reservatório).

FÁCIES	DESCRIÇÃO	INTERPRETAÇÃO: Processo deposicional e forma de leito	FOTOGRAFIA
St(m)	Camadas tabulares de siltito avermelhado, maciço, mal selecionado, com grãos dispersos de areia muito fina a média de quartzo.	Corrente subaquosa de suspensão, forma de leito plana.	
Af(m)	Arenito fino avermelhado, maciço, quartzo-feldspático, mal selecionado, com grãos dispersos de areia muito grossa, grânulos e seixos ($\Phi_{m\acute{a}x} = 1$ cm). Às vezes, com mica.	Possível corrente subaquosa trativa, regime de fluxo inferior, sem visualização aparente da forma de leito.	
Am(m)	Arenito médio avermelhado, maciço, quartzo-feldspático, grãos angulosos, e, por vezes, subangulosos, com moderada esfericidade.	Possível corrente subaquosa trativa, regime de fluxo inferior, sem visualização aparente da forma de leito.	

Ag (m)	Arenito grosso avermelhado, maciço, quartzo-feldspático, mal selecionado, com fração fina argilosa significativa e intercalações centimétricas de arenito fino. Grãos angulosos a subangulosos.	Possível corrente subaquosa trativa, regime de fluxo inferior, sem visualização aparente da forma de leito.	
Cg/Gr(m)	Conglomerado granuloso arenoso avermelhado, maciço, quartzo-feldspático, mal selecionado, com clastos esparsos de blocos ($\Phi_{\text{máx}} = 20 \text{ cm}$), e intraclastos de arenito fino.	Possível corrente subaquosa trativa, regime de fluxo inferior, sem definição da forma de leito.	
Lm (lpp)	Camadas tabulares de lamito, avermelhado, com boa fissilidade e laminação plano-paralela, rede ortogonal de fraturas, apresenta níveis de areia fina, mal selecionado, com micas.	Corrente subaquosa de suspensão, forma de leito plana.	
St(lpp)	Camadas tabulares de siltito avermelhado, com laminação plano-paralela, níveis de cerca de 3 cm de arenito grosso na base, mal selecionado, com grãos de areia média dispersos, quartzo-feldspático, variando lateralmente para arenito muito fino, maciço. Eventualmente, com níveis de mica.	Corrente subaquosa de suspensão, forma de leito plana.	

Amf (lpp)	Arenito muito fino avermelhado, com laminação plano-paralela, níveis centimétricos de arenito grosso e médio e gradação normal intraestratal, quartzo-feldspático, com mica.	Corrente subaquosa trativa, fluxo superior, forma de leito tabular.	
Af(lpp)	Camadas tabulares de arenito fino avermelhado, com laminação plano-paralela, quartzo-feldspático, bem silicificado, e níveis micáceos marcando a estratificação.	Corrente subaquosa trativa, fluxo superior, forma de leito tabular.	
Ag(lpp)	Arenito grosso avermelhado, com laminação plano-paralela, quartzo-feldspático,.	Corrente subaquosa trativa, fluxo superior, forma de leito tabular.	
Ag/Sx-Gr(lpp)	Camada tabular de arenito grosso, seixoso a granuloso, avermelhado, com estratificação plano-paralela e gradação normal intraestratal, quartzo-feldspático, imaturo, mal selecionado, com cerca de 4% de finos (argilas); grãos muito angulosos, com moderada esfericidade; grânulos e seixos de quartzo e feldspato esparsos. Por vezes, com intraclastos argilosos angulosos ($\Phi_{\text{máx}} = 54 \text{ cm}$), níveis de seixos quartzosos e feldspáticos ($\Phi_{\text{máx}} = 4 \text{ cm}$) na base dos sets.	Corrente subaquosa trativa, fluxo superior, forma de leito tabular.	

<p>Acg/Sx-Gr (lpp)</p>	<p>Arenito conglomerático, seixoso a granuloso, avermelhado, com estratificação plano-paralela e gradação normal intraestratal, pavimento basal de seixos de quartzo e intraclastos argilosos de até 6 cm.</p>	<p>Corrente subaquosa trativa, fluxo superior, forma de leito tabular.</p>	
<p>Ag/Sx-Gr(bxa)</p>	<p>Arenito grosso a granuloso avermelhado, com estratificação cruzada de baixo ângulo, quartzo-feldspático, com grânulos e seixos esparsos.</p>	<p>Corrente subaquosa, regime trativo de transição de fluxo superior/inferior, forma de leito 2D.</p>	
<p>Ag/Sx (t)</p>	<p>Arenito grosso, seixoso a granuloso, avermelhado, estratificação cruzada tangencial, festonado, quartzo-feldspático, com gradação normal intraestratal. Níveis de seixos e blocos de intraclastos na base.</p>	<p>Corrente subaquosa trativa, regime de fluxo inferior, duna 3D.</p>	

<p>Ag(t)</p>	<p>Arenito grosso avermelhado, com estratificação cruzada tangencial com gradação normal intraestratal, quartzo-feldspático, seixos quartzosos esparsos de até 3 cm, pavimento basal de intraclastos argilosos de até 10 cm.</p>	<p>Corrente subaquosa trativa, regime de fluxo inferior, duna 3D.</p>	
<p>Ag/Sx(t)</p>	<p>Arenito grosso avermelhado, com estratificação cruzada tangencial e gradação normal intraestratal, quartzo-feldspático. Com seixos e intraclastos argilosos de até 8 cm na base dos sets.</p>	<p>Corrente subaquosa trativa, regime de fluxo inferior, duna 3D.</p>	
<p>Acg/Sx-Gr(t)</p>	<p>Arenito conglomerático, seixoso a granuloso, avermelhado, com estratificação cruzada tangencial com gradação normal intraestratal, pavimento basal de seixos quartzosos e intraclastos argilosos ($\Phi_{max} = 54$ cm).</p>	<p>Corrente subaquosa trativa, regime de fluxo inferior, duna 3D.</p>	

morfologias delgadas e tabularoides (arenito grosso) e de correntes trativas de transição de fluxo inferior para superior (arenito fino a muito fino), ambos originados em depósitos de canais rasos efêmeros.

e) **Fácies com laminação plano-paralela, representando formas de leitos tabulares**, cujas texturas variam desde arenitos conglomeráticos, arenitos grossos a finos, siltitos até lamitos. Foram interpretadas como resultantes de processos de dispersão de fluxos de regime de fluxo inferior com morfologias tabulares (arenitos conglomeráticos, arenitos grossos, arenitos médios) e de dispersão de fluxos de regime de fluxo superior com morfologias tabulares (arenitos finos a muito finos) originados por depósitos de canais rasos de dispersão de fluxos efêmeros; e processos de suspensão e plumas de flotação geradas pela segregação de finos em fluxos de baixa densidade com morfologias tabulares (siltitos a lamitos) originados em depósitos de afogamento dos fluxos de baixa densidade.

Quadro 2 – Fácies, forma de leito, processos deposicionais e associações de fácies. (Lima, 2014, modificado por Rodrigues, 2015).

ESTRUTURA, GEOMETRIA E FORMA DE LEITO		Grossas		Médias		Finas			INTERPRETAÇÃO	ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES/	MD
		Cg	Ac g	A mg-g	A m	A f-mf	St	Lm			
(t)	Tangencial, dunoide 3D								Fácies grossas → desagregação de fluxos de baixa densidade e transição para correntes trativas; camadas tabularoides	Progradação de carga de fundo de fluxos de baixa densidade	1A
									Fácies médias → correntes trativas de desaceleração de fluxo em morfologias tabularoides de dispersão. Camadas delgadas.	Canais rasos de dispersão de fluxos efêmeros	1B
(m)	Maciça, fl não evidente								Fácies grossas → fluxos de transição de baixa densidade para tração. Pavimentos basais.	Progradação de carga de fundo de fluxos de baixa densidade	1A
									Fácies médias → perda de estruturas por liquefação e escape de fluidos	Canais rasos de dispersão de fluxos efêmeros	1B
									Fácies finas → limite suspensão/tração com obliteração de estruturas	Plumas de suspensão de correntes de baixa densidade	2
(bxa)	Estratificação cruzada tabular de baixo ângulo, dunoide 2D								Fácies médias → Correntes trativas de rápida dispersão, morfologias delgadas e tabularoides	Canais rasos de dispersão de fluxos efêmero rasos.	1B
(lpp)	Laminação plano-paralela, tabular								Fácies grossas e médias → morfologias tabulares de regime de fluxo inferior	Canais rasos de dispersão de fluxos efêmero rasos.	1B
									Fácies médias e Amf → morfologias tabulares de regime de fluxo superior	Canais rasos de dispersão de fluxos efêmero rasos	1B
									Fácies muito finas → morfologias tabulares de suspensão/tração de plumas de suspensão geradas por fluxos de baixa densidade	Fluxos de baixa densidade	2

4.2. ANÁLISE DAS SUCESSÕES DE FÁCIES E MODELOS DEPOSICIONAIS

A análise de sucessões de fácies nos perfis colunares levantados considerou a variação vertical de atributos faciológicos como: variação textural granodecrescente ascendente, variação brusca das texturas, e limites por superfícies erosivas (diastemas). Esses agrupamentos faciológicos revelam, em geral, um afogamento para o topo, representados por litologias mais finas que vão desde lamitos e siltitos até arenitos finos.

Esse padrão permitiu identificar 5 ciclos deposicionais (CD), com espessura variando de 3,75 m a 12,0 m, limitados na base por superfícies-chave de erosão que

variam lateralmente para superfícies de conformidade relativa indicadas por mudanças abruptas de textura. Próximo ao topo encontram-se fácies finas que representam superfícies de afogamento. Em geral, essas superfícies de afogamento são representadas por siltitos e lamitos. Abaixo, exemplifica-se uma sucessão de um ciclo deposicional (Figura 10), que ocorre no perfil PGAM1305. A recorrência desses ciclos caracteriza o padrão de heterogeneidade de fácies que são importantes para a caracterização em estudo de análogos de reservatórios em depósitos efêmeros.

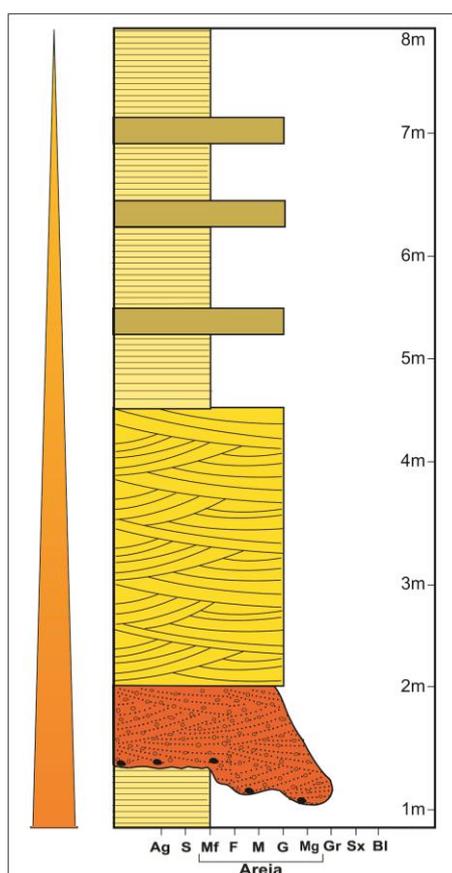


Figura 10 – Sucessão de fácies de um ciclo deposicional que ocorre no PGAM1305. (Dados da Pesquisa, 2015.)

Com a integração dos dados, foi possível identificar o modelo deposicional a partir de formas de leito e associações de fácies em termos de um modelo de inundito associado a lagos efêmeros (Lima, 2014). Nesse modelo, pode-se compreender como as fácies de texturas mais grossas, a exemplo de conglomerados e arenitos conglomeráticos (associação de fácies A, porção proximal), arenitos grossos e médios (associação de fácies B, porção mediana), que estão encimados pelas fácies de texturas mais finas: arenito fino a muito fino (associação de B, porções mediana distal). Por fim, fácies de lamitos, siltitos e argilitos capeiam essa sucessão

(associação de C, porção distal) que pode conter uma variação para lamitos com grande quantidade de mica que resulta da deposição de pluma de flotação (associação de fácies E). As associações de fácies A e B possuem características de fácies-reservatório e são capeadas pelas associações de fácies C e D, que são análogas a selantes. Ciclos deposicionais em que as fácies arenosas são significativas e capeadas por fácies argilosas serviriam como análogo de reservatório (Figura 11).

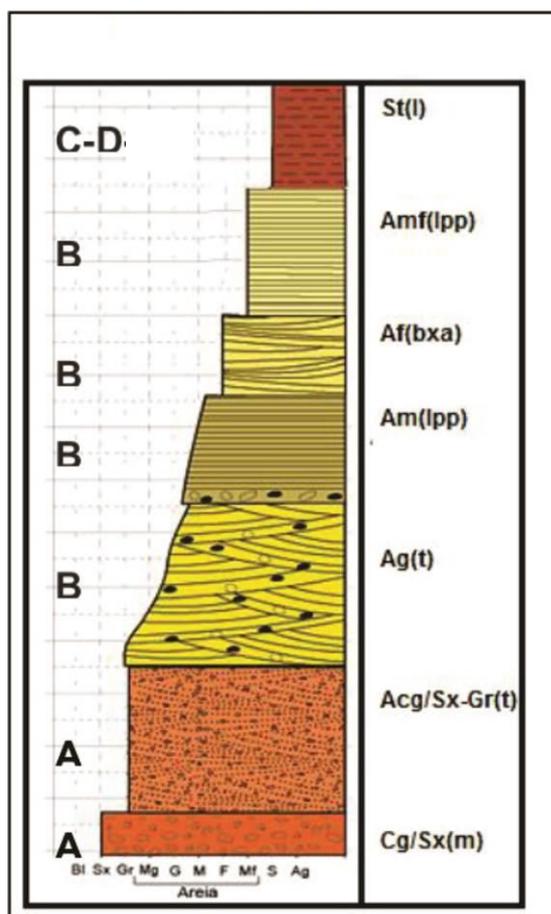


Figura 11 – Perfil esquemático exemplificando a sucessão de fácies característica de um inundito. (Lima, 2014).

4.3. PERFIS COLUNARES E CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA

Os perfis colunares PGAM1308 e PGAM1305, posicionados no setor SW do Gráben Arroio Moirão (Figura 4), possuem espessuras de 17 m e 44 m, respectivamente. Na análise desses perfis, selecionaram-se cinco fácies para estudo de detalhe. A disposição dessas fácies nos perfis colunares, as fotografias de campo e

fotomicrografias estão relacionadas nas figuras 12, 13, 14, 15 e 16. Esses perfis e suas descrições detalhadas estão no anexo desta monografia.

O perfil colunar PGAM1308 com destaque para fácies arenito grosso seixoso com estratificação cruzada tangencial [Ag/Sx(t)], com descrição macroscópica: camada tabular de arenito grosso avermelhado, com estratificação cruzada tangencial e gradação normal intraestratal, quartzo-feldspático, com seixos e intraclastos argilosos de até 8 cm na base dos sets. (Figura 12 A).

Em análise de lâmina petrográfica, dessa mesma fácies, foi possível observar características importantes descritas a seguir: Arenito grosso, conglomerático, subarcósio, sustentado pelos grãos, moderadamente selecionado, com 15 % de matriz argilosa oxidada, com pigmentação por óxido de ferro e agregados de caulinita. Constituído por 58% de quartzo policristalino, 33% de quartzo monocristalino com extinção normal e ondulante, 8% de feldspatos e muscovita como mineral traço. Os grãos são angulosos a subangulosos, com esfericidade baixa a alta, com contatos pontuais a retos. A porosidade foi estimada visualmente, representando menos de 15% da lâmina. A porosidade pode ser caracterizada por: intergranular, por contração de argilas (*shrinkage*) e microporosidade em caulinita. Na figura 15, feições como *shrinkage*, porosidade intergranular e textura podem ser observados em “B”, fotomicrografia em nicóis descruzados (ND); a microporosidade associada à caulinita e esta, em detalhe, podem ser observadas, respectivamente em “C” (ND) e “D”, esta em nicóis cruzados (NC).

Na figura 13, o perfil colunar PGAM1308 com destaque para fácies arenito conglomerático seixoso a granuloso, com estratificação plano-paralela [Acg/Sx-Gr(lpp)], com descrição macroscópica: camada tabular de arenito conglomerático, seixoso a granuloso, avermelhado, com estratificação plano-paralela e gradação normal intraestratal, quartzo-feldspático, imaturo. Com pavimento basal de seixos de quartzo e intraclastos argilosos de até 6 cm. Essa fácies está representada na fotografia “A”, registro em afloramento.

Em análise de lâmina petrográfica, dessa mesma fácies, foi possível observar características importantes descritas a seguir: arenito grosso, conglomerático, subarcósio, sustentado pelos grãos, com laminação plano-paralela, má seleção de grãos e 15 % de matriz argilosa oxidada, com pigmentação por óxido de ferro e

agregados de caulinita. Constituído por 61% de quartzo policristalino, 28% de quartzo monocristalino com extinção normal e ondulante, 11% de feldspatos. Os grãos são angulosos a subangulosos, com esfericidade baixa a alta, com contatos pontuais a retos. A porosidade foi estimada visualmente, representando menos de 15% da lâmina. A porosidade pode ser caracterizada por: intergranular, *shrinkage* e microporosidade. Na figura 13, as fotomicrografias em ND, “B”, “C” e “D” representam, respectivamente: a textura da rocha; *shrinkage* e porosidade intergranular; caulinita em agregados na matriz.

Na figura 14, o perfil colunar PGAM1308 com destaque para fácies arenito grosso a seixoso, com estratificação plano-paralela [Ag/Sx-Gr(lpp)], com descrição macroscópica: camada tabular de arenito grosso a seixoso, avermelhado, com estratificação plano-paralela, quartzo-feldspático e pavimento basal seixoso. Essa fácies está representada na fotografia “A”, registro em afloramento.

Em análise de lâmina petrográfica, dessa mesma fácies, foi possível observar as seguintes características: Arenito muito grosso, lamoso, subarcócio, sustentado pelos grãos, com laminação plano-paralela, má seleção de grãos e 30 % de matriz argilosa oxidada, com pigmentação por óxido de ferro e com agregados de caulinita. Constituído por 64% de quartzo policristalino, 36% de quartzo monocristalino com extinção normal e ondulante e mica como mineral traço. Os grãos são angulosos a subangulosos, com esfericidade baixa a alta, com contatos pontuais a retos. A porosidade é praticamente nula, quando ocorre é por fraturas na rocha. Algumas porções da matriz foram substituídas por caulinita e, geralmente, estão próximas a fraturas, como ilustrado na fotomicrografia em ND, “D” da figura 14. Nessa mesma figura é possível observar nas fotomicrografias em ND: a textura da rocha em “B”; detalhe da matriz envolvendo os grãos em “C”.

Na figura 15, o perfil colunar PGAM1305 com destaque para fácies arenito conglomerático seixoso a granuloso, com estratificação cruzada tangencial [Acg/Sx-Gr(t)], com descrição macroscópica: camada tabular de arenito conglomerático, seixoso a granuloso, avermelhado, com estratificação cruzada tangencial, quartzo-feldspático, com gradação normal intraestratal e intraclastos argilosos na base, de até 20 cm. Essa fácies está representada na fotografia “A”, registro em afloramento.

Em análise de lâmina petrográfica, dessa mesma fácies, foi possível observar as seguintes características: Arenito muito grosso, conglomerático, subarcócio, sustentado pelos grãos, má seleção de grãos e 15 % de matriz argilosa oxidada, com pigmentação por óxido de ferro e agregados de caulinita. Constituído por 57% de quartzo policristalino, 36% de quartzo monocristalino com extinção normal e ondulante, 7% de feldspatos e muscovita como mineral traço. Os grãos são angulosos a subangulosos, com esfericidade baixa a alta, com contatos pontuais a retos. A porosidade foi estimada visualmente, representando menos de 15% da lâmina. Ela é caracterizada em: intergranular, por contração de argilas *shrinkage* e microporosidade. Na figura 15 é possível observar em fotomicrografias “B” e “C”, em ND, respectivamente: grão deformado gerando pseudomatriz; intraclasto argiloso deformado em suas bordas. Este, em detalhe, na fotomicrografia “D”, em NC.

Na figura 16, o perfil colunar PGAM1305 com destaque para fácies arenito grosso, com estratificação cruzada tangencial [Ag/Sx(t)], com descrição macroscópica: camada tabular de arenito grosso, avermelhado, com estratificação cruzada tangencial (festonado), quartzo feldspático, seixoso a granuloso, com gradação normal intraestratal. Essa fácies está representada na fotografia “A”, registro em afloramento.

Em análise de lâmina petrográfica, dessa mesma fácies, foi possível observar características importantes descritas a seguir: Arenito médio, subarcócio, sustentado pelos grãos, má seleção de grãos e agregados de caulinita. Constituído por 65% de quartzo monocristalino com extinção normal e ondulante, 26% de quartzo policristalino, 9% de feldspatos e muscovita como mineral traço. Os grãos são angulosos a subangulosos, com esfericidade baixa a alta, com contatos pontuais a retos. A porosidade foi estimada visualmente, representando menos de 15% da lâmina. A porosidade pode ser caracterizada por: intergranular e microporosidade. Na figura 16, as fotomicrografias em ND “B” e “C” evidenciam, respectivamente: textura e porosidade; microporosidade em caulinita. Esta, também destaca-se na fotomicrografia “D”, em NC.

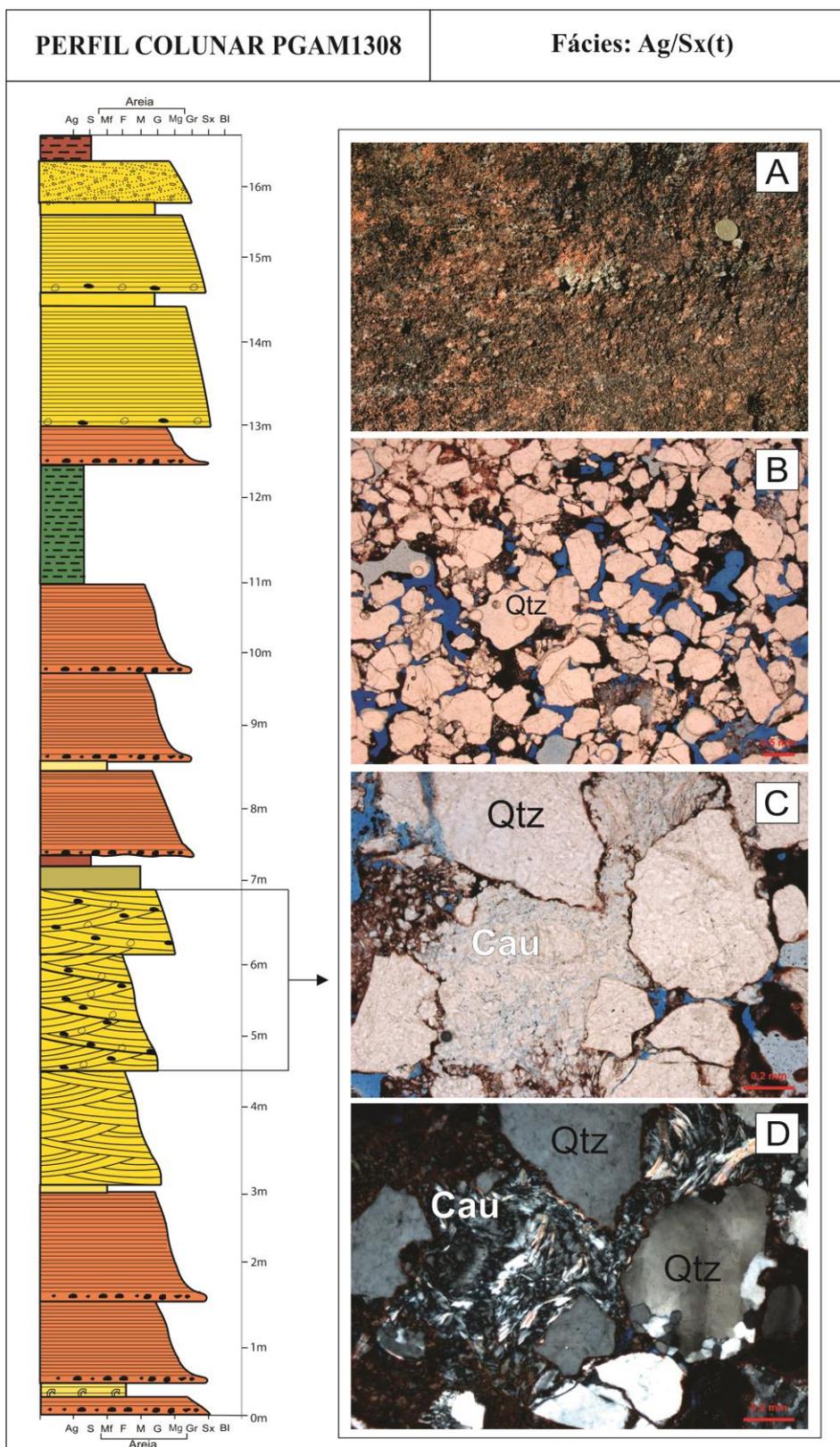


Figura 12 - Prancha de posicionamento da fácies Arenito grosso seixoso [Ag/Sx(t)], no perfil colunar PGAM 1308, ilustrada com fotografias e fotomicrografias: A) Aspecto de campo; B e C) Fotomicrografias em ND, D) Fotomicrografia em NC. Cau= caulinita, Qtz=quartzo. (Dados da Pesquisa, 2015).

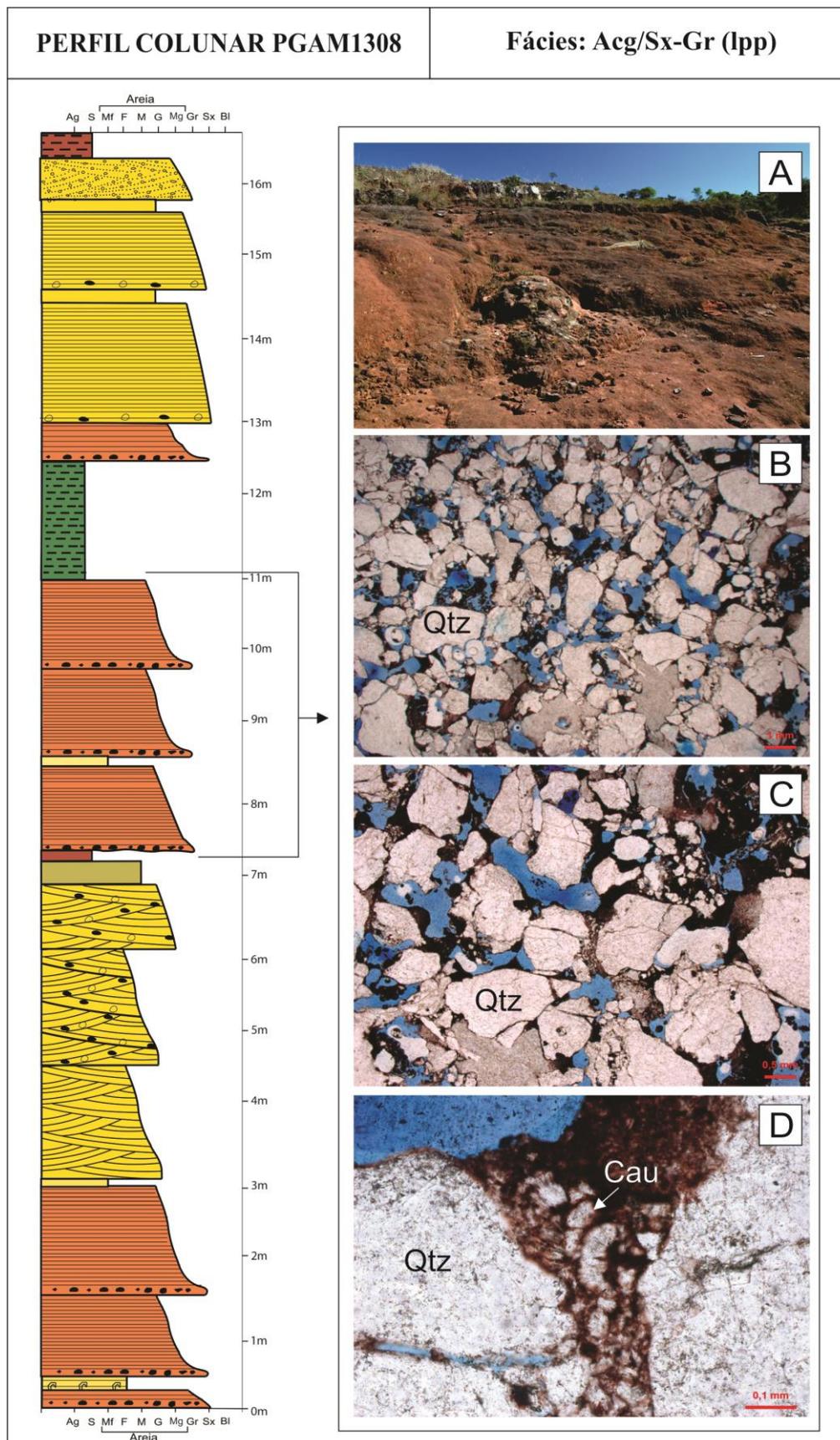


Figura 13 - Prancha de posicionamento da fácies Arenito conglomerático seixoso granuloso [Acg/Sx-Gr (lpp)], no perfil colunar PGAM 1308. A) Aspecto de campo; B, C e D) Fotomicrografias em ND. Cau= caulinita, Qtz=quartzo (Dados da Pesquisa, 2015).

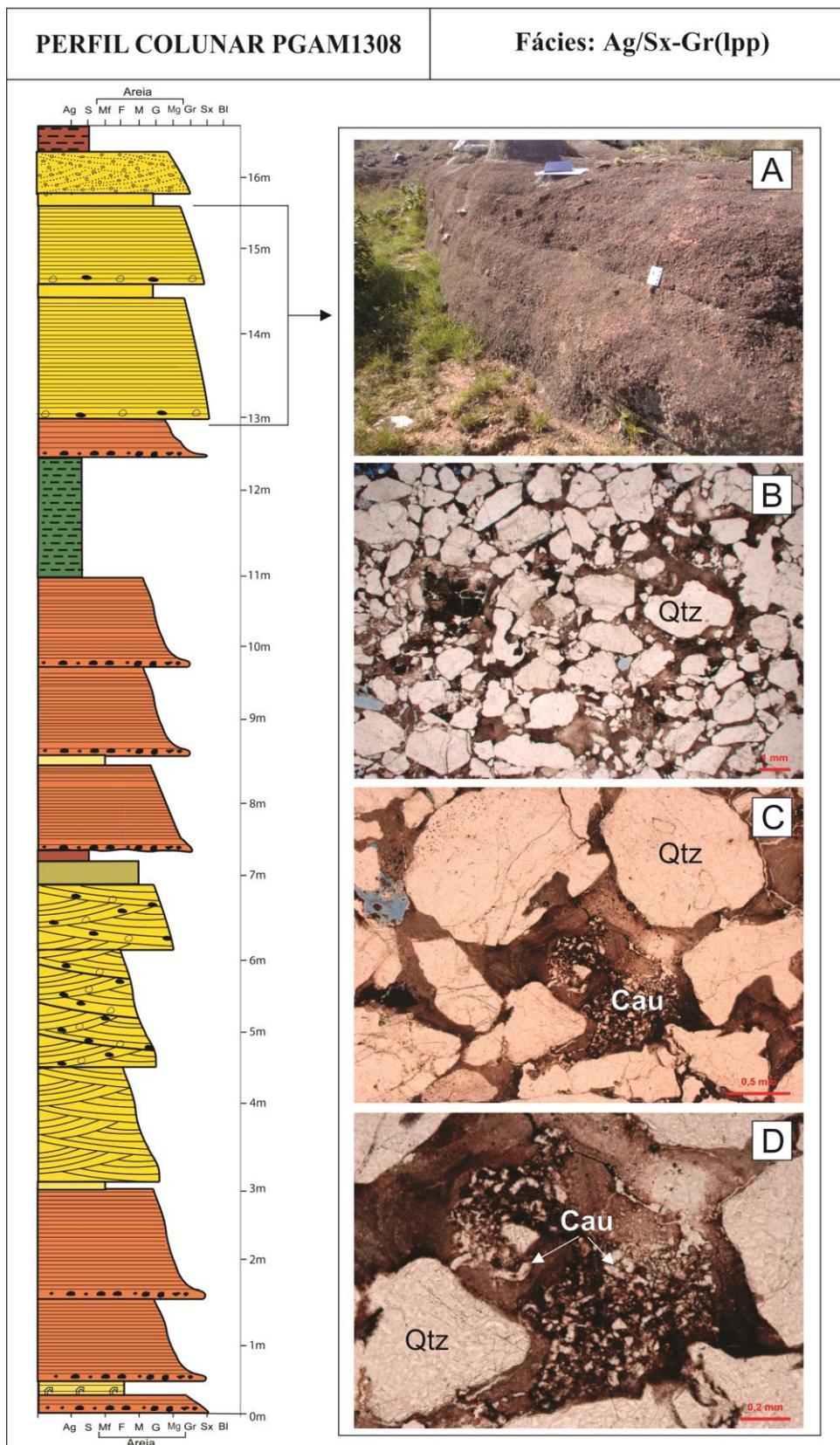


Figura 14 – Prancha de posicionamento da fácies Arenito grosso seixoso granuloso [Ag/Sx-Gr (lpp)], no perfil colunar PGAM 1308: A) Aspecto de campo; B, C e D) Fotomicrografias em ND. (Dados da Pesquisa, 2015).

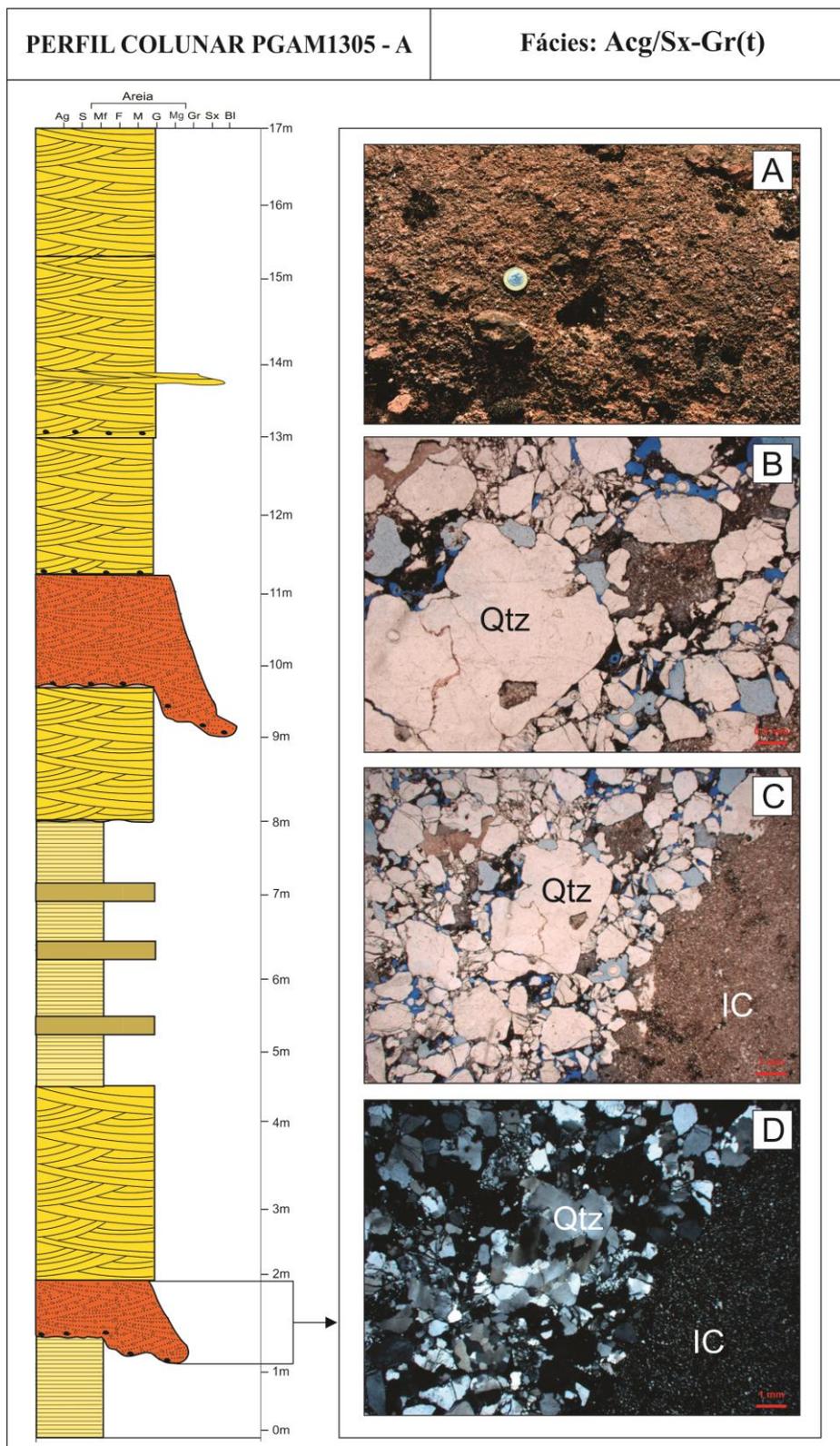


Figura 15 – Prancha de posicionamento da fácies Arenito conglomerático seixoso granuloso [Acg/Sx-Gr(t)], no perfil colunar PGAM 1305. A) Aspecto de campo; B e C) Fotomicrografias em ND, D) Fotomicrografia em NC Qtz=quartzo; IC=intra clasto. (Dados da Pesquisa, 2015).

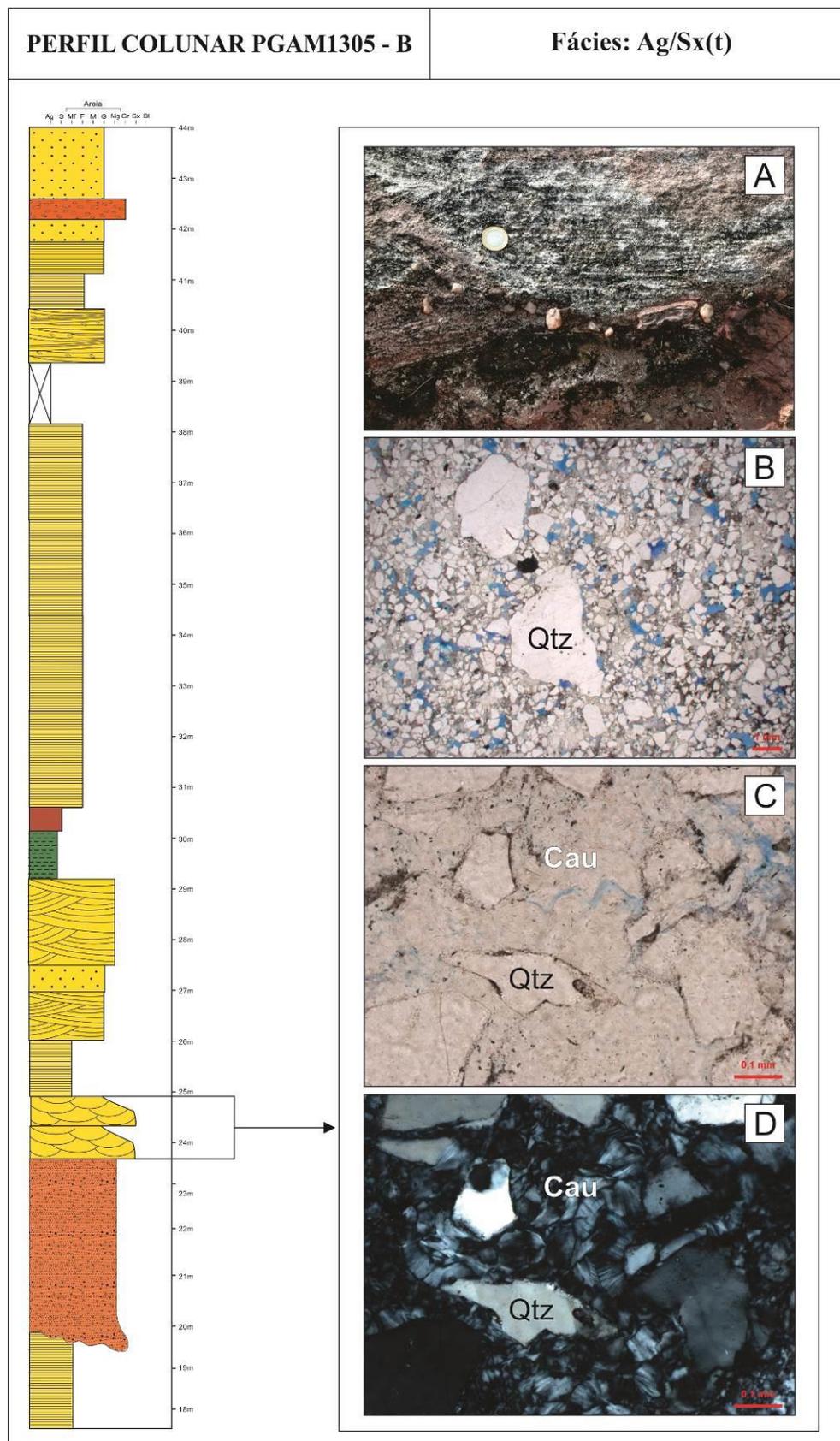


Figura 16 - Prancha de posicionamento da fácies Arenito grosso seixoso [Ag/Sx (t)], no perfil colunar PGAM 1305, A) Aspecto de campo; B e C) Fotomicrografias em ND, D) Fotomicrografia em NC Qtz=quartzo; Cau=caulinita. (Dados da Pesquisa, 2015).

4.4. DIFRAÇÃO DE RAIOS X E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Para um maior detalhamento da fração fina ($FF < 2 \mu\text{m}$) presente nas fácies de arenitos grossos a conglomeráticos, aplicaram-se as técnicas analíticas de difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura.

Identificou-se, em análise por difração de raios X, a caulinita, $d_{001}=7.1\text{Å}$ e $d_{002}=3.5\text{Å}$, em amostra natural e glicolada, bem como a ausência destes picos na amostra calcinada. Este é o principal argilomineral nas fácies Ag/Sx(t) e Acg/Sx-Gr(lpp) do perfil PGAM1308 e nas fácies Ag/Sx(t) e Acg/Sx-Gr(t) do perfil PGAM1305 (Figura 17). Um pico $d_{001} = 10\text{Å}$ de menor intensidade foi registrado em amostra natural e glicolada, bem como na amostra calcinada indicando a presença de illita.

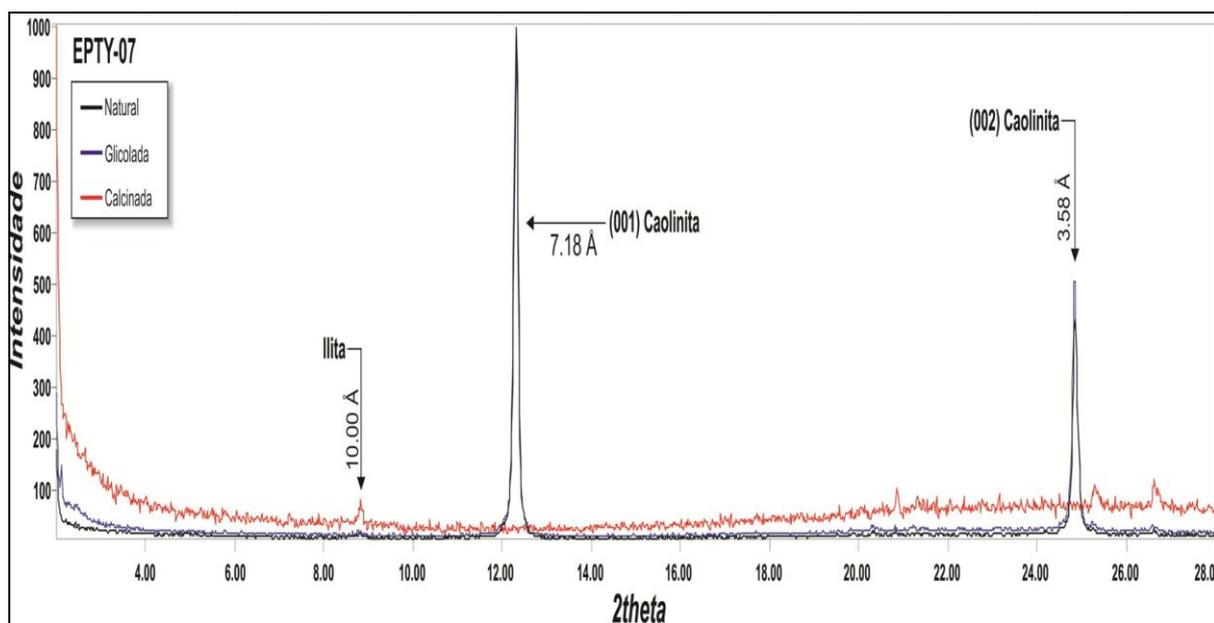


Figura 17 – Difratograma da fração fina da fácies Ag/Sx(t), do perfil PGAM1305, resultando como argilomineral predominante a caulinita. Tratadas no software Match 3.0.1. (Dados da Pesquisa, 2015.)

A fácies Acg/Sx-Gr(lpp) do perfil PGAM1308 é constituída, principalmente pelo argilomineral em questão (Figura 18.A). Ao microscópio eletrônico de varredura, identifica-se a caulinita pseudo-hexagonal, euédrica, e sob forma de agregados do tipo "booklet", como na fácies Ag/Sx(t) do perfil PGAM1305 (Figura 18.B).

A predominância de caulinita em fração fina de rochas-reservatórios pode ocasionar problemas quando da exploração do óleo, devido a sua possibilidade de migração e obliteração do sistema permo-poroso.

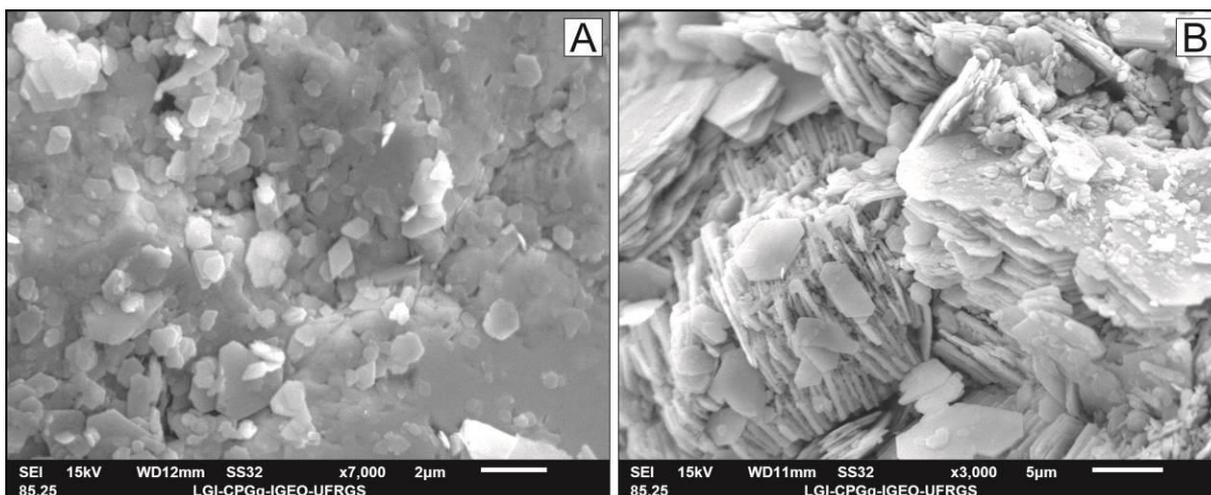


Figura 18 – Imagens de microscopia eletrônica de varredura. “A” composição essencialmente argilosa com predomínio de caulinita, em aumento de 7000 vezes. “B”, caulinita pseudo-hexagonal em agregados do tipo “booklet”, em aumento de 3000 vezes. (Dados da Pesquisa, 2015).

4.5. GEOMETRIA DOS DEPÓSITOS PROPOSTOS COMO ANÁLOGOS DE RESERVATÓRIO

Para a avaliação da geometria, continuidade lateral e vertical das fácies-reservatório foram gerados fotomosaicos dos perfis colunares PGAM1308 (Figura 19) e PGAM1305 (Figura 20).

Na porção mediana do perfil colunar PGAM1308 (Figura 19) identifica-se por “A” e “B” a fácies arenito conglomerático seixoso a granuloso com estratificação plano-paralela [Acg/Sx-Gr(lpp)] com mesma identificação, nos fotomosaicos 1 e 2. Pode-se observar que essa fácies apresenta geometria tabular e grande continuidade lateral, já que é possível acompanhar suas camadas representadas desde o fotomosaico 1 até sua projeção em 2. Essa fácies possui espessura de 3,5 m e está intercalada por uma delgada camada de arenito muito fino maciço. Na porção superior do mesmo perfil (Figura 19) identifica-se por “C” e “D” a fácies arenito grosso seixoso a granuloso com estratificação plano-paralela [Ag/Sx-Gr(lpp)] com mesma identificação no fotomosaico 3. Sua espessura é de 2,5 m e está intercalada por uma fina camada de arenito grosso maciço. Essas fácies também possuem geometria tabular e boa continuidade lateral. É possível observar, de maneira geral, que as fácies aqui detalhadas não apresentam superfícies incisivas ou truncamentos das mesmas.

Na porção inferior do perfil colunar PGAM1305-A (Figura 20) identifica-se por “E” a fácies arenito muito fino com laminação plano-paralela [Amf(lpp)], também apontada no fotomosaico 4. Pode-se observar que essa fácies apresenta geometria lençóide, com espessura de 3,5 m e intercalação com delgadas camadas de arenito médio. Acima dela, há uma camada tabular de arenito grosso com estratificação cruzada tangencial [Ag(t)], com 1,5 m de espessura, identificada por “F”. Essa fácies também está representada em detalhe no fotomosaico 5, onde é possível observar superfícies de menor ordem na camada, provavelmente reativação da estratificação cruzada acanalada, o que evidencia as suas heterogeneidades internas. A camada G identifica a fácies arenito conglomerático seixoso-granuloso com estratificação cruzada tangencial [Acg/Sx-Gr(t)] com boa continuidade lateral e geometria tabular.

A geometria das fácies aqui analisadas, como potenciais análogos de reservatório, é predominantemente tabular e lençóide. O estudo de geoformas, relação e contatos entre as camadas são importantes em estudos de heterogeneidades de rochas reservatório. As geoformas, aqui identificadas, são compatíveis com as geometrias geradas por fluxos de baixa densidade, onde ocorre o espalhamento do fluxo e o desconfinamento de canais (Zavala, *et al.* 2011).

FOTOMOSAICO - PERFIL: PGAM1308

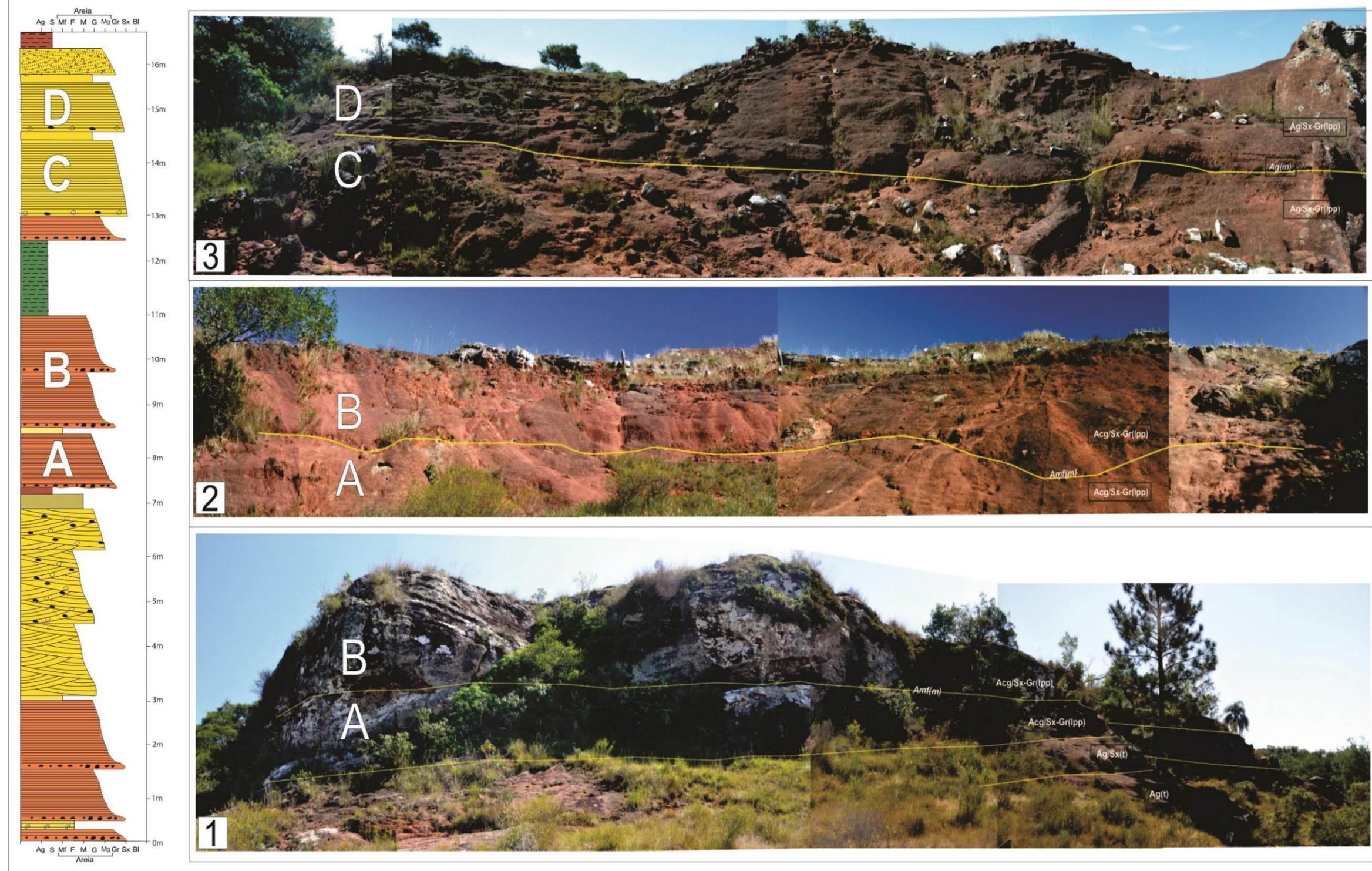
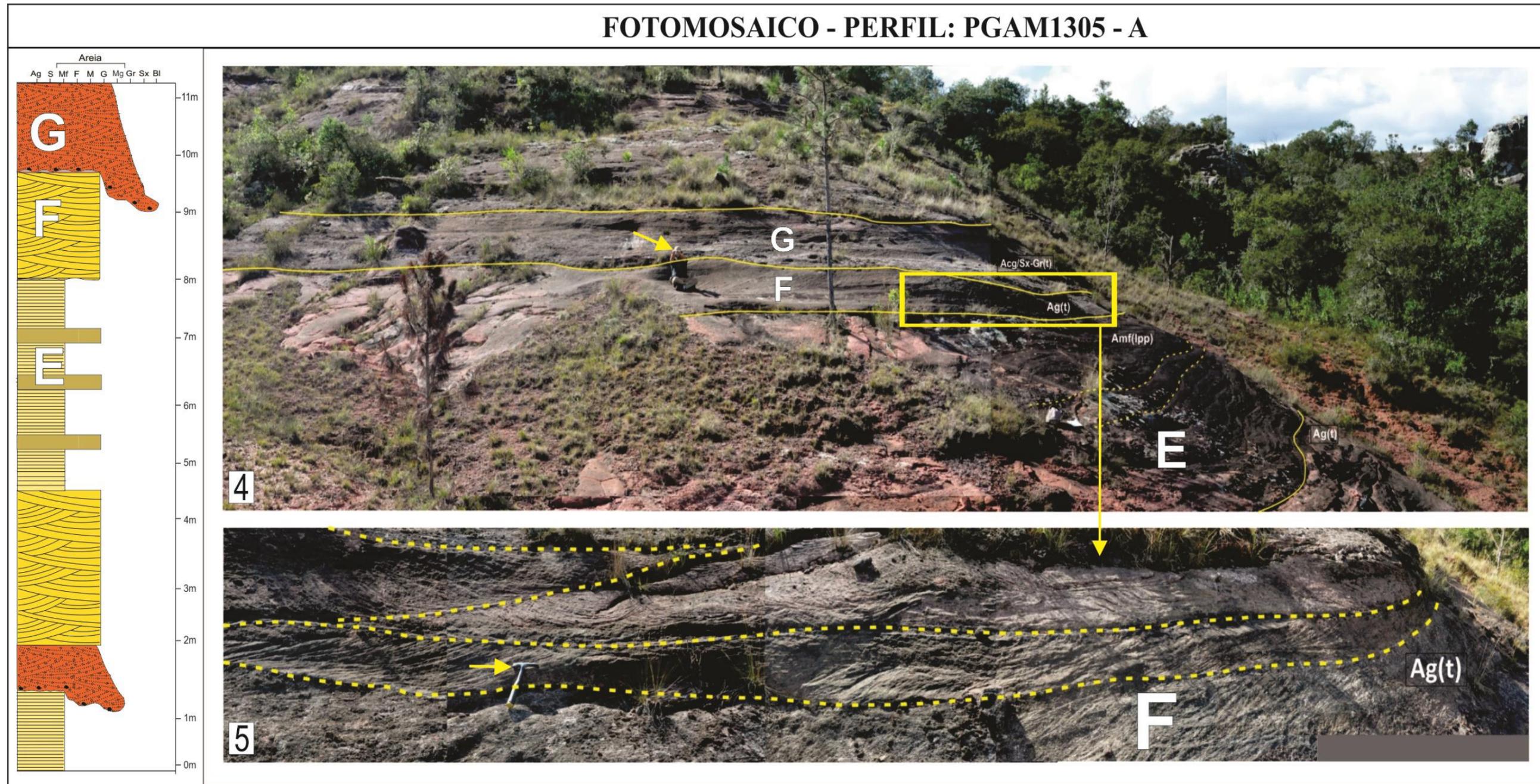


Figura 19 – Fotomosaicos 1, 2 e 3 correspondentes ao perfil colunar PGAM1308, nos quais foram marcadas as principais superfícies. Observar que não há truncamento de superfícies e nem incisão das mesmas.



4.6. CORRELAÇÃO E MODELO ANÁLOGO

A correlação dos perfis colunares do setor SW do GAM utilizou-se dos seguintes critérios:

- a) superfícies erosivas e conformidades relativas;
- b) superfícies de máxima inundação representadas por lamitos e correlatos.
- c) mudanças abruptas do tamanho de grão entre a fácies sotoposta e sobreposta.

A correlação das superfícies-chaves resultou na identificação de cinco ciclos deposicionais. Os ciclos deposicionais são caracterizados pela desaceleração do fluxo hiperpicnal de baixa densidade (Figura 21 e 22).

Zavalla *et al.* (2011) propuseram uma distribuição lateral de fácies, de acordo com o tempo, conforme está ilustrado no esquema da Figura 23. Nesse esquema, tais autores identificaram quatro associações típicas de fácies: A, B, C e D. A associação de fácies A registra a porção proximal, caracterizada por grande quantidade de superfícies erosivas e fácies conglomeráticas. Na associação de fácies B há intercalação de superfícies erosivas com fácies conglomeráticas e, eventualmente, a ocorrência de fácies finas. Essa associação representa a porção mediana proximal, enquanto que, na porção mediana distal, não ocorrem superfícies erosivas significativas e tampouco conglomerados. Ali se encontram arenitos finos e médios, eventualmente arenitos conglomeráticos e pelitos. Por fim, a porção distal, representada pela associação de fácies C e D, caracteriza-se por arenitos finos e pacotes mais espessos de pelitos e argilitos.

De acordo com este esquema de Zavala *et al.* (2011) de distribuição lateral de fácies, podemos afirmar que o perfil colunar PGAM1308 situa-se na porção mediana proximal (B). Nesse perfil, observa-se a superposição de fácies conglomeráticas, cuja base é marcada por superfícies erosivas e, próximo ao topo, um pacote de pelitos sucedidos mais uma vez por arenitos conglomeráticos.

Já o perfil colunar PGAM13005 representa a porção mediana a distal, sendo marcado por quatro ciclos deposicionais completos e um no topo incompleto. Esses ciclos deposicionais (CD) iniciam-se na base com fácies conglomeráticas que são sobrepostas por arenitos grossos e, por fim, arenitos finos e eventualmente, também, argilitos e lamitos.

Por meio desse modelo de distribuição de fácies de Zavala *et al.* (2011), pode-se inferir a extensionalidade de reservatórios compostos por essas fácies de arenitos conglomeráticos e arenito grossos a seixosos, com estratificações tangencial e plano-paralela, típicos da porção mediana proximal (B) e mediana distal (C) (ver Figura 23).

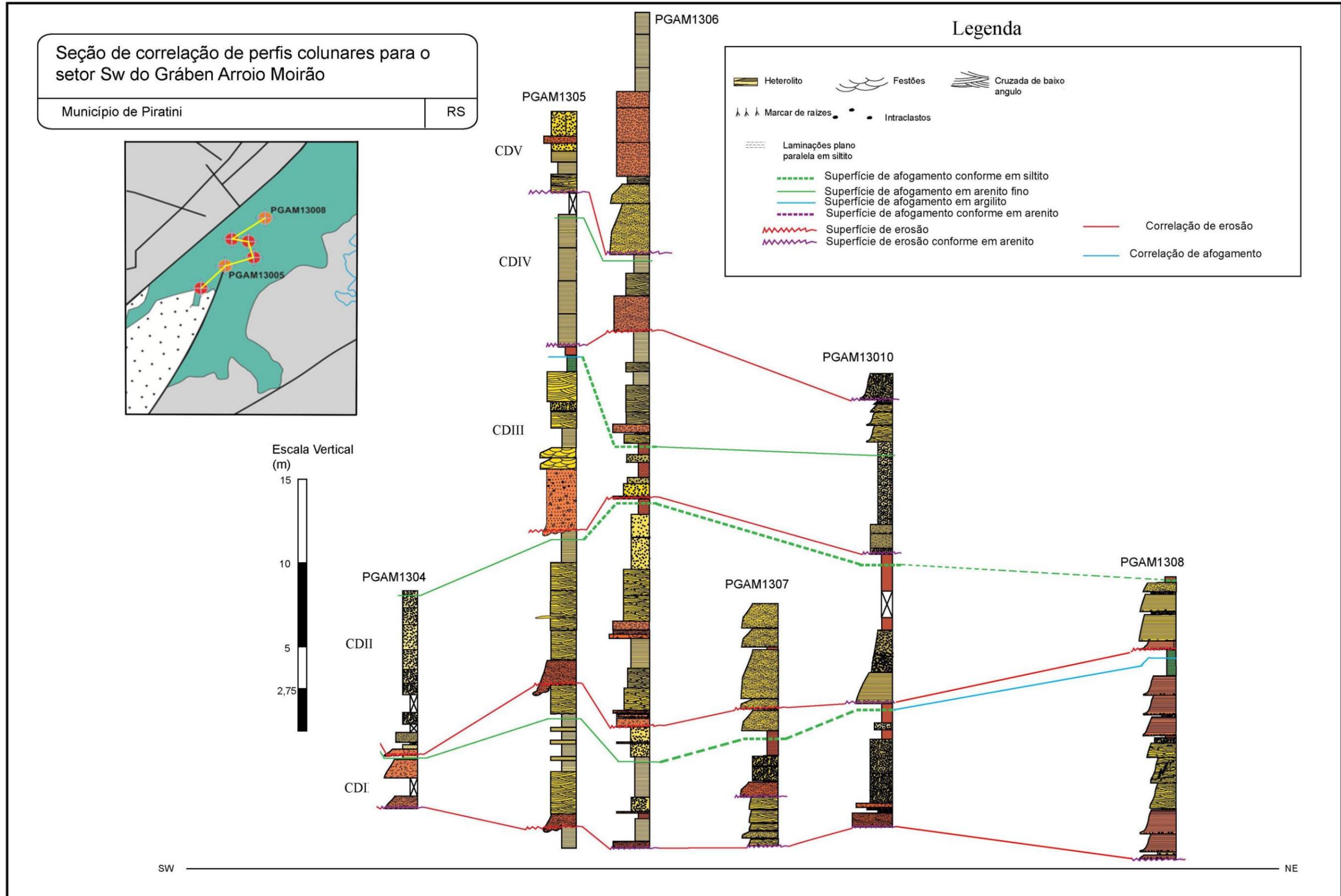


Figura 21 – Seção de correlação de perfis colunares do setor SW do GAM e ciclos deposicionais (CDI, CDII, CDIII, CDIV, CDV). (Dados da Pesquisa, 2015.)

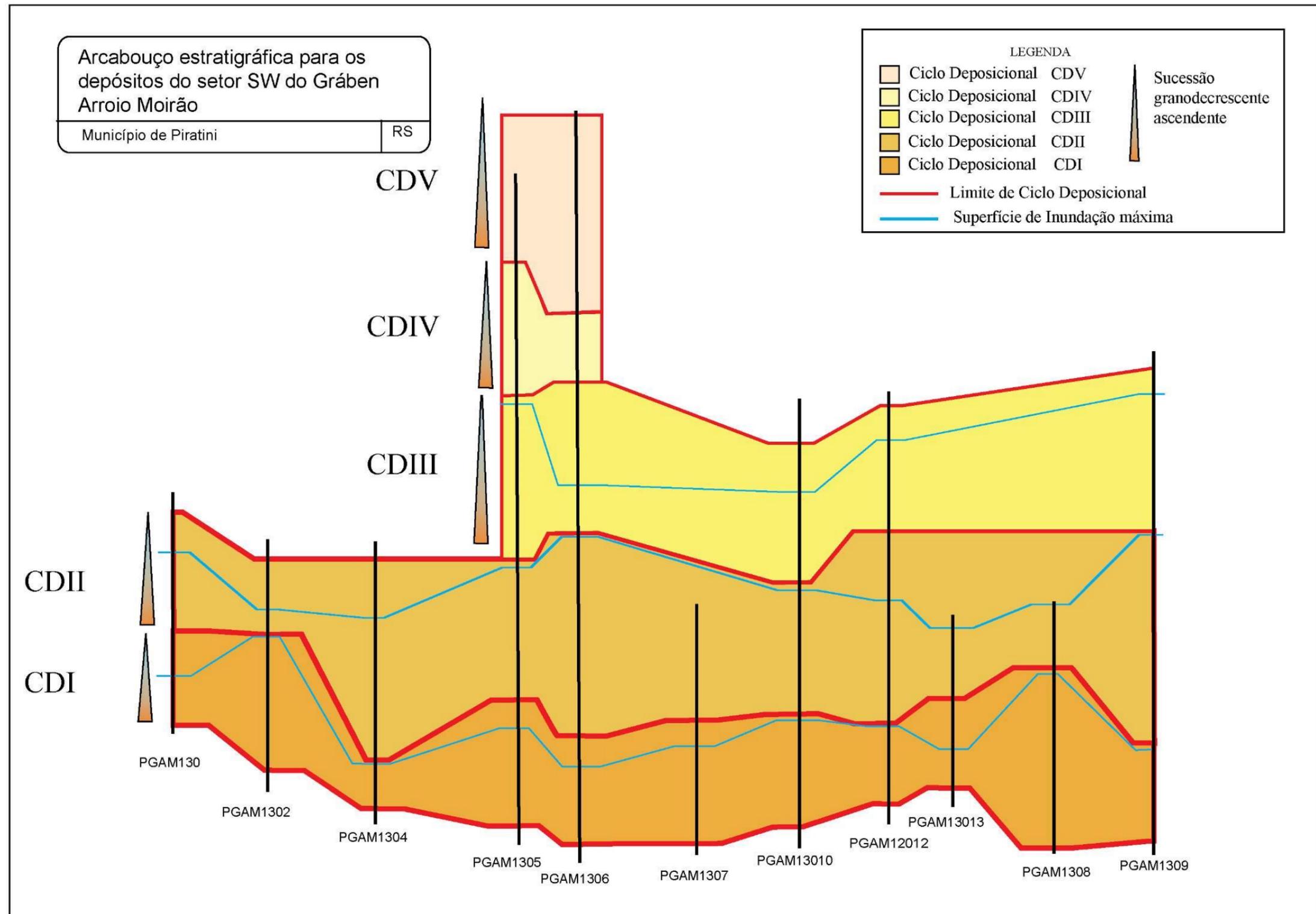


Figura 22 – Arcabouço estratigráfico de detalhe e ciclos deposicionais (CDI, CDII, CDIII, CDIV, CDV) (Fonte: Borsa, 2015).

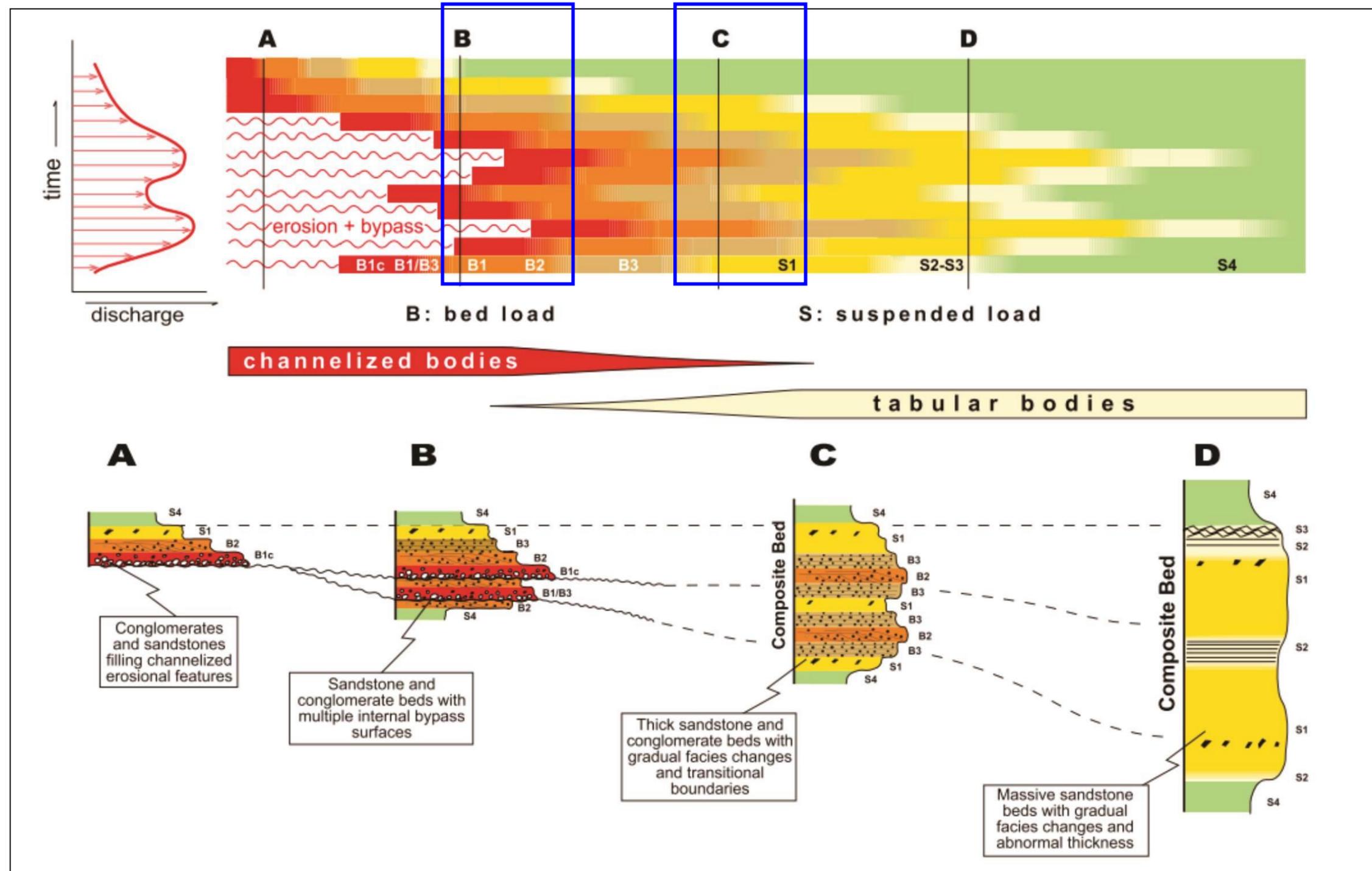


Figura 23 – Modelo da distribuição lateral e heterogeneidade de fácies. Os retângulos azuis identificam o posicionamento do perfil colunar PGAM1308 em B e o posicionamento do perfil colunar PGAM1305 em C. [Fonte: Zavala *et al.*, 2011, modificado por Rodrigues, 2015.]

5. CONCLUSÕES

A presente pesquisa teve como proposição a identificação e caracterização de corpos arenosos, em depósitos efêmeros, que se colocam como análogos potenciais para reservatórios de óleo e gás. Para tanto, utilizou-se de teorias de análise de heterogeneidade de fácies, estratigrafia de sequências, levantamento de perfis colunares, definições de sucessões e associações de fácies de modelos efêmeros, para caracterizar os depósitos efêmeros e assim, identificar onde se distribuem as fácies mais arenosas para o estudo de análogos de reservatórios.

Os principais resultados deste trabalho são:

- a. Mapeamento para o reconhecimento da área de estudo e identificação das porções arenosas no gráben, litologias alvo em estudos de reservatório.
- b. De acordo com a técnica de análise de fácies foram descritos 20 afloramentos e levantados sete perfis colunares;
- c. Levantamento de dois perfis colunares de detalhe PGAM13-005 e PGAM13-008, de onde foram identificadas e interpretadas 16 fácies e 7 sucessões de fácies;
- d. Caracterização de fácies em cinco lâminas petrográficas. Identificação de caulinita em análise de difração de raios X e, em imagens geradas por microscopia eletrônica de varredura. Nas imagens geradas foi possível observar caulinita pseudo-hexagonal, euédrica e sob a forma de agregados do tipo “booklet”.
- e. Foram gerados 5 fotomosaicos dos perfis colunares de detalhe, onde identificou-se geometrias predominantemente tabular e lençóide das camadas e boa continuidade lateral e vertical das fácies-reservatório.
- f. Foram identificados 5 ciclos deposicionais (CD), com espessura variando de 3,75 m a 12,0 m, limitados na base por superfícies-chave de erosão, caracterizando as heterogeneidades em depósitos efêmeros como análogo de reservatórios.

Tais depósitos possuem boa lateralidade evidenciada pela correlação dos perfis colunares e suportado pelo modelo de distribuição de fácies. Esses depósitos possuem grande extensionalidade, as correlações dos perfis totalizam uma extensão de aproximadamente 7 km.

Por meio do modelo de distribuição de fácies de Zavala *et al.* (2011), pode-se inferir a extensionalidade de reservatórios compostos por essas fácies de arenitos conglomeráticos e arenito grossos a seixosos, com estratificações tangencial e plano-paralela, típicos da porção mediana proximal (B) e mediana distal (C). Essas porções estão capeadas por fácies de textura fina, como ocorre na porção distal, representada pela associação de fácies C e D, caracteriza-se por arenitos finos e pacotes mais espessos de pelitos e argilitos. Chegando-se assim, a um modelo análogo de reservatório para os depósitos efêmeros da porção SW do Gráben Arroio Moirão.

Dessa forma, a presente pesquisa alcançou os seus objetivos, contudo algumas questões permanecem em aberto para análises futuras como por exemplo:

Análise da extensionalidade dos reservatórios para escalas regionais, bem como o estudo com melhor detalhamento de lâminas petrográficas e em número significativo para caracterizar as fácies-reservatório.

6. REFERÊNCIAS

- Barberena, M. C.; Araújo, D. C.; Lavina, E.L. (1985). *Late Permian and triassic tetrapods of southern Brazil*. National geographic research, 1 (1):5-20
- Bjorlykke, K. (2010). *Petroleum Geoscience: From Sedimentary Environments to Rock Physics*. Berlim, Springer-Verlag, 199p.
- Blair & McPherson, (1999), Blair TC, McPherson JG (1999) Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles. *Journal of sedimentary research* 69:6-19
- Borsa, G. N. O. (2015). *Novas Chaves de Correlação Para as Unidades Triássicas do Gráben Arroio Moirão: Caracterização de Sismitos e Aplicação na Estratigrafia*. Trabalho de conclusão de curso. IGEO/UFRGS. 90 p.
- Brown, G. & Brindley, G.W. (1980). X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. In: Brown, G. & Brindley, G.W. (Eds). *Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification*. Mineral Society of London, 5: 305-359.
- Byrnes, 1994. *Empirical methods of reservoir quality prediction*. In. Wilson, MD ed, (1994). Reservoir quality assessment and prediction in clastic rocks. SePM (short course 30) 9-21
- Catuneanu, O. (2006). Principles of Sequence Stratigraphy. New York, Elsevier, 386p.
- Coe, A.L. (2010). *Geological field techniques*. Milton Keynes, UK, Wiley-Blackwell, 323p.
- CPRM. (1999). *Mapa Geológico da Folha de Pedro Osório*, Folha SH.22-Y-C. Responsáveis técnicos Ramgrab, G.E. & Wildner, W. Brasília, CPRM, escala 1:250.000.
- CPRM. (2000). *Mapa Geológico da Folha de Cachoeira do Sul*, Folha SH.22-Y-A. Responsáveis técnicos Porcher, C.A. & Lopes, R.C. Brasília, CPRM, escala 1:250.000.
- CPRM. (2005). *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul*, Organizado por Wilder, W., Ramgrab, G.E., Lopes, R.C. & Iglesias, C.M.F. Porto Alegre, CPRM, escala 1:750.000. 1 CD-Rom.
- Dalrymple, R.W. (2010). Interpreting Sedimentary Successions: facies, facies analysis and facies models. In: James, N.P. & Dalrymple, R.W. 2010. *Facies Models 4*. Labrador (CA), Geological Association of Canada, p.3-18
- Della Fávera, J.C. (2001). *Fundamentos da Estratigrafia Moderna*. Rio de Janeiro, UERJ, 263p.
- 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.
- James, N.P. & Dalrymple, R.W. (Eds.). (2010). *Facies Models 4*. Labrador (CA), Geological Association of Canada, 586p.
- Ketzer, J.M.M. (1997). *Cronoestratigrafia das Unidades Gonduânicas Preservadas sobre o Escudo Sul-Rio-Grandense (Formação Caneleiras)*. Porto Alegre, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 215 p.
- Klein, C. & Dutrow, B. (2012). *Manual de Ciência dos Minerais*. (Traduzido por Menegat, R. et al.). 23ed. Porto Alegre, Bookman, 706 p.
- 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, L. G. (2014). *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,.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.

Miall, A.D. (1999). *Principles of sedimentary basin analysis*. 3ed. New York, Spring-Verlag, 616 p.

Milani, E.J.& Ramos, V.A. (1998). Orogenias Paleozoicas no Domínio Sul-Occidental do Gondwana e os Ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 28(4): 473-484.

Milani, E.J., Melo, J.H.G.; Souza, P.A., Fernandes, L.A. & França, A.B. (2007). Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2): 265-287.

MIZUSAKI, A.M.P. (1986). *Rochas igneo-básicas do Neocomiano da Bacia de Campos. Caracterização e comportamento como reservatório de hidrocarbonetos*. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Inst. Geof. UFRJ. 104p

North, C. P.; & Taylor, K. S. (1996). Ephemeral- fluvial deposits: integrated outcrop and simulation studies reveal complexity. *AAPG Bulletin*, V. 80, N°6, Junho 1996. p. 811-830.

Paim, P.S.G., Faccini, U.F. & Netto, R.G. (2003). *Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares (Estudo de Casos)*. São Leopoldo, Ponto-e-Vírgula, 239p.

Pettijohn, (1987); PETTIJOHN, F.J.; POTTER, P.E. & SIEVER, R. 1987. Sand and Sandstone. Springer-Verlag, New York. 553p.

Potter, P.E. & Pettijohn, F.J. (1977). *Paleocurrents and basin analysis*. 2ed. New York, Springer-Verlag, 296p.

Rodrigues, Y. C. (2015). Caracterização De Arenitos De Depósitos Efêmeros De Unidades Triássicas Na Região Do Gráben Arroio Moirão, Rs: Potenciais Análogos De Reservatórios. Trabalho temático em Geologia. IGEO/UFRGS. 80 p.

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.

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.

Silva, S.D. (1999). *Biostratigraphy of the Permian–Triassic boundary in southern Brazil. Ameghiniana*, 36 (4): 10.

Slatt, R.M. (2006). Stratigraphic reservoir characterization for petroleum geologists, geophysicists, and engineers. Handbook of petroleum exploration and production. New York, Elsevier, 478p.

Stow, D.A.V. (2005). *Sedimentary rocks in the field: a color guide*. New York, Academic Press, 352p.

Terry, R. & Chilingar, G. (1955). Summary of concerning some additional aids in studying sedimentary formations by M. S. Shvetsov. *Journal of Sedimentary Petrology*, (25)3:229-234.

Tucker, M.E. (2001). *Sedimentary Petrology*. 3ed. Oxford (UK), Blackwell, 262 p.

Tucker, M.E. (2014). *Rochas Sedimentares; guia geológico de campo*. (Traduzido por Menegat, R.). 4ed. Porto Alegre, Bookman, 294p.

UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. (2012). *Mapeamento geológico de rochas sedimentares das folhas Arroio Barracão e Arroio da Bica*, 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 Arroio Barracão e Santana da Boa Vista*, Escala 1:50.000. Relatório preliminar. Porto Alegre, Instituto de Geociências.

Uliana, M.A.& Biddle, K. (1988). Mesozoic-Cenozoic Paleogeographic and Geodynamic Evolution of Southern South America. *Revista Brasileira de Geociências*, 18: 172-190.

Urban, C. (2014). *Sistemas Depositionais Efêmeros em Bacias Extensionais*. Porto Alegre, 60p. Monografia de Qualificação de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Walker, R.G. (1992). *Facies models 2*. 2ed. St. John, Canada, Geological Association of Canada, 317 p.

Zavala, C., Arcuri, M., Meglio, M. Di, Gamero Diaz, H., Contreras, C. (2011). A genetic facies tract for the analysis of sustained hyperpycnal flow deposits. In: Slatt, R. M. & Zavala, C. (eds.). 2011. *Sediment transfer from shelf to deep water - Revisiting the delivery system: AAPG Studies in Geology 61*, p. 31–51.

Zerfass, H. (2003). *História tectônica e sedimentar do Triássico da Bacia do Paraná (Rio Grande do Sul, Brasil) e comparação geológica com as bacias de Ischigualasto e de Cuyo (Argentina)*. Porto Alegre. 191 p. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Zerfass, H., Lavina, E.L.C., Schultz, C.L., Garcia, A.J.V., Faccini, U.F. & Chemale Jr, F. (2003). Sequence Stratigraphy of continental Triassic Strata of Southernmost Brazil: A Contribution to Southwestern Gondwana Paleogeography and Paleoclimate. *Sedimentary Geology*, 161: 85-105.

Zerfass, H., Chemale Jr, F., Schultz, C.L. & Lavina, E. (2004). Tectonics and Sedimentation in Southern South America During Triassic. *Sedimentary Geology*, 166: 265-292.

7. ANEXO – PERFIS COLUNARES: PGAM1305 e PGAM1308

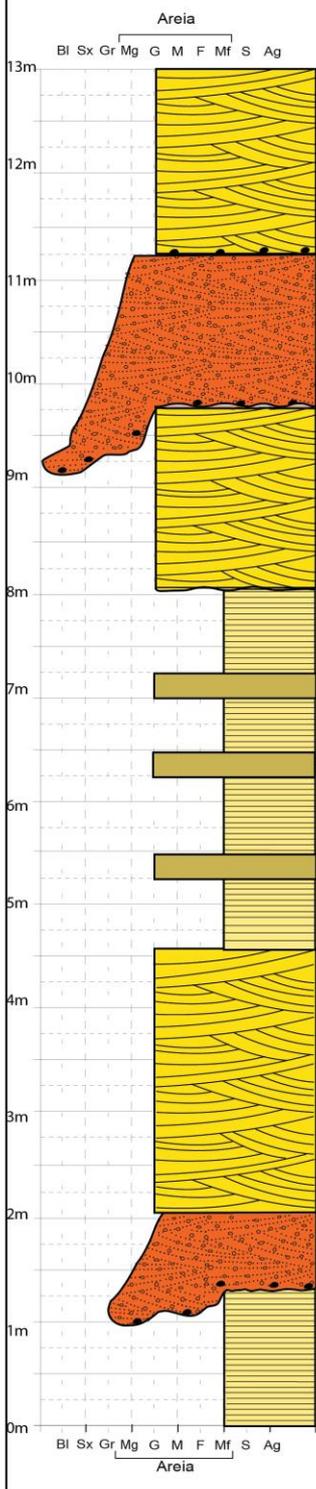
Perfil Colunar: PGAM1305A

Localização: Fazenda dos Rosa

UTM: 0286970 E / 6556756 N

Data: 12/04/15

Escala: 1:50



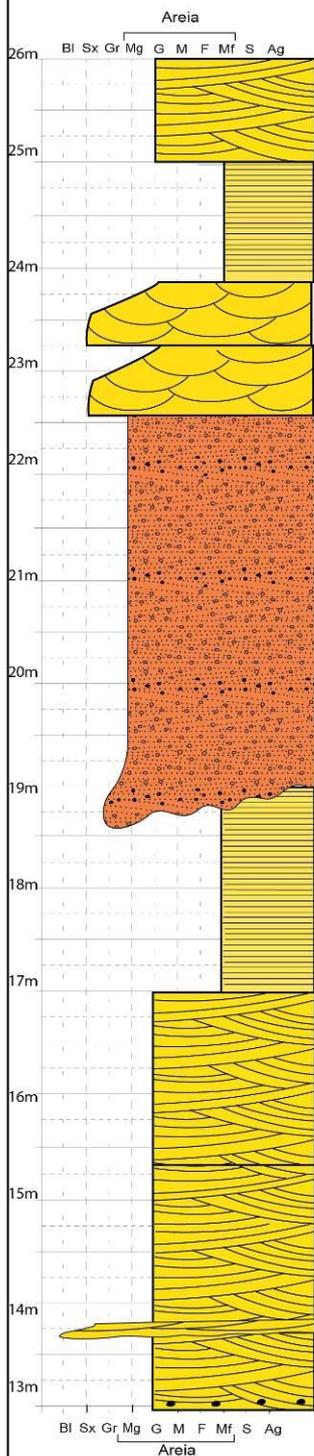
Obs.	Fácies	Fotos	Descrição
	Ag(t)		Arenito grosso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial com gradação normal intraestratal, seixos quartzosos esparsos de até 3 cm, pavimento basal de intraclastos argilosos de até 10 cm.
	Acg/Sx-Gr(t)		Arenito conglomerático, seixoso a granuloso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial com gradação normal intraestratal, com intraclastos argilosos na base de até 47 cm e clastos angulosos de quartzo de até 3 cm.
	Ag(t)		Arenito grosso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial com gradação normal intraestratal, intercalado com quatro camadas de 2 cm de arenito fino, com mica.
	Amf(lpp)		Arenito muito fino, avermelhado, quartzo-feldspático, com laminação plano-paralela, e mica com níveis de areia média.
	Ag(t)		Arenito grosso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial com gradação normal intraestratal. Com grãos angulosos e alguns clastos esparsos de até 4 cm de quartzo, mal selecionado.
	Acg/Sx-Gr(t)		Arenito conglomerático, seixoso a granuloso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial com gradação normal intraestratal, com intraclastos argilosos na base de até 20 cm.
	Amf(lpp)		Arenito muito fino, avermelhado, quartzo-feldspático, com laminação plano-paralela e níveis de siltito. Localmente, cataclásado.

Perfil Colunar: PGAM1305B

Localização: Fazenda dos Rosa
UTM: 0286970 E / 6556756

Data: 12/04/15

Escala: 1:50



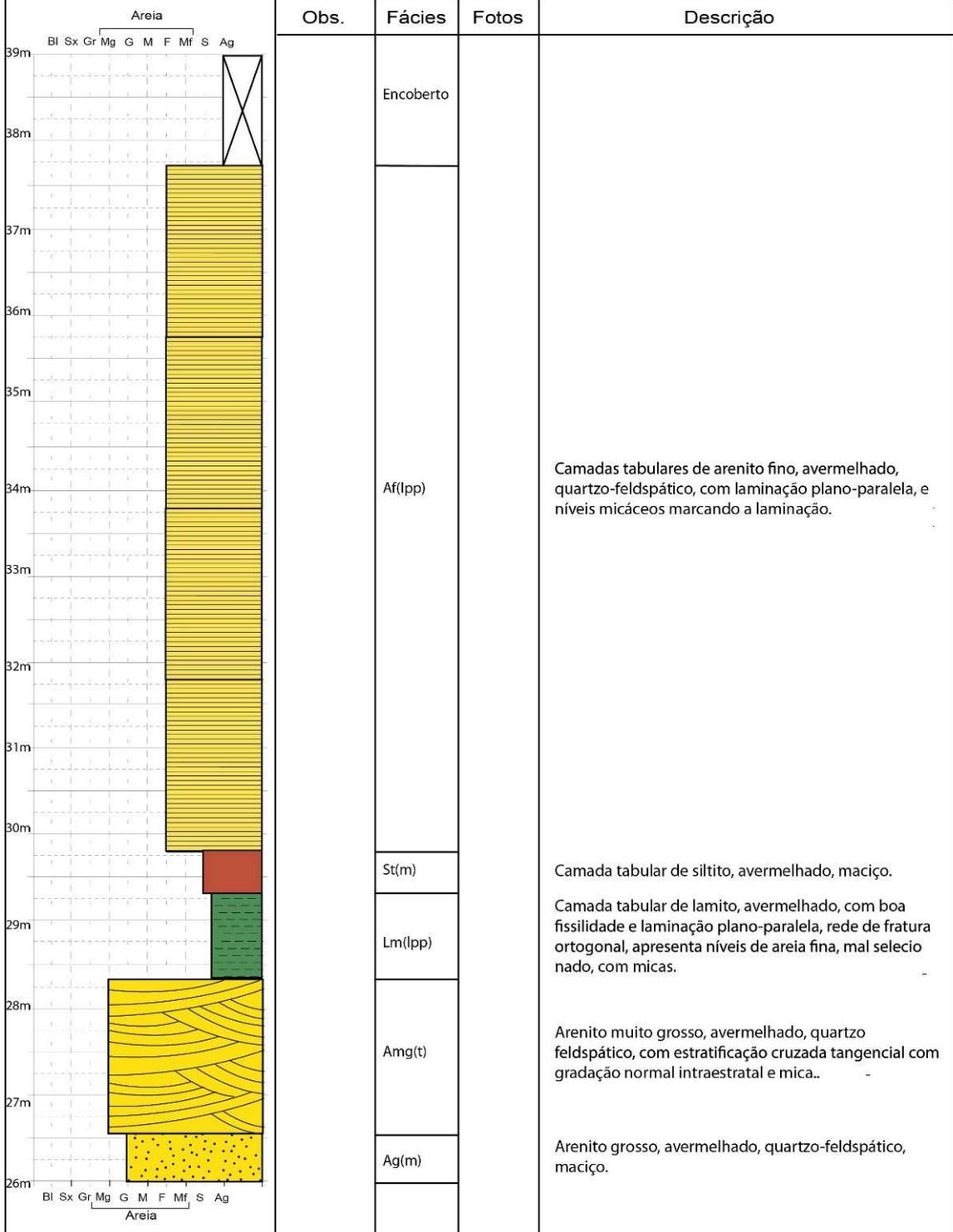
Obs.	Fácies	Fotos	Descrição
	Ag(t)		Arenito grosso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial.
	Amf(lpp)		Arenito muito fino, avermelhado, quartzo-feldspático, com laminação plano-paralela, e mica.
	Ag/Sx(f)		Arenito grosso, avermelhado, com estratificação cruzada tangencial (festionado), seixoso a granuloso, quartzo-feldspático, com gradação normal intraestratal.
	Ag/Sx - Gr(f)		Arenito grosso avermelhado, com estratificação cruzada tangencial (festionado) de pequeno porte, seixoso-gruloso, com gradação normal intraestratal, quartzo-feldspático 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 gradação 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: PGAM1305C

Localização: Fazenda dos Rosa
UTM: 0286970 E / 6556756 N

Data: 12/04/15

Escala: 1:50

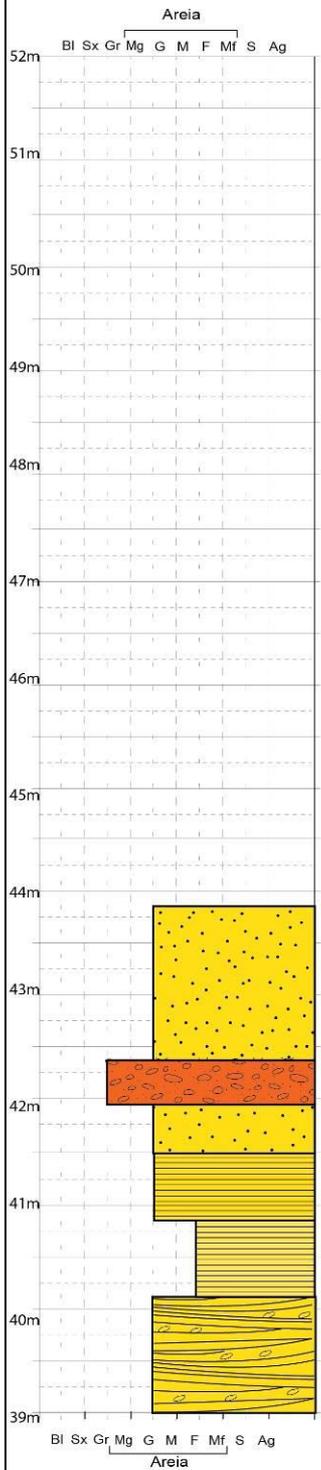


Perfil Colunar: PGAM1305D

Localização: Fazenda dos Rosa
 UTM: 0286970 E / 6556756 N

Data: 15/04/15

Escala: 1:50



Obs.	Fácies	Fotos	Descrição
	Ag(m)		Arenito grosso, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço, muito silicificado.
	Cg/Gr(m)		Conglomerado matriz suportado, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço, com grânulos esparsos.
	Ag(m)		Arenito grosso, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço, muito silicificado.
	Ag(lpp)		Arenito grosso, avermelhado, quartzo-feldspático, com laminação plano-paralela.
	Af(lpp)		Arenito fino, avermelhado, quartzo-feldspático, com laminação plano-paralela, e mica.
	Ag/Sx Gr(bxa)		Arenito grosso a granuloso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada de baixo ângulo, com grânulos e seixos esparsos.

Perfil Colunar: PGAM1308A

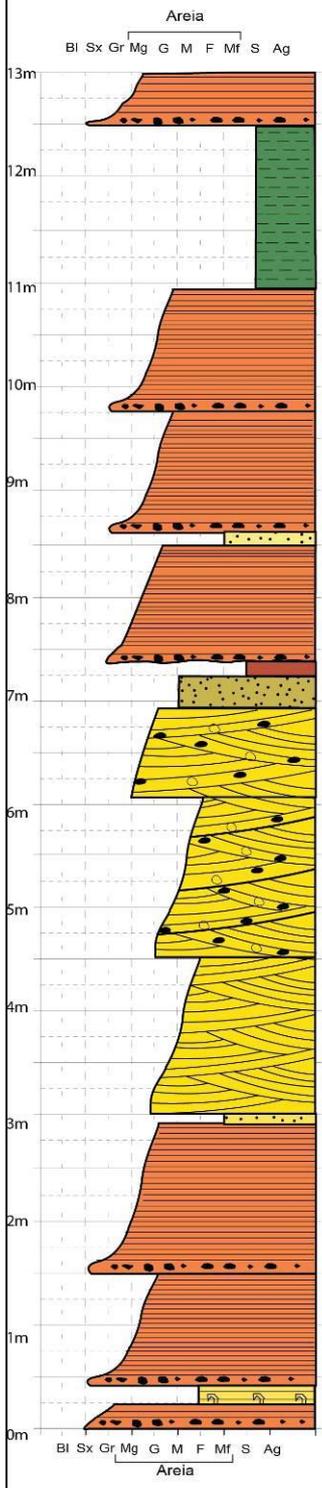
Cota: 137m

Data: 13/04/15

Localização: Na fazenda Santa Rita em Pinheiro Machado -RS.

Escala: 1:50

UTM: 0288796 E/ 6559599 N



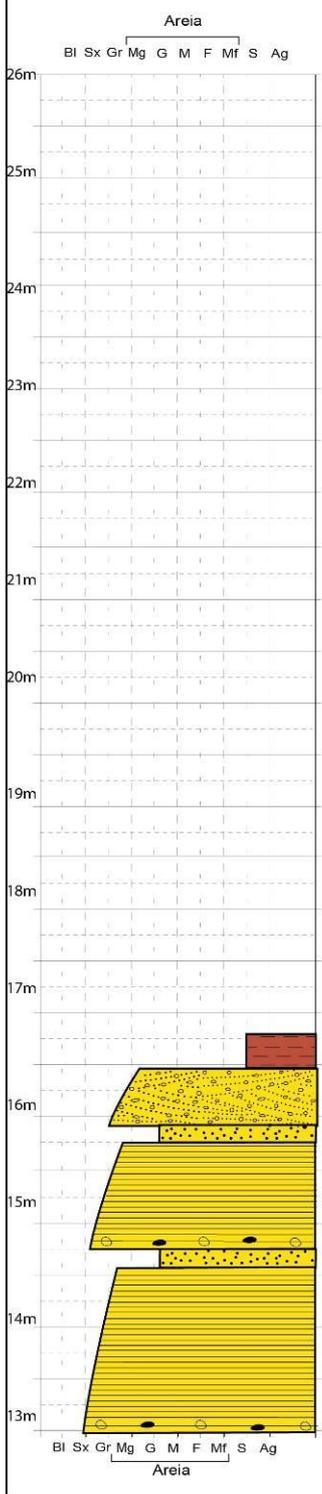
Obs.	Fácies	Fotos	Descrição
	Acg/Sx-Gr(lpp)		Arenito conglomerático avermelhado, seixoso a granuloso com estratificação plano-paralela, quartzo-feldspático, imaturo e gradação normal intraestratal, pavimento basal de seixos de quartzo e feldspato. Com biotita.
	Lm(lpp)		Lamito, avermelhado, com boa fissilidade e laminação, rede de fratura ortogonal. Dique clástico passa para fratura nessa camada, não se preserva.
	Acg/Sx-Gr(lpp)		Arenito conglomerático avermelhado, seixoso a granuloso, com estratificação plano-paralela, quartzo-feldspático, imaturo e gradação normal intraestratal, pavimento basal de seixos de quartzo e intraclastos argilosos de até 6 cm.
	Amf(m)		Arenito muito fino, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço.
	Acg/Sx-Gr(lpp)		Arenito conglomerático avermelhado, seixoso a granuloso com estratificação plano-paralela, quartzo-feldspático imaturo e gradação normal intraestratal pavimento de quartzo, feldspato $\Phi_{\text{máx}}=2,5$ cm e intraclastos argilosos.
	St(m)		Siltito, avermelhado, maciço.
	Am(m)		Arenito médio, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço.
	Ag/Sx(t)		Arenito grosso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial e gradação normal intraestratal. Com seixos e intraclastos argilosos de até 8 cm na base dos sets e "mud draps".
	Ag(t)		Arenito grosso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial e gradação normal intraestratal.
	Af(m)		Arenito fino, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço.
	Acg/Sx-Gr(lpp)		Arenito conglomerático avermelhado, seixoso a granuloso com estratificação plano-paralela, quartzo-feldspático, imaturo e gradação normal intraestratal, pavimento basal de seixos de quartzo, feldspato e intraclastos argilosos com $\Phi_{\text{máx}}= 54$ cm.
	Amf(lpp)		Arenito fino, com laminação plano-paralela e estrutura de carga.
	Acg/Sx-Gr(lpp)		Arenito conglomerático avermelhado, seixoso a granuloso com estratificação plano-paralela, quartzo-feldspático, imaturo e gradação normal intraestratal, pavimento basal de seixos de quartzo, feldspato e intraclastos argiloso.

Perfil Colunar: PGAM1308B

Localização: Na fazenda Santa Rita em Pinheiro Machado -RS.
 UTM: 0288796 / 6559599

Data: 13/04/15

Escala: 1:50



Obs.	Fácies	Fotos	Descrição
	St(l)		Camada tabular de siltito, avermelhado, laminado, silicificado, com níveis de cerca de 3 cm de arenito grosso na base, mal selecionado, com grãos de areia média dispersos.
	Ag/Sx(t)		Sets de arenito grosso a seixoso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação cruzada tangencial e pavimento basal seixoso. Com climbing ripples
	Ag(m)		Camada tabular de arenito grosso, avermelhado, quartzo-feldspático, maciço.
	Ag/Sx-Gr(lpp)		Camada tabular de arenito grosso a seixoso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação plano paralela e estrato crescência. Com pavimento basal de intraclastos argilosos ($\Phi_{\text{máx}}=14$ cm) e seixos de quartzo e feldspato.
	Ag(m)		Camada tabular de arenito grosso, avermelhado, maciço.
	Ag/Sx-Gr(lpp)		Camada tabular de arenito grosso a seixoso, avermelhado, quartzo-feldspático, com estratificação plano paralela e estrato crescência, com biotita.

GEO-03015 - PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

Título da Monografia:	Caracterização de arenitos de depósitos e fêmicos GAm.	
Autor:	Yolanda Caliman Rodrigues potenciais análogos de reservatório	
Orientador(es):	Ana Mizusaki / Rivaldo Menegat rios	
Nota Final (1 até 10):	8,0	
Examinador:	ANDRÉ W. BORBA	Data: 30/11/2015 4/12/2015

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

Comentários: Trabalho muito bem estruturado, consistente, com referencial teórico adequado ao nível de graduação. A análise de elementos arquitetônicos poderia ter avançado mais, incluindo estruturas internas e paleocorrentes.

A.W.B.

GEO-03015 - PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

Título da Monografia:	Caracterização de Arenitas de Depósitos Eólicos de Unidades Triássicas	
Autor:	Yolanda Laliman Rodrigues	
Orientador(es):	Prof. Dr.ª Ana Maria Tizusaki Prof. Dr. Rinaldo Menegat	
Nota Final (1 até 10):	7,6	
Examinador:	Dr. Anderson José Morschim	Data: 04/12/2015

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

Comentários: O estudo abordado na Monografia contribuiu significativamente para o avanço na compreensão da estratigrafia de uma região que, conforme outros trabalhos de estratigrafia, tectônica e paleontologia aconteçam, tem seu arcabouço estratigráfico (e também Cronostratigráfico) definido. Particularmente, esse estudo enfocou a qualidade de certas rochas como análogos de reservatórios, estudos incomuns nas bacias brasileiras.

A Monografia está bem redigida, porém, alguns erros de pontuação persistiram; erros de ortografia são menos frequentes. Entretanto, sugiro uma leitura mais atenciosa.

Finalizando, ressalto que as descrições petrográficas das lâminas estão coerentes, porém, não há uma interpretação diagnóstica, principalmente em se tratando de avaliação de rocha-reservatório e conforme consta na página 14 ("definir o grau de diagenese").

Assim, de acordo com a proposta de estudo e objetivos atingidos, parabensizo a autora e seus orientadores pela qualidade e importância do estudo.

Dr. Anderson J. Morschim

GEO-03015 - PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

Título da Monografia: Caracterização de arenitos de depósitos efêmeros de unidades triássicas na região do Gráben Arroio Moirão, RS: potenciais análogos de reservatórios	
Autor: Yolanda Caliman Rodrigues	
Orientador(es): Profs. Ana Maria Misuzaki e Rualdo Menegat	
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 (X). Não (). Em parte ().
2. O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia? Sim (). Não (). Em parte (X)
3. As ilustrações são úteis e adequadas? Sim (X). Não (). Em parte ()
4. O manuscrito apresenta estrutura organizada? Sim (X). Não (). Em parte ()
5. A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia? Sim (X). Não (). Em parte ()
6. Os materiais e métodos são descritos adequadamente? Sim (X) Não (). Em parte ()
7. Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente? Sim (). Não (). Em parte (X)
8. As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos? Sim (). Não (). Em parte (X)
9. As referências são convenientes e usadas adequadamente? Sim (X) Não (). Em parte ()
10. O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)? Sim (X). Não (). Em parte ().

Comentários:

Trabalho bem organizado e estruturado. Algumas observações: i) não ficou claro o que do trabalho apresentado foi feito pela autora, pois vários perfis e dados são comuns aos trabalhos de Lima (2014) e Borse (2015), do mesmo grupo de pesquisa; ii) na metodologia precisa análise quantitativa dos termítes mas fez apenas análise qualitativa, pl estimativa visual, o que prejudica a interpretação de qualidade de reservatório; iii) nas fotomicrografias ficou claro que muito de "argila" e na verdade pseudonatiz; iv) na interpretação de DRX colocou a migração de fós como um problema (devido à presença de caulinita), mas isso ocorre só se há mais de 50% deste constituinte, o que não foi demonstrado.

Parabéns!

Karin Goldberg