



RICARDO MAAHS

**ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DA FORMAÇÃO RIO BONITO (EOPERMIANO DA
BACIA DO PARANÁ), NA REGIÃO DE SÃO GABRIEL-RS, COM ENFOQUE NA
CARACTERIZAÇÃO DE ANÁLOGOS PARA RESERVATÓRIO DE
HIDROCARBONETOS**

Porto Alegre
2017

RICARDO MAAHS

ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DA FORMAÇÃO RIO BONITO (EOPERMIANO DA BACIA DO PARANÁ), NA REGIÃO DE SÃO GABRIEL-RS, COM ENFOQUE NA CARACTERIZAÇÃO DE ANÁLOGOS PARA RESERVATÓRIO DE HIDROCARBONETOS

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.

Orientador: Prof. Dr. Juliano Kuchle
Supervisora: Dra. Renata dos Santos Alvarenga

Porto Alegre
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitor: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Maahs, Ricardo

Análise estratigráfica da Formação Rio Bonito (Eopermiano da Bacia do Paraná), na Região de São Gabriel-RS, com enfoque na caracterização de análogos para reservatório de hidrocarbonetos. / Ricardo Maahs. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2017.

[159 f.] + Apêndices. ils.

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2017.

Orientadora: Juliano Küchle

1. Estratigrafia de Sequências. 2. Grupo Guatá. 3. Reservatórios costeiros. 4. Modelagem tridimensional. I. Título.

CDU 551.7

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun

CRB 10/1113

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso, **ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DA FORMAÇÃO RIO BONITO (EOPERMIANO DA BACIA DO PARANÁ), NA REGIÃO DE SÃO GABRIEL-RS, COM ENFOQUE NA CARACTERIZAÇÃO DE ANÁLOGOS PARA RESERVATÓRIO DE HIDROCARBONETOS**, elaborado por RICARDO MAAHS e apresentado na forma de monografia, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Profa. Dra. Tais Freitas da Silva

Prof. Dr. Paulo Alves de Souza

Prof. Dr. Cesar Leandro Schultz

Dedico este trabalho aos meus pais, Laurindo
Bento e Carmem Maria.

Agradecimentos

Agradeço, em especial, aos meus pais, Laurindo Bento e Carmem Maria, e aos meus irmãos Adriane e Djonath. Vocês são os grandes responsáveis por essa conquista, pois, embora longe, sempre me deram muito apoio e confiança. Obrigado por acreditarem em mim.

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade de estudar em uma instituição gratuita e de qualidade.

Agradeço também a Universidade Federal de Santa Catarina, na qual completei o meu primeiro ano de geologia, pelas oportunidades de estudo e aprendizado.

Agradeço ao PRH-12 – ANP por patrocinar a minha monografia e me ajudar economicamente com a bolsa.

Agradeço à CPRM por disponibilizar os perfis descritivos dos testemunhos, bem como autorizar a descrição dos mesmos.

Agradeço ao meu orientador Juliano pelos ensinamentos acadêmicos, profissionais e pessoais, e por me proporcionar a oportunidade de terminar o curso de geologia com trabalho tão gratificante.

Agradeço também à minha supervisora Renata por ter me ensinado diversas coisas nos *softwares* e por contribuir com dicas ou sanando as minhas dúvidas, ajudando assim a melhorar o meu trabalho.

Agradeço a minha eterna orientadora Karin por ter acreditado em mim mesmo quando eu era um simples novato no curso. Você é um exemplo de carinho, dedicação, determinação, transparência e organização. Obrigado por ser uma verdadeira mãe!

Agradeço ao Robertinho, ao Marivaldo e a Aninha por também me orientarem ao longo dessa caminhada.

Agradeço ao Marcos e aos demais sócios da Maahs Areia e Brita pela disponibilidade das amostras que auxiliaram nas minhas pesquisas paralelas.

Agradeço ao IPR-PUCRS e, em especial, a professora thais e ao Anderson, pela oportunidade de estágio.

Agradeço aos grandes amigos Jonas e Ericks pelo companheirismo. Vocês me ajudaram muito nessa caminhada e sempre terão a minha gratidão.

Agradeço aos amigos Rossi, Luciana, Beretta, Natália, Kathê, Redivo, Frenzel, Siegbert, Raquel, Aurélio, Generoso, Ian, Miro, Edi, Diego, Bruno, Lenon, Janieli, Ana, Jhonata, Wolski, Mandana, Carioca, Alex, Felipe, Nei, Fabi, Anderson e Adriano.

Agradeço ao Luan pela ajuda com a modelagem.

Agradeço a todos os professores da geologia da UFRGS por me ensinarem a geologia de maneira tão incrível.

Agradeço aos professores, Viero e Márcia, e ao Edison e ao Diego, da secretaria, pela ajuda nos diversos problemas administrativos.

Agradeço a todo o pessoal da Estratigrafia, e, em especial, ao Carlinhos e ao Rodrigo pela competência e dedicação em sempre estarem dispostos a resolver os mais variados problemas.

Agradeço a todos os colegas com quem convivi nesses anos.

Muito obrigado!

*“Uma coisa é o pregador e outra o que prega.
(...) Ter o nome de pregador, ou ser pregador,
não importa nada; as ações, a vida, o exemplo
as obras, são as que convertem o Mundo.”*

Pe. Antônio Vieira (1608-1697)

“Nada é impossível para aquele que persiste”

Alexandre, “O Grande” (356-323 a.C.)

Resumo

O presente relatório visa realizar um estudo de análogo de reservatório costeiro na Formação Rio Bonito, porção nordeste da região de São Gabriel, RS. O estudo tem como objetivo o desenvolvimento de metodologia para aplicação em reservatórios similares em exploração, e está baseado na análise estratigráfica do intervalo de interesse, na área de estudo. Os dados foram obtidos a partir de testemunhos de sondagem, estocados pela CPRM. A metodologia consistiu em três etapas, pré-campo, campo e pós-campo. Na etapa pré-campo foi definida a área de estudo com cerca de 252 km² bem como escolhidos os poços a serem descritos (SG-02, SG-03, SG-04, SG-05, SG-08 e SG-17) e os que seriam utilizados apenas com a curva dos raios-gama (SG-01, SG-07, SG-13 e SG-14). Na etapa de campo foram descritos 418 m de testemunhos em escala 1:50 e identificadas 24 fácies. Na etapa pós-campo, para elaborar o arcabouço faciológico, todas as fácies foram organizadas em uma tabela com código, descrição, interpretação e fotos, e agrupadas em nove associações de fácies e três sistemas deposicionais: (i) sistema alúvio-fluvial, que é composto pelos subsistemas aluvião, canal fluvial, planície fluvial, (ii) sistema de estuário dominado por maré que inclui os subsistemas estuário central e barras de maré, (iii) sistema de plataforma dominada por onda, que agrupa os subsistemas *foreshore*, *shoreface* superior/médio/inferior e *offshore*. O modelo deposicional proposto inclui todos os sistemas deposicionais e evidencia o sentido *dip* do intervalo de estudo para NE. A partir do arcabouço faciológico, foram realizadas seções de correlação para a elaboração do arcabouço estratigráfico no qual foram definidos os oito padrões de empilhamento (progradação 1, retrogradação 1, pro-retrogradação-2, progradação 3, retrogradação 3, pro-retrogradação 4, pro-retrogradação 5 e pro-retrogradação 6), nove superfícies limítrofes (DS, SRM-1, SIM-1, SIM-2, SRM-3, SIM-3, SIM-4, SIM-5 e SIM-6) seis sequências genéticas (SG-1, SG-2, SG-3, SG-4, SG-5 e SG-6). Foram produzidos nove mapas de isópacas para a observação da espessura do intervalo completo e de cada padrão de empilhamento. A modelagem tridimensional foi realizada com o auxílio do *software* Petrel, em escala de compartimentação dos padrões de empilhamento, através das superfícies limítrofes, e internamente é definida pela distribuição das associações de fácies. Com a visualização do modelo 3D, os eventos de progradação e transgressão foram evidenciados e uma falha, de direção SW-NE, foi inferida na porção SW da área de estudo. Na análise de reservatórios, foram identificados e descritos quatro reservatórios principais (barra de maré, *shoreface* superior, *foreshore*, barreira).

Palavras-chave: Grupo Guatá. Estratigrafia de Sequências. Reservatórios costeiros. Modelagem tridimensional.

Abstract

This report aimed the analysis of coastal analogous reservoirs in the Rio Bonito Formation, northeast portion of the region of São Gabriel, RS. The objective of this study is the development of a methodology to be applied in similar reservoirs in exploration phase, based on the stratigraphic analysis. The data were obtained from core samples, stored by CPRM. The methodology consisted of three stages, pre-field trip, field trip and post-field trip. In the pre-field trip stage, the study area was defined as 252 km² and the wells to be described (SG-02, SG-03, SG-04, SG-05, SG-08 and SG-17) and those that would only be used with the gamma ray curve (SG-01, SG-07, SG-13 and SG-14). In the field trip stage, 418 m of core samples were described on 1:50 scale and 24 facies were identified. In the post-field field stage, all facies were organized in a table with code, description, interpretation and photos, and grouped into nine facies associations and three depositional systems: (i) alluvial-fluvial system, which is composed of alluvial fan, fluvial channel and floodplain; (ii) tidal dominated estuary system including central estuary and tidal bars subsystems; (iii) wave dominated platform system, which comprises the foreshore, upper/medium/lower shoreface and offshore subsystems. The proposed depositional model includes all depositional systems and evidences the strata dip direction to NE. With faciological framework data, correlation sections were developed to elaborate the stratigraphic framework in which the eight stacking patterns based units were defined (progradation 1, retrogradation 1, pro-retrogradation-2, progradation 3, retrogradation 3, pro-retrogradation 4, pro-retrogradation 5, pro-retrogradation 6), nine sequence stratigraphic surfaces (DS, SRM-1, SIM-1, SIM-2, SRM-3, SIM-3, SIM-4, SIM-5 and SIM-6) and six genetic stratigraphic sequences (SG-1, SG-2, SG-3, SG-4, SG-5 and SG-6). In addition, nine isopach maps were produced to assist in the observation of the thicknesses of the whole interval and of each stacking pattern defined. Three-dimensional modeling was executed using the Petrel software, on stacking pattern compartmentalization scale, by sequence stratigraphic surfaces, and internally it is defined by the distribution of facies associations. With a view of the 3D model, the regression and transgression events were evidenced and a fault, of SW-NE direction, was inferred in the SW portion of the study area. In the analysis of reservoirs, four main reservoirs (tide bars, upper shoreface, foreshore, barrier) were identified and described.

Keywords: Guatá Group. Sequence stratigraphy. Coastal reservoir. Three-dimensional modeling.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Mapa geológico de localização da área de estudo (modificado de WILDNER et al. 2008). É possível visualizar a área de estudo com indicação (retângulo vermelho de 252 km²) com o posicionamento dos testemunhos de sondagem utilizados neste trabalho. Os poços em verde (SG-02, SG-03, SG-04, SG-08 e SG-17) foram descritos, os em vermelho (SG-01, SG-05, SG-07, SG-13 e SG-14) foram utilizados para a correlação estratigráfica com o uso das curvas de raios gama e os perfis litológicos, e em azul os testemunhos de sondagem (SG-06 e SG-09) não utilizados..... 20
- Figura 2: Mapa de localização da Bacia do Paraná no Brasil. 24
- Figura 3: Mapa da disposição espacial das supersequências da Bacia do Paraná (MILANI, 1997), e tabela cronoestratigráfica simplificada da Bacia do Paraná com as posições das Supersequências (MILANI, 1997), com destaque (retângulo vermelho pontilhado) para a Supersequência Gondwana I que contém a Formação Rio Bonito, unidade de estudo. 25
- Figura 4: Mapa da disposição espacial das três supersequências da Bacia do Paraná (MILANI, 1997) que ocorrem no Rio Grande do Sul. Em destaque (retângulo vermelho) a indicação da área de estudo sobre a Supersequência Gondwana I, na borda oeste do embasamento cristalino sul-riograndense..... 26
- Figura 5: Sedimentação da Bacia do Paraná na passagem do Carbonífero (Grupo Itararé) para o Permiano (Grupos Guatá). Em função de ser um alto estrutural, o Rio Grande do Sul registrou apenas a fase final de deposição do Grupo Itararé..... 27
- Figura 6: Carta cronoestratigráfica da sucessão Carbonífero Superior-Permiano na borda leste da Bacia do Paraná (modificado de HOLZ et al. 2010). Destaque para o intervalo correspondente da Formação Rio Bonito com idades entre o Sakmariiano e Artinskiano. 28
- Figura 7: Mapa da Bacia do Paraná com os principais lineamentos, direcionados preferencialmente nas direções NE-SW e NW-SE e, secundariamente, E-W. 31
- Figura 8: Correlação regional (Rio Grande do Sul/Santa Catarina) mostrando a distribuição dos depósitos de idades carboníferas e eopermianas sobre os vários blocos tectônicos que compõem o embasamento da região. Cada bloco possui o seu deslocamento característico (subsidência/soerguimento), acarretando uma sedimentação da área diretamente controlada pela tectônica. 32
- Figura 9: Esquema que mostra a relação do nível eustático, nível relativo do mar (NRM) e profundidade da lâmina da água. 34
- Figura 10: Esquema de representação do espaço de acomodação..... 36
- Figura 11: Esquema que mostra os deslocamentos da linha de costa, transgressões e regressões, originando os padrões de empilhamento retrogradacional (fácies distais sobre as proximais) e progradaional (fácies proximais sobre as distais), respectivamente. 38
- Figura 12: Posicionamento dos principais eventos deposicionais na curva de mudança do nível de base durante um ciclo completo, correlacionados com as superfícies que delimitam

esses eventos.....	40
Figura 13: Esquema com as especificidades das etapas da metodologia proposta para o trabalho e os <i>softwares</i> utilizados.....	44
Figura 14: Janela de visualização do <i>software Microsoft Excel</i> com o banco de dados em formato de tabela, com as informações dos 17 testemunhos de sondagem da região de São Gabriel, RS.....	46
Figura 15: Janela de visualização do <i>software ArcMap</i> , com os 17 poços da região de São Gabriel georreferenciados. Na imagem é possível observar a de estudo selecionada na porção NE, escolhida pela maior densidade de poços.....	47
Figura 16: Banco de dados dos testemunhos da região de São Gabriel-RS. Destaque para os poços SG-02, SG-03, SG-04, SG-08 e SG-17, selecionados para a descrição, e os poços SG-01, SG-05, SG-07, SG-13 e SG-14 selecionados para a análise e correlação a partir das curvas de raios gama e dos perfis litológicos.....	48
Figura 17: Exemplo de folha padronizada utilizada para descrição de testemunho de sondagem. Descrição do testemunho SG-02 no intervalo 118,7 - 131,5 m.....	49
Figura 18: Exemplos da sistemática de aquisição de fotos, com as fotos do testemunho SG-02 no intervalo 108,35 – 116,1 m, e detalhe da fácies Hr na profundidade 115,4 m.....	51
Figura 19: Janela de visualização do <i>software Adobe Illustrator</i> usado para digitalização. Na imagem do poço SG-02 no intervalo 118,5 – 131,5 m com as espessuras das camadas ajustadas, cores padronizadas, etc.....	52
Figura 20: Tabela de fácies com código, nomenclatura, estruturas sedimentares e interpretação.....	53
Figura 21: Método da destilação de Walker (1984). Esta metodologia indica que para a construção de um modelo deposicional de uma determinada area, é necessário analisar as semelhanças e as diferenças com modelos já consagrados na literatura. Desta maneira, com as evidências particulares da área, e, com a orientação dos modelos consagrados, é possível estabelecer um modelo específico para a area específica.....	54
Figura 22: (1) perfis com associações de fácies hipotéticas, dispostos lado a lado. (2) Delimitação das superfícies limítrofes a partir das associações de fácies. (3) Correlação, em seção <i>dip</i> , das associações de fácies geneticamente relacionadas utilizando a estratigrafia de sequências (superfícies limítrofes).....	56
Figura 23: Janela de visualização do <i>software Autodesk</i> , utilizado para digitalização da curva de raios-gama do poço SG-04, no intervalo 17,0 – 24,0 m.....	58
Figura 24: Janela de visualização da ferramenta <i>Layering</i> do <i>software Petrel</i> , utilizada para a criação dos intervalos correspondentes aos padrões de empilhamento delimitados pelas superfícies limítrofes modeladas.....	60
Figura 25: Desenho esquemático mostrando a tendência de aumento de caulinita da base para o topo de uma parassequência, o que causa um obliteramento dos poros e contribuindo para a	

geração de barreiras de fluxo internas, compartimentando assim o reservatório.....	63
Figura 26: Tipos de geometrias externas comumente utilizadas na sismoestratigrafia e adaptada para a descrição das geometrias dos corpos reservatórios vistos no modelo tridimensional elaborado.....	64
Figura 27: Foto do testemunho SG-02 na profundidade de 131, 25 a 123,6 m com a delimitação das associações de fácies interpretadas, Leque aluvial entre 130,4 e 127,4 m, Planície de inundação entre 127,4 e 126,5m e Canal fluvial entre 126,5 e 125,5m.	79
Figura 28: Foto do testemunho SG-04 na profundidade de 87,75 a 73,2 m com a delimitação das associações de fácies interpretadas, sendo elas estuário central entre 80,5 e 79,0 m e entre 77,5 e 76,0 m, e barra de maré entre 79,0 e 77,5 m.	82
Figura 29: Processo de geração de estruturas produzidas durante um ciclo de maré. A - Migração de dunas com a formação de arenitos com estratificação cruzada, em regime de fluxo inferior unidirecional dominante; B – Formação do primeiro drape de lama associado a decantação de lama, em regime de ausência de energia, sobre as estruturas formadas em A; C – Migração de <i>ripples</i> sobre as estruturas formadas em B, em regime de fluxo inferior unidirecional subordinado, no sentido oposto ao A; D - Formação do segundo drape de lama associado a decantação de lama, em regime de ausência de energia, sobre as estruturas formadas em C.....	84
Figura 30: Vista em corte de uma plataforma dominada por onda, com as porções de águas rasas e profundas.....	86
Figura 31: Foto do testemunho SG-17 na profundidade de 319,7 a 288,3 m com a delimitação das associações de fácies interpretadas, sendo elas Shoreface inferior entre 317,1 e 313,7 m, Shoreface médio entre 313,7 e 304,8 m e Shoreface superior entre 304,8 e 298,8 m.	87
Figura 32: Feições internas associadas a fácies Heterolito com <i>wavy ripples</i>	90
Figura 33: Bloco diagrama do modelo deposicional proposto (sentido <i>dip</i> para NE), com os sistemas deposicionais e associações de fácies componentes.....	92
Figura 34: Arcabouço estratigráfico proposta para a área de estudo.....	94
Figura 35: Mapa de isópacas do intervalo completo estudado, limitado na base pela DS, e no topo pela SIM-6. É possível observar que as espessuras variam de aproximadamente 140 nas porções central e S, a 80 m nas regiões NW, E e SW.....	95
Figura 36: Mapa das seções de correlação estabelecidas de acordo com o alinhamento dos poços em <i>dip</i> (SW-NE) ou <i>strike</i> (SE-NW).	96
Figura 37: Seção de correlação <i>Strike 1</i> , com os poços SG-17, SG-02, SG-03 e SG-04. Nesta correlação é possível a visualização geral do arcabouço estratigráfico estabelecido com o posicionamento das sequências genéticas, superfícies limítrofes e padrões de empilhamento interpretados e correlacionados ao longo dos poços.....	97
Figura 38: Seção de correlação <i>Strike 2</i> , com os poços SG-13, SG-05 e SG-08. Nesta correlação é possível a visualização geral do arcabouço estratigráfico estabelecido com o	

posicionamento das sequências genéticas, superfícies limítrofes e padrões de empilhamento interpretados e correlacionados ao longo dos poços.....	98
Figura 39: Seção de correlação <i>Dip</i> 1, com os poços SG-01, SG-08, SG-14 e SG-03. Nesta correlação é possível a visualização geral do arcabouço estratigráfico estabelecido com o posicionamento das sequências genéticas, superfícies limítrofes e padrões de empilhamento interpretados e correlacionados ao longo dos poços.....	99
Figura 40: Seção de correlação <i>Dip</i> 2, com os poços SG-07, SG-13 e SG-02. Nesta correlação é possível a visualização geral do arcabouço estratigráfico estabelecido com o posicionamento das sequências genéticas, superfícies limítrofes e padrões de empilhamento interpretados e correlacionados ao longo dos poços.	100
Figura 41: Mapa de isópacas do intervalo correspondente a progradação 1, limitado na base pela DS e no topo pela SRM-1. É possível observar que as espessuras variam de 9 na porção S-SW, a 0 m na região NW.	102
Figura 42: Mapa de isópacas do intervalo correspondente a retrogradação 1, limitado na base pela SRM-1 e no topo pela SIM-1. É possível observar que as espessuras variam de 80 na porção central e S, a 0 m, nas regiões NW, E e SW.	103
Figura 43: Mapa de isópacas do intervalo correspondente a pro-retrogradação 2, limitado na base pela SIM-1 e no topo pela SRM-2. É possível observar que as espessuras variam de 52 na porção W, a 0 m na região E.....	104
Figura 44: Mapa de isópacas do intervalo correspondente a progradação 3, limitado na base pela SIM-2 e no topo pela SRM-3. É possível observar que as espessuras variam de 35 na porção NW, N, NE e E, a 5 m nas regiões SW.	105
Figura 45: Mapa de isópacas do intervalo correspondente a retrogradação 3, limitado na base pela SRM-3 e no topo pela SIM-3. É possível observar que as espessuras variam de 30 na região NE e E, a 5 m na porção SW.	106
Figura 46: Mapa de isópacas do intervalo correspondente a pro-retrogradação 4, limitado na base pela SIM-3 e no topo pela SIM-4. É possível observar que as espessuras variam de 20 na porção E, a 1 m na região S.....	108
Figura 47: Mapa de isópacas do intervalo correspondente a pro-retrogradação 5, limitado na base pela SIM-4 e no topo pela SIM-5. É possível observar que as espessuras variam de 14 na porção W e SW, a 2 m na região NE.	109
Figura 48: Mapa de isópacas do intervalo correspondente a pro-retrogradação 6, limitado na base pela SIM-5 e no topo pela SIM-6. É possível observar que as espessuras variam de 18 na porção SW, a 2 m na região NE.	111
Figura 49: A - Poços georreferenciados; B – Segmentos traçados nos alinhamentos dos poços para a triangulação e obtenção da malha de modelagem.	112
Figura 50: Janela de visualização 3D do <i>software</i> Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional geral de associações de fácies.	114

- Figura 51: Gráfico de porcentagem de distribuição das 36,9 mil células componentes do modelo tridimensional geral das associações de fácies. 115
- Figura 52: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional geral das associações de fácies, com filtros de visualização nas direções N-S e E-W. 116
- Figura 53: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional geral com vistas laterais norte, sul, leste e oeste. 117
- Figura 54: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional das associações de fácies da Sequência Genética 1 – Progradação 1, com a visualização do modelo compartimentado em 5 camadas isoladas (A, B, C, D e E) e completo (camadas A a E), que representam fatiamentos internos ao modelo. 119
- Figura 55: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional das associações de fácies da Sequência Genética 1 – Retrogradação 1, com a visualização do modelo compartimentado em 5 camadas isoladas (A, B, C, D e E) e completo (camadas A a E) , que representam fatiamentos internos ao modelo. 120
- Figura 56: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional das associações de fácies da Sequência Genética 2 – Pro-retrogradação 2, com a visualização do modelo compartimentado em 5 camadas isoladas (A, B, C, D e E) e completo (camadas A a E) , que representam fatiamentos internos ao modelo. 122
- Figura 57: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional das associações de fácies da Sequência Genética 3 – Progradação 3, com a visualização do modelo compartimentado em 5 camadas isoladas (A, B, C, D e E) e completo (camadas A a E) , que representam fatiamentos internos ao modelo. 123
- Figura 58: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional das associações de fácies da Sequência Genética 3 – Retrogradação 3, com a visualização do modelo compartimentado em 5 camadas isoladas (A, B, C, D e E) e completo (camadas A a E) , que representam fatiamentos internos ao modelo 125
- Figura 59: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional das associações de fácies da Sequência Genética 4 – Pro-retrogradação 4, com a visualização do modelo compartimentado em 5 camadas isoladas (A, B, C, D e E) e completo (camadas A a E) , que representam fatiamentos internos ao modelo. 127
- Figura 60: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional das associações de fácies da Sequência Genética 5 – Pro-retrogradação 5, com a visualização do modelo compartimentado em 5 camadas isoladas (A, B, C, D e E) e completo (camadas A a E) , que representam fatiamentos internos ao modelo. 129
- Figura 61: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional das associações de fácies da Sequência Genética 6 – Pro-retrogradação 6, com a visualização do modelo compartimentado em 5 camadas isoladas (A, B, C, D e E) e completo (camadas A a E) , que representam fatiamentos internos ao modelo. 130
- Figura 62: Janela de visualização 3D do *software* Petrel com as 8 superfícies limítrofes

modeladas.....	132
Figura 63: Grade da area de estudo com a indicação do traço da falha inferida na direção SW-NE.....	133
Figura 64: Janela de visualização 3D do <i>software</i> Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional geral de associações de fácies, com a indicação do plano de falha inferido de direção SW-NE.....	134
Figura 65: Foto do testemunho SG-02 na profundidade de 78,75 a 61,3 m com a delimitação do reservatório de barra de maré entre 130,4 e 127,4 m.....	136
Figura 66: Janela de visualização 3D do <i>software</i> Petrel mostrando a modelagem tridimensional dos depósitos de barra de mare, apontados como corpos reservatórios. Além da vista geral, é possível observar a disposição, geometria e conexões dos corpos nas vistas laterias (norte, sul, leste e oeste) e interna.....	137
Figura 67: Foto do testemunho SG-04 na profundidade de 77,75 a 73,2 m com a delimitação do reservatório de <i>shoreface</i> superior entre 130,4 e 127,4 m.....	139
Figura 68: Janela de visualização 3D do <i>software</i> Petrel mostrando a modelagem tridimensional dos depósitos de <i>shoreface</i> superior, apontados como corpos reservatórios. Além da vista geral, é possível observar a disposição, geometria e conexões dos corpos nas vistas laterias (norte, sul, leste e oeste) e interna.....	140
Figura 69: Foto do testemunho SG-08 na profundidade de 80,8 a 76,92 m com a delimitação do reservatório de <i>foreshore</i> entre 81,0 e 78,8 m.....	142
Figura 70: Janela de visualização 3D do <i>software</i> Petrel mostrando a modelagem tridimensional dos depósitos de <i>foreshore</i> , apontados como corpos reservatórios. Além da vista geral, é possível observar a disposição, geometria e conexões dos corpos nas vistas laterias (norte, sul, leste e oeste) e interna.....	143
Figura 71: Foto do testemunho SG-03 na profundidade de 145,35 a 140,7 m com a delimitação do reservatório de barreira entre 143,4 e 142,9 m.....	145
Figura 72: Janela de visualização 3D do <i>software</i> Petrel mostrando a modelagem tridimensional dos depósitos de barreira, apontados como corpos reservatórios. Além da vista geral, é possível observar a disposição, geometria e conexões dos corpos nas vistas laterias (norte, sul, leste e oeste) e interna.....	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela de fácies com código, descrição, interpretação e foto.....	66
Tabela 2: Tabela de sistemas deposicionais, associações de fácies e fácies componentes identificadas.....	78
Tabela 3: Resultado da análise estatística dos comprimentos dos segmentos de correlação dos poços.	112
Tabela 4: Tabela dos raios de busca das associações de fácies.	113

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
1.1. Localização.....	19
1.2. Problema, premissas e hipótese.....	20
1.3. Justificativa.....	22
1.4. Objetivos.....	22
2. ESTADO DA ARTE.....	23
2.1. Bacia do Paraná.....	23
2.1.1. Grupo Guatá.....	26
2.1.1.1. Formação Rio Bonito.....	28
2.1.1.2. Formação Palermo.....	30
2.2. Contextualização Teórica.....	32
2.2.1. <i>Fácies Sedimentares e Sistemas Depositionais</i>	32
2.2.2. <i>Estratigrafia de Sequências</i>	33
2.2.2.1. <i>Conceitos Básicos</i>	34
2.2.2.2. <i>Superfícies Limítrofes</i>	39
2.2.2.3. <i>Sequências Estratigráficas</i>	42
3. METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO.....	44
3.1. Etapa Pré-campo.....	45
3.1.1. <i>Revisão Bibliográfica</i>	45
3.1.2. <i>Elaboração de Banco de Dados</i>	45
3.1.3. <i>Seleção da Área de Estudos e Furos de Sondagem</i>	46
3.2. Etapa de Campo.....	49
3.2.1. <i>Levantamento de Perfis Colunares</i>	49
3.2.2. <i>Aquisição de Fotos dos Testemunhos e das Fácies</i>	50
3.3. Etapa Pós-campo.....	51
3.3.1. <i>Padronização e Ajustes dos Perfis Colunares</i>	51
3.3.2. <i>Arcabouço Faciológico</i>	52
3.3.3. <i>Arcabouço Estratigráfico</i>	55
3.3.4. <i>Mapas de Isópacas</i>	57
3.3.5. <i>Modelagem Tridimensional</i>	57
3.3.5.1. <i>Carregamento de Dados</i>	57
3.3.5.2. <i>Definição da área de Modelagem</i>	59
3.3.5.3. <i>Definição da Malha de modelagem</i>	59
3.3.5.4. <i>Definição da Propriedade de Modelagem</i>	60
3.3.5.5. <i>Realização da Modelagem</i>	61

3.3.6. <i>Análise de Reservatórios</i>	62
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1. Arcabouço Faciológico	65
4.1.1. <i>Fácies</i>	65
4.1.2. <i>Associações de fácies e Sistemas Depositionais</i>	77
4.1.2.1. <i>Sistema Depositional Alúvio-fluvial</i>	78
4.1.2.2. <i>Sistema Depositional Estuário Dominado por Maré</i>	81
4.1.2.3. <i>Sistema Depositional Plataforma Dominada por Onda</i>	86
4.1.3. <i>Modelo Depositional</i>	91
4.2. Arcabouço Estratigráfico e Mapas de Isópacas	93
4.2.1. <i>Sequência Genética 1</i>	101
4.2.2. <i>Sequência Genética 2</i>	103
4.2.3. <i>Sequência Genética 3</i>	104
4.2.4. <i>Sequência Genética 4</i>	107
4.2.5. <i>Sequência Genética 5</i>	108
4.2.6. <i>Sequência Genética 6</i>	110
4.3. Modelagem Tridimensional	111
4.3.6. <i>Modelo Tridimensional</i>	113
4.4. Análise de Reservatórios	135
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	147
6. REFERÊNCIAS	149
7. APÊNDICES	156

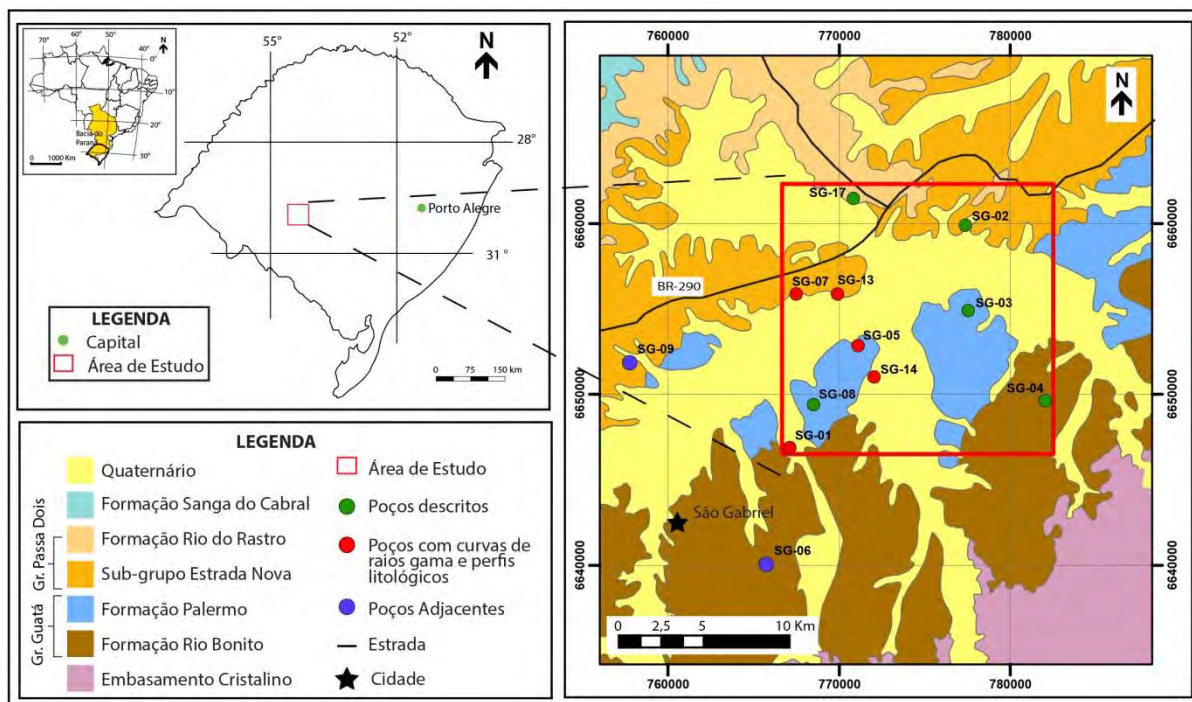
1. INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda de hidrocarbonetos, o entendimento e a descoberta de novos reservatórios tem se tornado um dos grandes interesses das universidades e instituições de pesquisa, bem como das companhias de óleo e gás. A modelagem tridimensional é uma das técnicas mais importantes para a avaliação de um sistema petrolífero, pois com um bom modelo 3D é possível uma avaliação quantitativa de parâmetros como volume, geometria, conexões e rotas de fluídos, que geralmente são avaliadas do ponto de vista qualitativo.

1.1. Localização

A área de estudo deste trabalho possui cerca de 252 km² (15,95 x 15,8 km) e está localizada a NE de São Gabriel-RS (Figura 1), em um polígono quadrangular de coordenadas UTM X de 767333,3 a 778000 e Y de 6652667 a 6658222, situado na chamada Campanha Central do Rio Grande do Sul. Nesta região há um total de 17 testemunhos de sondagem disponíveis para estudos na Litoteca de Caçapava do Sul, gerenciada pela CPRM. Mediante a autorização da CPRM, foram utilizados 10 testemunhos, localizados na porção NE, para a realização desta monografia.

Figura 1: Mapa geológico de localização da área de estudo (modificado de WILDNER et al. 2008). É possível visualizar a área de estudo com indicação (retângulo vermelho de 252 km²) com o posicionamento dos testemunhos de sondagem utilizados neste trabalho. Os poços em verde (SG-02, SG-03, SG-04, SG-08 e SG-17) foram descritos, os em vermelho (SG-01, SG-05, SG-07, SG-13 e SG-14) foram utilizados para a correlação estratigráfica com o uso das curvas de raios gama e os perfis litológicos, e em azul os testemunhos de sondagem (SG-06 e SG-09) não utilizados.



Fonte: Modificado de Wildner et al. (2008).

1.2. Problema, premissas e hipótese

• Problema

Embora exista um interesse em estudos de sistemas petrolíferos, há uma insuficiência de informações de reservatórios de petróleo em operação, devido ao limitado volume de dados que as companhias divulgam. Com a ausência de dados diretos, nas universidades e instituições de pesquisa, há uma grande demanda acadêmica por dados e metodologias para estudos aplicados que ajudem na previsão dos parâmetros controladores da qualidade de reservatório em um sistema petrolífero.

- **Premissas**

Com o volume de dados limitado de campos de petróleo atualmente em produção, análogos são utilizados para a obtenção de dados e desenvolvimento de metodologias para o entendimento dos sistemas petrolíferos. Classicamente, depósitos costeiros são considerados bons reservatórios, e frequentemente são explorados para a retirada de hidrocarbonetos, como os depósitos fluvial-estuarinos da Formação Caseyville (Pennsylvaniano Inferior) da Bacia de Illinois, nos EUA (HOWARD e WHITAKER, 1990), os arenitos de canal de maré da Formação Viking (Cretáceo Inferior) da Bacia do Oeste Interior do Canadá (Alberta), na qual existem grandes campos de petróleo (CLARK e REINSON, 1990), e ainda, os depósitos de sistema estuarino complexo, dominados por onda do Grupo Mannville (Cretáceo Inferior) da Bacia do Oeste do Canadá, onde são explorados reservatórios associados a canais de maré e *shoreface* (ZAITLIN e SCHULTZ, 1990).

A Formação Rio Bonito é umas das unidades mais estudadas da Bacia do Paraná, sendo esta constituída de siltitos, siltitos carbonosos que intercalam com camadas de carvão e ainda arenitos finos (SCHNEIDER et al. 1974). Esses arenitos são caracteristicamente conhecidos como bons reservatórios, embora não se tenha ocorrência econômica de óleo ou gás, sendo então considerados bons análogos de reservatórios costeiros (HOLZ, 1995; LOPES, 1995; CARLUCCI, 1998; KUHN, 1999).

A estratigrafia de sequência, com o uso de tratos de sistemas, superfícies limítrofes e sequências, é uma boa técnica para a compartimentação de unidades e consequente modelagem tridimensional de corpos reservatórios promissores.

- **Hipótese**

Com a aquisição de dados a partir de descrições de testemunhos de sondagem e de curvas de raios gama, é possível construir os arcabouços faciológico e estratigráfico, da Formação Rio Bonito na área de estudo, e aliada à visualização apurada da geometria dos pacotes identificados, é possível gerar um modelo de compartimentação estratigráfica, através das superfícies limítrofes, e internamente pela distribuição das associações de fácies, em um contexto de controle estratigráfico. A partir desse modelo é possível identificar os melhores intervalos com as características de uma rocha reservatório, e definir o volume, a geometria, as conexões e as rotas de fluídos, verificando os parâmetros que impactam positivamente ou

negativamente nesses corpos reservatórios análogos, sugerindo a potencialidade para exploração, e estabelecimento de metodologia para estudos em reservatórios com características semelhantes.

1.3. Justificativa

A Formação Rio Bonito tem sido estudada com frequência no desenvolvimento da aplicação da estratigrafia de seqüências para a caracterização em multiescala de reservatórios costeiros (KÜCHLE e HOLZ, 2002; REIS, 2007; CASAGRANDE), e tem se mostrado interessante na técnica da compartimentação dos pacotes areníticos promissores. A utilização desta unidade para estudos de análogos de reservatórios é uma boa oportunidade de desenvolver conhecimentos de reservatórios de hidrocarbonetos com baixo custo. Ademais, a utilização de métodos convencionais como a caracterização de corpos reservatórios a partir da análise estratigráfica, aliada a ferramentas pouco comuns como o uso de *softwares* para a elaboração de um modelo 3D, contribui para um estudo mais completo de sistemas petrolíferos, pois além da análise qualitativa, é possível analisar quantitativamente os parâmetros de avaliação de corpos reservatórios (volume, geometria e conexões).

1.4. Objetivos

O objetivo geral é estabelecer um arcabouço faciológico/estratigráfico detalhado, caracterizar os reservatórios e assim, desenvolver um modelo tridimensional da Formação Rio Bonito na área de estudo.

Os objetivos específicos são:

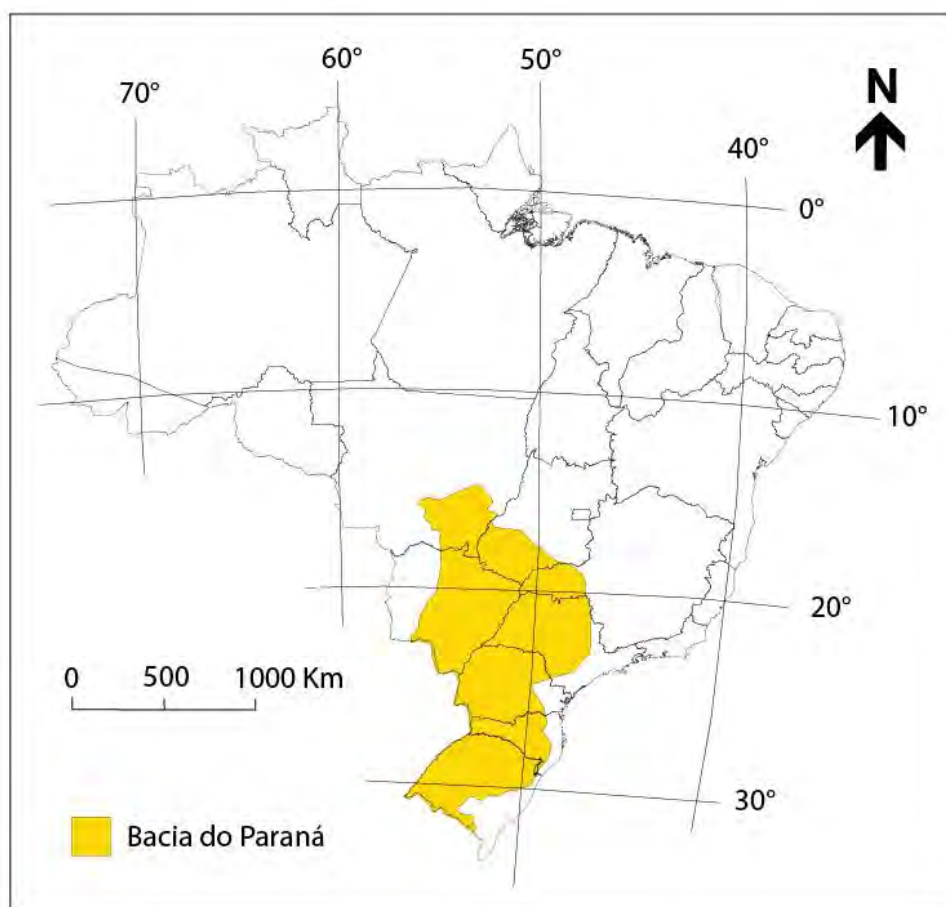
- Caracterizar fácies e associações de fácies;
- Caracterizar os sistemas deposicionais;
- Elaborar mapas de isópacas de intervalos definidos no arcabouço estratigráfico;
- Modelar, tridimensionalmente, o intervalo de estudo;
- Analisar os corpos reservatórios.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná é classificada como uma bacia intracontinental, cratônica do tipo 2A complexa (FÚLFARO et al. 1982). O registro sedimentar e vulcânico somam aproximadamente 7500 m de espessura, entre os períodos do Ordoviciano ao Cretáceo, chegando a cerca de 385 milhões de anos. É uma bacia de forma ovalada com eixo maior N-S (MILANI et al. 2007). Além do Brasil, essa bacia abrange Paraguai, Argentina e Uruguai, sendo essa porção ser chamada de Bacia Chaco-Paraná. No Brasil ocupa os estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Figura 2). Ao longo do eixo N-S, atinge 1900 km, da cidade de Morrinhos (MT) e Durazno (Uruguai). Já no eixo E-W, atinge 900 km, entre as cidades de Aquidauana (MS) e Sorocaba (SP).

Figura 2: Mapa de localização da Bacia do Paraná no Brasil.

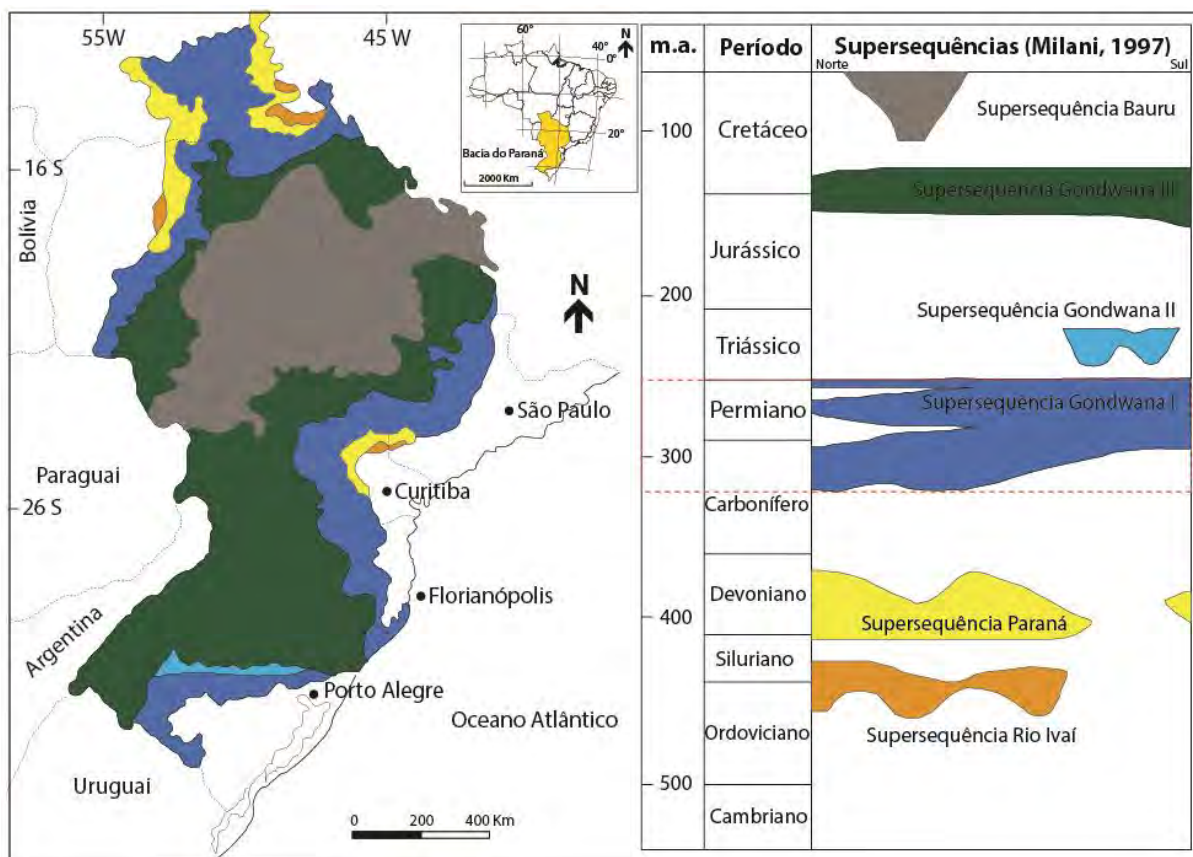


Fonte: <http://webmaps.anp.gov.br>.

Esta bacia foi formada acima de diferentes domínios geotectônicos que compreendem terrenos cratônicos e cinturões móveis que compunham o Gondwana Ocidental. Uma série de discontinuidades crustais e lineamentos também fazem parte deste embasamento gerando um arcabouço geotectônico. Os eventos de subsidência e soerguimento que ocorreram nestes blocos deram origem a sedimentação da bacia (HOLZ et al. 2006).

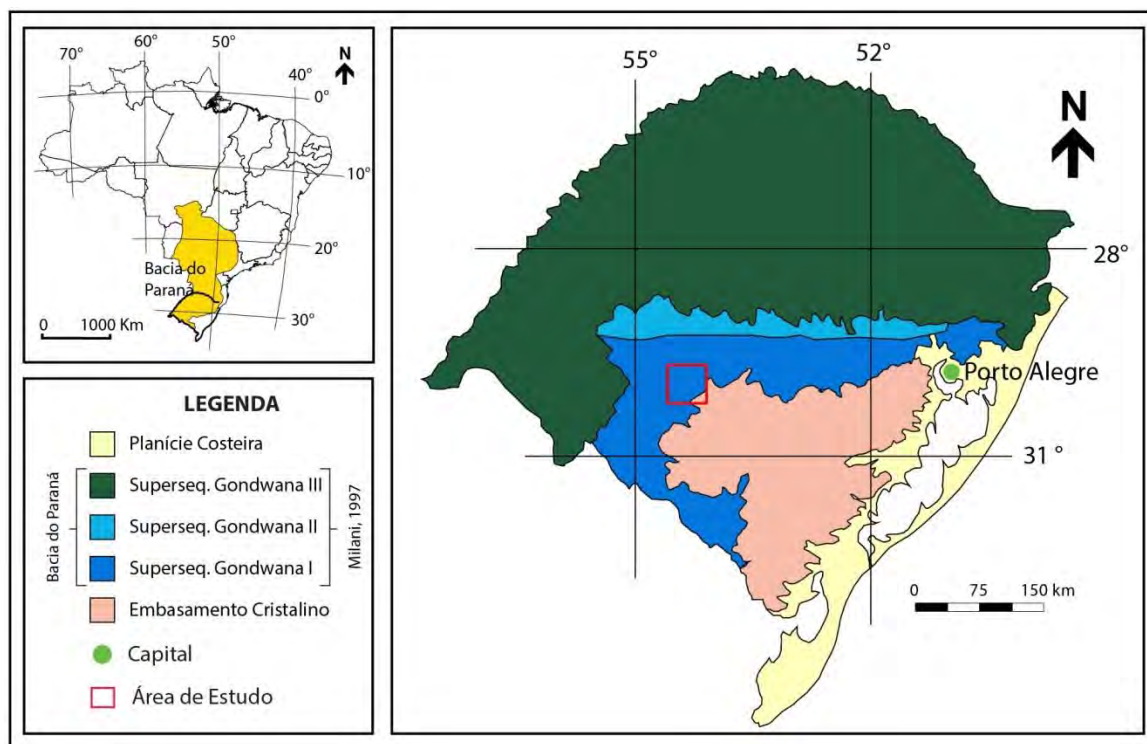
Milani (1997) reconheceu seis supersequências (Figura 3), a Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), a Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico – Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). No Rio Grande do Sul são identificadas as supersequências Gondwana I, II e III (Figura 4), sendo o Grupo Guatá uma das unidades componentes da Supersequência Gondwana I, que inclui ainda o Grupo Itararé, Formação Aquidauana, Grupo Passa Dois e as Formações Pirambóia e Sanga do Cabral.

Figura 3: Mapa da disposição espacial das superseqüências da Bacia do Paraná (MILANI, 1997), e tabela cronoestratigráfica simplificada da Bacia do Paraná com as posições das Superseqüências (MILANI, 1997), com destaque (retângulo vermelho pontilhado) para a Superseqüência Gondwana I que contém a Formação Rio Bonito, unidade de estudo.



Fonte: Modificado de Milani et al. (2007).

Figura 4: Mapa da disposição espacial das três supersequências da Bacia do Paraná (MILANI, 1997) que ocorrem no Rio Grande do Sul. Em destaque (retângulo vermelho) a indicação da área de estudo sobre a Supersequência Gondwana I, na borda oeste do embasamento cristalino sul-riograndense.

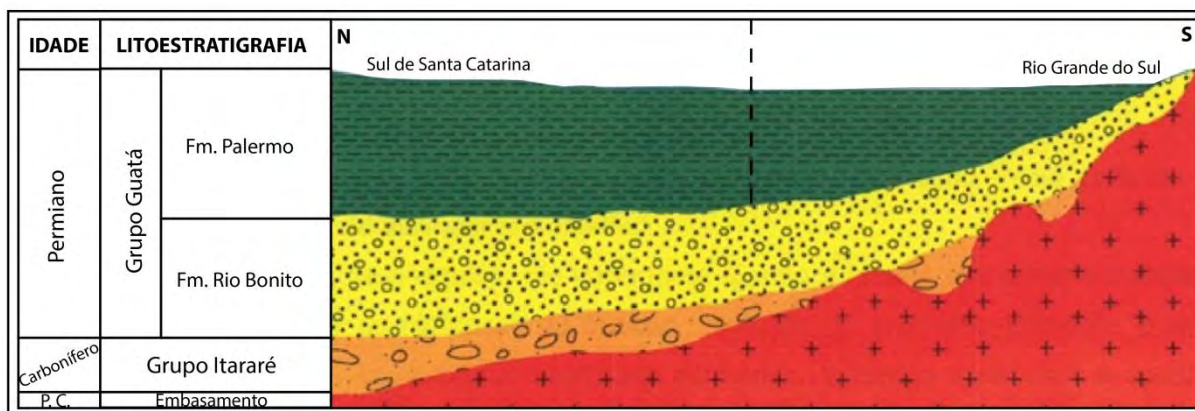


Fonte: Modificado de Milani et al. (2007).

2.1.1. Grupo Guatá

O Grupo Guatá, foi definido por GORDON Jr. (1974), através de siltitos e arenitos observados nas proximidades de Guatá-SC, sendo subdivido nas “Camadas” ou Formações Rio Bonito e Palermo de White (1908). Esse grupo sucede os estratos de sedimentação glacial do Grupo Itararé, e segundo Lavina e Lopes (1987), estão relacionados com a “transgressão permiana”. A base do Grupo Guatá é composta por uma sucessão de ambientes costeiros (Formação Rio Bonito), seguidos pela Formação Palermo já em um ambiente marinho de plataforma rasa (Figura 5). Entretanto, segundo Holz et al. (2010), a interação das formações Rio Bonito e Palermo é mais complexa do que proposto por Holz e Carlucci (2000), pois em boa parte do tempo, ambas as formações se depositaram simultaneamente, ocorrendo ciclos e interdigitação dessas unidades (Figura 6).

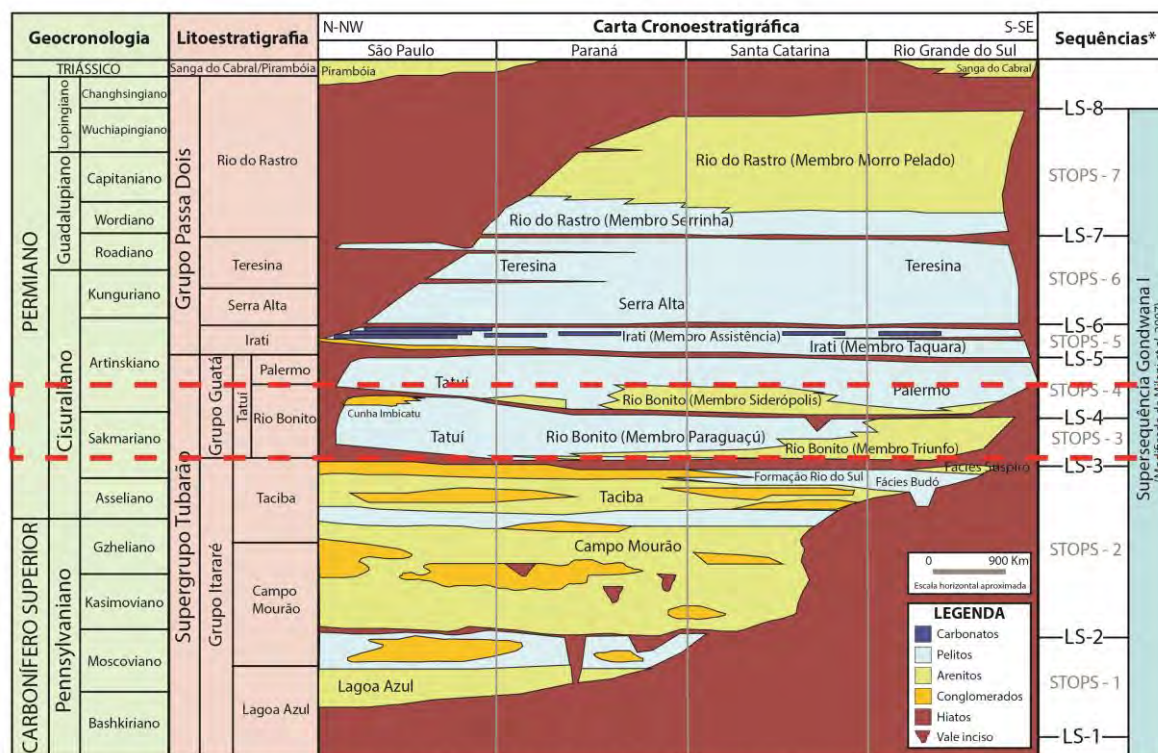
Figura 5: Sedimentação da Bacia do Paraná na passagem do Carbonífero (Grupo Itararé) para o Permiano (Grupos Guatá). Em função de ser um alto estrutural, o Rio Grande do Sul registrou apenas a fase final de deposição do Grupo Itararé.



Fonte: Modificado de Holz e Carlucci (2000).

O intervalo de interesse deste estudo, que abrange o Grupo Guatá, é, em geral, associado ao Eopermiano da Bacia do Paraná como exposto em estudos palinológicos (DAEMON e QUADROS, 1970; SOUZA e MARQUES-TOIGO, 2005) e conforme sintetizado na tabela estratigráfica da sucessão Carbonífero Superior-Permiano da borda leste da Bacia do Paraná de Holz et al. (2010) (Figura 6), a Formação Rio Bonito, especificamente, está inserida entre as idades do Sakmariano e Artinskiano (Figura 6).

Figura 6: Carta cronoestratigráfica da sucessão Carbonífero Superior-Permiano na borda leste da Bacia do Paraná (modificado de HOLZ et al. 2010). Destaque para o intervalo correspondente da Formação Rio Bonito com idades entre o Sakmariiano e Artinskiano.



* LS - Limite de seqüência; STOPS - Seqüência de terceira ordem do Paleozoico Superior.

2.1.1.1. Formação Rio Bonito

O termo “Rio Bonito” vem da expressão “Camadas Bonito” usada por White (1908), em referência aos pacotes de arenitos, pelitos e camadas de carvão observadas na seção tipo descrita nas proximidades de Lauro Muller, Guatá e São Joaquim, SC (KREBS e MENEZES FILHO, 1984; SCHNEIDER et al. 1974). A Série Tubarão, também proposta por White (1908) e renomeada como Supergrupo Tubarão por Schneider (1974), compreende os Grupos Itararé (na base) e Guatá (no topo).

A Formação Rio Bonito, pacote sedimentar depositado sobre o Grupo Itararé, é constituída, basicamente, por uma alternância entre pacotes areníticos e pelíticos, sendo que possui uma porção basal mais arenosa, seguida de uma seção mais argilosa no intervalo médio e uma areno-argilosa contendo os principais leitos de carvão da bacia para o topo (SCHNEIDER et al. 1974). As litologias principais envolvem arcóseos, siltitos, siltitos

carbonosos, quartzoarenitos, folhelhos carbonosos e carvão, além de tonstein, diamictito com matriz carbonosa e marga. Sugere-se ambientes flúvio-deltáico, litorâneo e marinho plataformais (WILDNER et al. 2008). Outras feições como heterolitos, estratificação cruzada hummocky costumam ser abundantes (HOLZ, 1999). Essas associações de fácies indicam uma plataforma parte dominada por onda e parte dominada por maré. Holz (2003) identificou a transição de um sistema estuarino para uma laguna-barreira, com a formação de lagos atrás de ilhas-barreiras.

Schneider et al. (1974) propuseram, para a borda leste da Bacia do Paraná, a divisão da Formação Rio Bonito nos membros Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis.

O Membro Triunfo, porção basal da formação em questão, apresenta, na base, contato concordante com a Formação Rio do Sul e alcança espessuras superiores a 100 m em Rio do Sul, SC, assim como em sua seção tipo localizada em São João do Triunfo, PR. Nesta, ocorrem arenitos esbranquiçados finos a médios, por vezes grosseiros, com grãos subarredondados e, moderadamente, selecionados. Registram-se, ainda, subordinadamente, conglomerados, arenitos muito finos, siltitos, folhelhos carbonosos e lentes de carvão. Nos arenitos, em geral, há uma grande quantidade de estratificações cruzadas, bem como estratificações planares e acanaladas em menor número. Além disso, fósseis como restos de vegetais e palinóforos são encontrados (SCHNEIDER et al. 1974). O contato superior desta unidade se dá, geralmente, de forma concordante, com o Membro Paraguaçu. (SCHNEIDER et al. 1974).

O Membro Paraguaçu, porção média da Formação Rio Bonito, leva esse nome por conta da cidade homônima localizada no norte de Santa Catarina, onde possui espessura semelhante ao membro subjacente. Os afloramentos, que se estendem do sul deste estado até o centro-oeste de São Paulo, apresentam, basicamente, siltitos e folhelhos cinza a esverdeados alternados com arenitos finos e leitos de rochas carbonáticas localmente. Quanto às estruturas, destacam-se as laminações, que são onduladas e cruzadas nos arenitos, paralelas nos siltitos e folhelhos e algálicas nas carbonáticas que também apresentam estruturas de dissecção. Além disso, observam-se feições de bioturbação que conferem um caráter mais maciço à rocha. Pelecípodes, gastrópodes, braquiópodes, equinodermos, restos de vegetais e palinóforos são os fósseis registrados nessa unidade (SCHNEIDER et al. 1974). O contato superior - Membro Paraguaçu para Membro Siderópolis - é concordante e interdigitado por vezes, sendo que, em certos locais, o primeiro encontra-se em contato direto com a Formação Palermo (SCHNEIDER et al. 1974).

Por fim, no topo da Formação Rio Bonito, distingue-se o Membro Siderópolis que,

assim como os anteriores, tem a origem do seu nome vinculada à cidade onde a seção tipo foi descrita. Nesta, registrou-se arenitos finos a muito finos intercalados com argilitos, folhelhos carbonosos e lentes de carvão (mais concentradas no topo) com laminações plano-paralelas e onduladas. Além disso, observa-se arenitos médios a grossos com estratificação cruzada de alto ângulo. Assim como nas unidades anteriores, há registros de fósseis de vegetais e palinomorfos (SCHNEIDER et al. 1974). Finalmente, o contato superior se dá com a Formação Palermo concordantemente. (SCHNEIDER et al. 1974).

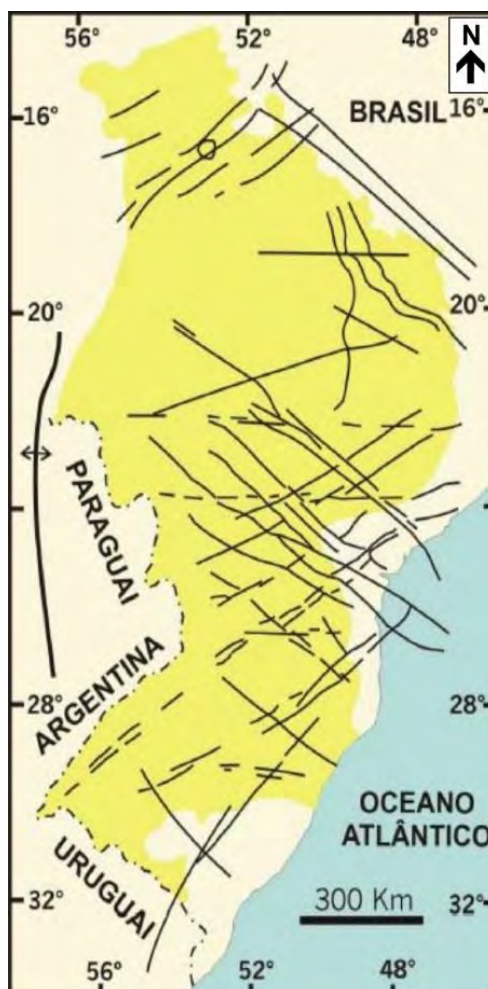
2.1.1.2. *Formação Palermo*

Segundo Schneider et al. (1974), o nome Palermo é oriundo da vila homônima, Município de Lauro Müller, Santa Catarina, em cujas imediações White (1908) descreveu a seção tipo. A Formação Palermo consiste em siltitos e siltitos arenosos de cores cinza e, que por alteração podem ser amarelos ou esverdeados. Localmente, desenvolvem-se arenitos finos no Paraná e raramente conglomeráticos em São Paulo. Esses sedimentos encontram-se localmente bioturbados, resultando na quase completa destruição de suas estruturas sedimentares. Quando preservadas, caracterizam laminações cruzadas de pequeno porte. A Formação Palermo é Eopermiana, mais precisamente de idade Artinskiano (HOLZ et al. 2010) e apresenta ocorrência generalizada em toda a Bacia do Paraná. O contato superior é transicional com a Formação Irati, marcado pela passagem de siltitos cinza-esverdeados para folhelhos e argilitos pretos. As características litológicas e sedimentares da Formação Palermo indicam deposição em ambiente marinho transgressivo de águas rasas, abaixo do nível de ação das ondas (SCHNEIDER et al., 1974).

2.1.2. Contexto Tectônico

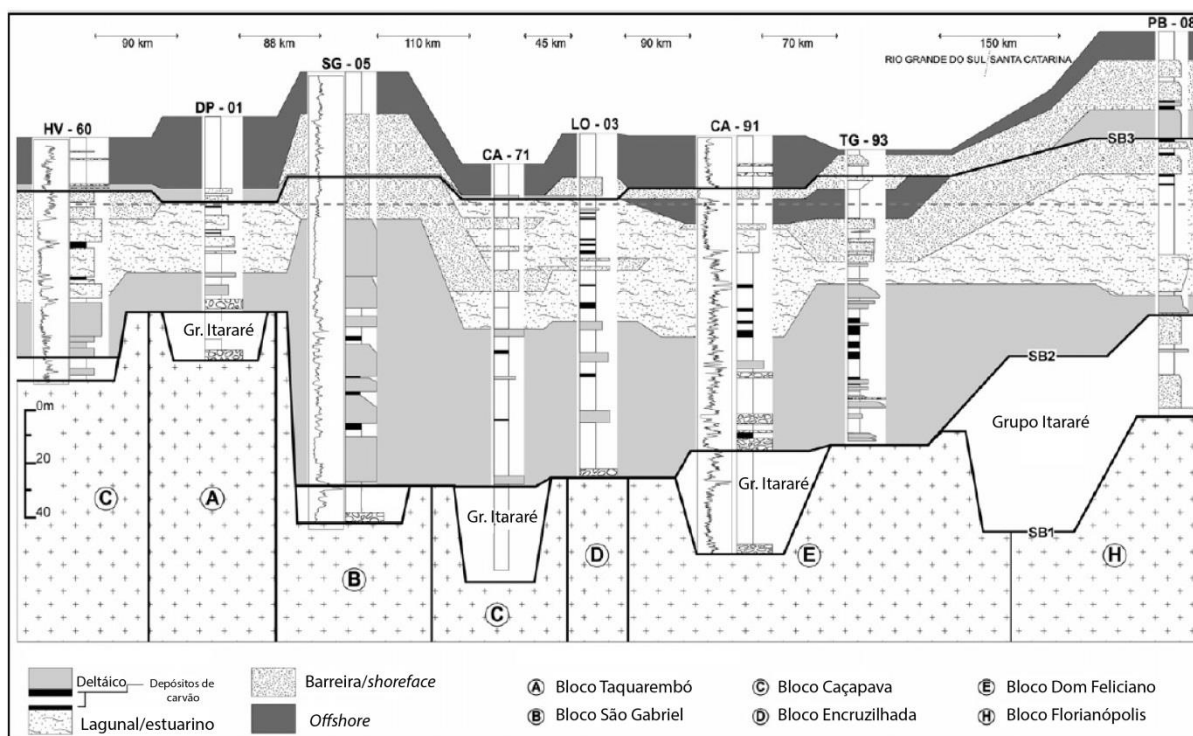
A Bacia do Paraná foi formada acima de diferentes domínios (blocos) geotectônicos que compreendem terrenos cratônicos e cinturões móveis que compunham o Gondwana Ocidental. Uma série de discontinuidades crustais e lineamentos também fazem parte deste embasamento gerando um arcabouço geotectônico. Para Zalán et al. (1990), caracteristicamente os lineamentos da bacia do Paraná seguem duas direções preferenciais, NW-SE e NE-SW, e em algumas regiões, E-W (Figura 7). Holz et al. (2006) indicam que os eventos de subsidência e soerguimento dos blocos geotectônicos foram uma das principais condicionantes da sedimentação da Bacia do Paraná, como nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Figura 8).

Figura 7: Mapa da Bacia do Paraná com os principais lineamentos, direcionados preferencialmente nas direções NE-SW e NW-SE e, secundariamente, E-W.



Fonte: Extraído de Zálán et al. (1990).

Figura 8: Correlação regional (Rio Grande do Sul/Santa Catarina) mostrando a distribuição dos depósitos de idades carboníferas e eopermianas sobre os vários blocos tectônicos que compõem o embasamento da região. Cada bloco possui o seu deslocamento característico (subsidência/soerguimento), acarretando uma sedimentação da área diretamente controlada pela tectônica.



Fonte: Extraído de Holz et al. (2006).

2.2. Contextualização Teórica

2.2.1. Fácies Sedimentares e Sistemas Depositionais

- **Fácies**

Segundo Dalrymple (2010a) uma fácies é “um corpo de rocha caracterizado por uma combinação particular de litologia e estruturas físicas e biológicas que concedem um aspecto, chamado de “fácies”, que é diferente dos corpos adjacentes”. As características que costumam definir as fácies são geralmente aquelas que têm significância genética. Holz (2012) diz que “(...) se muda o processo – a intensidade de uma corrente, a frequência de uma onda, o tipo de fluxo gravitacional – muda a fácies”. Desta forma, uma fácies é frequentemente associada ao resultado de um, ou um conjunto de processos deposicionais.

- **Associação de Fácies**

As fácies geneticamente relacionadas entre si podem ser agrupadas em associações de fácies, que apresentam significado no ambiente deposicional (COLLINSON & THOMPSON, 1989).

- **Sistema Depositional**

Um sistema deposicional é uma assembleia tridimensional de litofácies, geneticamente agrupadas por processos sedimentares observados ou inferidos (POSAMENTIER, JERVEY e VAIL, 1988).

2.2.2. Estratigrafia de Sequências

A estratigrafia de sequências é uma estratigrafia baseada na identificação de pacotes de rochas geneticamente relacionados, chamados de sequências (CATUNEANU et al. 2011). A delimitação das sequências, ao contrário da litoestratigrafia em que são levadas em conta as características litológicas e texturais, é realizada por superfícies limítrofes (chaves), por isso também é conhecida como estratigrafia de superfícies. Com as superfícies limítrofes, é possível correlacionar rochas depositadas no mesmo intervalo de tempo, independente dos tipos litológicos.

A estratigrafia de sequências é baseada em duas premissas básicas que possibilitam o reconhecimento (CATUNEANU et al. 2009):

- A natureza cíclica das sucessões estratigráficas, pois o preenchimento de uma bacia responde a ciclos transgressivos e regressivos que se sucedem ao longo do tempo.
- Essas variações do nível de base controlam o preenchimento da bacia.

Essas premissas atribuem um caráter preditivo a análise estratigráfica, que passa a ser dinâmica, possibilitando uma análise da distribuição das rochas no tempo e no espaço. Com isso, a estratigrafia de sequências estuda a interação das rochas dentro de um arcabouço cronoestratigráfico, separando pacotes depositados em um mesmo intervalo de tempo. (CATUNEANU et al. 2009).

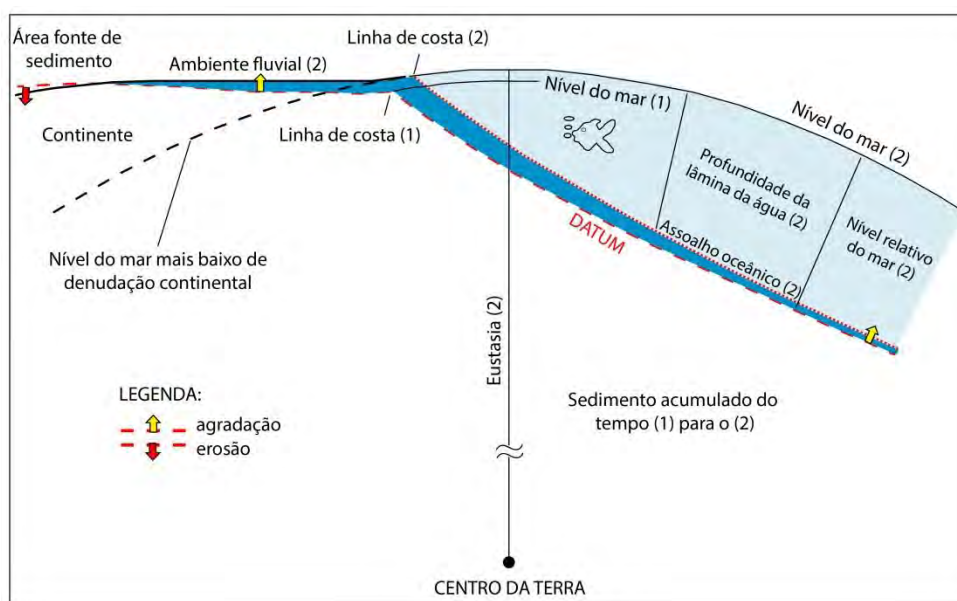
2.2.2.1. Conceitos Básicos

Além das premissas, foi realizada a revisão de alguns conceitos fundamentais que precisam ser compreendidos antes da aplicação da técnica da estratigrafia de seqüências.

- **Nível eustático**

Distância vertical entre a superfície do mar e um *datum* global, o centro da Terra (Figura 9) (POSAMENTIER e VAIL, 1988).

Figura 9: Esquema que mostra a relação do nível eustático, nível relativo do mar (NRM) e profundidade da lâmina da água.



Fonte: Traduzido de Catuneanu (2006).

- **Nível relativo do mar (NRM)**

Distância vertical entre a superfície do mar e um *datum* regional (Figura 9). Esse nível tem relação com as variações eustáticas e tectônicas, sendo que normalmente ambas estão atuando (POSAMENTIER e VAIL, 1988).

- **Nível de base**

É o nível que marca a erosão/deposição. Em bacias de sedimentação marinha, corresponde ao NRM, e em bacias intracratônicas corresponde ao nível do lençol freático (POSAMENTIER e VAIL, 1988)

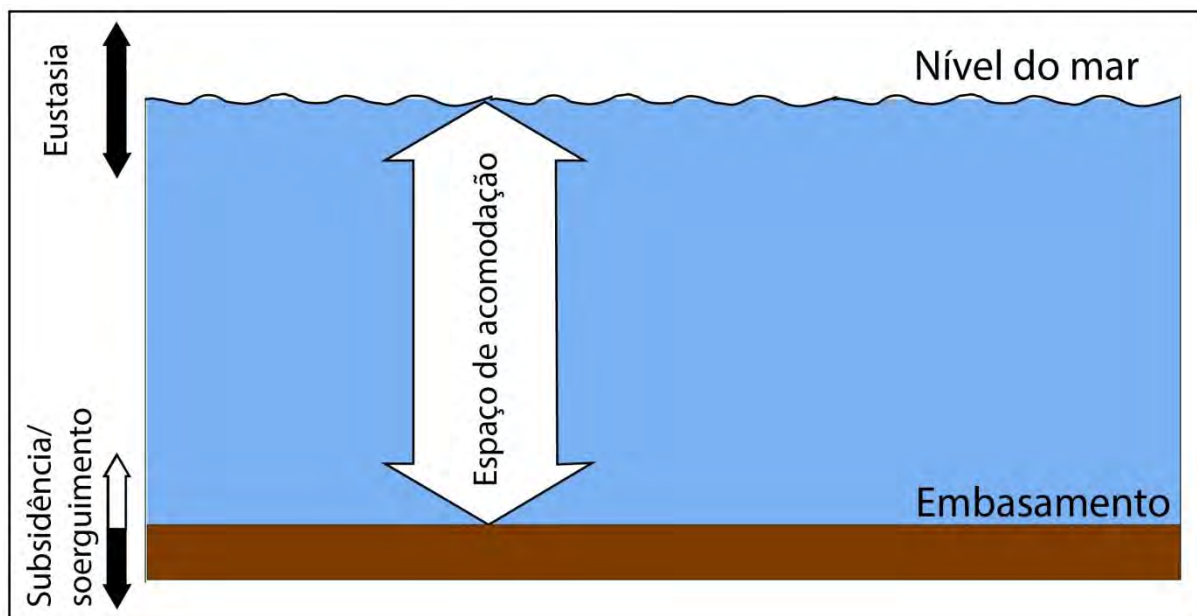
- **Profundidade da lâmina de água**

Distância vertical entre a superfície do mar e o sedimento acumulado (Figura 9). Ao contrário do nível relativo do mar, tem relação com o influxo sedimentar (POSAMENTIER e VAIL, 1988).

- **Espaço de acomodação**

Espaço disponível para acumular sedimentos em um determinado ponto do tempo. O espaço de acomodação é controlado pelo nível relativo do mar, já que acima deste ocorre erosão e abaixo acumulação (Figura 10 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**) (POSAMENTIER e VAIL, 1988).

Figura 10: Esquema de representação do espaço de acomodação.



Fonte: Modificado de Posamentier e Vail (1988).

- **Regressão**

Movimento lateral da linha de costa em direção ao depocentro da bacia sedimentar (Figura 11). Uma regressão pode ser normal ou forçada (CATUNEANU, 2006):

- Normal: Ocorre quando o NRM está estável ou com uma taxa de subida superada pela taxa de influxo sedimentar.
- Forçada: Ocorre quando NRM está necessariamente rebaixando.

- **Transgressão**

Movimento lateral da linha de costa direção ao continente (Figura 11). Associada a subida do nível relativo do mar, em uma taxa maior que a do aporte sedimentar (CATUNEANU, 2006).

- **Progradação**

É o padrão de empilhamento causado por uma regressão. Indica que a taxa de aporte

sedimentar é maior que a taxa de criação espaço de acomodação. Sucessão vertical de fácies proximais sobre distais (Figura 11) (CATUNEANU, 2006).

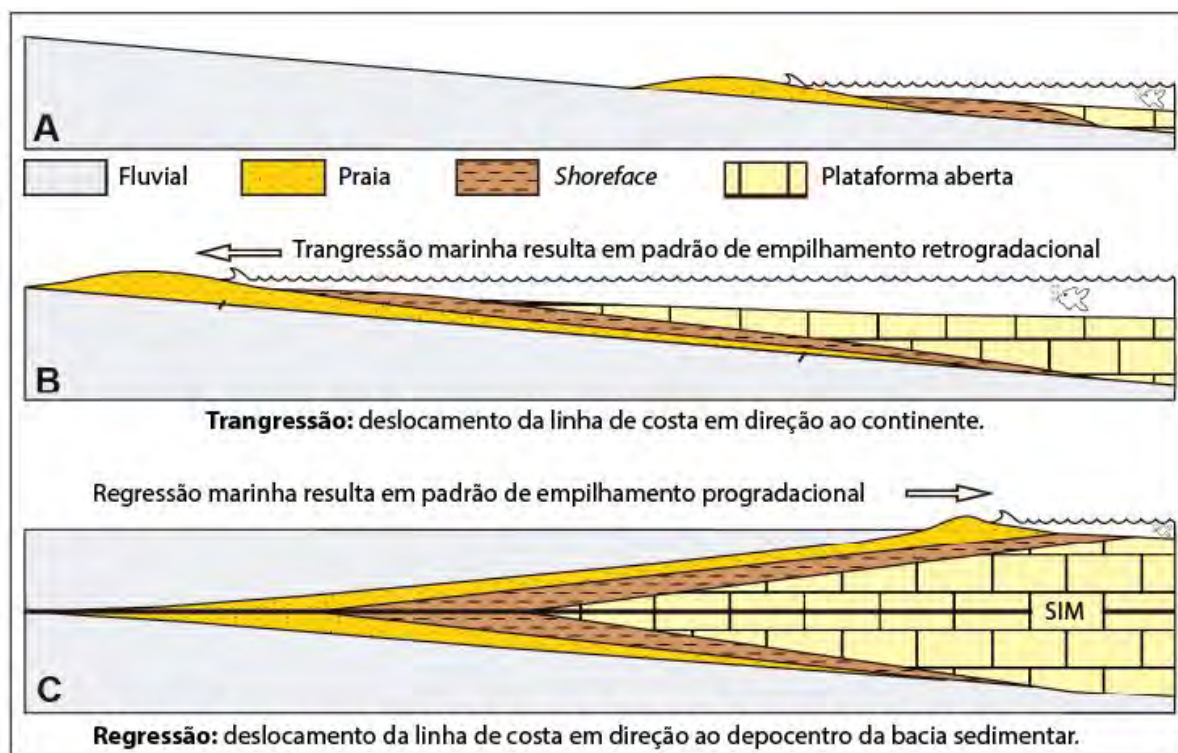
- **Retrogradação**

É o padrão de empilhamento causado por uma transgressão. Indica que a taxa de criação de espaço de acomodação é maior que a taxa de aporte sedimentar. Sucessão vertical de fácies distais sobre proximais (Figura 11) (CATUNEANU, 2006).

- **Agradação**

É o padrão de empilhamento que ocorre quando não ocorre movimento lateral da linha de costa. Indica um equilíbrio nas taxas de criação de espaço de acomodação e na de aporte sedimentar. Caracterizado pela manutenção da sucessão vertical de fácies (CATUNEANU, 2006).

Figura 11: Esquema que mostra os deslocamentos da linha de costa, transgressões e regressões, originando os padrões de empilhamento retrogradacional (fácies distais sobre as proximais) e progradacional (fácies proximais sobre as distais), respectivamente.



Fonte: Traduzido de Catuneanu (2006).

- **Ciclos de 1ª ordem**

Tem duração de 200 a 400 milhões de anos. Esses são ciclos tectono-eustáticos, e estão relacionados com a separação e agrupamento de supercontinentes (CATUNEANU et al. 2009).

- **Ciclos de 2ª ordem**

Tem duração de 10 a 100 milhões de anos. Correspondente a ciclos tectono-eustáticos são vinculados com a variação na taxa de expansão do assoalho oceânico (CATUNEANU et al. 2009).

- **Ciclos de 3ª ordem**

Tem duração de 1 a 10 milhões de anos. Não são considerados ciclos eustáticos, pois não existe um consenso sobre algum mecanismo relacionado à tectônica global de controle. Entretanto, o mecanismo tectônico local, *stress* intraplaca é o único que tem sido capaz de explicar essas oscilações (CATUNEANU et al. 2009).

- **Ciclos de 4ª e 5ª ordem**

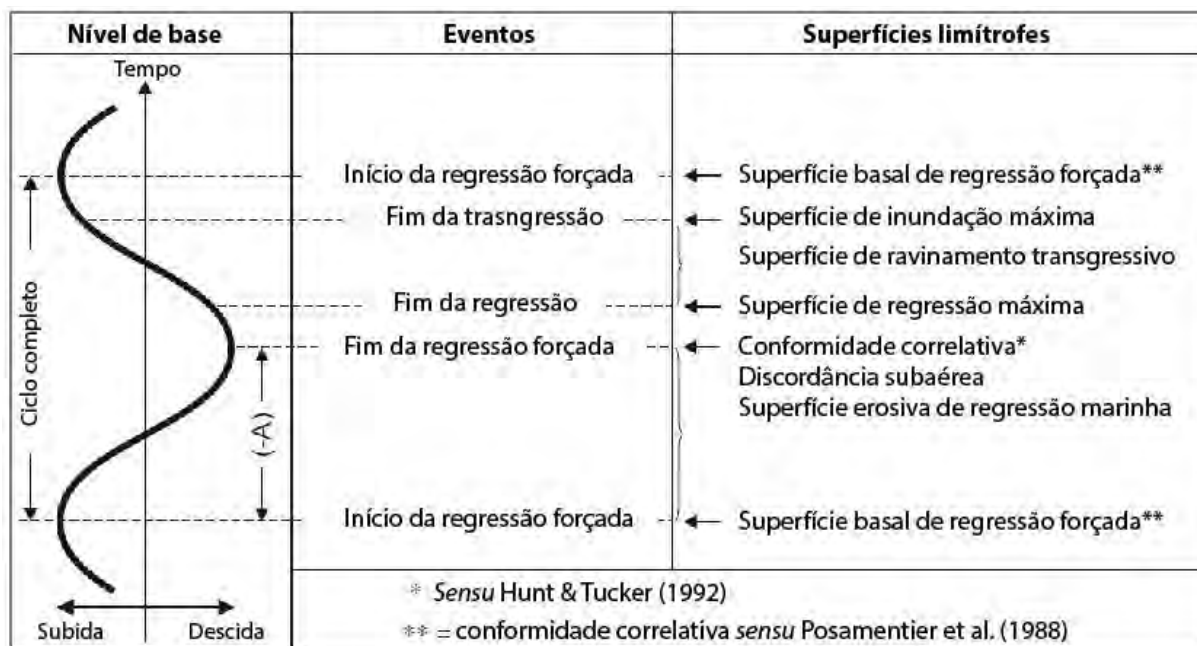
Os ciclos de 4ª ordem duração de 500 a 100 mil anos, já os de 5ª ordem variam de 40 a 20 mil anos. *Esses* são ciclos glacioeustáticos e são explicados a partir das variações climáticas causadas pelos movimentos orbitais da Terra. Os de 4ª ordem estão relacionados com as variações de excentricidade da Terra em relação ao Sol. Já os de 5ª ordem estão vinculados com as variações de obliquidade e precessão do eixo terrestre (CATUNEANU et al. 2009).

Entretanto, o trabalho de Neal e Abreu (2009) argumenta que as ordens de grandeza são muito restritivas e podem influenciar correlações imprecisas, dado que processos controladores dos eventos estratigráficos podem ocorrer em escalas temporais distintas com o mesmo volume de rocha final, ou para processos que ocorrem na mesma ordem temporal e que são controlados por eventos de grandeza distinta. Assim, o ideal é definir as superfícies limítrofes e se abster de estabelecer uma ordem de trabalho. A observação de eventos estratigráficos depende da escala e volume de dados. Assim, superfícies regionais podem ser estabelecidas e correlacionadas independentemente de sua ordem, bem como podem compreender dentro de suas unidades, superfícies locais que não impactam o modelo regional.

2.2.2.2. *Superfícies Limítrofes*

As superfícies limítrofes delimitam os principais eventos do ciclo de nível de base (Figura 12), e conseqüentemente são utilizadas como limites para os tratos de sistemas deposicionais, caracterizando assim o arcabouço cronoestratigráfico da bacia. Estas superfícies são abaixo discutidas conforme a definição de Catuneanu (2006).

Figura 12: Posicionamento dos principais eventos deposicionais na curva de mudança do nível de base durante um ciclo completo, correlacionados com as superfícies que delimitam esses eventos.



Fonte: Traduzido de Catuneanu (2006).

- **Discordância Subaérea (DS)**

É uma superfície de erosão ou não deposição formada por erosão fluvial, eólica ou pedogenética durante o ciclo de queda do nível de base (SLOSS, KRUMBEIN e DAPPLES, 1949). Essa superfície é reconhecida pela mudança abrupta de fácies (dentro do vale inciso) ou pela ocorrência de paleossolos (região interflúvio). A DS é formada no final de uma regressão forçada.

- **Conformidade Correlativa (CC)**

Essa superfície foi definida por Hunt e Tucker (1992) e corresponde a DS na porção submersa da bacia. A CC está associada ao topo de pacotes de rochas depositados em marinho profundo como turbiditos, enquanto a DS marca a erosão de um sistema fluvial.

- **Superfície Erosiva de Regressão Marinha (SERM)**

Formada no final da queda do nível de base, durante uma regressão forçada, essa superfície é caracterizada pela mudança abrupta de fácies dentro de um mesmo sistema marinho (PLINT, 1988). Distalmente, a SERM é correlata a CC.

- **Superfície de Base de Regressão Forçada (SBRF)**

Chamada de concordância correlata por Posamentier, Jervey e Vail (1988), essa superfície é formada no final da queda do nível de base, durante uma regressão forçada, caracterizada pela mudança gradual de fácies, dentro de um mesmo sistema marinho, como a sobreposição de um sistema de shoreface de base abrupta sobre lamitos de offshore (CATUNEANU et al. 2009). Essa é uma superfície de difícil reconhecimento. Em depósitos de águas profundas, a SBRF está posicionada na base de turbiditos arenosos.

- **Superfície de Regressão Máxima (SRM)**

Anteriormente chamada de superfície transgressiva por Posamentier et al. (1988), foi renomeada por Catuneanu (2006), essa superfície marca o máximo avanço da linha de costa em direção ao depocentro da bacia. Pode ser reconhecida pelo recobrimento de depósitos fluviais por estartos marinhos, pela presença de um *lag* transgressivo ou pela base de uma sucessão retrogradacional. Essa discordância pode coincidir com a discordância subaérea.

- **Superfície de Inundação Máxima (SIM)**

Essa superfície corresponde à superfície de máxima transgressão da sequência. A SIM é marcada pela passagem de um padrão retrogradacional para o progradacional ou pelo desenvolvimento de seção condensada Catuneanu et al. (2009). Uma das superfícies de mais fácil reconhecimento podendo ser utilizada como *datum* dentro da bacia.

2.2.2.3. Sequências Estratigráficas

O conceito de sequência vem gradualmente sendo modificado junto com a mudança de escala de observação. Primeiramente era chamada de unidade estratigráfica, depois foi atualizado para grandes pacotes delimitados por inconformidades regionais (SLOSS, KRUMBEIN E DAPPLES, 1949), até que foi redefinido como “uma uma sucessão relativamente conformável de estratos geneticamente relacionados delimitados por discordâncias ou suas conformidades correlatas” (MITCHUM Jr., VAIL e SANGREE, 1977).

Outras definições foram propostas, e a definição mais recente e aceita atualmente é que uma sequência estratigráfica corresponde a uma sucessão de estratos depositados durante um ciclo completo de mudança na acomodação e/ou suprimento sedimentar (CATUNEANU et al. 2009, 2010, 2011). Neste sentido, existem três tipos de sequências estratigráficas, que utilizam os mesmos conceitos da estratigrafia de sequências, entretanto, são diferenciadas pela superfície limítrofe utilizadas para a delimitação.

- **Sequência Depositional**

Utiliza a DS (e superfícies correlatas) como limite de sequência. Chamada de “Sequência” por Sloss, Krumbein e Dapples (1949) e a Sloss (1963), esta é a primeira das sequências. Utiliza a DS (e superfícies correlatas) como limite de sequência, sendo essa uma das vantagens, já que a DS é comumente a principal descontinuidade da bacia. Outra vantagem é que a DS é associada a um rebaixamento do nível de base e independe do influxo sedimentar. Entretanto, um dos problemas é o difícil reconhecimento da DS em dados de perfílagem.

- **Sequência Transgressiva-Regressiva**

Definida por Embry e Johannessen (1992), essa sequência é delimitada pela SRM e internamente pela SIM. A Sequência Transgressiva-Regressiva identifica intervalos regressivos e transgressivos, sendo de fácil reconhecimento em testemunhos e em perfis, ao contrário da sequência deposicional, se enquadra melhor na definição de sequências, uma vez que a sua delimitação independe de um rebaixamento do nível de base. Entretanto, uma das

contestações é que o desenvolvimento da SRM não é diacrono na bacia, pois depende do influxo sedimentar.

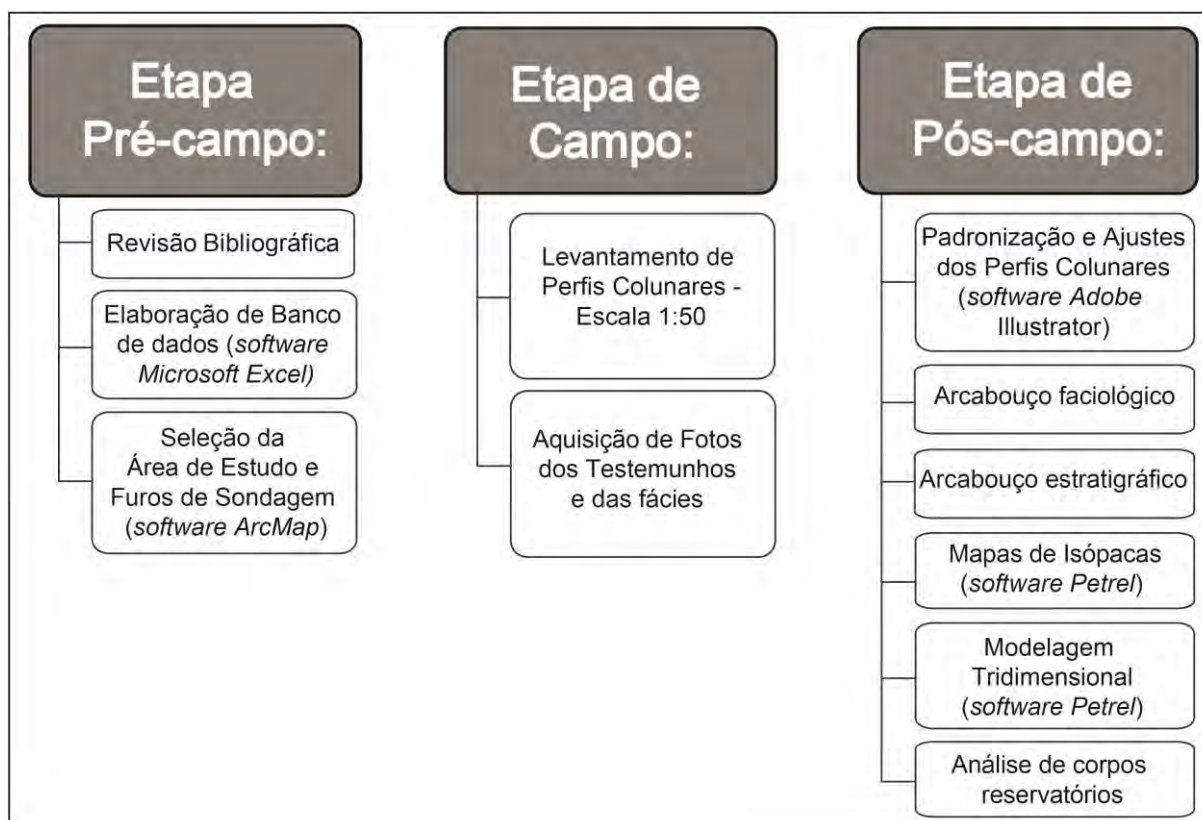
- **Sequência Estratigráfica Genética**

Definida por Galloway (1989), a sequência estratigráfica genética é delimitada pela SIM, que consiste em um *datum* cronoestratigráfica da bacia, e assim como na sequência Transgressiva-Regressiva, independe de quedas do nível de base. A SIM marca uma mudança na distribuição paleogeográfica dos sistemas deposicionais e dos depocentros, sendo um bom critério para análise de momentos distintos da bacia.

3. METODOLOGIA E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO

As metodologias empregadas neste projeto são frequentemente utilizadas nos trabalhos que envolvem o desenvolvimento de pesquisa em estratigrafia no setor de petróleo. A sistemática é empregada para a aquisição, processamento, interpretação e representação de dados para uma conclusão das características e potencialidades de aproveitamento das rochas estudadas, ou servindo como exemplo de análogo para a avaliação de casos similares. A metodologia foi dividida em três principais etapas e suas respectivas atividades (Figura 13): Etapa Pré-campo, Campo e Pós-campo.

Figura 13: Esquema com as especificidades das etapas da metodologia proposta para o trabalho e os *softwares* utilizados.



3.1. Etapa Pré-campo

3.1.1. Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica foi baseada na análise dos principais livros e artigos sobre sedimentologia, sistemas deposicionais, estratigrafia de sequências e reservatórios de petróleo. Adicionalmente, foram utilizados os principais trabalhos desenvolvidos na Bacia do Paraná, e em especial as publicações do Grupo Guatá (Eopermiano), no Rio Grande do Sul, destacando-se os estudos com enfoque em controles de sedimentação, tectônico e na caracterização e modelagem de corpos reservatórios. A revisão bibliográfica foi realizada durante todo o desenvolvimento do projeto.

3.1.2. Elaboração de Banco de Dados

Os testemunhos de sondagem, estocados pela CPRM na Litoteca Regional de Caçapava do Sul-RS, foram adquiridos a partir dos projetos de pesquisa para carvão mineral, executados entre os anos de 1970 e 1980, nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. O acervo é constituído por cerca de 50.000 caixas de testemunhos de sondagem. Entretanto, não há um banco de dados que auxilie no planejamento das descrições de testemunhos, tais como a posição do furo, a profundidade de alcance ou a numeração das caixas para o acesso de um intervalo específico.

Através dos perfis descritivos de perfuração, fornecidas pela CPRM, foi possível coletar as informações dos 17 testemunhos de sondagem da região de São Gabriel, RS. Estas informações foram organizadas em um banco de dados em formato de tabela, com o auxílio do *software Microsoft Excel* (Figura 14). Na tabela, cada poço possui os dados de coordenadas UTM, cota da boca, intervalo de perfuração, intervalo da Formação Rio Bonito, unidades sobrepostas, unidades sotopostas e observações.

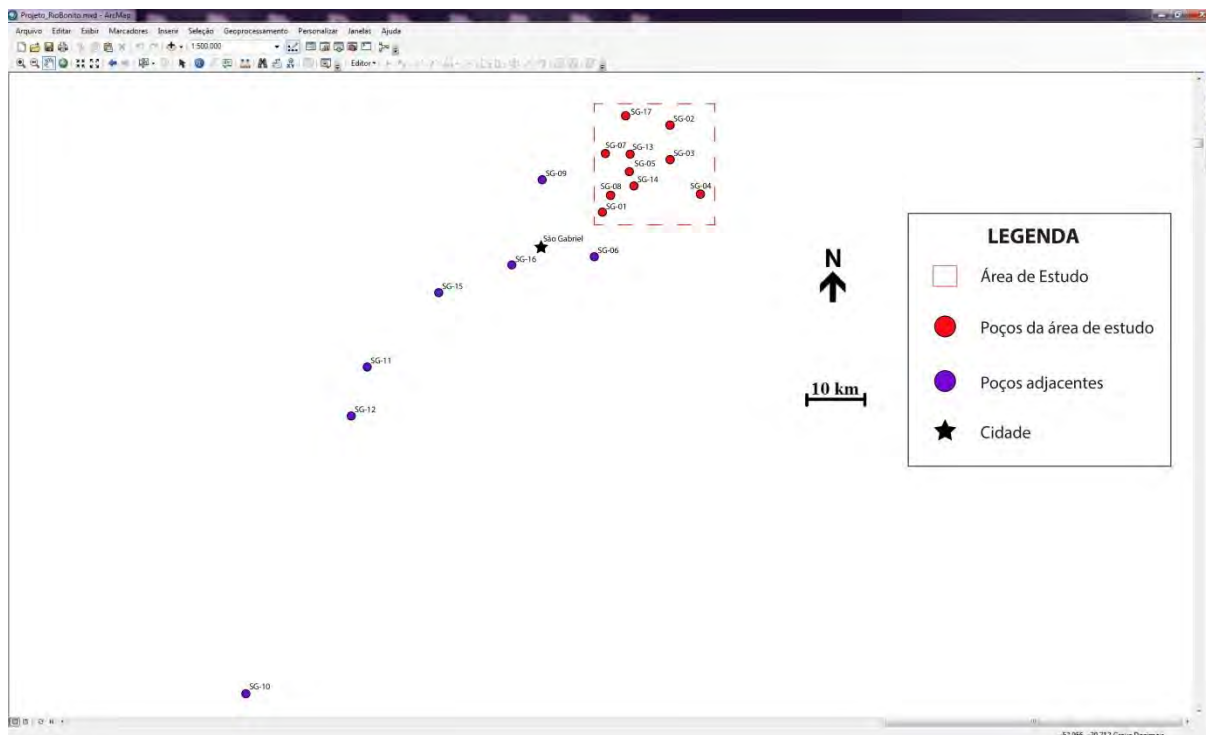
Figura 14: Janela de visualização do *software Microsoft Excel* com o banco de dados em formato de tabela, com as informações dos 17 testemunhos de sondagem da região de São Gabriel, RS.

BANCO DE DADOS - TESTEMUNHOS SÃO GABRIEL - RS								
FURO	UTM_X	UTM_Y	COTA_BOCA	Interv. Total	Interv. Fm. Rio Bonito	Unidades sobrepostas	Unidades sotopostas	Observação
SG01	767000	6647000	90	0.0 - 83.25	0.0 - 78.9	Embasamento	Nenhuma	
SG02	777350	6660000	75	0.0 - 134.1	24.9 - 130.14	Embasamento	Fm. Palermo	
SG03	777550	6654900	85	0.0 - 169.95	60.8 - 167.66	Embasamento	Fm. Palermo	
SG04	782000	6649750	130	0.0 - 86.8	0.0 - 82.54	Embasamento	NENHUMA	
SG05	771000	6652850	85	0.0 - 269.45	133.0 - 262.0	Embasamento	Fm. Palermo	Falta cx. 13/70
SG06	765800	6640000	120	0.0 - 63.0	0.0 - 61.65	Embasamento/Gr. Itararé	NENHUMA	
SG-07	767450	6656000	100	0.0 - 178.75	93.3 - 176.25	Embasamento	Fm. Palermo	
SG08	768400	6649400	90	0.0 - 131	42.7 - 121.2	Embasamento/Gr. Itararé	Fm. Palermo	
SG-09	757800	6651800	100	0.0 - 210.4	126.6 - 206.7	Embasamento	Fm. Palermo	Falta cx. 44/55
SG-10	738150	6531800	136.5	0.0 - 352.5	144.5 - 310.85	Gr. Itararé	Fm. Palermo	
SG-11	731000	6623300	100	0.0 - 65.0	0.0 - 50.0	Embasamento/Gr. Itararé	Fm. Palermo/Irati	
SG-12	728650	6615650		0.0 - 236.2	69.0 - 210.0	Embasamento/Gr. Itararé	Fm. Palermo	
SG-13	769800	6655950	80	0.0 - 223.79	136.0 - 216.0	Embasamento	Fm. Palermo	
SG-14	772000	6651000	80	0.0 - 266.8	115.0 - 254.1	Gr. Itararé	Fm. Palermo	
SG-15	742000	6634500	140	0.0 - 300.1	183.0 - 300.1	NENHUMA	Fm. Palermo/Irati	
SG-16	753200	6638700	110	0.0 - 133.0	44.85 - 128.0	Embasamento	Fm. Palermo	
SG17	770800	6661600	105	243.2 - 336.6	253.2 - 336.0	Embasamento	Fm. Palermo/Irati/Estrada Nova	

3.1.3. Seleção da Área de Estudos e Furos de Sondagem

A partir do banco de dados, com o auxílio do *software ArcMap*, foi possível visualizar o posicionamento dos testemunhos da região de São Gabriel, RS (Figura 15). A área de estudo foi selecionada usando principalmente a densidade e o espaçamento entre os poços, que preferencialmente deveria ter uma malha que atendesse os objetivos de correlação estratigráfica e modelagem. Usando os critérios estabelecidos, a porção NE, com aproximadamente 225 km², foi escolhida por concentrar 10 dos 17 poços da região (SG-01, SG-02, SG-03, SG-04, SG-05, SG-07, SG-08, SG-13, SG-14 e SG-17), e por os mesmos estarem espaçados em média 5,5 km.


Figura 15: Janela de visualização do *software ArcMap*, com os 17 poços da região de São Gabriel georreferenciados. Na imagem é possível observar a área de estudo selecionada na porção NE, escolhida pela maior densidade de poços.




O critério de seleção dos furos para a descrição dos testemunhos está baseado na preservação do topo e da base da Formação Rio Bonito (de acordo com os dados dos perfis descritivos de perfuração dos poços e das informações disponibilizadas pela CPRM) e na posição dos poços, de modo que sejam preferidos os testemunhos que estejam alinhados aproximadamente perpendicular e paralelo ao escudo sul rio-grandense, configurando assim as seções *dip* e *strike* do intervalo de estudo da bacia, respectivamente. Outros critérios foram, a preferência para os testemunhos completos (sem intervalos inexistentes ou extravios de caixas), e que os mesmos atingissem o embasamento (para a aquisição completa da unidade de estudo), com ausência ou pequena espessura de unidades sedimentares sotopostas. Dentro do orçamento do projeto, em conformidade com os critérios acima mencionados, dos 10 testemunhos disponíveis para a área de estudo, foram selecionados 5 (SG-02, SG-03, SG-04, SG-05, SG-08 e SG-17), para a descrição em escala 1:50 e utilização das curvas de raios-gama e do perfil litológico correspondente, disponíveis no perfil descritivo dos testemunhos, fornecido pela CPRM. Os outros cinco testemunhos (SG-01, SG-05, SG-07, SG-13 e SG-14) foram utilizados as curvas de raios-gama e perfis litológicos, para a correlação com os testemunhos descritos (Figura 1 e Figura 16).

Figura 16: Banco de dados dos testemunhos da região de São Gabriel-RS. Destaque para os poços SG-02, SG-03, SG-04, SG-08 e SG-17, selecionados para a descrição, e os poços SG-01, SG-05, SG-07, SG-13 e SG-14 selecionados para a análise e correlação a partir das curvas de raios gama e dos perfis litológicos.

BANCO DE DADOS - TESTEMUNHOS SÃO GABRIEL - RS							
FURO	UTM_X	UTM_Y	COTA_BOCA	Interv. Total	Interv. Fm. Rio Bonito	Unidades sobrepostas	Unidades sotopostas
SG01	767000	6647000	90	0.0 - 83.25	0.0 - 78.9	Embasamento	Nenhuma
SG02	777350	6660000	75	0.0 - 134.1	24.9 - 130.14	Embasamento	Fm. Palermo
SG03	777550	6654900	85	0.0 - 169.95	60.8 - 167.66	Embasamento	Fm. Palermo
SG04	782000	6649750	130	0.0 - 86.8	0.0 - 82.54	Embasamento	NENHUMA
SG05	771000	6652850	85	0.0 - 269.45	133.0 - 262.0	Embasamento	Fm. Palermo
SG06	765800	6640000	120	0.0 - 63.0	0.0 - 61.65	Embasamento/Gr. Itararé	NENHUMA
SG-07	767450	6656000	100	0.0 - 178.75	93.3 - 176.25	Embasamento	Fm. Palermo
SG08	768400	6649400	90	0.0 - 131	42.7 - 121.2	Embasamento/Gr. Itararé	Fm. Palermo
SG-09	757800	6651800	100	0.0 - 210.4	126.6 - 206.7	Embasamento	Fm. Palermo
SG-10	738150	6531800	136.5	0.0 - 352.5	144.5 - 310.85	Gr. Itararé	Fm. Palermo
SG-11	731000	6623300	100	0.0 - 65.0	0.0 - 50.0	Embasamento/Gr. Itararé	Fm. Palermo/Irati
SG-12	728650	6615650		0.0 - 236.2	69.0 - 210.0	Embasamento/Gr. Itararé	Fm. Palermo
SG-13	769800	6555950	80	0.0 - 223.79	136.0 - 216.0	Embasamento	Fm. Palermo
SG-14	772000	6651000	80	0.0 - 266.8	115.0 - 254.1	Gr. Itararé	Fm. Palermo
SG-15	742000	6634500	140	0.0 - 300.1	183.0 - 300.1	NENHUMA	Fm. Palermo/Irati
SG-16	753200	6638700	110	0.0 - 133.0	44.85 - 128.0	Embasamento	Fm. Palermo
SG17	770800	6661600	105	243.2 - 336.6	253.2 - 336.0	Embasamento	Fm. Palermo/Irati/Estrada Nova

 Descrição de testemunho, curvas de raios gama e perfil litológico

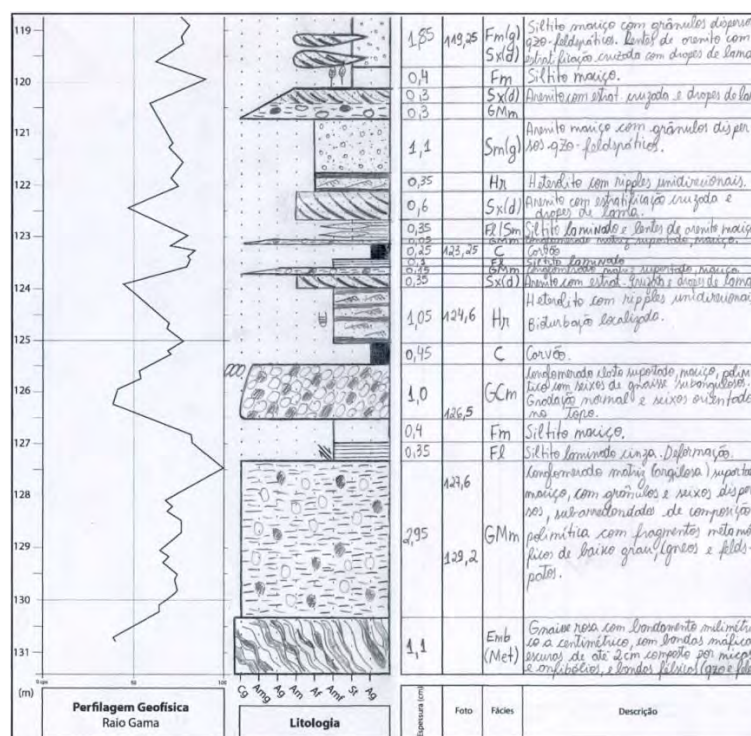
 Curvas de raios gama e perfil litológico

3.2. Etapa de Campo

3.2.1. Levantamento de Perfis Colunares

Consiste na descrição de testemunhos em escala 1:50, de modo que foram consideradas feições a partir de 5 cm de espessura. A técnica empregada consiste na descrição do testemunho, da base para o topo, utilizando folhas padronizadas (Figura 17) com a curva de raios-gama do poço já alocado nas profundidades correspondentes. Nas folhas padronizadas são estabelecidos espaços para a descrição litológica, ilustração e representação dos atributos observados no testemunho, como espessura, litologia, textura, estruturas, contatos entre as camadas, cor e fósseis, através de símbolos comumente utilizados. Outras ferramentas de auxílio utilizadas para a descrição foram uma trena, um escalímetro e uma lupa de mão (zoom de 10x). Para otimizar a descrição, são utilizadas abreviaturas prévias para codificar as litofácies, sendo estes códigos adaptados de outros trabalhos já estabelecidos, como o de Miall (1996).

Figura 17: Exemplo de folha padronizada utilizada para descrição de testemunho de sondagem. Descrição do testemunho SG-02 no intervalo 118,7 - 131,5 m.



O perfil colunar fornece uma percepção visual imediata do pacote, ajudando na observação da variabilidade de fácies, e como essas fácies estão dispostas umas às outras. A medida que as litologias são identificadas, é possível comparar os dados descritos com a curva dos raios-gama do intervalo, podendo esta ajudar no ajuste de profundidade dos pacotes.

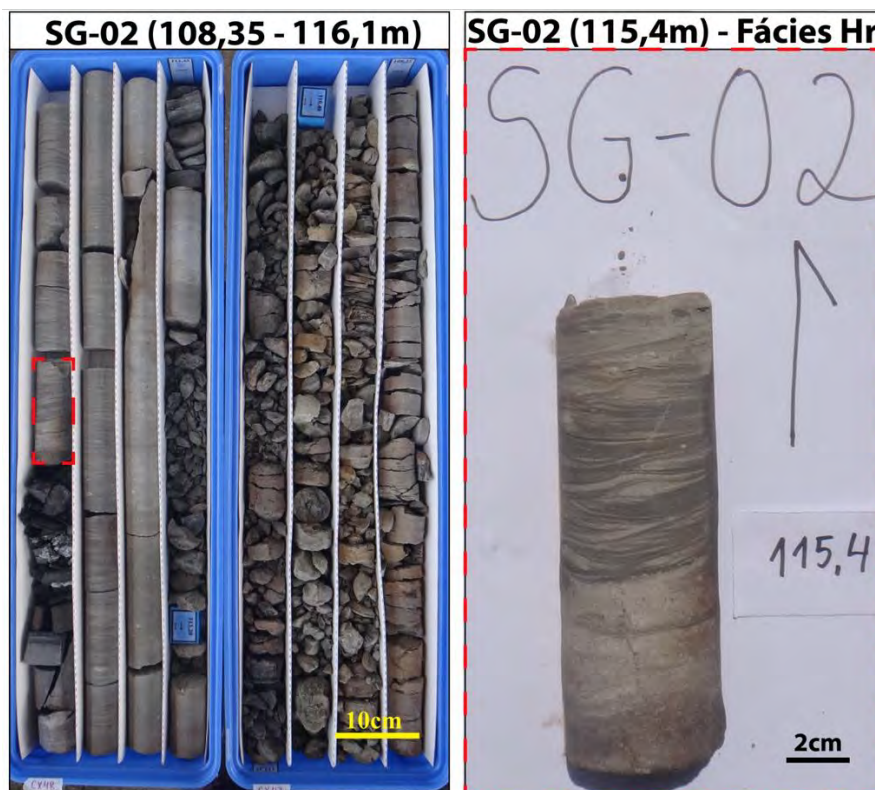
Neste trabalho, o levantamento de perfis colunares foi dividido em duas partes: a primeira em fevereiro de 2017, com a descrição dos testemunhos SG-02, SG-04 e SG-17, e, a segunda, em setembro de 2017, com a descrição dos testemunhos SG-03 e SG-08. Ao todo foram descritos 418 m de testemunhos.

A principal vulnerabilidade do método é o limitado volume de rocha disponível em um testemunho, no tocante a variação lateral e continuidade horizontal de uma fácies. Por isso, às vezes é difícil determinar uma fácies, principalmente baseada em uma estrutura sedimentar com apenas uma janela de visualização de 5 cm (diâmetro do testemunho). Isso acarreta em um grau de incerteza na descrição de determinadas fácies, principalmente relacionadas a estruturas sedimentares de médio e grande porte. Outro problema que pode ocorrer é a perda ou aumento de espessura do testemunho por motivos como baixa recuperação, friabilidade do intervalo, ou ainda extravios ou inversões de parte do testemunho. Para isso, o descritor precisa observar as estruturas presentes, e se a sucessão vertical tem sentido estratigráfico, a fim de se atentar a intervalos duvidosos.

3.2.2. Aquisição de Fotos dos Testemunhos e das Fácies

Junto ao levantamento dos perfis colunares, todas as fácies identificadas e as caixas que armazenam os testemunhos descritos foram fotografadas com o auxílio de uma câmera digital modelo SONY DSC-H300 20.1 MP (zoom de 35x, lentes de 25 mm – grande angular e tela LCD 3,0). A captura das fotos das fácies consiste na seleção dos intervalos com as feições mais representativas. Cada intervalo do testemunho descrito que se deseja fotografar é levado até uma bancada, com indicações do testemunho e da profundidade correspondente, além do sentido do topo (Figura 18). Todas as fotografias adquiridas são indicadas na folha padronizada de descrição de testemunho. Com essa sistemática, cada feição selecionada possui as suas informações correspondentes na própria fotografia, evitando problemas com extravios ou possíveis renomeações incorretas.

Figura 18: Exemplos da sistemática de aquisição de fotos, com as fotos do testemunho SG-02 no intervalo 108,35 – 116,1 m, e detalhe da fácies Hr na profundidade 115,4 m.



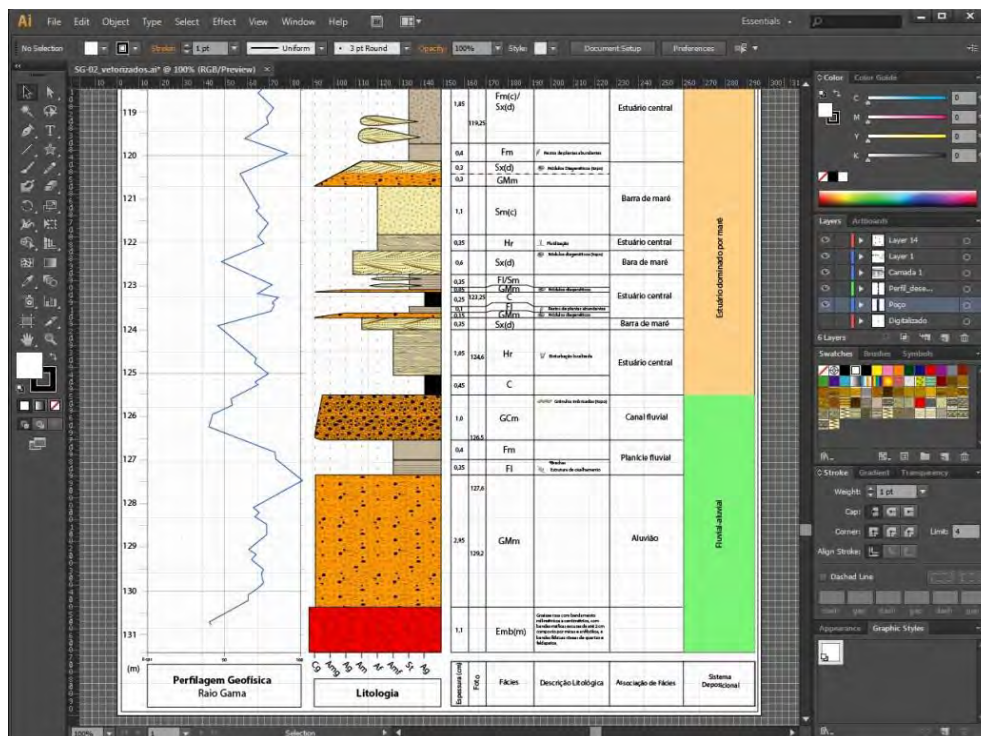
A vulnerabilidade da técnica consiste principalmente na limitação ambiental para realização da aquisição fotográfica de boa qualidade em tempo hábil, sendo prejudicada por dias nublados, iluminação solar de baixo ângulo e outras situações.

3.3. Etapa Pós-campo

3.3.1. Padronização e Ajustes dos Perfis Colunares

Os perfis colunares descritos em uma folha padronizada de campo são vetorizados com o *software Adobe Illustrator*, para que os dados adquiridos na etapa de campo possam ser trabalhados em meio digital. Neste sentido, este *software* possibilita os ajustes da curva de raios-gama, espessura dos pacotes, edição e padronização das cores e simbologias utilizadas para indicar os atributos vistos durante a descrição dos testemunhos (Figura 19).

Figura 19: Janela de visualização do *software Adobe Illustrator* usado para digitalização. Na imagem do poço SG-02 no intervalo 118,5 – 131,5 m com as espessuras das camadas ajustadas, cores padronizadas, etc.



Com a padronização e ajuste dos perfis colunares, é possível uma melhor visualização das fácies descritas, e um posterior agrupamento de fácies geneticamente relacionadas, para o entendimento das associações de fácies, o que possibilita uma interpretação da sucessão vertical para o entendimento dos sistemas deposicionais.

3.3.2. Arcabouço Faciológico

A elaboração do arcabouço faciológico consiste na organização e interpretação das informações obtidas com as descrições dos testemunhos. Neste sentido, todas as fácies foram organizadas em uma tabela, seguindo a proposta de Miall (1996) (Figura 20), com código, descrição e interpretação dos processos sedimentares envolvidos. Para ajudar no reconhecimento das fácies, na tabela de fácies, foi adicionada uma foto representativa de cada uma das fácies.

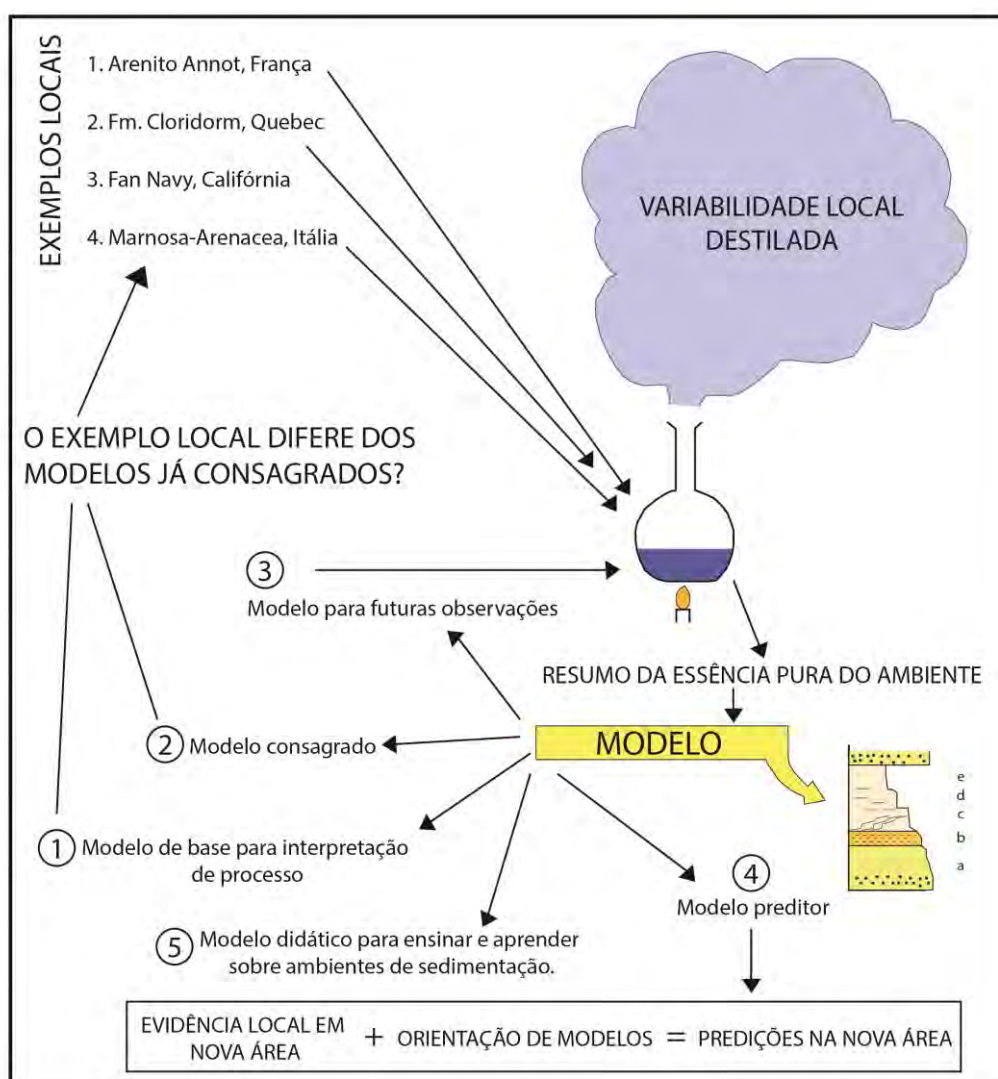
Figura 20: Tabela de fácies com código, nomenclatura, estruturas sedimentares e interpretação.

Código	Fácies	Estruturas sedimentares	Interpretação
Gmm	Cascalho maciço matriz-suportado	Gradação incipiente	Fluxo de detritos plásticos, fluxo viscoso, alta coesão interna
Gmg	Cascalho matriz-suportado	Gradação inversa a normal	Fluxo de detritos pseudoplástico, fluxo viscoso, baixa coesão interna
Gci	Cascalho clasto-suportado	Gradação inversa	Fluxo de detritos, alta concentração de clastos (alta coesão interna) ou fluxo de detritos pseudoplástico (baixa coesão)
Gcm	Cascalho maciço clasto-suportado		Fluxo de detritos pseudoplástico (fluxo turbulento)
Gh	Cascalho clasto-suportado acamadamento incipiente	Acamadamento horizontal imbricado	Formas de leito longitudinais, depósitos residuais (<i>lags</i>)
Gt	Cascalho estratificado	Estratificações cruzadas acanaladas	Preenchimento de pequenos canais
Gp	Cascalho estratificado	Estratificações cruzadas planares	Formas de leito transversais, crescimento deltaico a partir de barras remanescentes
St	Areia fina a muito grossa (podendo ser cascalhosa)	Estratificações cruzadas acanaladas	Dunas 3D, cristas sinuosas ou linguóides
Sp	Areia fina a muito grossa (podendo ser cascalhosa)	Estratificações cruzadas planares	Dunas transversais 2D
Sr	Areia muito fina a grossa	Laminações cruzadas de marcas onduladas	Marcas onduladas (regime de fluxo inferior)
Sh	Areia muito fina a grossa (podendo ser cascalhosa)	Laminação horizontal, lineação de partição	Formas de leito plano (regime de fluxo superior/crítico)
Sl	Areia muito fina a grossa (podendo ser cascalhosa)	Estratificações cruzadas de baixo ângulo (15°) (podendo ser sigmoidais)	Preenchimento de suaves depressões (<i>scour fills</i>), dunas atenuadas, antidunas
Ss	Areia muito fina a grossa (podendo ser cascalhosa)	Amplas e suaves depressões	Preenchimento de suaves depressões (<i>scour fills</i>)
Sm	Areia fina a grossa	Maciça ou laminação indistinta	Depósitos de fluxos hiperconcentrados, fluidizações ou intensa bioturbação
Fl	Areia, silte, lama	Laminações finas. laminações cruzadas de marcas onduladas de muito pequeno porte	Depósitos externos ao canal, canais abandonados ou depósitos inundação
Fsm	Silte, lama	Maciço	Depósitos externos ao canal ou canais abandonados
Fm	Lama, silte	Maciço, gretas de contração	Depósitos externos ao canal ou canais abandonados
Fr	Lama, silte	Maciço, raízes, bioturbação	Solo incipiente
C	Carvão, lama carbonosa	Restos vegetais, filmes de lama	Depósitos de pântanos vegetados (<i>swamps</i>)
P	Paleossolo carbonático (calcita, siderita)	Feições pedogênicas; nódulos, filamentos	Solo com precipitação química

Fonte: Traduzido de Mial, 1996.

As fácies geneticamente relacionadas entre si são agrupadas em associações de fácies, que apresentam significado no ambiente deposicional (COLLINSON e THOMPSON, 1989). O arcabouço faciológico foi estabelecido a partir da análise e adaptações de modelos deposicionais presentes na bibliografia. Com isso, foi elaborada uma tabela com os sistemas deposicionais, associações de fácies e as fácies componentes interpretadas. Por fim, utilizando o método da destilação de Walker (1984) (Figura 21), que propõe a orientação de modelos já consagrados para a adaptação de um modelo específico para a área de estudo, foi criado um bloco diagrama, para representação do modelo deposicional orientado proposto para a área de estudo, com os sistemas deposicionais e associações de fácies interpretadas.

Figura 21: Método da destilação de Walker (1984). Esta metodologia indica que para a construção de um modelo deposicional de uma determinada area, é necessário analisar as semelhanças e as diferenças com modelos já consagrados na literatura. Desta maneira, com as evidências particulares da área, e, com a orientação dos modelos consagrados, é possível estabelecer um modelo específico para a area específica



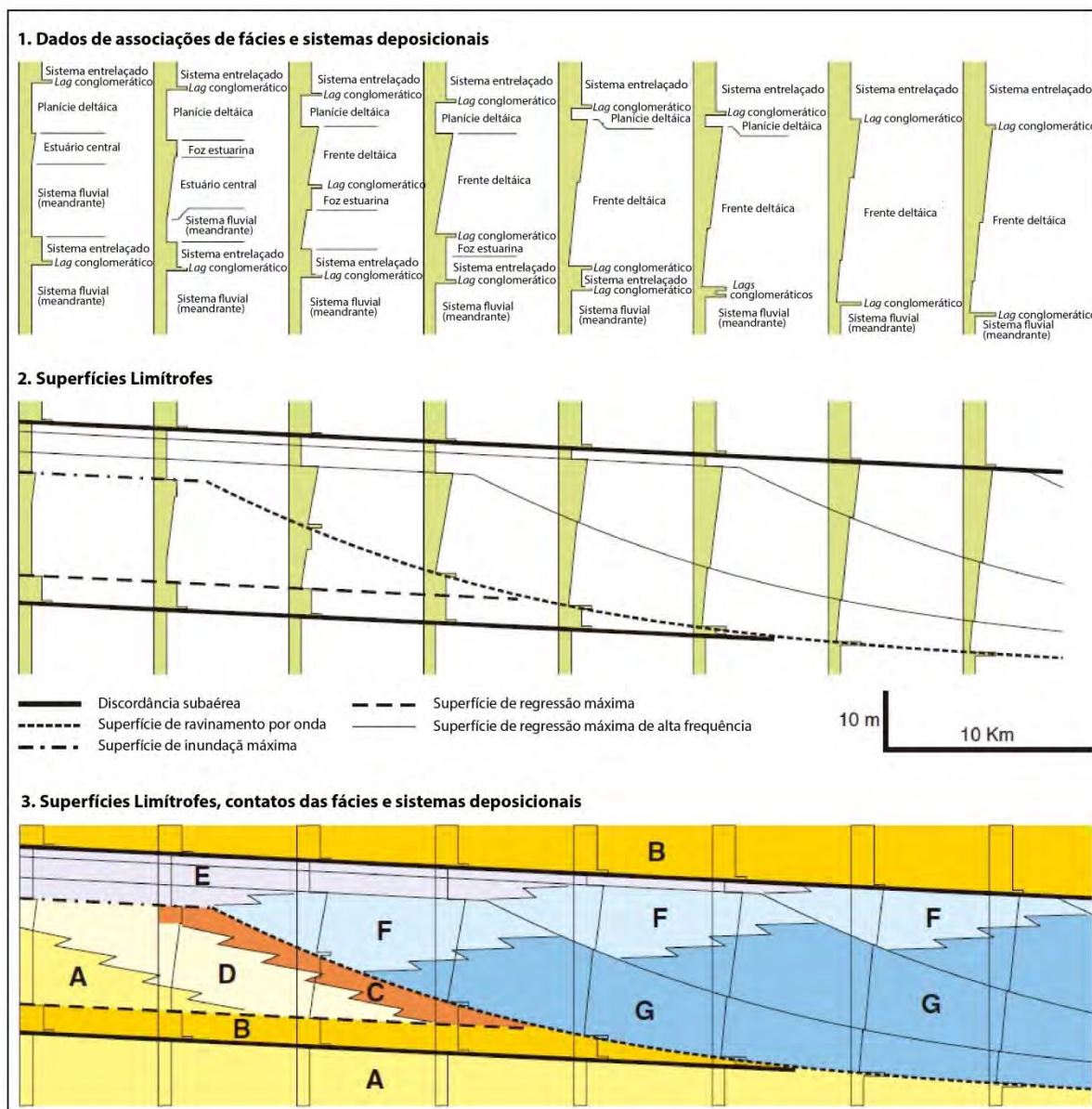
As principais vulnerabilidades são que as fácies descritas sejam condizentes com o testemunho, a subjetividade do autor e a sua capacidade de organizar e interpretar corretamente fácies, associações de fácies e sistemas deposicionais, e a extrapolação das informações a partir de dados pontuais como os de testemunhos de sondagem.

3.3.3. Arcabouço Estratigráfico

A estratigrafia de sequências é uma metodologia baseada na identificação de pacotes de rochas geneticamente relacionados, chamados de sequências (CATUNEANU et al. 2011). Esse método permite a correlação e posterior compartimentação de unidades estratigráficas para análise dos controles de sedimentação e tectônico.

A partir da disposição lado a lado, dos perfis descritos, e das curvas de raios-gama, é possível correlacionar as associações de fácies e a visualizar as mudanças verticais e laterais nos sistemas deposicionais. Os testemunhos são correlacionados em seções *strike* e *dip* (Figura 22), paralelo e perpendicular ao depocentro da bacia, respectivamente. A técnica consiste na utilização nas premissas da estratigrafia de sequências, de acordo com Catuneanu (2006) e Catuneanu et al. (2011) para reconhecimento e “amarração” dos tratos de sistemas ou padrões de empilhamento, superfícies limítrofes e sequências nas seções correlacionadas. As correlações estratigráficas foram realizadas com os dados do arcabouço faciológico, com as curvas de raios gama e os perfis litológicos.

Figura 22: (1) perfis com associações de fácies hipotéticas, dispostos lado a lado. (2) Delimitação das superfícies limítrofes a partir das associações de fácies. (3) Correlação, em seção *dip*, das associações de fácies geneticamente relacionadas utilizando a estr. estratigrafia de seqüências (superfícies limítrofes).



Fonte: Traduzido de Catuneanu, 2006.

Neste trabalho, a principal vulnerabilidade é a distância dos perfis descritos (cerca de 8,5 km), o que dificulta a correlação na escala desejada. Entretanto, a utilização das curvas de raios gama, dos testemunhos não descritos, reduz o espaçamento dos poços (aproximadamente 5,5 km), e ajuda na visualização das principais tendências progradacionais e retrogradacionais, melhorando o posicionamento das superfícies limítrofes interpretadas. Outra vulnerabilidade é a subjetividade do autor em identificar os tratos de sistemas e as superfícies limítrofes na correlação dos testemunhos, uma vez que a técnica é interpretativa.

3.3.4. Mapas de Isópacas

Segundo Alvarenga (2007), um mapa de isópaca registra a variação da espessura de uma camada rochosa ou de um pacote de camadas rochosas. Para auxiliar a interpretação dos eventos de deposição e acúmulo diferencial dos intervalos, foram elaborados um mapa de isópacas do intervalo completo e um para cada padrão de empilhamento definido. A construção destes mapas foi realizada com o auxílio do *software* Petrel 2009 pelo método da interpolação, utilizando os dados dos arcabouços faciológico e estratigráfico, definir as linhas de igual espessura.

A vulnerabilidade do método está vinculada a correta medida de espessuras na etapa de descrição de testemunho e na extrapolação aos poços não descritos. Além disso, outra observação a ser feita é a subjetividade do autor em analisar os mapas produzidos junto às informações dos arcabouços faciológico e, principalmente, estratigráfico.

3.3.5. Modelagem Tridimensional

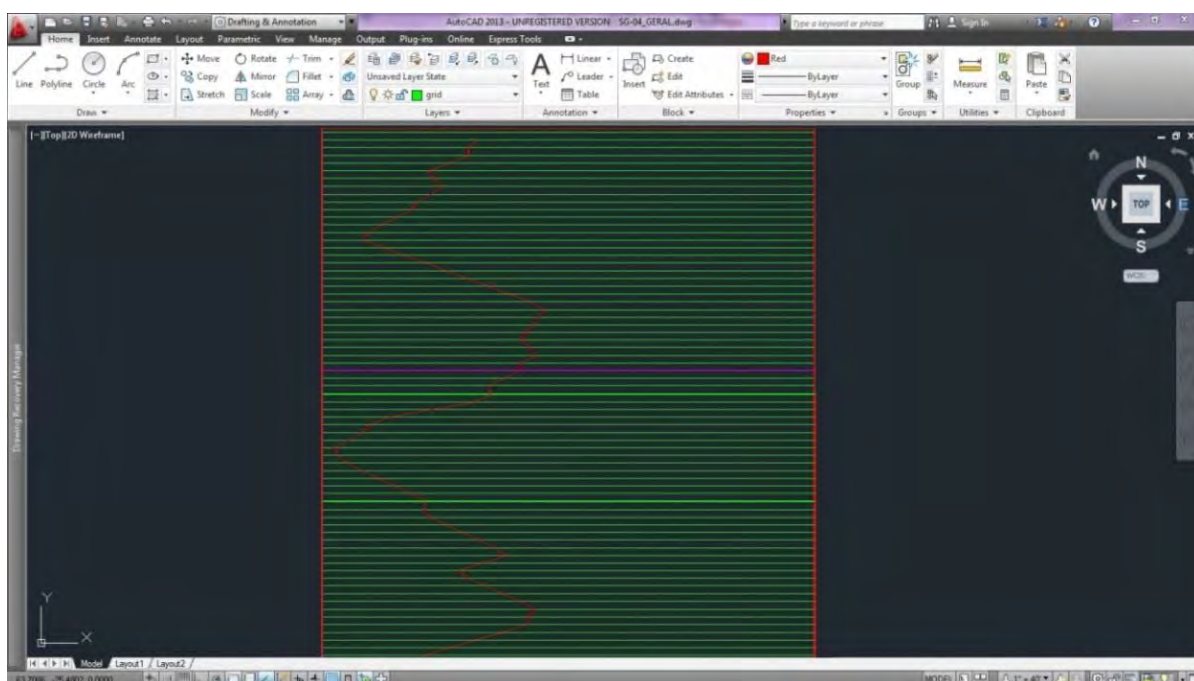
Esse método consiste na inserção e integração dos dados do arcabouço faciológico e estratigráfico do intervalo de estudo em ambiente tridimensional. Neste estudo, a modelagem tridimensional será realizada com o auxílio do *software* Petrel. Esta etapa do projeto é feita na escala de compartimentação das unidades estratigráficas, através das superfícies limítrofes, e internamente é definida pela distribuição das associações de fácies, em um contexto de controle estratigráfico.

3.3.5.1. Carregamento de Dados

O carregamento dos dados inicia com os poços utilizados na área de estudo. Para isso, os dados dos poços (nome, coordenada, topo, base, elevação) são organizados em uma tabela com o auxílio do *software* Excel, e salvos em um arquivo formato (.txt). Este arquivo é importado no *software* Petrel como dado de *Well head*.

O segundo dado inserido são as curvas de raios gama correspondentes de cada poço. Para a utilização das curvas de raios-gama na modelagem, é utilizado o *software Autodesk* 2013 (Figura 23) e o complemento *Dxf2xyz* 2.0 para, a partir de uma base escaneada dos perfis descritivos cedidos pela CPRM, exportar os dados da curva de raios-gama como um arquivo em formato (.dxf) e posteriormente com o auxílio do *software Microsoft Excel*, em formato tabelado (.txt). Com este formato, os arquivos são importados como *Well logs II* (ASC II) no *software* Petrel, indicando a propriedade *gamma ray*.

Figura 23: Janela de visualização do *software Autodesk*, utilizado para digitalização da curva de raios-gama do poço SG-04, no intervalo 17,0 – 24,0 m.



A inserção dos dados de litologia, adquiridos a partir dos perfis descritivos dos poços fornecidos pela CPRM, e de associações de fácies e sistemas deposicionais, estabelecidos pelo arcabouço faciológico, é realizada manualmente a partir da criação de *Discrete property templates* específicos para cada um desses atributos.

A inserção das superfícies limítrofes, padrões de empilhamento e sequências, é realizada com a ferramenta *Well section fence* para a visualização dos poços em seções de correlação conforme processado na análise estratigráfica. As seções de correlação são visualizadas em *Well section*, e nestas seções, através da ferramenta *Create well top*, são posicionadas as superfícies limítrofes e, por consequência, delimitadas pelos *well tops*, são criadas as *zones*, que representam os padrões de empilhamento e sequências definidas.

3.3.5.2. Definição da área de Modelagem

Para a definição da área de modelagem, foi utilizada a ferramenta *Make Polygons*, ítem *Boundaries*, no *software* Petrel, para a delimitação de um polígono de modelagem que abrangesse os 10 poços estudados (SG-01, SG-02, SG-03, SG-04, SG-05, SG-07, SG-08, SG-13, SG-14 e SG-17). O polígono foi estabelecido com a indicação das coordenadas UTM (SAD-69), Xmin 766492, Xmax 782456, Ymin 6646492 Ymax 6662280.

3.3.5.3. Definição da Malha de modelagem

Para a definição da malha de modelagem, foi usada a metodologia de “Análise Estatística dos Dados e Definição de Malha”, adotado por Alvarenga (2007) e Scherer (2007). Para a malha horizontal, a partir do posicionamento georreferenciado dos poços, realizados com o auxílio do *software ArcMap*, no *software Autodesk* foram traçados os segmentos que correspondem aos possíveis alinhamentos de correlação dos poços na área de estudo utilizando essas de modo que cada poço fosse cortado por três segmentos, entretanto, tomando cuidado para não ocorrer cruzamentos destes. Os segmentos foram extraídos em um arquivo em formato (.dxf) e, com o complemento Dxf2xyz 2.0, convertidos ao formato (.xyz). Com este arquivo, foi possível a leitura dos comprimentos dos segmentos utilizando o *software Excel*, e com este mesmo programa foram obtidos dados estatísticos relativos aos comprimentos dos segmentos. A definição da malha horizontal consiste no valor da mediana subtraído pelo desvio padrão dividido por três $((Md - Dp)/3)$. Após a realização deste cálculo, a malha pode ser arredondada, a fim de tornar a divisão da área mais prática, ou ainda, ser adensada ou expandida, de acordo com os resultados prévios da modelagem.

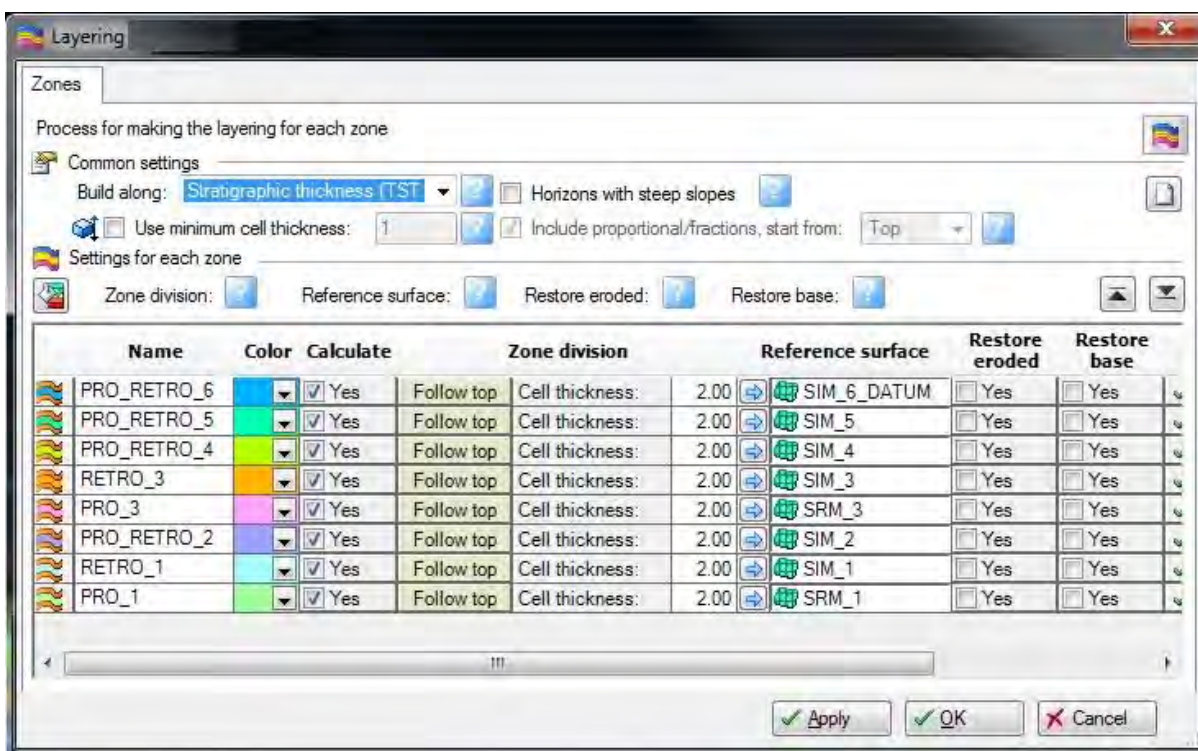
Já a malha vertical foi estabelecida de acordo com as observações das espessuras das camadas descritas na etapa de campo, sendo escolhida uma espessura pequena (centimétrica) que seja frequente nas descrições, sendo esta a espessura mínima considerada na modelagem.

3.3.5.4. Definição da Propriedade de Modelagem

Para a definição da propriedade a ser modelada, foi utilizado a ferramenta *Geometrical modeling*, em que foi então selecionada a *template* correspondente às associações de fácies e o método de *Zone index* para que a modelagem seja baseada nos dados que compõem um intervalo indicado dentro de um pacote de rochas, ou seja, uma modelagem com a interpolação delimitada pelas superfícies modeladas.

O próximo passo foi a geração das zonas a serem modeladas. Através da ferramenta *Make zones*, foi estabelecida apenas uma zona com todo o intervalo de estudo. Para delimitação dos intervalos de cada um dos padrões de empilhamento estabelecidos no arcabouço estratigráfico, foi utilizada a ferramenta *Layering*. Desta forma, foram criados oito intervalos delimitados pelas superfícies limítrofes (Figura 24). Outras configurações definidas com esta ferramenta foi a preferência dos pacotes seguirem as superfícies de topo, e as divisões internas aos intervalos possuírem até 2 m.

Figura 24: Janela de visualização da ferramenta *Layering* do software Petrel, utilizada para a criação dos intervalos correspondentes aos padrões de empilhamento delimitados pelas superfícies limítrofes modeladas.



O reescalonamento das propriedades de modelagem foi realizada com a ferramenta *Scale up well logs*. Nesta etapa foi definido qual dado estatístico (maior média, ponto médio, maioria) seria utilizado para modelar os atributos presentes nas células. Desta maneira foi usada a opção *most of* (maioria), pois esta se mostrou mais precisa com os dados originais (do arcabouço faciológico) inseridos na *template* correspondente das associações de fácies.

3.3.5.5. Realização da Modelagem

Por fim, a modelagem foi realizada através da ferramenta *Facies modeling*. Nesta etapa foi indicado o interpolador *Sequential indicator simulation* (SIS), pois assim como na modelagem das superfícies, essa opção de interpolação é recomendada para dados discretos como as associações de fácies utilizadas. O raio de busca foi ajustado em relação à área de abrangência, maior ou menor, e a orientação preferencial de distribuição, que pode ser inexistente (isótropa), ou seguir preferencialmente uma das seções (anisótropa), *dip* (045-225) ou *strike* (135-315), do modelo deposicional proposto.

Para a observação do modelo tridimensional foi utilizada a janela de visualização 3D, com ajuste do exagero vertical, filtros de visualização e as diversas vistas (superior, inferior, norte, sul, leste e oeste) do *software* Petrel.

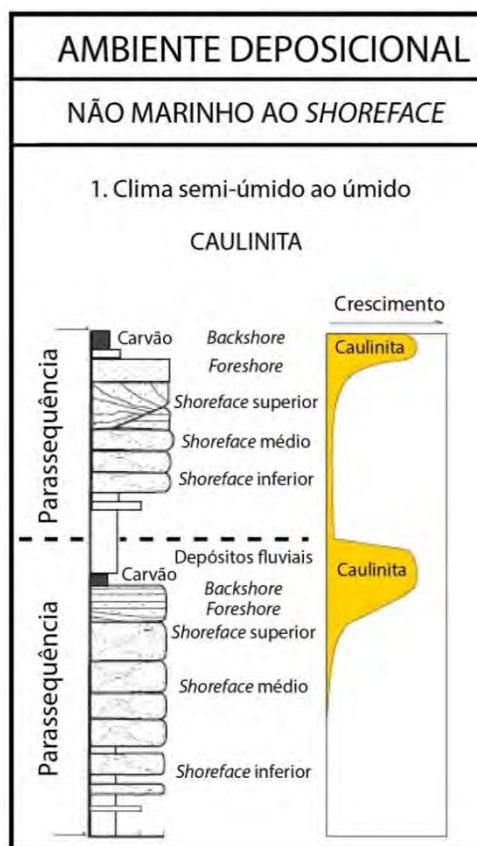
As vulnerabilidades desse método estão relacionadas a uma boa execução de todas as demais metodologias anteriores, e principalmente, e também, às distâncias entre os testemunhos descritos, é uma dificuldade para uma modelagem confiável. A escolha do interpolador deve ser feita com cautela. Outra vulnerabilidade é a ausência de um arcabouço estrutural, visto que este trabalho tem o foco na modelagem tridimensional condicionada apenas ao controle estratigráfico, entretanto majoritariamente o controle estrutural é um dos principais parâmetros de caracterização de corpos reservatórios de hidrocarbonetos.

3.3.6. *Análise de Reservatórios*

Neste trabalho, os principais parâmetros utilizados para a análise dos reservatórios são a litologia (permeabilidade, porosidade), a geometria, o volume de células, as heterogeneidades internas e as conectividades, sendo esses alguns itens apontados por Barwis et al. (1990) para a classificação da qualidade de um corpo reservatório.

A análise de reservatório consiste na avaliação e descrições das principais características de cada reservatório, a partir dos arcabouços faciológico e estratigráfico, dos mapas de isópacas e da modelagem tridimensional, permitindo a seleção e hierarquização dos melhores corpos. A estratigrafia de seqüências, além de ser uma boa técnica para a compartimentação dos pacotes de rocha, usada na modelagem tridimensional, também é utilizada para definir as escalas de corpos reservatórios, como proposto por Küchle e Holz (2002) que indicam cinco níveis de heterogeneidades (1 - Sequências estratigráficas, 2 - Tratos de sistemas, 3 - Parasequências, 4 - Fácies, 5 - Grãos, matriz e poros), abordando o nível 2 deste, com análise de compartimentação dos reservatórios a partir dos limites dos padrões de empilhamento (equivalente, neste trabalho, aos tratos de sistemas). Este nível de heterogeneidade se mostrou satisfatório, pois, as superfícies limítrofes podem atuar como barreiras de fluxo dentro do reservatório (intervalo completo), como indicado por Ketzer et al (2003) em estudos de limites de parassequências (Figura 25). Desta maneira, cada padrão de empilhamento foi considerado um compartimento do reservatório estudado, e internamente esses compartimentos são formados pela distribuição das associações de fácies.

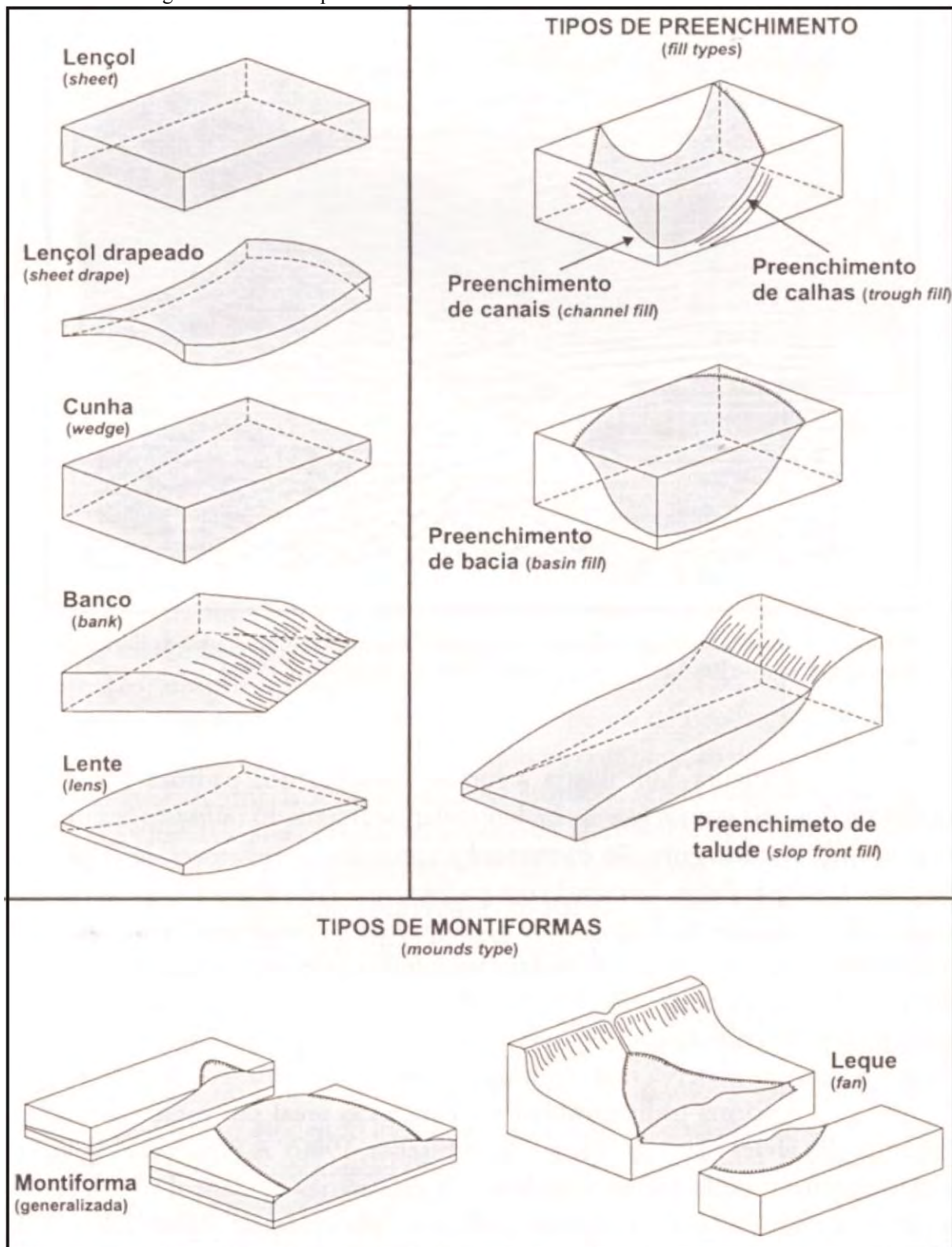
Figura 25: Desenho esquemático mostrando a tendência de aumento de caulinita da base para o topo de uma parassequência, o que causa um obliteramento dos poros e contribuindo para a geração de barreiras de fluxo internas, compartimentando assim o reservatório.



Fonte: Modificado de Ketzer et al. (2003).

A modelagem tridimensional dos reservatórios foi realizada junto às demais associações de fácies, e para a observação específica de cada corpo reservatório de interesse, foram utilizados filtros de visualização do *software* Petrel. Para estudo das geometrias dos corpos reservatórios, foram usados os tipos de geometrias externas de Mitchum Jr., Vail e Sangree (1977), pois embora essa tipologia tenha sido elaborada para a utilização em sismoestratigrafia (Figura 26), essas geometrias também podem ser reconhecidas em outros tipos de dados, como em modelos 3D construídos a partir de dados de testemunhos.

Figura 26: Tipos de geometrias externas comumente utilizadas na sismoestratigrafia e adaptada para a descrição das geometrias dos corpos reservatórios vistos no modelo tridimensional elaborado.



Fonte: Modificado de Mitchum Jr., Vail e Sangree (1977).



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Arcabouço Faciológico


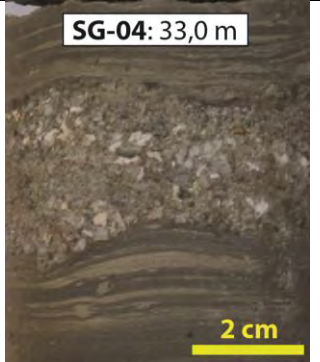
4.1.1. Fácies

A partir da descrição dos testemunhos (Apêndices 1, 2, 3, 4 e 5), realizadas na etapa de campo, foram identificadas 24 fácies, que foram posteriormente organizadas em uma tabela (Tabela 1) baseada na tabela de fácies de Miall (1996) (Figura 20). Compõem o conjunto de fácies de conglomerados, arenitos, pelitos e de carvão, distribuídos em camadas de variadas espessuras (centimétricas a métricas), ao longo dos cinco perfis descritivos de testemunho de sondagem.

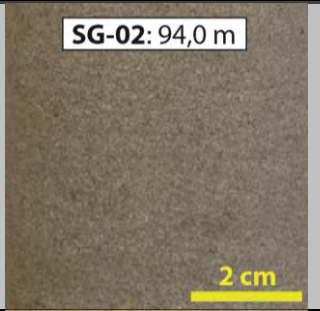

Tabela 1: Tabela de fácies com código, descrição, interpretação e foto.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	INTERPRETAÇÃO	FOTO
GCm	Conglomerado clasto suportado, maciço, ou com grânulos e seixos embriados, subangulos a subarredondados, polimíticos (fragmentos de gnaisse, xisto, granito, quartzo e feldspatos). A matriz é predominantemente argilosa e em alguns casos “matriz” arenosa.	Migração de barras conglomeráticas transversais, com fluxo trativo unidirecional de regime superior, ou transporte e deposição de fluxo de detritos pseudoplástico, com fluxo turbulento em carga de fundo inercial.	
GMm	Conglomerado matriz suportado maciço, com grânulos e seixos dispersos, subangulos a subarredondados, polimíticos (fragmentos de gnaisse, xisto, granito, quartzo e feldspatos). A matriz é predominantemente argilosa e em alguns casos arenosa. Ocorrência de nódulos diagenéticos de até 1 cm.	Transporte e deposição de fluxo de detritos gravitacional plástico, hiperconcentrado de alta viscosidade.	



(Continuação)

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	INTERPRETAÇÃO	FOTO
Gm(i)	Arenito grosso a conglomerado, maciço, imaturo com grãos de quartzo, feldspato e fragmentos líticos, mal a moderadamente selecionados. Contato de base e topo abruptos.	Depósito residual por rastejamento de grãos e erosão de frações mais finas por processos trativos e/ou oscilatórios (<i>lag</i>).	 <p>SG-17: 279,7 m</p> <p>2 cm</p>
Gx(i)	Arenito grosso a conglomerado, podendo ocorrer gradação normal, com estratificação cruzada, imaturo com grãos de quartzo, feldspato e fragmentos líticos, mal a moderadamente selecionados. Contato de base e topo abruptos.	Depósito residual por rastejamento de grãos e erosão de frações mais finas por fluxos trativos unidirecionais subaquosos (<i>lag</i>).	 <p>SG-04: 33,0 m</p> <p>2 cm</p>


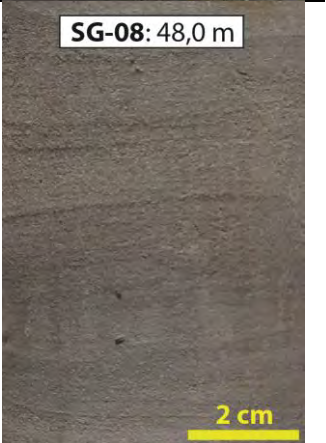
(Continuação)

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	INTERPRETAÇÃO	FOTO
Sm	Arenito muito fino a grosso, frequentemente com gradação normal, maciço, quartzoso, bem selecionado. Pode ocorrer associado com alto grau de fluidização e/ou bioturbação.	Depósito de fluxo gravitacional (deposicionalmente maciço), fluidização (sin ou pós-deposição) ou bioturbação intensa; Depósito trativos (ou oscilatório) em granulometria unimodal (maciço aparente).	 <p data-bbox="1832 391 2018 419">SG-02: 94,0 m</p> <p data-bbox="1989 635 2049 663">2 cm</p>
Sm(g)	Arenito fino a muito grosso conglomerático, por vezes com gradação normal, maciço, com grânulos de quartzo ou quartzo-feldspáticos, de até 0,5 cm, dispersos. Ocorrência de marcas de raiz.	Depósito de fluxo gravitacional.	 <p data-bbox="1832 699 2018 727">SG-02: 121,5 m</p> <p data-bbox="1989 1086 2049 1115">2 cm</p>

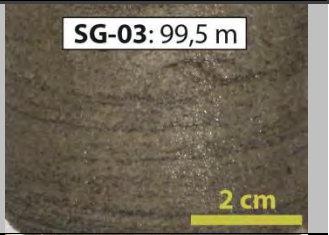


(Continuação)

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	INTERPRETAÇÃO	FOTO
Sx	Arenito grosso a muito grosso com estratificação cruzada marcada por diferença granulométrica. Por vezes com intraclastos lamosos e nódulos diagenéticos de até 1 cm.	Migração de dunas subaquosas com fluxo trativo unidirecional de regime inferior.	
Sx(d)	Arenito fino a grosso, raramente muito grosso, podendo ocorrer gradação normal, subarcócio, com laminação ou estratificação cruzada normalmente bem evidente, e raramente incipiente, marcados por drapes de lama milimétricos, predominantemente simples e algumas vezes duplos, podendo ocorrer homogenia ou heterogeneamente. Ocorrência de grânulos e seixos subangulosos, de quartzo e fragmentos líticos, intracalastos lamosos de até 4 cm, nódulos diagenéticos de até 1 cm, restos de planta, bioturbação e fluidização de intensidade variada.	Alternância de alta energia em ambiente subaquoso, com migração de formas de leito em fluxo trativo de regime inferior para as areias; ausência de energia e decantação de lama.	


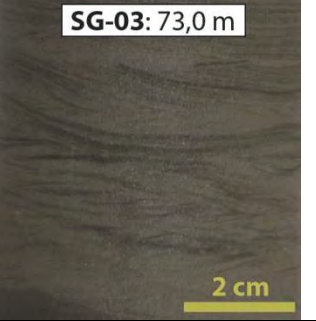
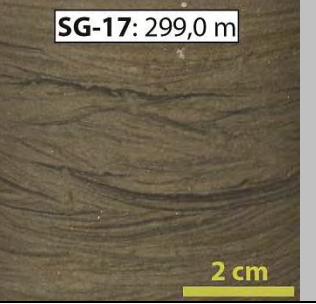
(Continuação)

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	INTERPRETAÇÃO	FOTO
Shcs	Arenito fino com estratificação cruzada <i>hummocky</i> . Pode ocorrer bioturbação localizada de intensidade variada.	Fluxo oscilatório por ondas de grande comprimento em regime inferior.	
Ssw	Arenito fino a médio com estratificação cruzada <i>swaley</i> .	Fluxo oscilatório por ondas de grande comprimento em ambiente subaquoso de alta energia, em regime de fluxo inferior, com amalgamação das formas de interferência por onda, sem deposição de lama nos conjuntos de lâminas (depósito de <i>hummocky</i> 's amalgamadas).	

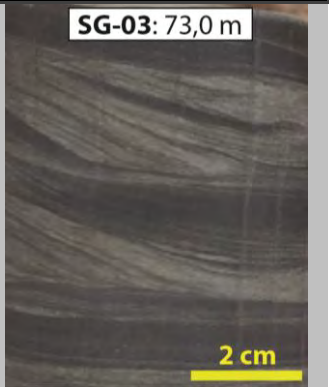
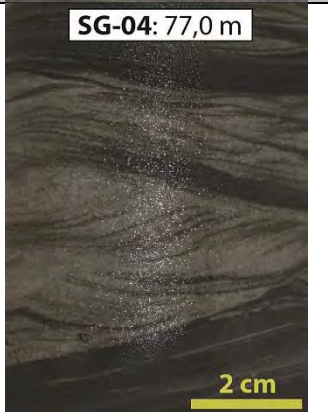
(Continuação)

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	INTERPRETAÇÃO	FOTO
Sl	Arenito fino com estratificação cruzada de baixo ângulo.	Tração em regime de fluxo transicional.	 <p data-bbox="1832 384 2018 416">SG-03: 99,5 m</p> <p data-bbox="1989 555 2049 587">2 cm</p>
Sh	Arenito médio com estratificação plano-paralela. Ocorrência de restos de plantas e níveis milimétricos de lama, e intraclastos lamosos localizados. Bioturbação localizada.	Tração em regime de fluxo superior.	 <p data-bbox="1832 619 2018 651">SG-02: 90,2 m</p> <p data-bbox="1989 885 2049 917">2 cm</p>
Sr	Arenito médio com <i>ripples</i> trativas unidirecionais com intraclastos lamosos de 3 a 10 cm.	Migração de <i>ripples</i> subaquosas com fluxo trativo unidirecional de regime inferior.	 <p data-bbox="1832 943 2018 975">SG-04: 56,1 m</p> <p data-bbox="1989 1289 2049 1321">2 cm</p>



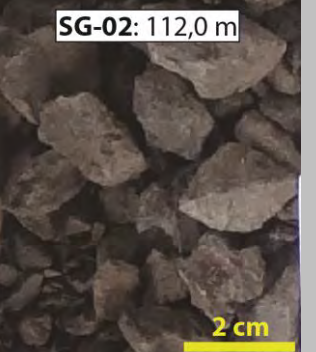
(Continuação)

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	INTERPRETAÇÃO	FOTO
Sr(d)	Arenito fino e médio com <i>ripples</i> trativas unidirecionais com laminação incipiente marcada por drapes de lama milimétricos predominantemente simples e algumas vezes duplos.	Alternância de alta energia em ambiente subaquoso, com migração de <i>ripples</i> unidirecionais em regime de fluxo inferior para as areias; ausência de energia e decantação de lama.	 <p>SG-02: 74,5 m</p>
Sr(b)	Arenito fino com <i>ripples</i> trativas bidirecionais anisotrópicas (10/1). Podem ocorrer drapes de lama e restos de planta de até 3 mm e drapes de lama milimétricos.	Migração de <i>ripples</i> subaquosas com fluxo trativo bidirecional anisotrópico (10/1) de regime inferior.	 <p>SG-03: 73,0 m</p>
Sw	Arenito fino com <i>wavy ripples</i> simétricas. Pode ocorrer níveis de lama milimétricos a centimétricos, bioturbação e fluidização de intensidade variada, e subordinadamente nódulos diagenéticos de até 1 cm, e restos de plantas dispersos de 1 a 3 mm. Raras ocorrências de <i>wavy ripples</i> assimétricas (componente direcional).	Fluxo oscilatório em regime inferior. Para as <i>wavy ripples</i> assimétricas, fluxo combinado (oscilatório-trativo).	 <p>SG-17: 299,0 m</p>


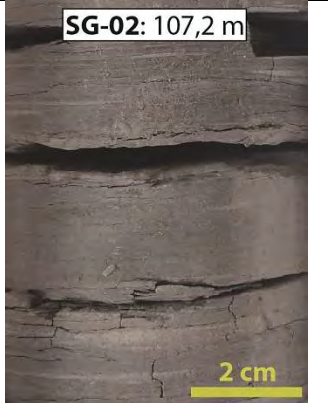
(Continuação)

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	INTERPRETAÇÃO	FOTO
Hr	Heterolito de areia muito fina/lama em proporções variáveis - <i>wavy a flaser</i> ; Porção arenosa com <i>ripples</i> trativas unidirecionais, e porção lamosa com laminação plano-paralela incipiente. Bioturbação localizada.	Alternância cíclica de alta energia em ambiente subaquoso. Migração de <i>ripples</i> em fluxo trativo de regime inferior para as areias; ausência de energia e decantação de lama.	 <p>SG-03: 73,0 m</p> <p>2 cm</p>
Hr(b)	Heterolito de areia muito fina/lama em proporções variáveis – <i>wavy, linsen e flaser</i> ; porção arenosa com <i>ripples</i> trativas bidirecionais anisotrópicas (10/1), e porção lamosa com laminação plano-paralela incipiente. Bioturbação frequente, por vezes intensa.	Alternância cíclica de alta energia em ambiente subaquoso. Migração de <i>ripples</i> subaquosas com fluxo trativo bidirecional anisotrópico (10/1) de regime inferior para as areias; ausência de energia e decantação de lama.	 <p>SG-04: 77,0 m</p> <p>2 cm</p>

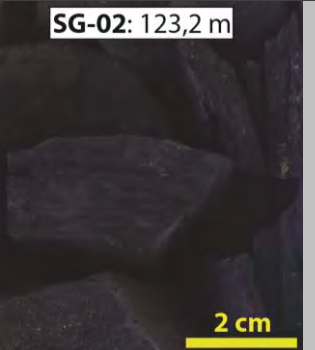
(Continuação)

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	INTERPRETAÇÃO	FOTO
Hw	Heterolito de areia muito fina/lama em proporções variáveis - <i>wavy, linsen e flaser</i> ; porção arenosa com <i>wavy ripples</i> simétricas, e porção lamosa com laminação plano-paralela incipiente. Bioturbação frequente, majoritariamente intensa.	Alternância cíclica de alta energia em ambiente subaquoso. Fluxo oscilatório em regime inferior para as areias; ausência de energia e decantação de lama.	 <p>SG-03: 89,0 m</p> <p>2 cm</p>
Hc	Heterolito de areia muito fina/lama em proporções variáveis - <i>wavy, linsen e flaser</i> ; porção arenosa com <i>wavy ripples</i> e em algumas porções com <i>wavy ripples</i> assimétricas, e porção lamosa com laminação plano-ondulada incipiente.	Alternância cíclica de alta energia em ambiente subaquoso. Fluxo combinado (oscilatório com componente trativo) em regime inferior para as areias; ausência de energia e decantação de lama.	 <p>SG-08: 67,3 m</p> <p>2 cm</p>
Fm	Siltito cinza claro a escuro, maciço, podendo ser blocoso, ou com uma laminação muito incipiente. Teores variáveis de restos de plantas.	Depósito de decantação de material fino, em ambiente continental subaquoso, com ausência de regime energético.	 <p>SG-02: 112,0 m</p> <p>2 cm</p>

(Continuação)

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	INTERPRETAÇÃO	FOTO
Fm(g)	Siltito cinza claro, maciço, com grânulos dispersos e níveis milimétricos de arenito muito fino que geram uma laminação incipiente.	Depósito gravitacional de material fino com grânulos, hiperconcentrado.	
F1	Siltito cinza claro, laminado. Comumente níveis milimétricos de arenito muito fino marcam laminação que pode se mostrar evidente ou incipiente. Teores variáveis de restos de plantas de 2 mm até 2 cm. Subordinadamente ocorrem intraclastos lamosos centimétricos concordantes com laminação.	Depósito de decantação de material em suspensão em ambiente continental subaquoso com ausência de regime energético.	

(Conclusão)

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	INTERPRETAÇÃO	FOTO
C	Carvão por vezes oxidado e/ou substituído por minerais secundários.	Acúmulo de diferentes tipos de vegetais em ambiente subaquoso com ausência de regime energético.	

Fonte: Baseado na tabela de fácies de Miall (1996).

4.1.2. *Associações de Fácies e Sistemas Depositionais*

A partir da organização da tabela de fácies e da análise da sucessão vertical de fácies da descrição dos testemunhos de sondagem, foi possível interpretar 11 associações de fácies, sendo elas:

- Leque aluvial;
- Canal fluvial;
- Planície de inundação;
- Barra de maré;
- Estuário central;
- Barreira;
- *Foreshore*;
- *Shoreface* superior;
- *Shoreface* médio;
- *Shoreface* inferior;
- *Offshore*.

Com a análise vertical e lateral das associações de fácies, no presente estudo, foram interpretados três sistemas deposicionais:

- Alúvio-fluvial;
- Estuário dominado por maré;
- Plataforma dominada por onda.

A Tabela 2 mostra a relação entre os sistemas deposicionais, as associações de fácies e as fácies componentes interpretados neste trabalho.

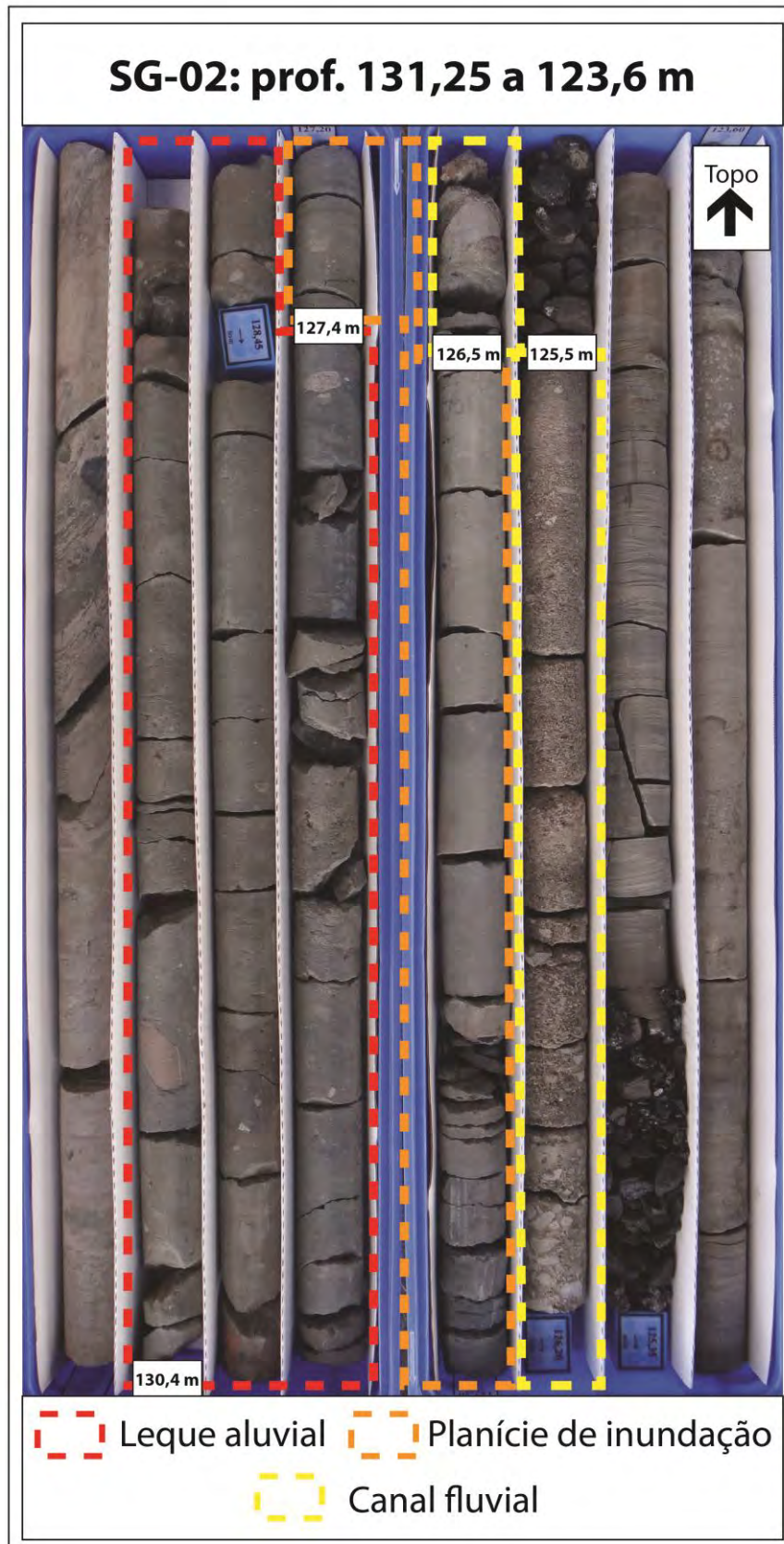
Tabela 2: Tabela de sistemas deposicionais, associações de fácies e fácies componentes identificadas.

Sistema Depositional	Associação de fácies	Fácies
Alúvio-fluvial	Leque Aluvial	GMm
	Canal Fluvial	GCm; GMm; Sm; Sx; Sh
	Planície de Inundação	Fm; Fl
Estuário Dominado por Maré	Barra de Maré	GCm; GMm; Gm(i); Gx(i); Sm; Sm(g); Sx(d); Shcs; Sr; Sr(d); Sr(b); Sh; Hr; C
	Estuário Central	Gmm; Gx(i); Sm; Sm(g); Sx(d); Hr; Hr(b); Hw; Hc; Fm; Fm(g); Fl; C
	Barreira	Sm
Plataforma Dominada por Onda	<i>Foreshore</i>	Sl; Sh; Sw; Fl
	<i>Shoreface Superior</i>	Gm(i); Sm; Sx; Ssw; Sh; Sw
	<i>Shoreface Médio</i>	Sm; Shcs; Sw; Fl
	<i>Shoreface Inferior</i>	Hw; Hc; Fl
	<i>Offshore</i>	Fl

4.1.2.1. Sistema Depositional Alúvio-fluvial

O sistema deposicional alúvio-fluvial está relacionado com a porção mais proximal dentre os sistemas identificados. Neste sistema ocorrem fluxos de massa, unidirecionais e de decantação de finos. Compõem esse sistema deposicional, as associações de fácies leque aluvial, canal fluvial e planície de inundação (Figura 27).

Figura 27: Foto do testemunho SG-02 na profundidade de 131,25 a 123,6 m com a delimitação das associações de fácies interpretadas, Leque aluvial entre 130,4 e 127,4 m, Planície de inundação entre 127,4 e 126,5m e Canal fluvial entre 126,5 e 125,5m.



- **Associação de Fácies de Leque Aluvial**

Leques aluviais normalmente ocorrem em ambientes tectonicamente ativos, nas regiões de borda de bacia (BOSE et al, 2008), tendo forte relação com o clima e com gradiente acentuado do paleoterreno.

Essa associação de fácies é representada pela fácies conglomerado matriz suportado maciço (GMm) que ocorre como uma camada de 2,95 m na base do poço SG-02.

Além da granulometria indicativa, a interpretação de leque aluvial está relacionada com a espessura da camada e a observação de matriz predominantemente argilosa, além de grânulos e seixos imaturos, dispersos e de variada proveniência (fragmentos de gnaiss, xisto, granito, quartzo e feldspatos).

- **Associação de Fácies de Canal Fluvial**

Depósitos de canal fluvial se formam pela atividade do canal e podem incluir depósitos residuais de canal, barras de meandros, barras de canais e preenchimento de canal (SUGUIO, 2007). Como as camadas correspondentes a essa associação de fácies são localizadas e com pouca espessura, não foi interpretado o tipo de depósito do canal.

Essa associação de fácies está presente somente na porção basal dos poços SG-02, SG-03, SG-04 e SG-17, com pacotes que variam de 0,8 a 3 m. A associação é composta pelas fácies conglomerado clasto suportado maciço (GCm), conglomerado matriz suportado maciço (GMm), arenito maciço (Sm), arenito com estratificação cruzada (Sx) e arenito com estratificação plano-paralela (Sh).

A fácies característica dessa associação é a GCm. Essa fácies, embora predominantemente maciça, possui porções com os grânulos embricados, indicando migração de barras conglomeráticas, com fluxo trativo unidirecional. Além disso, há a presença de intraclastos lamosos que levam a interpretação de caráter erosivo desses fluxos. Além da granulometria, a fácies GCm possui outros indicativos de ambiente proximal, como os grânulos e seixos geralmente subangulosos e de composição imatura, com fragmentos de gnaiss, xisto, granito, quartzo e feldspatos.

- **Planície de Inundação**

Segundo Miall (2010), planície de inundação é um tipo de depósito de sedimentos finos, externo ao canal, geralmente originado durante as cheias do ambiente fluvial, quando as águas extravassam os diques marginais, inundando a área adjacente. No registro geológico, planícies de inundação são formadas por pacotes tabulares em um contexto de acumulação em corpos lacustres ou em pântanos (MIALL, 1996). Em ambientes de climas úmidos, as planícies de inundação se localizam em regiões planas e úmidas, ocorrendo sedimentação de matéria orgânica junto ao material terrígeno.

Essa associação de fácies é representada por um pacote de 75 cm na porção basal do poço SG-02 e sobre a associação de fácies de leque aluvial. Outra ocorrência é uma camada de 55 cm entre dois pacotes interpretados como canal fluvial.

A associação de fácies de planície de inundação é composta pelas fácies de finos maciços (Fm) e finos laminados (Fl). Em algumas porções, é possível observar uma coloração mais escura, e, em outras, restos de plantas como folhas e caules milimétricos, o que indica um acúmulo de matéria orgânica em um ambiente frequentemente redutor.

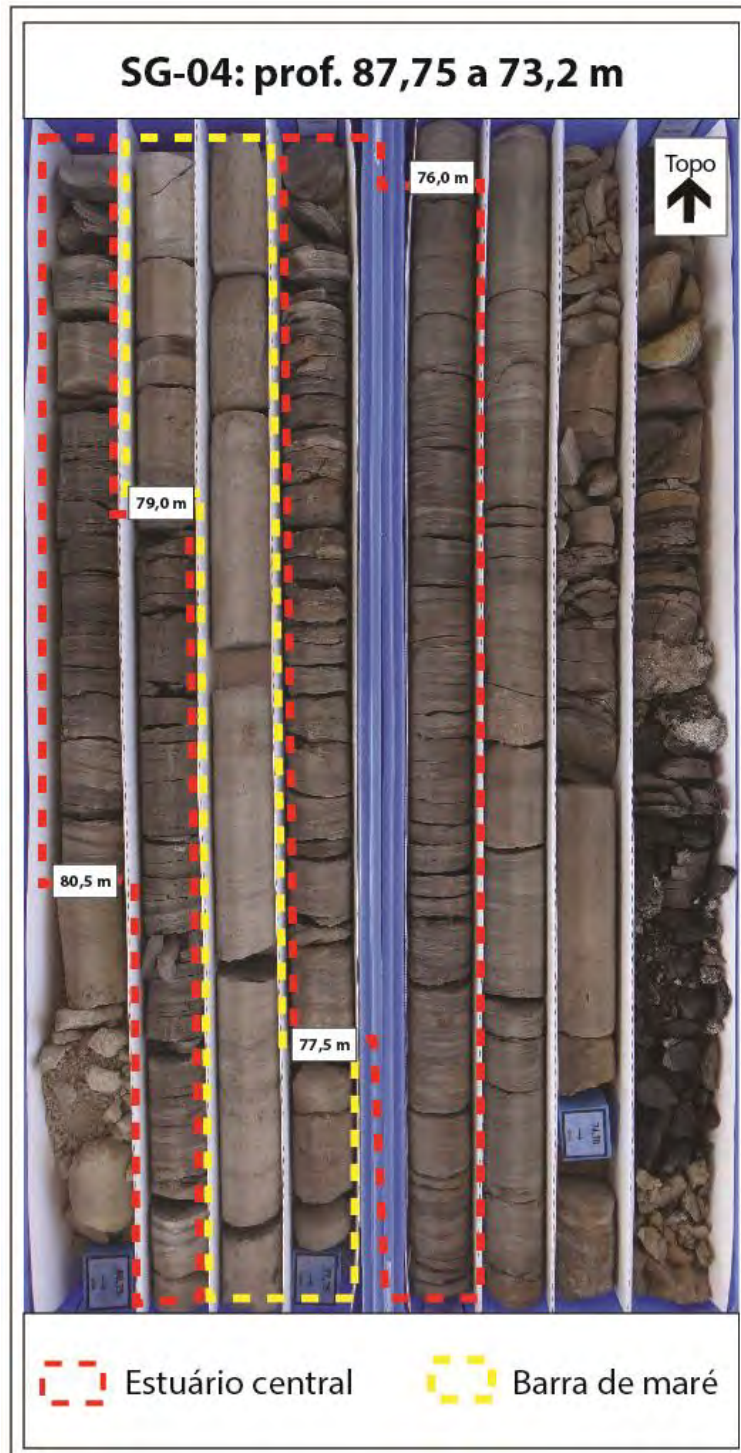
4.1.2.2. Sistema Depositional Estuário Dominado por Maré

O sistema deposicional estuarino está associado a um ambiente transicional, que pode ser dominado por marés ou ondas. Para Pritchard (1967), um estuário pode ser definido como “um corpo costeiro semi-fechado conectado ao oceano em que ocorre uma mistura de água doce e salgada”. Esse é o ambiente predominante das costas dominadas por marés, e ocorre principalmente em períodos de transgressão marinha, principalmente em planícies costeiras de latitudes médias em períodos de transgressão marinha, ou ainda em vales resultantes de deglaciação ou de atividade tectônica (WALKER, 1992). Em geral, um estuário tem a forma de um funil, com domínio fluvial a montante e marinho (marés e/ou ondas) a jusante, tendendo a uma menor energia na porção central (SUGUIO, 2007). O estuário pode ser mais aberto, ou mais fechado, com ocorrência de barreiras arenosas, de acordo com a dinâmica dos processos atuantes na linha de costa. Neste último caso, há certas semelhanças com o sistema laguna-barreira, em que a influência marinha é mínima. De acordo com Reis (2007), o estuário registrado na Formação Rio Bonito da região de São Gabriel não possui um modelo

de estuário como os citados, entretanto se aproxima de um estuário lagunar.

Neste estudo, o sistema deposicional estuário dominado por maré é composto pelas associações de fácies de barra de maré, estuário central e barreira (Figura 28).

Figura 28: Foto do testemunho SG-04 na profundidade de 87,75 a 73,2 m com a delimitação das associações de fácies interpretadas, sendo elas estuário central entre 80,5 e 79,0 m e entre 77,5 e 76,0 m, e barra de maré entre 79,0 e 77,5 m.



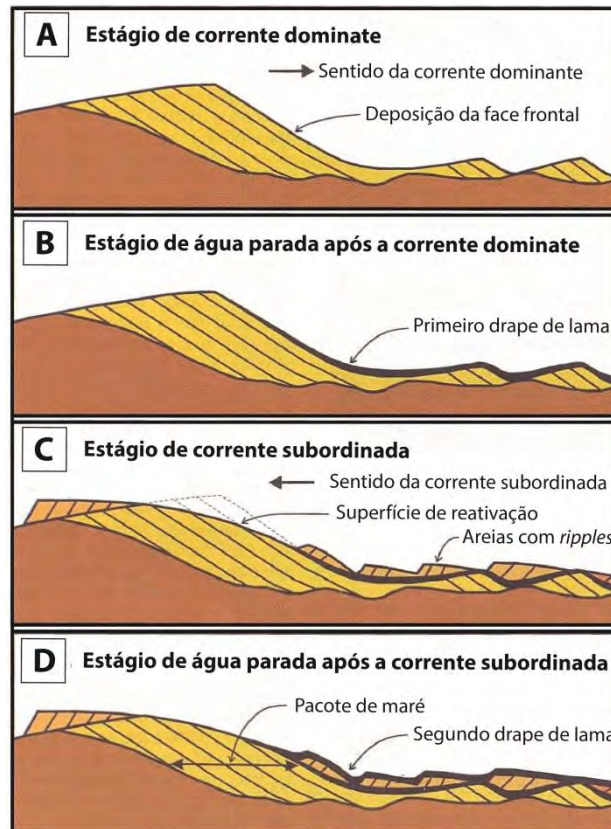
- **Barra de Maré**

A associação de fácies de barra de maré está relacionada com a porção proximal e central do sistema de estuário dominado por maré, com predomínio de macromarés (amplitude maior que 4 m). As barras de maré ocorrem a partir de correntes de altas velocidades (0,5 – 1 m/s), podendo gerar estratos de grande porte, paralelas às correntes de marés, oriundos de migração de grande quantidade de areia. As barras podem atingir até 50 m de espessura, e ultrapassar os limites com os sistemas marinhos, como por exemplo, barras arenosas inseridas na região de plataforma (DALRYMPLE, 2010b).

Essa associação de fácies está presente predominantemente nas porções basal e central do poço SG-03, SG-04 e SG-08 e é relativamente bem distribuída ao longo dos poços SG-02 e SG-17. Os pacotes dessa associação de fácies, em maioria, variam de 40 cm e 3,8 m, ocorrendo, em grande parte, intercalados com os pacotes da associação de fácies de estuário central. Entretanto, foram descritos pacotes muito espessos de 11,7 m (SG-02), 18,3 m (SG-03), 12,0 m (SG-04), 15,85 m (SG-08) e 14,25 m (SG-17). A associação é composta pelas fácies conglomerado clasto suportado maciço (GCm), conglomerado matriz suportado maciço (GMm), arenito grosso a conglomerado maciço imaturo (Gm(i)), Arenito grosso a conglomerado com estratificação cruzada imaturo (Gx(i)), arenito maciço (Sm), arenito maciço com grânulos dispersos (Sm(g)), arenito com estratificação cruzada (Sx), arenito com estratificação cruzada e drapes de lama (Sx(d)), arenito com estratificação cruzada *hummocky* (Shcs), arenito com *ripples* (Sr), arenito com *ripples* e drapes de lama (Sr(d)), arenitos com *ripples* bidirecionais (Sr(b)), arenito com laminação horizontal (Sh), heterolito com *ripples* unidirecionais (Hr) e carvão (C).

As fácies características dessas associações são Sx(d) e Sr(d), que têm as formas de leito atreladas à alternância de alta energia em ambiente subaquoso, com migração de *ripples* (Sr(d)), ou dunas (Sx(d)), unidirecionais em regime de fluxo inferior para as areias, e ausência de energia e decantação de lama (Figura 29). Essa alternância cíclica corresponde a uma das principais características de um sistema dominado por maré, com flutuações periódicas do nível do mar, e conseqüente mudança regular de energia do ambiente. As fácies Gm(i) e Gx(i) estão relacionadas com o processo de retrabalhamento de grãos e erosão de frações mais finas, associado com um horizonte de reativação (*lag*) causado pela atuação da própria maré. Essa fácies ocorre por vezes na base da barra de maré, ou em outras situações, em meio a barra de maré, mostrando que a dinâmica espacial e energética do ambiente é constantemente alterada.

Figura 29: Processo de geração de estruturas produzidas durante um ciclo de maré. A - Migração de dunas com a formação de arenitos com estratificação cruzada, em regime de fluxo inferior unidirecional dominante; B – Formação do primeiro drape de lama associado a decantação de lama, em regime de ausência de energia, sobre as estruturas formadas em A; C – Migração de *ripples* sobre as estruturas formadas em B, em regime de fluxo inferior unidirecional subordinado, no sentido oposto ao A; D - Formação do segundo drape de lama associado a decantação de lama, em regime de ausência de energia, sobre as estruturas formadas em C



Fonte: Traduzido de Dalrymple (2010b).

- **Estuário Central**

A associação de fácies de estuário central está relacionada com a porção mais interior do ambiente estuarino, onde o fluxo do sistema fluvial, a montante, perde energia à medida que encontra o estuário. Adicionalmente, na porção a jusante, os processos marinhos dominados por marés, oriundas das subidas e descidas do nível do mar, perdem influência à medida que interagem com as águas estacionárias do estuário. Desta forma, na chamada zona central do estuário, a energia é considerada baixa e mista (influência da maré e fluvial secundariamente), sendo esta propícia para a formação de ritmos controlados principalmente pelas correntes de marés.

Essa associação de fácies está presente na porção basal e central dos poços SG-02,

SG-03, SG-04 e SG-08 com pacotes que variam de 0,3 cm a 3,25 m. A associação é composta pelas fácies conglomerado matriz suportado maciço (GMm), Arenito grosso a conglomerado com estratificação cruzada imaturo (Gx(i)), arenito maciço (Sm), arenito maciço com grânulos dispersos (Sm(g)), arenito com estratificação cruzada com drapes de lama (Sx(d)), heterolito com *ripples* unidirecionais (Hr), heterolito com *ripples* bidirecionais (Hr(b)), heterolito com *wavy ripples* (Hw), heterolito com *ripples* de fluxo combinado (Hc), fino maciço (Fm), fino maciço com grânulos dispersos (Fm(g)), fino laminado (Fl) e carvão (C).

A fácies característica dessa associação é a Hr(b), que tem seu processo associado com alternância cíclica de alta energia em ambiente subaquoso, com fluxo bidirecional em regime inferior para as areias e ausência de energia e decantação de lama. A bidirecionalidade é um dos indicativos de ambiente de maré, e a grande quantidade de lama da fácies indica paradas no fluxo, uma característica comum dos ambientes de maré. A ocorrência de *ripples* bidirecionais é produzida pela reversão da corrente, com a mudança de sentido de migração dos sedimentos tamanho areia. Entretanto, os indicadores de paleocorrentes observados mostram se tratar de um caráter bidirecional anisotrópico na razão 10 para 1 (10:1). Ou seja, os fluxos de marés vazante e enchente não possuem a mesma velocidade e duração. Além disso, foi observada a fácies Hc, que compõe um pacote de 2,9 m na porção de topo do poço SG-04, com *ripples* oriundas de um processo misto, registrando um intervalo de influência simultânea de processos de onda e maré. Predominantemente, as camadas de carvões estão relacionadas com essa associação de fácies, indicando uma grande acumulação de matéria orgânica e o um ambiente frequentemente redutor.

- **Barreira**

A associação de fácies barreira é a unidade relacionada com o limite dos sistemas de estuário dominado por maré e plataforma dominada por onda, contribuindo para a interpretação do caráter semi-fechado deste estuário.

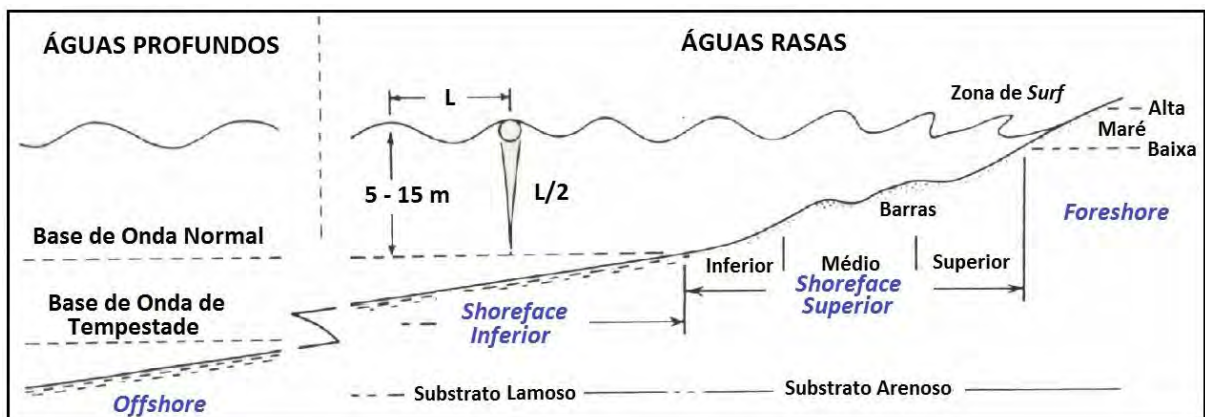
Essa associação de fácies está presente na porção central dos poços SG-03, SG-04 e SG-08 com pacotes que variam de 15 a 70 cm, podendo chegar a 2 m no poço SG-03. A associação é composta unicamente pela fácies arenito maciço (Sm).

4.1.2.3. Sistema Depositional Plataforma Dominada por Onda

Segundo Plint (2010), o sistema deposicional de plataforma siliciclásticas dominada por onda é considerado de ambiente marinho raso por estar situado entre a linha de costa e a quebra do talude continental. Esse é o tipo de ambiente predominante das costas abertas para o oceano. As principais fontes de sedimentos são os rios, a própria erosão da linha de costa, e menos expressiva, sedimentos de origem vulcânica ou poeira trazida pelo vento.

Em geral, plataformas são divididas em uma porção interna (águas rasas), onde predominam os processos associados a ondas e maré, e uma porção externa, em que predomina o processo de decantação (águas profundas) (Figura 30).

Figura 30: Vista em corte de uma plataforma dominada por onda, com as porções de águas rasas e profundas.



Fonte: Traduzido de Walker (1992).

O sistema deposicional plataforma dominada por onda é composto pelas associações de fácies de *foreshore*, *shorefaces* superior, médio e inferior, e *offshore* (Figura 30 Erro! Fonte de referência não encontrada.).

Figura 31: Foto do testemunho SG-17 na profundidade de 319,7 a 288,3 m com a delimitação das associações de fácies interpretadas, sendo elas Shoreface inferior entre 317,1 e 313,7 m, Shoreface médio entre 313,7 e 304,8 m e Shoreface superior entre 304,8 e 298,8 m.



Como as fronteiras entre as associações de fácies de *shoreface* não são completamente nítidas, optou-se por considerar a divisão dessas associações da seguinte maneira:

- A associação de fácies de *shoreface* superior é indicada pelas fácies arenito com estratificação cruzada *swaley* (Ssw) e arenito com *wavy ripples* (Sw);
- A associação de fácies de *shoreface* médio é indicada pela fácies arenito com estratificação cruzada *hummocky* (Shcs);
- A associação de fácies de *shoreface* inferior é indicada pela fácies heterolito com *wavy ripples* (Hw).

- **Associação de Fácies *Foreshore***

A associação de fácies de *foreshore* está relacionada com a porção mais proximal da plataforma, onde ocorre constante retrabalhamento por onda. Neste contexto, essa é a região da plataforma mais instável e muito suscetível a variações do nível de base, sendo frequentemente exposta ou erodida, com o recuo ou o avanço da linha de costa, respectivamente.

Essa associação de fácies ocorre como camadas de 0,2 até 2,65 m, em todos os poços descritos, com destaque para as ocorrências em SG-04 e SG-08, onde essa associação ocorre de uma maneira mais expressiva. As fácies componentes são arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sl), arenito com estratificação plano-paralela (Sh), arenito com *wavy ripples* (Sw) e fino laminado (Fl).

A fácies característica dessa associação de fácies é arenito com Sl que tem a sua gênese relacionada com um fluxo unidirecional em regime transicional, correspondente ao ambiente de *foreshore*, com frequente retrabalhamento pela ação das ondas.

- **Associação de fácies de *Shoreface Superior***

Esta associação de fácies está situada em um contexto mais próximo da linha de costa, onde predominam fluxos unidirecionais, uma vez que essa região está inserida em uma zona de contínua interação onda-fundo marinho, o que acarreta frequente erosão, transporte e deposição de sedimentos.

Neste trabalho, essa associação foi observada em todos os poços descritos (SG-02, SG-03, SG-04, SG-08, SG-14 e SG-17), principalmente nas porções médias e superiores, com espessuras que variam de poucos centímetros a 7,4 m. As fácies componentes são arenito grosso a conglomerado imaturo (Gm(i)), arenito com estratificação cruzada (Sx), arenito com estratificação cruzada *swaley* (Ssw), arenito com estratificação plano-paralela (Sh) e arenito fino com *wavy ripples* (Sw).

As fácies características dessa associação são Ssw e Sw, pois essas possuem estruturas originadas em fluxos oscilatórios (ondas) e adicionalmente não registram a sedimentação de finos, indicando um ambiente de frequente interação onda-fundo marinho.

A fácies Gm(i) está relacionada a um processo de rastejamento de grãos e erosão de frações mais finas, que representa um *lag*. Essa fácies, embora ocorra em camadas pouco

espessas (centimétricas), é de grande importância, pois como está relacionada com várias erosões associadas com transgressões, marcando os processos de ravinamento por onda que ocorrem no ambiente de plataforma rasa. Em destaque, a porção superior do poço SG-17 em que ocorrem sucessivas pequenas camadas da fácies Gm(i), interpretadas como *shoreface* superior, em meio a um grande pacote de aproximadamente 8,0 m de Heterolito com *ripples* de fluxo combinado (Hc), fácies interpretada nesse contexto como componente da associação de fácies *shoreface* inferior.

- **Associação de fácies de *Shoreface* Médio**

Esta associação de fácies está situada em um pouco mais afastada da linha de costa, na porção intermediária do *shoreface*, em que a interação onda-fundo marinho é mais amena, ocorrendo fluxos oscilatórios ou combinados (oscilatório com componente trativa).

Essa associação foi observada em todos os poços descritos (SG-02, SG-03, SG-04, SG-08, SG-14 e SG-17), principalmente nas porções médias e superiores, com espessuras que variam de 20 cm a 9,65 m.

A fácies característica dessa associação é arenitos com estratificação cruzada *hummocky* (Shcs). Completam essa associação as fácies arenito maciço (Sm), arenito com *wavy ripples* (Sw) e fino laminado (Fl).

- **Associação de Fácies de *Shoreface* Inferior**

Associação de fácies relacionada com as porções mais distais do ambiente marinho raso, onde predomina a sedimentação de finos, porém ocorrem pontuais interações onda-fundo marinho, associadas com eventos de tempestade.

Essa associação de fácies foi observada em todos os poços descritos (SG-02, SG-03, SG-04, SG-08, SG-14 e SG-17), com espessuras que variam de 15 cm a 18,3 m.

A Fácies característica dessa associação é a heterolito com *wavy ripples* (Hw), que tem seu processo associado com alternância cíclica de alta energia em ambiente subaquoso, com fluxo oscilatório em regime inferior para as areias e ausência de energia e decantação de lama. Essa fácies pode ser reconhecida por várias feições internas associadas ao mesmo processo

(Figura 32). Outra fácies componente dessa associação é a de fino laminado (FI), que tem a sua gênese relacionada com a ausência de energia e decantação de lama, regime que predomina nesse ambiente.

Figura 32: Feições internas associadas a fácies Heterolito com *wavy ripples*.



Fonte: Modificado de Raaf, Boersma e Gelder (1977).

- **Associação de Fácies de *Offshore***

Essa associação de fácies está relacionada com a uma região de águas profundas, mais externa que a associação de fácies de *shoreface* inferior, abaixo do nível de ação de ondas de tempestade. Desta forma, não ocorre interação onda-fundo marinho, predominando a deposição de finos.

A associação de fácies de *offshore* foi interpretada nas porções centro-superiores dos poços SG-03 e SG-08 e na porção centro-inferior do poço SG-04, com camadas que variam de 5 a 70 cm.

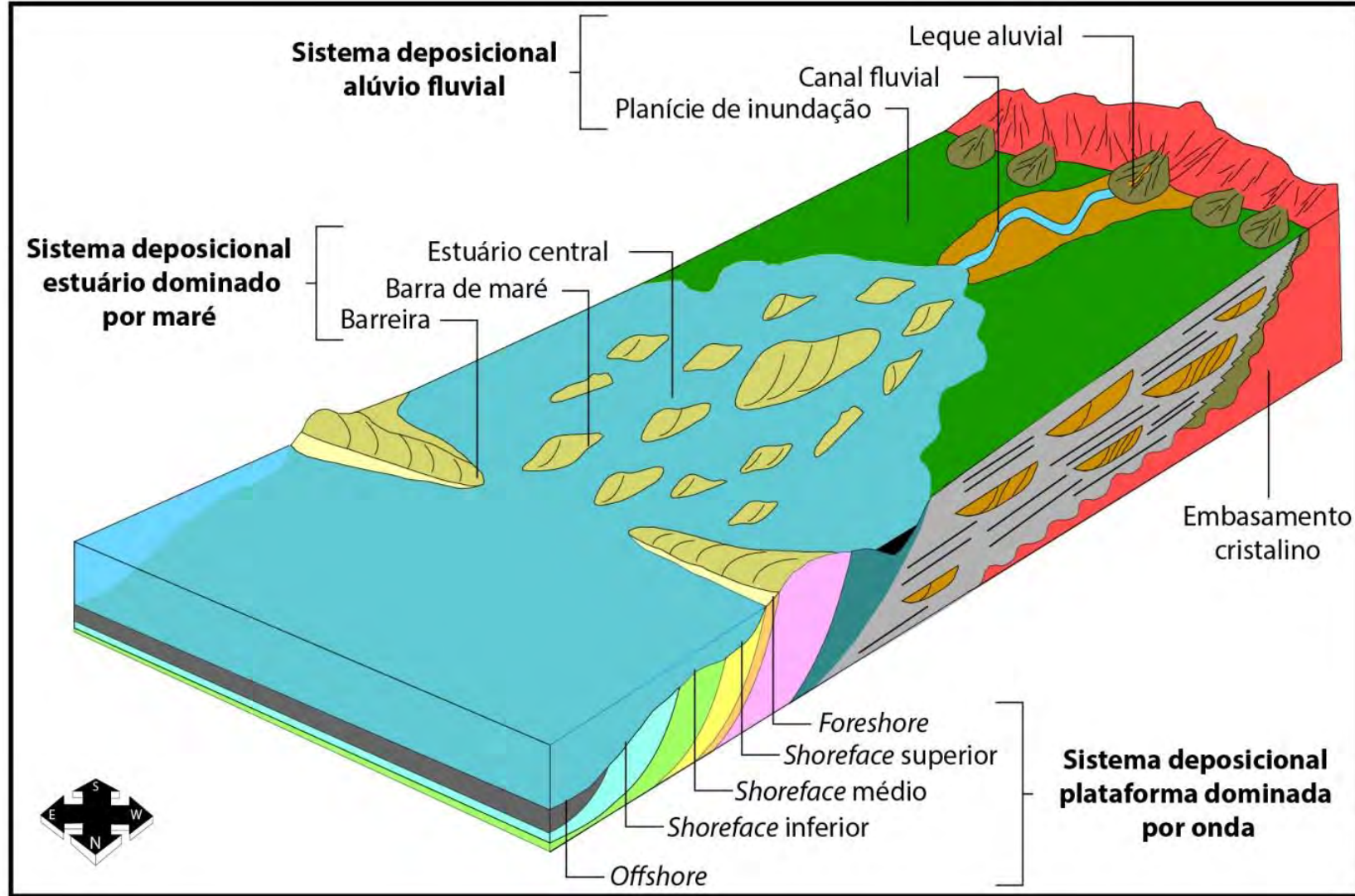
Neste trabalho, a fácies que compõe essa associação é a de fino laminado (FI), que é originada com a deposição de sedimentos finos em suspensão, em um ambiente com ausência de energia, característico da porção externa da plataforma.

4.1.3. Modelo Depositional

Com a análise do conjunto de associações de fácies e de sistemas deposicionais, e utilizando o “método de destilação de Walker (1984)”, citado em 3.3.2., foi elaborado um modelo deposicional (Figura 33), que indica de sentido *dip* do pacote estudado para NE, que corresponde aos diversos ambientes interpretados. A montante, o modelo é representado por um sistema deposicional alúvio-fluvial composto por leques aluviais, ancorados no embasamento cristalino, além de canais fluviais e planície de inundação distribuídos em toda a porção proximal. Na região central, ocorre o sistema deposicional estuário dominado por maré, semi-aberto, constituído por um estuário central, barras de maré e barreira. À jusante, sucede-se um sistema de plataforma dominada por onda, formado pelos ambientes marinhos raso de *foreshore* e *shorefaces* superior, médio e inferior, e pelo ambiente marinho profundo, representado pelos depósitos de *offshore*.

Cabe ressaltar a interpretação de que o sistema estuarino se desenvolveu encaixado sobre um lineamento de direção NE-SW, uma vez que a disposição geral dos sistemas deposicionais indica que o eixo longitudinal do estuário dominado por maré coincide com essa direção, uma das principais direções de estruturas da Bacia do Paraná.

Figura 33: Bloco diagrama do modelo deposicional proposto (sentido *dip* para NE), com os sistemas deposicionais e associações de fácies componentes



4.2. Arcabouço Estratigráfico e Mapas de Isópacas

O arcabouço estratigráfico da área de estudo foi estabelecido com a utilização dos princípios e conceitos da estratigrafia de seqüências abordados no capítulo 2.2.2. deste trabalho, sobre os dados das descrições de testemunhos (Apêndices 1, 2, 3, 4 e 5) e dos perfis litológicos e perfilagem geofísica dos 10 poços que abrangem a área de estudo (SG-01, SG-02, SG-03, SG-04, SG-05, SG-07, SG-08, SG-13, SG-14 e SG-17) (Apêndice 6) . Ao longo da interpretação estratigráfica isolada dos perfis descritos e interpretados faciologicamente, foram reconhecidos diversos padrões de empilhamentos (progradações e retrogradações) e as superfícies de regressão (SRM) e inundação máxima (SIM) correspondentes. Entretanto, somente algumas superfícies se mostraram evidentes em todos os poços descritos, indicando diferentes hierarquias de variações do nível eustático no intervalo. Com o objetivo de dividir o intervalo de estudo em pacotes de rocha menores, foram definidas as superfícies DS (discordância subaérea), SRM-1, SIM-1, SIM-2, SRM-3, SIM-3, SIM-4, SIM-5 e SIM-6.

A SIM-6 é a superfície de topo do intervalo de estudo, sendo marcada nos poços, sempre que possível, pelo maior valor de raios gama, correspondendo assim a uma superfície regional. Segundo MILANI (2000) após uma série de oscilações do NRM com tendência transgressiva, uma SIM de segunda ordem (regional), aqui chamada de SIM-6, registra o afogamento da região, representando as condições de máxima inundação para a Superseqüência Gondwana I, sendo considerada, por isso, um *datum* do Eopermiano da Bacia do Paraná.

Diante do reconhecimento das superfícies limítrofes, optou-se por compartimentar o intervalo em seqüências estratigráficas genéticas, segundo GALLOWAY (1989). Essa escolha foi realizada porque ao longo do intervalo de estudo, as SIM são as superfícies limítrofes mais bem marcadas. Em conformidade com a definição de seqüência genética, as subdivisões das seqüências foram denominadas apenas de progradação ou retrogradação, não as definindo em tratos de sistemas deposicionais. Ademais, em algumas seqüências genéticas não foi possível observar com clareza as SRM, impedindo a subdivisão do intervalo, sendo nestes casos o padrão de empilhamento denominado de pro-retrogradacional com seus limites de topo e base estabelecidos por superfícies do tipo SIM. O arcabouço estratigráfico proposto contém 6 seqüências genéticas (Figura 34), e conforme explicado, em alguns casos com os intervalos progradacional e retrogradacional definidos (seqüências 1 e 3), e outras não (seqüências 2, 4, 5 e 6).

Figura 34: Arcabouço estratigráfico proposta para a área de estudo.

Sequências	Padrões de Empilhamento	Superfícies
Seq. Genética 6	Pro-retrogradação 6	SIM-6 (DATUM)
Seq. Genética 5	Pro-retrogradação 5	SIM-5
Seq. Genética 4	Pro-retrogradação 4	SIM-4
Seq. Genética 3	Retrogradação 3	SIM-3
	Progradação 3	SRM-3
Seq. Genética 2	Pro-retrogradação 2	SIM-2
		SIM-1
Seq. Genética 1	Retrogradação 1	SRM-1
	Progradação 1	DS-1

O mapa de isópacas do intervalo completo (Figura 35) mostrou que as espessuras podem ter diferença de até 60 m, pois na região NW, E e SW os pacotes possuem cerca de 80 m de espessura, já na porção central e S o mesmo intervalo chega a 140 m. Como se trata de toda a acumulação estudada, pode-se interpretar que, no todo, a região central concentrou a maior parte da sedimentação.

Figura 36: Mapa das seções de correlação estabelecidas de acordo com o alinhamento dos poços em *dip* (SW-NE) ou *strike* (SE-NW).

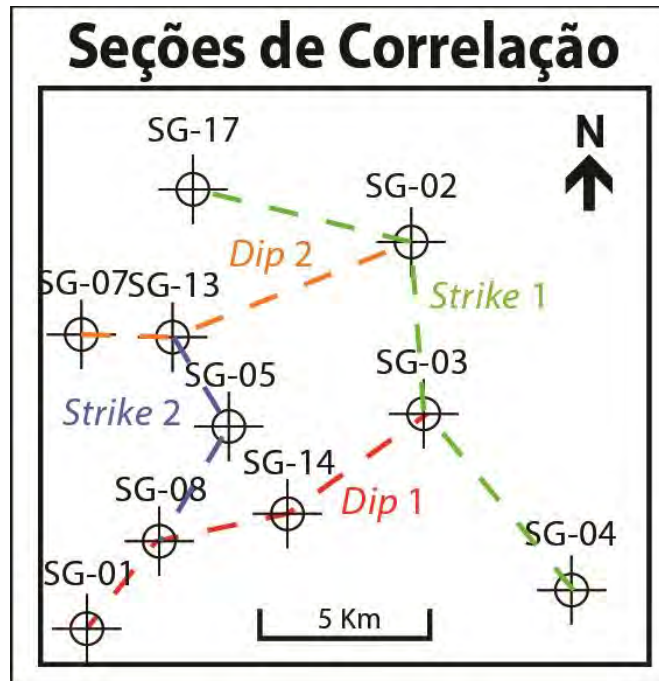


Figura 37: Seção de correlação *Strike 1*, com os poços SG-17, SG-02, SG-03 e SG-04. Nesta correlação é possível a visualização geral do arcabouço estratigráfico estabelecido com o posicionamento das seqüências genéticas, superfícies limítrofes e padrões de empilhamento interpretados e correlacionados ao longo dos poços.

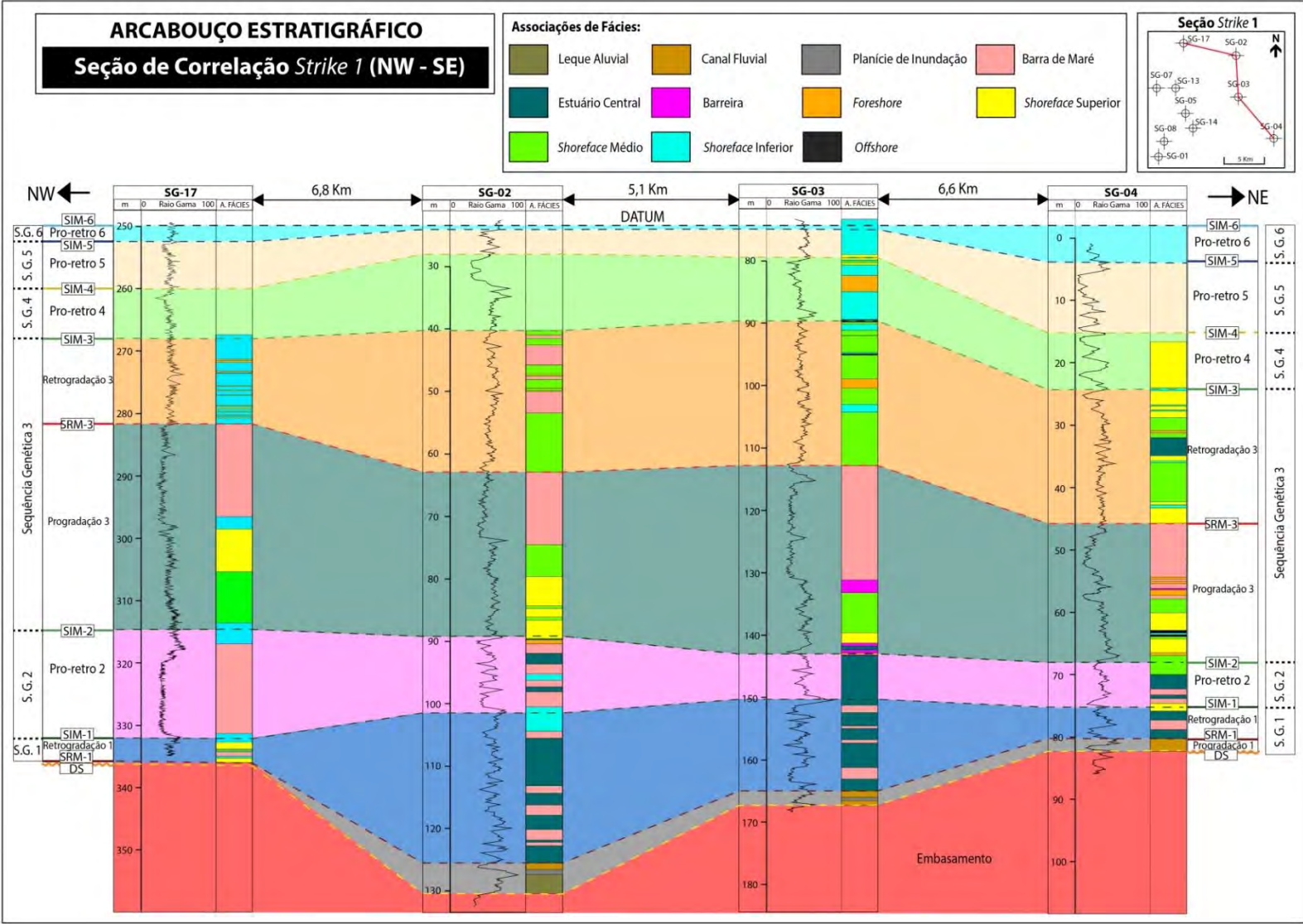


Figura 38: Seção de correlação *Strike 2*, com os poços SG-13, SG-05 e SG-08. Nesta correlação é possível a visualização geral do arcabouço estratigráfico estabelecido com o posicionamento das seqüências genéticas, superfícies limitrofes e padrões de empilhamento interpretados e correlacionados ao longo dos poços.

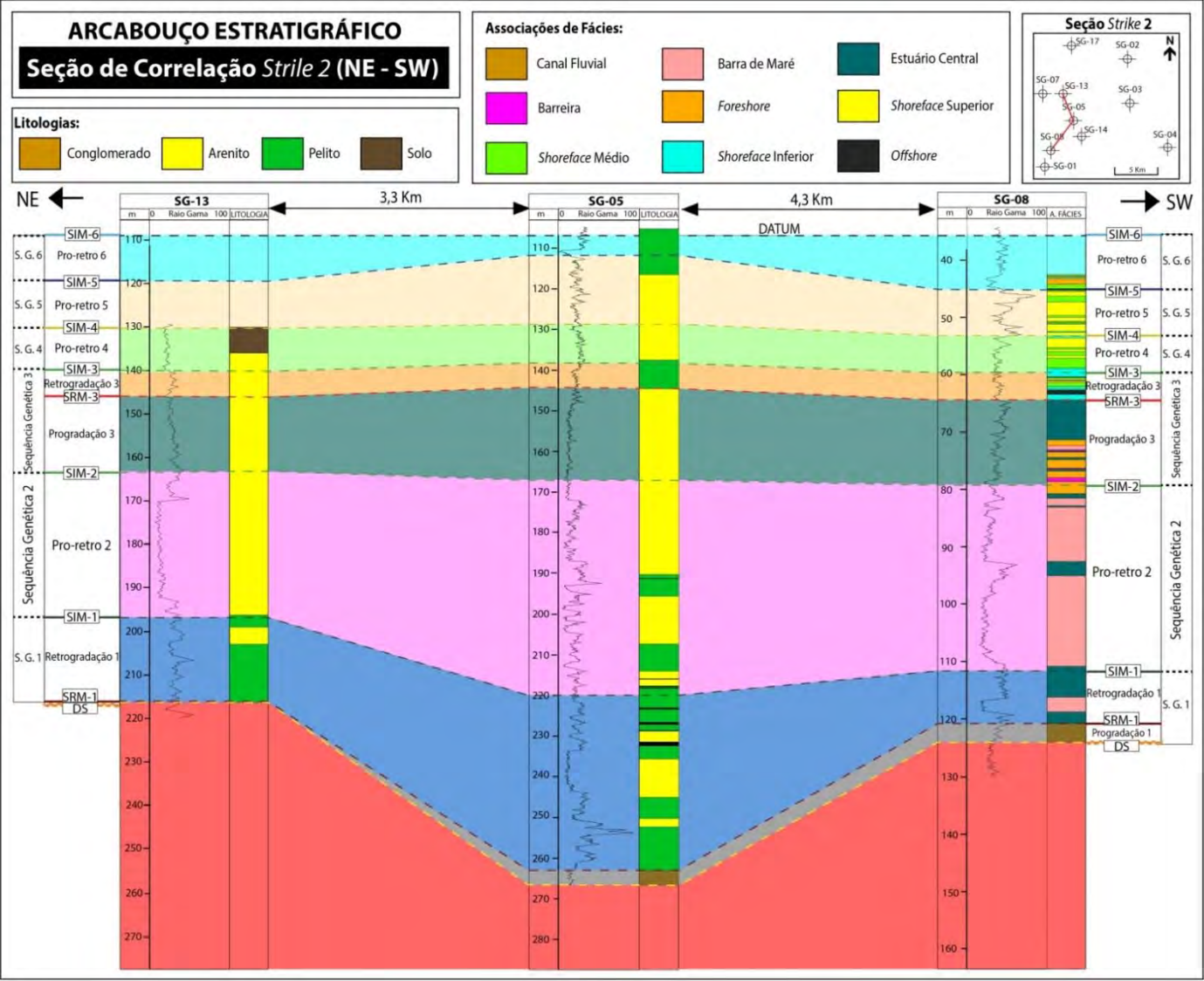


Figura 39: Seção de correlação *Dip 1*, com os poços SG-01, SG-08, SG-14 e SG-03. Nesta correlação é possível a visualização geral do arcabouço estratigráfico estabelecido com o posicionamento das seqüências genéticas, superfícies limítrofes e padrões de empilhamento interpretados e correlacionados ao longo dos poços.

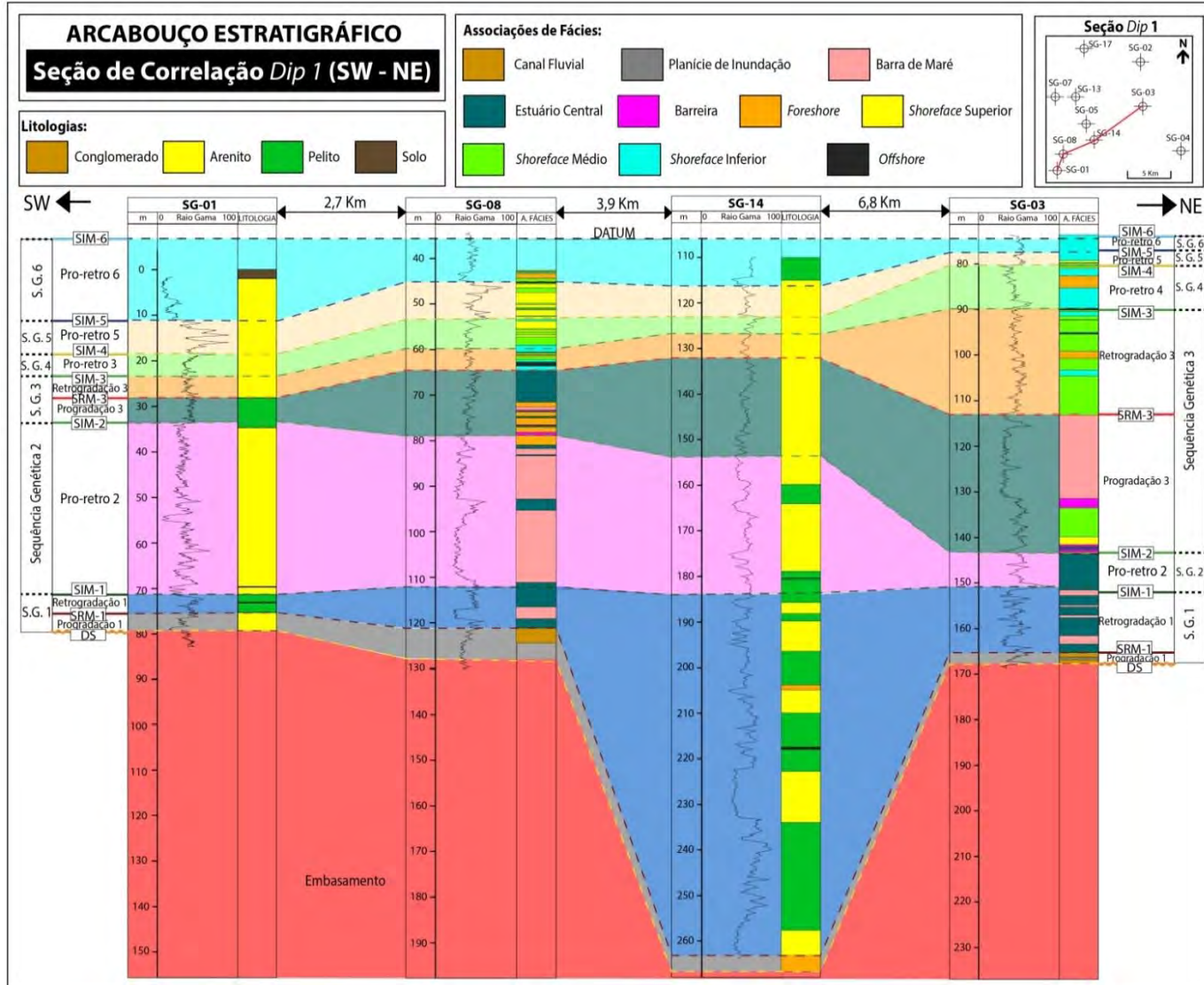
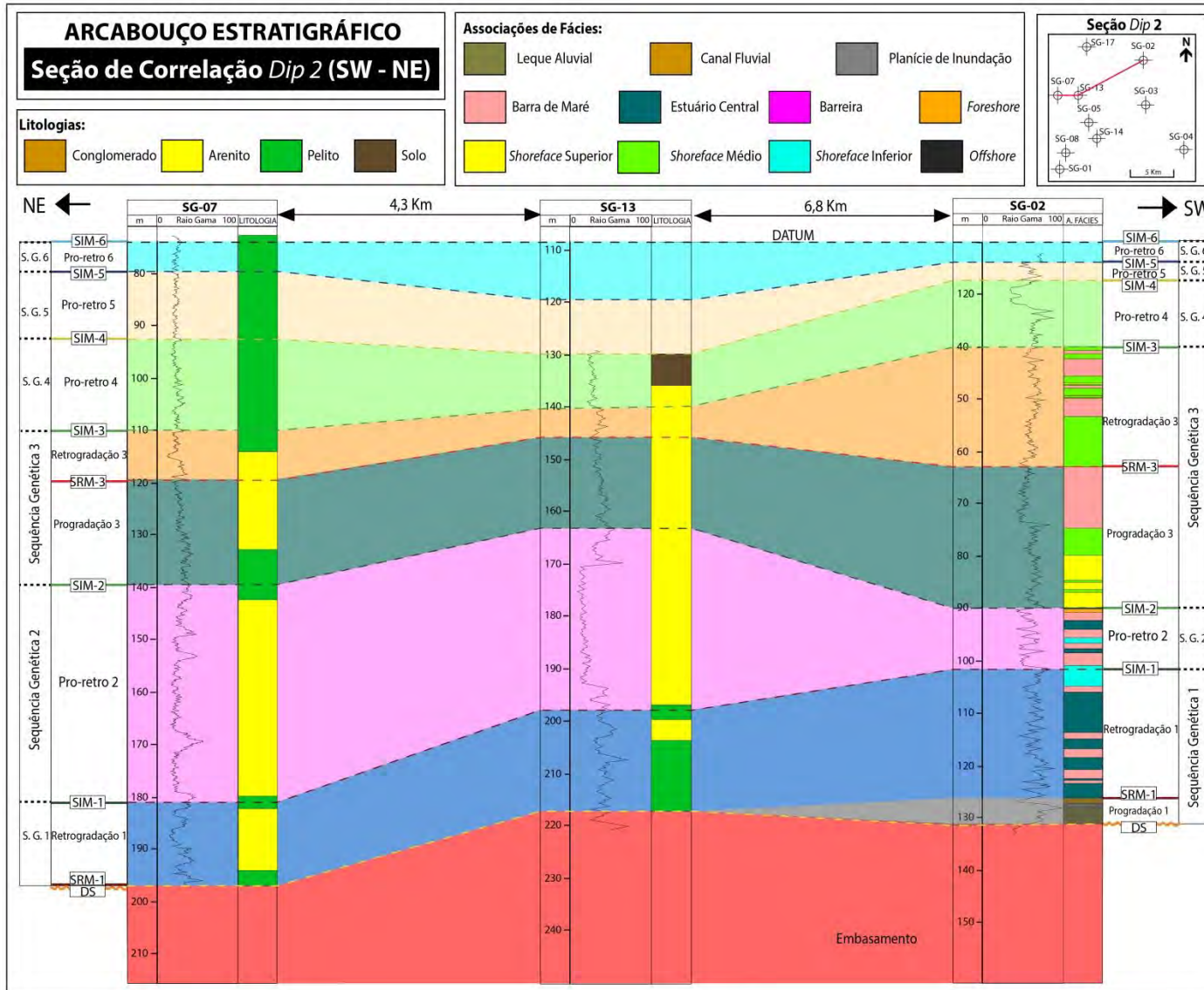


Figura 40: Seção de correlação *Dip 2*, com os poços SG-07, SG-13 e SG-02. Nesta correlação é possível a visualização geral do arcabouço estratigráfico estabelecido com o posicionamento das sequências genéticas, superfícies limitrofes e padrões de empilhamento interpretados e correlacionados ao longo dos poços.



4.2.1. Sequência Genética 1

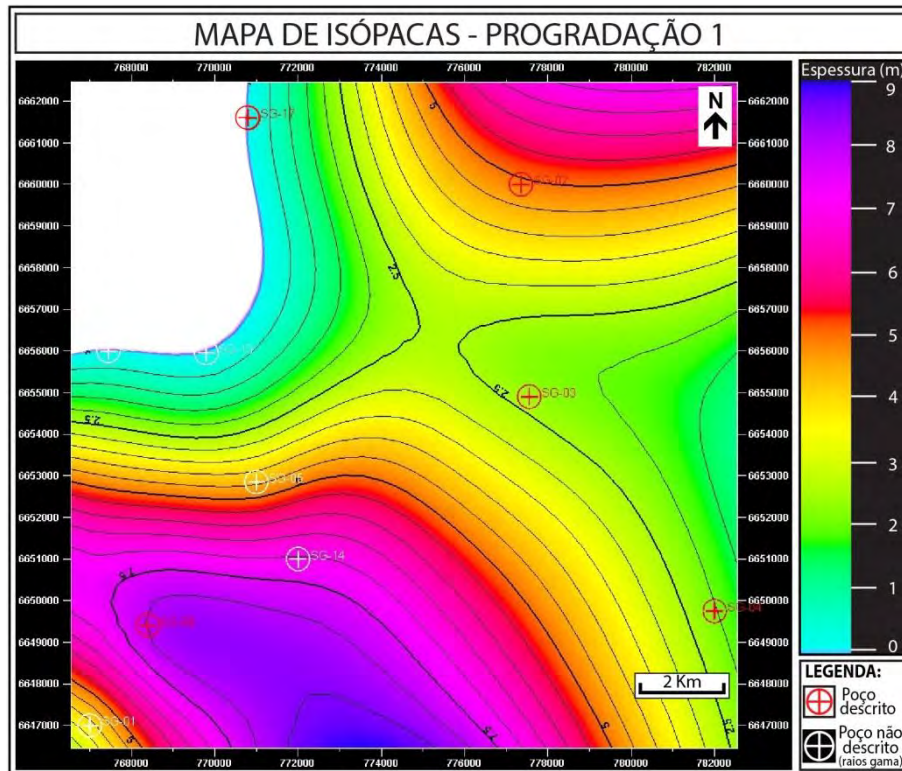
A sequência genética 1 é composta pelos padrões de empilhamento de progradação 1 e retrogradação 1. Nesta sequência a espessura pode variar de 4,3 a 86,4 m, sendo delimitada na base pela discordância subaérea (DS), ou pela coincidência desta com a superfície de regressão máxima 1 (SRM-1), e no topo pela superfície de inundação máxima 1 (SIM-1). Adicionalmente, a SRM-1 separa os padrões de empilhamento.

- **Progradação 1**

Esse padrão de empilhamento tem como limites as superfícies do tipo DS e de SRM-1, na base e no topo, respectivamente. O intervalo é composto por leques aluviais, como no poço SG-02, e principalmente por canais fluviais e planícies de inundação. Essa etapa de preenchimento da bacia pode chegar a 8 m de espessura, como no testemunho SG-08, entretanto em outros poços esse mesmo intervalo não foi preservado, ocorrendo neste caso a sobreposição das superfícies DS e SRM-1, como no poço SG-17.

No mapa de isópacas, as maiores espessuras estão nas porções NW e S-SW, aonde chegam a 9 m (Figura 41). Por outro lado, a região NW a espessura foi nula, relacionada principalmente com a inexistência desse intervalo na descrição de testemunho do poço SG-17. As espessuras intermediárias, entre 2 e 5 m estão localizadas na porção central.

Figura 41: Mapa de isópacas do intervalo correspondente a progradação 1, limitado na base pela DS e no topo pela SRM-1. É possível observar que as espessuras variam de 9 na porção S-SW, a 0 m na região NW.

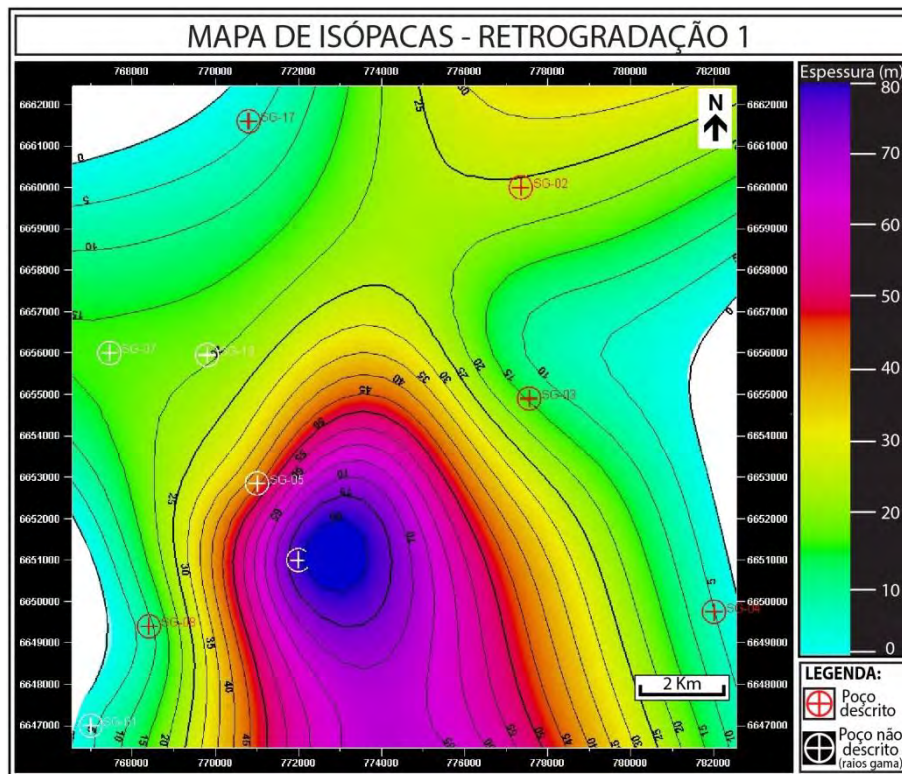


- **Retrogradação 1**

Esse intervalo tem superfície limítrofe de base principal a SRM-1, ou ainda a coincidência desta com a DS. Já no limite de topo, a retrogradação 1 é marcada pela SIM-1. Neste episódio de deposição, em que a espessura pode variar de 4 a 79,3 m, há o predomínio do sistema deposicional de estuário dominado por maré, com a intercalação das associações de fácies de barra de maré e estuário central. Adicionalmente, na porção de topo, ocorrem depósitos do sistema de plataforma dominada por onda, com o registro das associações de fácies de *shoreface*, marcando assim, um evento de transgressão.

No mapa de isópacas (Figura 42), as maiores espessuras estão nas porções central e S, onde podem chegar a 80 m, e as menores estão nas regiões NW, E e SW em que chegam a 0 (zero) m. As regiões N, NE e W possuem espessuras com cerca de 10 a 30 m.

Figura 42: Mapa de isópacas do intervalo correspondente a retrogradação 1, limitado na base pela SRM-1 e no topo pela SIM-1. É possível observar que as espessuras variam de 80 na porção central e S, a 0 m, nas regiões NW, E e SW.



4.2.2. Sequência Genética 2

A sequência genética 2, que tem a espessura entre 8 e 52 m, é delimitada na base pela superfície de inundação máxima 1 (SIM-1) e no topo pela superfície de inundação máxima 2 (SIM-2). Nesta sequência, optou-se por agrupar os padrões de empilhamento progradacional e retrogradacional em um único intervalo, pois o limite entre os dois eventos relacionados, regressão e transgressão respectivamente, não são claros em todos os poços da área de estudo.

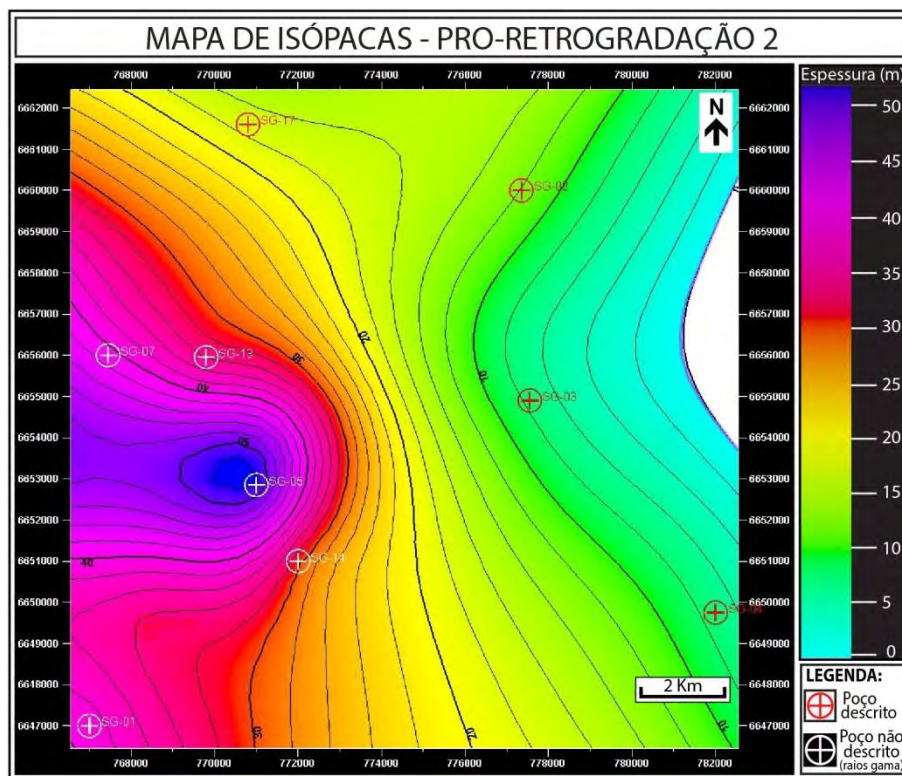
- **Pro-retrogradação 2**

Essa etapa de sedimentação inicia com depósitos marinhos de *shoreface* e *foreshore* ou, em menor quantidade, de transicionais, como estuário central. Os registros basais são, em maioria, sobrepostos por depósitos estuarinos como barras de maré e estuário central,

marcando uma regressão. Já na porção de topo, voltam a ocorrer depósitos de *shorefaces* e *foreshore*, além de, pontualmente, barreira, indicando uma transgressão.

No mapa de isópacas (Figura 43), as maiores espessuras se encontram na região W, com cerca de 53 m. Adicionalmente é possível observar que ocorre um gradativo adelgaçamento do pacote a E, onde a espessura a ser 0 m.

Figura 43: Mapa de isópacas do intervalo correspondente a pro-retrogradação 2, limitado na base pela SIM-1 e no topo pela SRM-2. É possível observar que as espessuras variam de 52 na porção W, a 0 m na região E.



4.2.3. Sequência Genética 3

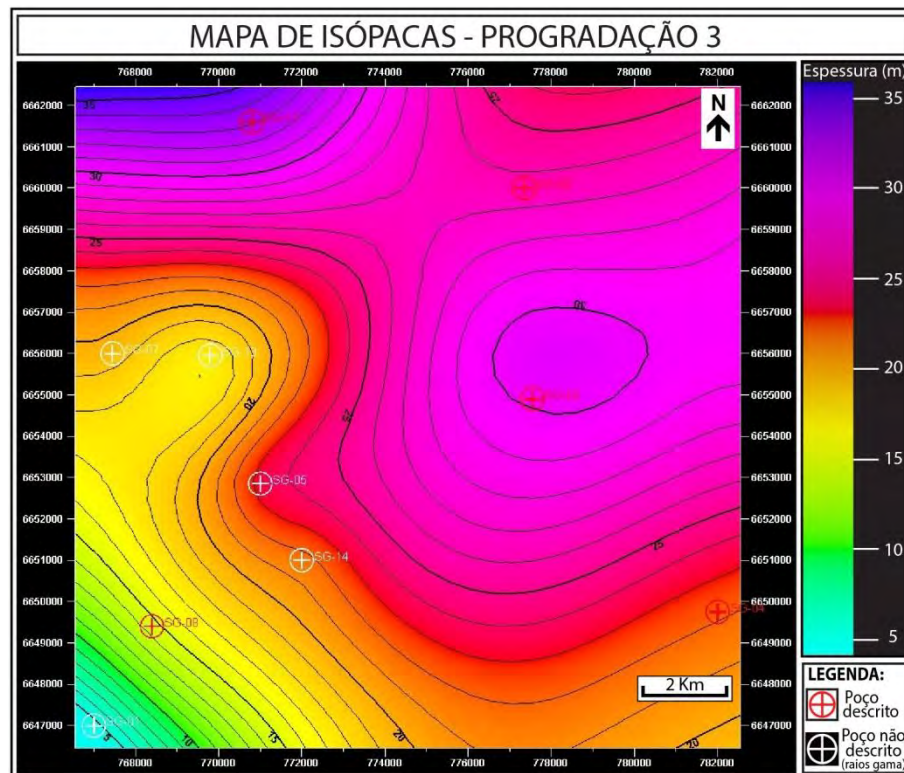
A sequência genética 3 é composta pelos padrões de empilhamento de progradação 3 e retrogradação 3. Nesta sequência a espessura pode variar de 9,5 a 43 m, sendo delimitada na base pela superfície de máxima inundação 2 (SIM-2) e no topo pela superfície de inundação máxima 3 (SIM-3). Ademais, a superfície de regressão máxima 3 (SRM-3) está inserida na sequência e separa os padrões de empilhamento.

• Progradação 3

Esse padrão de empilhamento tem como delimitantes as superfícies SIM-2, na base, e SRM-3, no topo. Essa etapa de preenchimento varia de 4,5 a 33 m. Na porção basal, o intervalo é composto por associações de fácies marinhas de *shorefaces* e *foreshore*. Na porção central é registrada uma oscilação do nível relativo do mar, com ocorrência depósitos marinhos e estuarinos intercalados, entretanto com uma tendência geral progradante evidenciada por associações de fácies mais proximais como *shoreface* superior, barreira e barras de maré. Na porção superior ocorre o registro de estuário central e principalmente um pacote de um grande pacote de barras de maré amalgamadas (com até 20 m de espessura) registrado nos poços SG-02, SG-03, SG-04 e SG-17, que foi interpretado como o estágio final da regressão correspondente a progradação 3.

No mapa de isópacas (Figura 44), as maiores espessuras ocorrem nas regiões NW, N, NE, E e central, podendo atingir a 35 m. Nas regiões W e S as espessuras possuem entre 10 e 15 m, e especificamente no extremo SW o pacote se afina até 5 m.

Figura 44: Mapa de isópacas do intervalo correspondente a progradação 3, limitado na base pela SIM-2 e no topo pela SRM-3. É possível observar que as espessuras variam de 35 na porção NW, N, NE e E, a 5 m nas regiões SW.

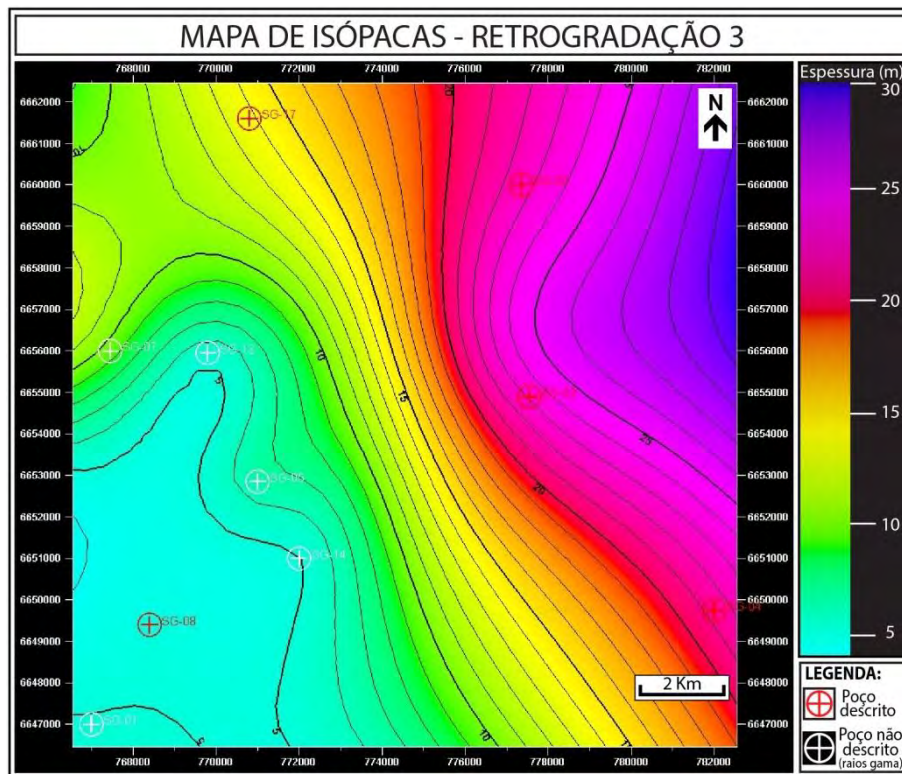


- **Retrogradação 3**

Esse intervalo tem superfície limítrofe de base a SRM-3 e de topo a SIM-3. Esse episódio de deposição, possui entre 5 e 23,5 m de espessura, e inicia com depósitos marinhos de *shorefaces* superior, médio e inferior sobre as associações de fácies mais proximais como as barras de maré e estuário central, componentes da Progradação 3. Em geral, ao longo desse padrão de empilhamento predominam depósitos de *shoreface* inferior, com intercalações de *foreshore*, *shorefaces* médio e superior, *offshore*, barras de maré, estuário central e barreira, que marcam oscilações do nível relativo do mar de ordens inferiores. O topo da retrogradação 3 é delimitado com as associações de fácies de *shoreface* inferior e *offshore*.

No mapa de isópacas (Figura 45), as maiores espessuras estão nas porções NE e E, chegando a 30 m. Já a região menos espessa é a SW, sendo esse o sentido de afinamento deste pacote, que tem espessuras de 15 e 20 m na região central, e chega a espessura mínima de 5 m na porção SW.

Figura 45: Mapa de isópacas do intervalo correspondente a retrogradação 3, limitado na base pela SRM-3 e no topo pela SIM-3. É possível observar que as espessuras variam de 30 na região NE e E, a 5 m na porção SW.



4.2.4. Sequência Genética 4

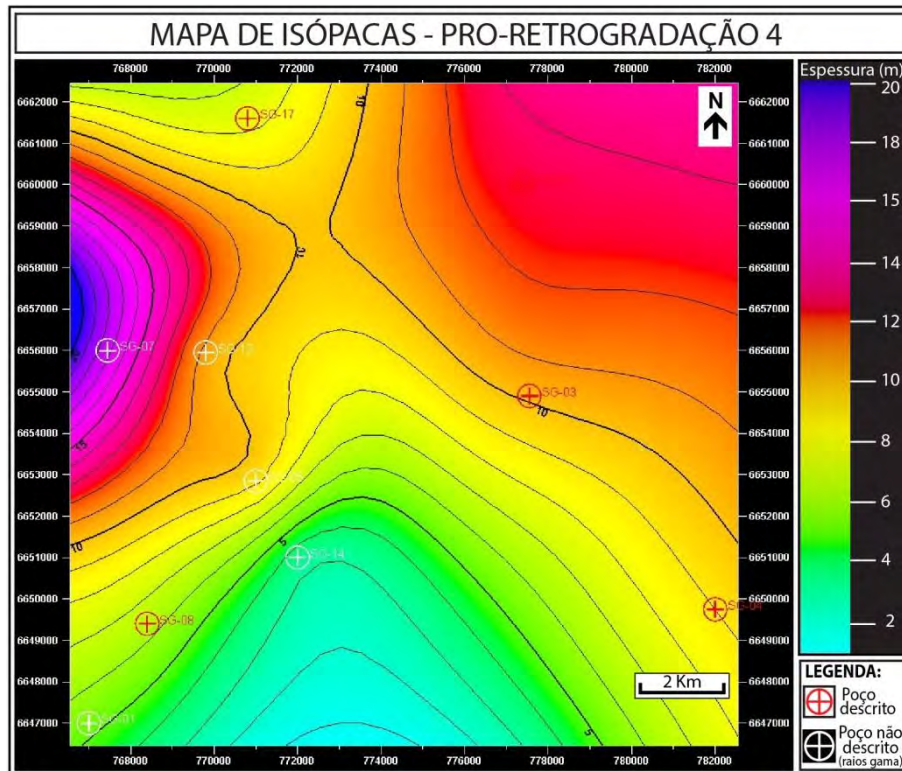
Esse intervalo varia de 3,5 a 17,5 m de espessura, é delimitado na base pela superfície de inundação máxima 3 (SIM-3) e no topo pela superfície de inundação máxima 4 (SIM-4). Na sequência genética 4, assim como na sequência genética 2, não é claro o limite de registro dos eventos de progradação e retrogradação, desta forma, foram agrupados os padrões de empilhamento progradacional e retrogradacional em um único intervalo, denominado pro-retrogradacional 4.

- **Pro-retrogradação 4**

A pro-retrogradação 4 possui na sua base depósitos de *shorefaces* médio e inferior e offshore, sotopostos a pacotes de associações de fácies mais proximais, como *shorefaces* médio e superior e *foreshore*, marcando a etapa de progradação da sequência, embora sejam observadas outras intercalações de maior frequência, de fácies proximais e distais. Na porção superior dessa sequência, mais sutilmente, ocorre uma retrogradação com a deposição de associações de fácies distais como *shoreface* inferior.

O mapa de isópacas deste intervalo (Figura 46) indicou que, as maiores espessuras estão localizadas nas região E e principalmente NE, onde chega a 20 m. As porções NW e central indicaram espessuras intermediárias que variam de 8 a 12 m, e a porção S se mostrou como a mais delgada, com o pacote afinar até aproximadamente 1 m.

Figura 46: Mapa de isópacas do intervalo correspondente a pro-retrogradação 4, limitado na base pela SIM-3 e no topo pela SIM-4. É possível observar que as espessuras variam de 20 na porção E, a 1 m na região S.



4.2.5. Sequência Genética 5

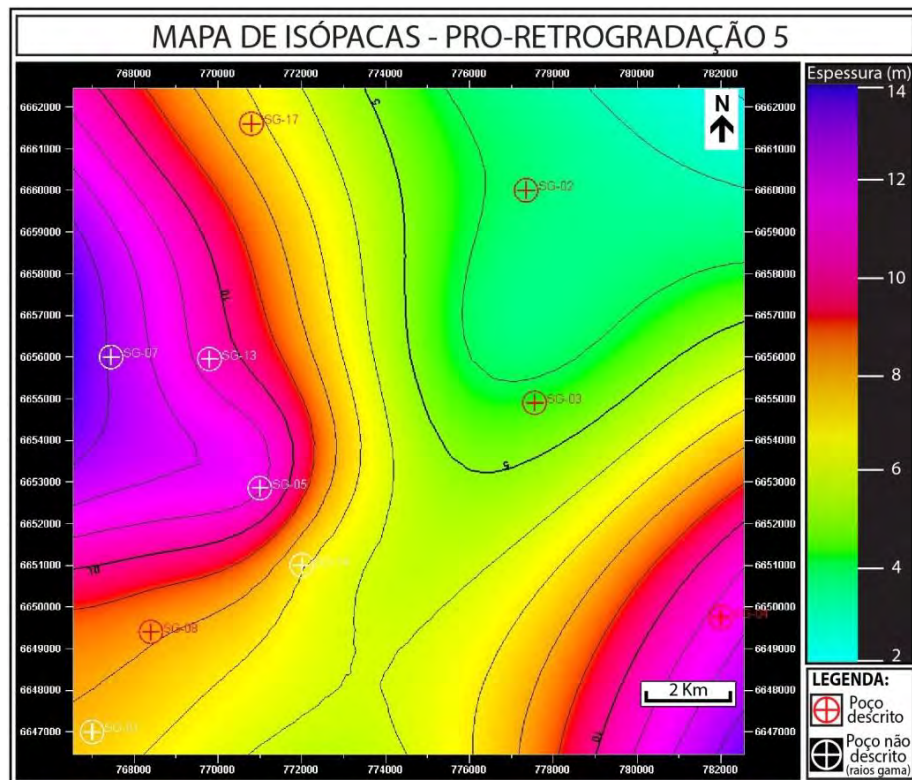
Esse evento é registrado em pacotes que variam de 4 a 12,5 m de espessura, sendo delimitado na base pela superfície de inundação máxima 4 (SIM-4) e no topo pela superfície de inundação máxima 5 (SIM-5). Na sequência genética 5, a exemplo das sequências 2 e 4, não foi possível delimitar, com precisão, os eventos de progradação e retrogradação, e desta forma, os padrões de empilhamento foram agrupados no intervalo denominado pro-retrogradacional 5. A delimitação desta sequência foi realizada principalmente pela análise dos perfis geofísicos de raios gama, visto que, dos poços da área de estudo, apenas o SG-03 e o SG-08 tiveram o intervalo, corresponde da sequência, descrito.

- **Pro-retrogradação 5**

A pro-retrogradação 5 é marcada na base pela ocorrência da associação de fácies de *shoreface* superior, em detrimento de *shoreface* inferior. Desta forma, este primeiro intervalo foi interpretado como progradacional. Em sobreposição, ocorre uma retrogradação, indicada no poço SG-03 pela associação de fácies de *shoreface* inferior, e no poço SG-08, pela predominância da associação de fácies de *shoreface* médio e ocorrência de *offshore* no topo.

No mapa de isópacas (Figura 47), é possível observar que as maiores espessuras identificadas foram de 14 m, que ocorrem na região W e SW. Nas porções S e central o pacote tem a sua espessura variando de 5 a 8 m, e na região NE afina até 2 m, sendo esse o valor mínimo.

Figura 47: Mapa de isópacas do intervalo correspondente a pro-retrogradação 5, limitado na base pela SIM-4 e no topo pela SIM-5. É possível observar que as espessuras variam de 14 na porção W e SW, a 2 m na região NE.



4.2.6. Sequência Genética 6

A sequência genética 6 é registrada em pacotes de espessura que variam de 4 a 16,8 m. Esse evento é delimitado na base pela superfície de inundação máxima 5 (SIM-5) e no topo pela superfície de inundação máxima 6 (SIM-6). Assim como nas sequências genéticas 2, 4 e 5 não foi possível delimitar, com clareza a progradação e a retrogradação, optando-se por analisar o evento como um único padrão de empilhamento chamado pro-retrogradacional 6. Como apenas no poço SG-03 o intervalo desta sequência foi descrito, os limites de base e topo foram estabelecidos principalmente pela análise dos perfis geofísicos de raios gama.

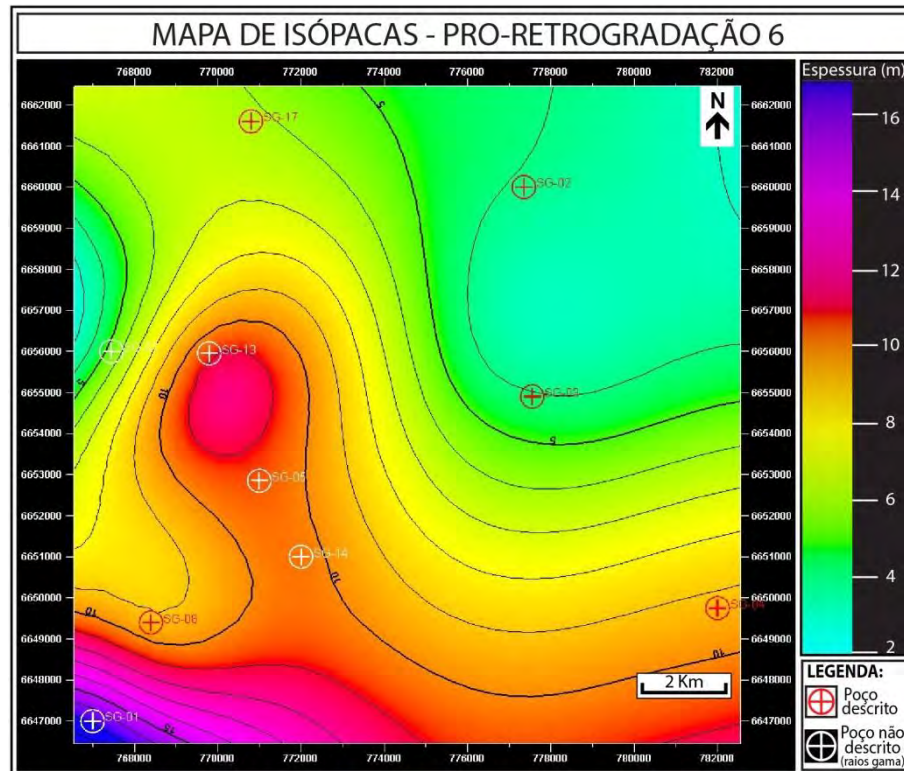
Conforme as correlações (Figura 37, Figura 38, Figura 39 e Figura 40), a SIM-6 foi inferida acima do topo total dos testemunhos nos poços SG-01, SG-04, SG-13 e SG-14. Essa inferência foi realizada porque nem todos os poços da área de estudo possuem o intervalo completo do Grupo Guatá, como por exemplo, os poços SG-01 e SG-03, através da análise de semelhanças com a perfilagem geofísica de raios gama dos outros poços. Adicionalmente, no caso dos poços SG-13 e SG-14, a SIM-6 foi posicionada em concordância com o restante com o arcabouço estratigráfico.

- **Pro-retrogradação 6**

A pro-retrogradação 6 é composta inteiramente pela associação de fácies de *shoreface* inferior, que compreende a porção distal do sistema deposicional de plataforma dominada por onda. Embora seja identificada apenas uma associação de fácies, neste padrão de empilhamento é possível observar as mudanças nos valores da perfilagem de raios gama, que ajudam na correlação com os outros poços e na delimitação das superfícies limítrofes como a SIM-6 (*datum*), que marca a maior transgressão do intervalo de estudo.

No mapa de isópacas (Figura 48), a espessura máxima é de aproximadamente 18 m, que ocorre no extremo SW, e a mínima na região NE em que chega a ter apenas 2 m. As espessuras intermediárias, entre 6 e 10 m se concentram na região centro e SE.

Figura 48: Mapa de isópacas do intervalo correspondente a pro-retrogradação 6, limitado na base pela SIM-5 e no topo pela SIM-6. É possível observar que as espessuras variam de 18 na porção SW, a 2 m na região NE.



4.3. Modelagem Tridimensional

Para o cálculo da malha de modelagem, foram traçados 21 segmentos pela triangulação direta (Figura 49), e com a leitura dos comprimentos dos segmentos, foram obtidos dados estatísticos relativos a essas informações (Tabela 3).

Figura 49: A - Poços georreferenciados; B – Segmentos traçados nos alinhamentos dos poços para a triangulação e obtenção da malha de modelagem.

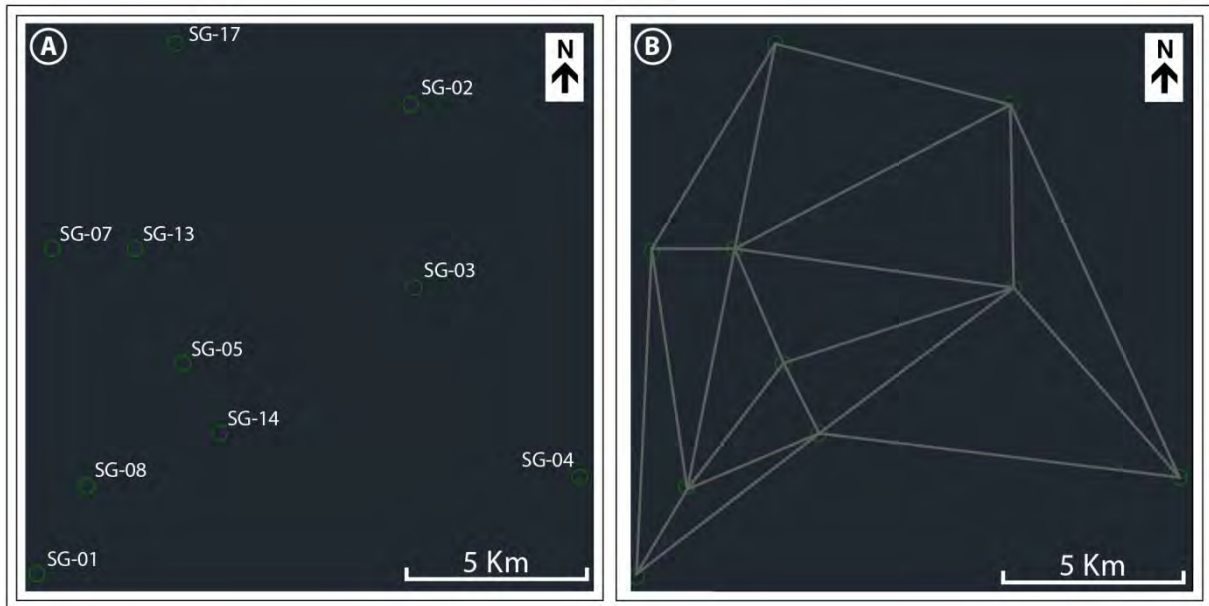


Tabela 3: Resultado da análise estatística dos comprimentos dos segmentos de correlação dos poços.

DADO	VALOR
Número de segmentos	21
Distância mínima (Dmax)	2102,980
Distância máxima (Dmin)	11255,443
Variação (Dmax – Dmin)	9152,463
Média (M)	6184,795
Mediana (Md)	6668,028
Desvio padrão (Dp)	2453,809

Aplicando-se a fórmula $(Md - Dp)/3$, a malha horizontal inicial calculada foi de 1.404,74 m. Para tornar mais prática a manipulação, a malha foi arredondada para 1.500 m. Após a realização dos demais procedimentos de modelagem e a obtenção de modelos prévios, a malha foi paulatinamente adensada até 1000 metros, verificando-se que até este tamanho não ocorreu perda de dados pela excessiva quantidade de pontos em sua matriz, sendo esta a malha horizontal utilizada para o modelo 3D gerado, definindo assim células de 1000 x 1000 metros. Já a malha vertical foi estabelecida em 30 cm, sendo esta uma espessura pequena, mas compatível com a espessura geral mínima das fácies descritas nos testemunhos.

O raio de busca foi ajustado de acordo para cada associação de fácies (Tabela 4). Seguindo o modelo deposicional, os raios de busca das associações de fácies de leque aluvial, canal fluvial, planície de inundação, estuário central, *shoreface* inferior e *offshore* não foram orientados (isótopos), os das associações de fácies de barreira, *foreshore*, *shorefaces* superior e médio foram orientados (anisótopos) na direção *strike* (135-315), e o da associação da fácies barra de maré foi orientado (anisótopo) na direção *dip* (045-225).

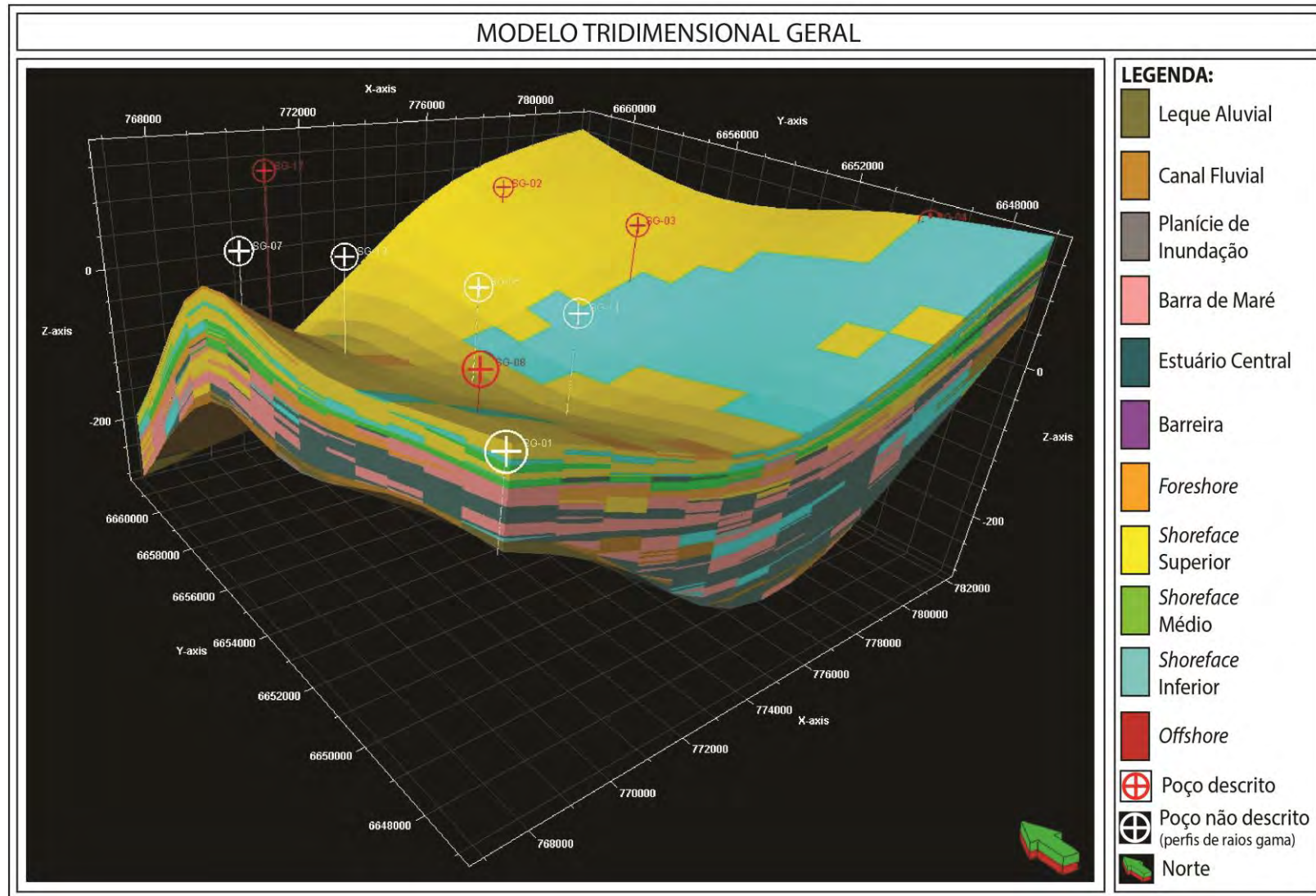
Tabela 4: Tabela dos raios de busca das associações de fácies.

ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES	DIP (045-225)	STRIKE (135-315)
Leque aluvial (isótopo)	15000 m	15000 m
Canal fluvial (isótopo)	15000 m	15000 m
Planície de inundação (isótopo)	10000 m	10000 m
Estuário central (isótopo)	10000 m	10000 m
Barra de maré (anisótopo)	900 m	300 m
Barreira (anisótopo)	5000 m	10000 m
Foreshore (anisótopo)	5000 m	10000 m
Shoreface superior (anisótopo)	2500 m	5000 m
Shoreface médio (anisótopo)	2500 m	5000 m
Shoreface inferior (isótopo)	5000 m	5000 m
Offshore (isótopo)	5000 m	5000 m

4.3.6. Modelo Tridimensional

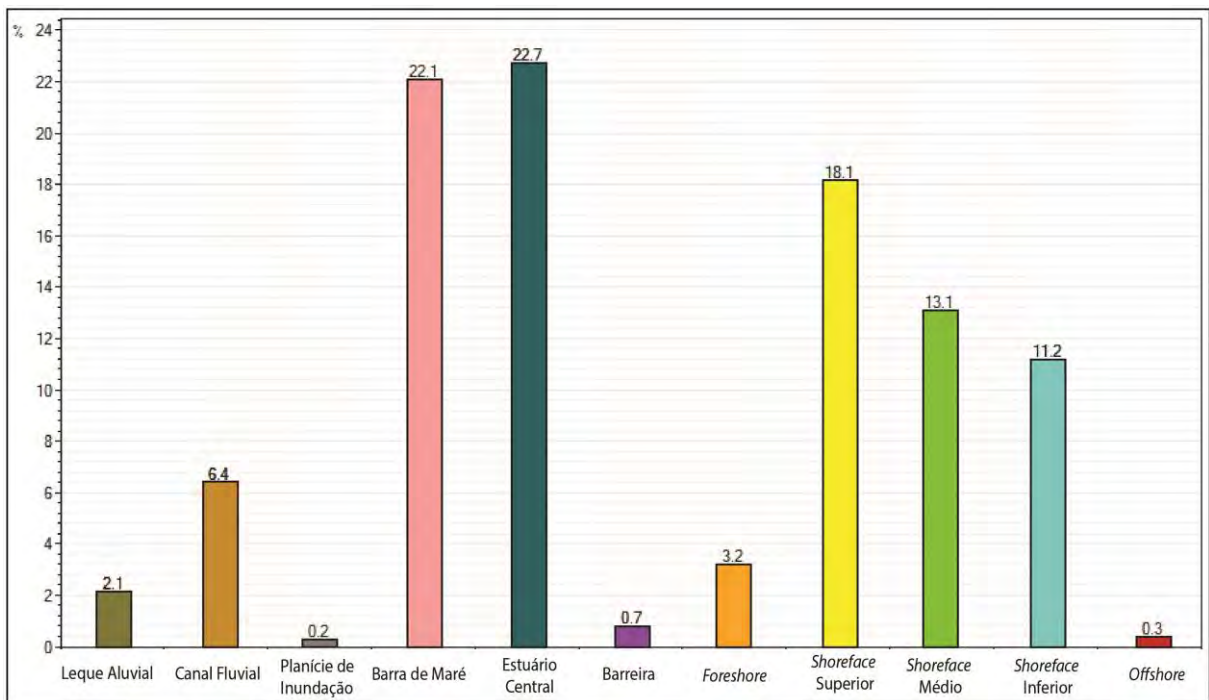
A modelagem tridimensional gerou um modelo de distribuição das associações de fácies intervalo de estudo (Figura 50). Entretanto, esse pacote foi dividido em oito intervalos menores (padrões de empilhamento), sendo cada um dos intervalos menores delimitados por superfícies limítrofes. Seguindo a metodologia abordado em 3.3.5, cada intervalo foi modelado de maneira particular, evitando a interpolação de dados de diferentes padrões de empilhamento, preservando a metodologia da estratigrafia de seqüências em correlacionar rochas depositadas apenas no mesmo intervalo de tempo.

Figura 50: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional geral de associações de fácies.



O modelo 3D possui ao todo 36,9 mil células, cada uma com 1,5 x 1,5 x 0,002 km cada. Na Figura 51, podem ser observadas a porcentagem de células modeladas de cada associação de fácies. Com isso, a ordem (descrescente) de abundância destas: estuário central, barra de maré, *shorefaces* superior, médio e inferior, canal fluvial, *foreshore*, leque aluvial, barreira, *offshore* e planície de inundação.

Figura 51: Gráfico de porcentagem de distribuição das 36,9 mil células componentes do modelo tridimensional geral das associações de fácies.



Para auxiliar na visualização do modelo 3D gerado, foram utilizados filtros (Figura 52) e vistas laterais (Figura 53) do bloco. Para o entendimento das diferentes unidades identificadas, a seguir são discutidos os resultados específicos do modelo 3D de cada um dos padrões de empilhamento.

Figura 52: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional geral das associações de fácies, com filtros de visualização nas direções N-S e E-W.

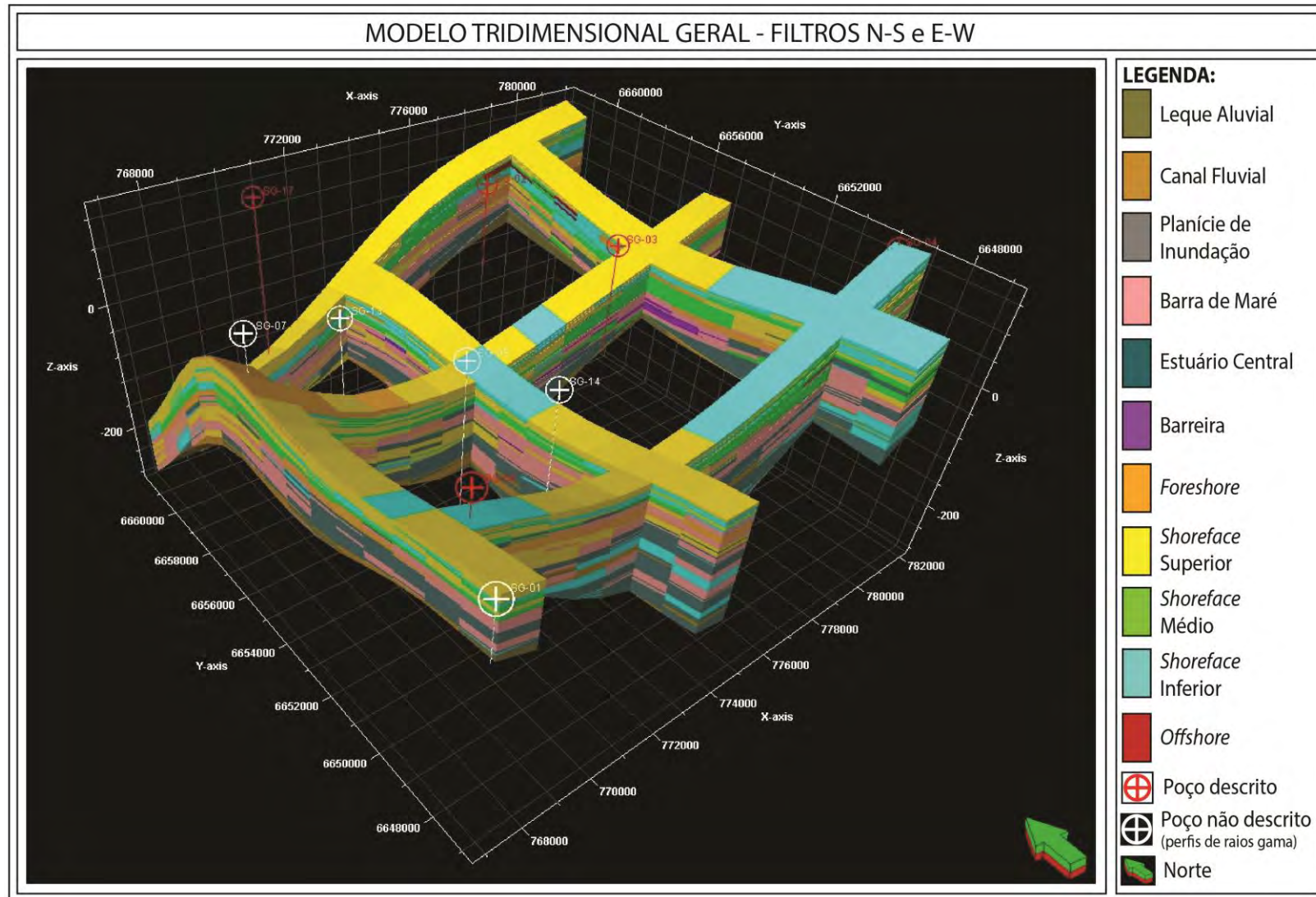
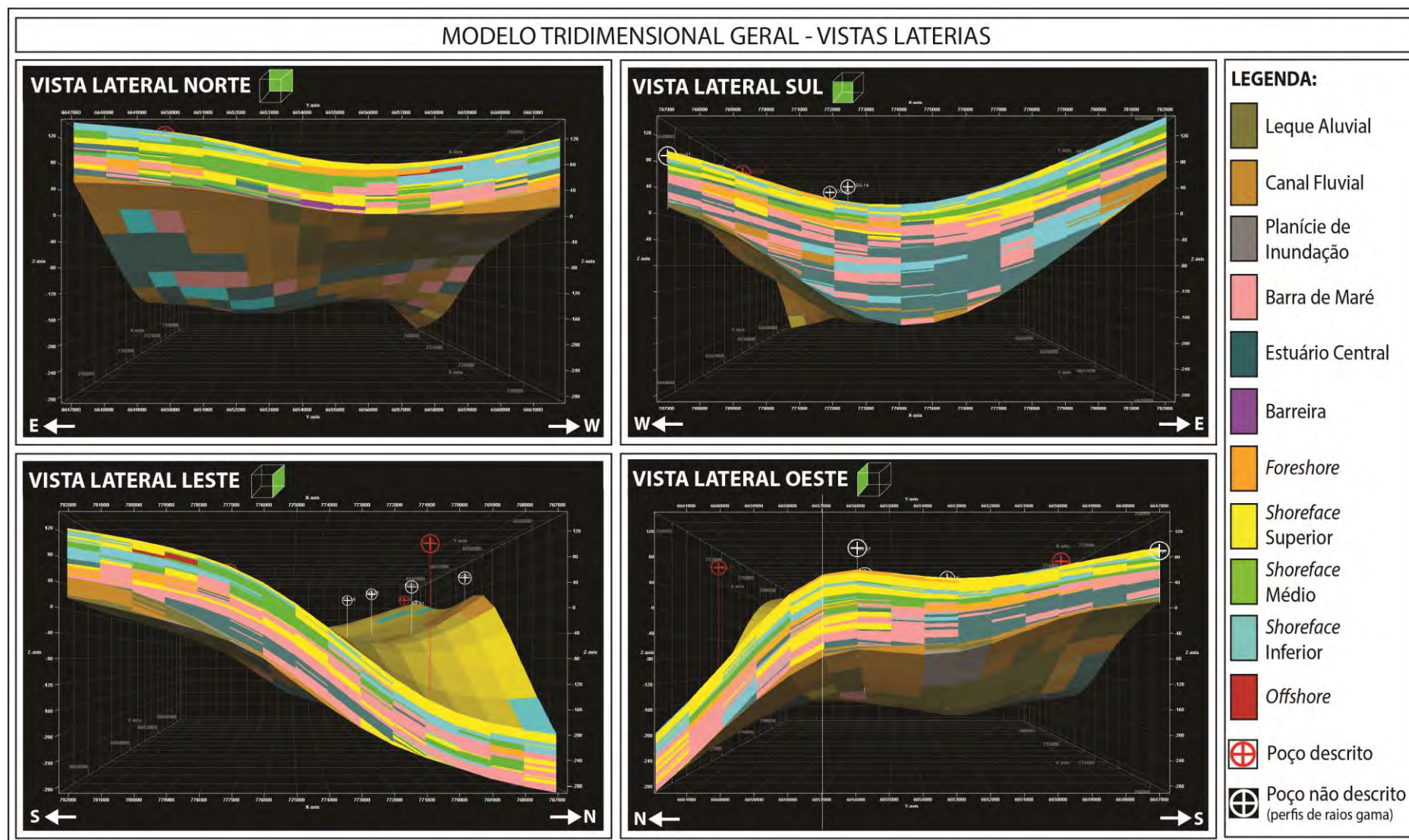


Figura 53: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional geral com vistas laterais norte, sul, leste e oeste.



- **Sequência Genética 1 - Progradação 1**

Neste padrão de empilhamento, a modelagem tridimensional possibilitou a observação das associações de fácies do sistema deposicional alúvio-fluvial (Figura 54). Na camada A é possível observar o predomínio de ocorrência de canais fluviais na região NE da área de estudo. Gradativamente, nas camadas B, C, D e E, os leques aluviais predominam na porção distal, e os canais fluviais na distal. Já os depósitos de planície de inundação ocorrem associados aos canais fluviais na porção centro-distal.

O resultado da modelagem foi satisfatório visto que os depósitos de leques aluviais se concentram na região proximal e os canais e planícies de inundação na região distal, o que configura uma concordância com o posicionamento destas associações de fácies no modelo deposicional. Um empecílio foi a não modelagem da região central da área de estudo, pela ausência de poços nessa porção, associada à pequena espessura geral desse padrão de empilhamento.

- **Sequência Genética 1 - Retrogradação 1**

Na retrogradação 1, a modelagem tridimensional evidenciou que nessa etapa de deposição ocorrem registros dos sistemas deposicionais de estuário dominado por maré, plataforma dominada por onda e alúvio-fluvial (Figura 55). O padrão de empilhamento inicia com o predomínio das associações de fácies de estuário central, e, em menor quantidade, barras de maré e *shoreface* inferior, representados pelas camadas A, B e C. Na camada D é possível observar uma maior quantidade de canais fluviais em meio ao estuário central e barras de maré, assim como uma maior área de associações de fácies marinhas, com *shoreface* superior na porção NW e *shoreface* inferior na porção SE, marcando assim uma interação dos três sistemas deposicionais definidos que compõem o modelo deposicional da área. O topo dessa unidade (camada E) é marcado pela ausência de canais fluviais e predomínio de estuário central e barras de maré, e um pequeno conjunto de áreas não conectadas, de *shoreface* superior e inferior na região NW.

Neste caso, a modelagem pode ser considerada satisfatória visto que principalmente no avanço da camada E sobre a C e D, é possível observar um afogamento dos canais fluviais pelo estuário central, o que registra a transgressão que marca o final da sequência genética 1.

Figura 54: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional das associações de fácies da Sequência Genética 1 – Progradação 1, com a visualização do modelo compartimentado em 5 camadas isoladas (A, B, C, D e E) e completo (camadas A a E), que representam fatiamentos internos ao modelo.

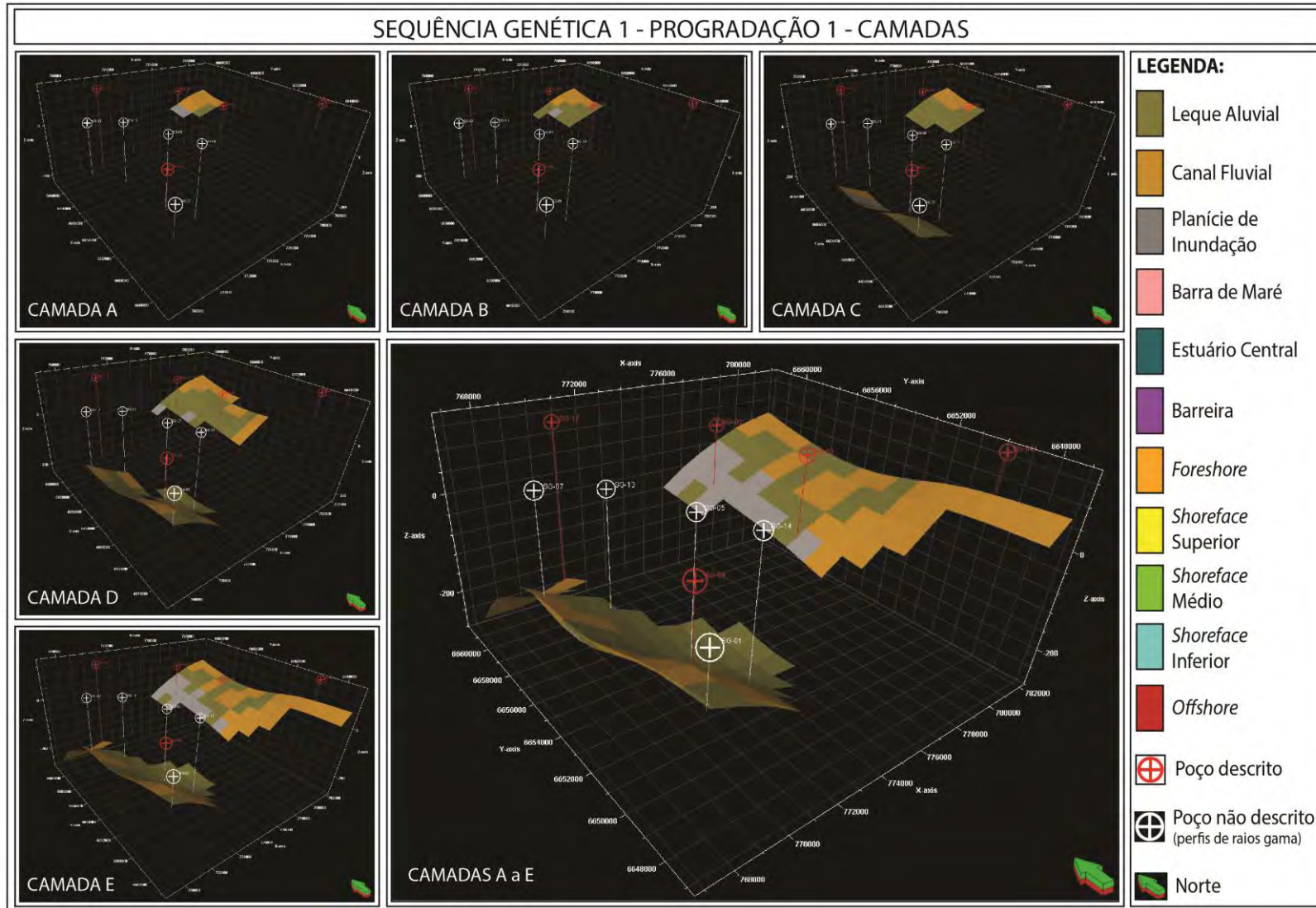
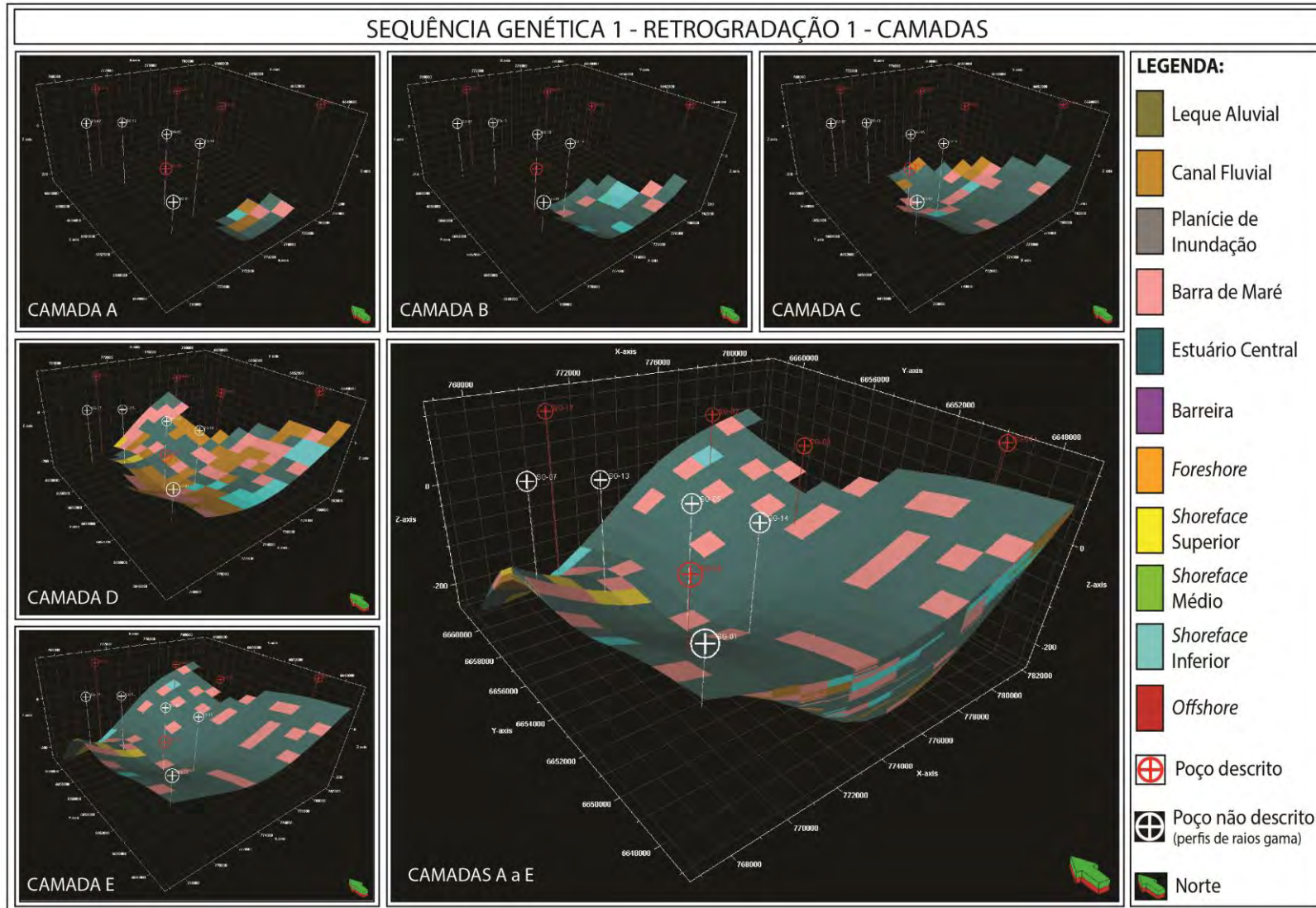


Figura 55: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional das associações de fácies da Sequência Genética 1 – Retrogradação 1, com a visualização do modelo compartimentado em 5 camadas isoladas (A, B, C, D e E) e completo (camadas A a E), que representam fatiamentos internos ao modelo.



- **Sequência Genética 2 - Pro-retrogradação 2 -**

No intervalo correspondente à sequência genética 2, a modelagem tridimensional indicou uma interação das associações de fácies dos sistemas deposicionais de estuário dominado por maré e de plataforma dominada por onda alúvio-fluvial (Figura 56). Nas camadas A, B e C é possível notar, de modo geral, uma maior área de predomínio das associações de fácies de estuário central e barras de marés a W e, *shorefaces* superior, médio e inferior a E. Nas camadas D e E ocorre um maior espalhamento das associações de fácies de *shorefaces* e de estuário central em meio ao predomínio absoluto das barras de marés em toda área de estudo. O resultado da modelagem foi regular, pois não foi visto uma clara tendência das associações de fácies em meio ao predomínio das barras de marés, impossibilitando assim a observações dos deslocamentos laterais da linha de costa.

- **Sequência Genética 3 - Progradação 3**

Neste padrão de empilhamento, através da modelagem tridimensional foi possível observar as associações de fácies dos sistemas deposicionais de estuário dominado por maré e de plataforma dominada por onda (Figura 57 Erro! Fonte de referência não encontrada.). Neste intervalo ocorre um predomínio de barras de maré em toda a área de estudo, porém as interações dessa associação de fácies com as demais existentes no intervalo, não possuem tendência evidentes. A barreira ocorre inicialmente na porção SE, migrando posteriormente para a porção N-NW. O estuário central é registrado, na camada C, na porção E, depois, na camada D, ocorre mais na porção NE, e na camada E, migra para a SW. A distribuição dos depósitos marinhos ocorre com o predomínio de *foreshore* na porção SW, principalmente na camada D, já os depósitos de *shorefaces* não possuem um claro arranjo comum ao longo das camadas, pois o superior se desenvolve em toda a área de estudo, o médio intercorre com um alinhamento incipiente NW-SE, e o inferior se sucede na porção mais NW.

Na progradação 3, a modelagem não foi satisfatória, pois não há uma tendência bem marcada em nenhuma associação de fácies. Adicionalmente, a distribuição das associações de fácies ocorre, muitas vezes, de maneira não condizente com o modelo deposicional, como por exemplo, os *shorefaces* inferior e médio estão posicionados a montante dos depósitos de *foreshore* e *shoreface* superior, que caracteristicamente são mais proximais.

Figura 56: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional das associações de fácies da Sequência Genética 2 – Pro-retrogradação 2, com a visualização do modelo compartmentado em 5 camadas isoladas (A, B, C, D e E) e completo (camadas A a E), que representam fatiamentos internos ao modelo.

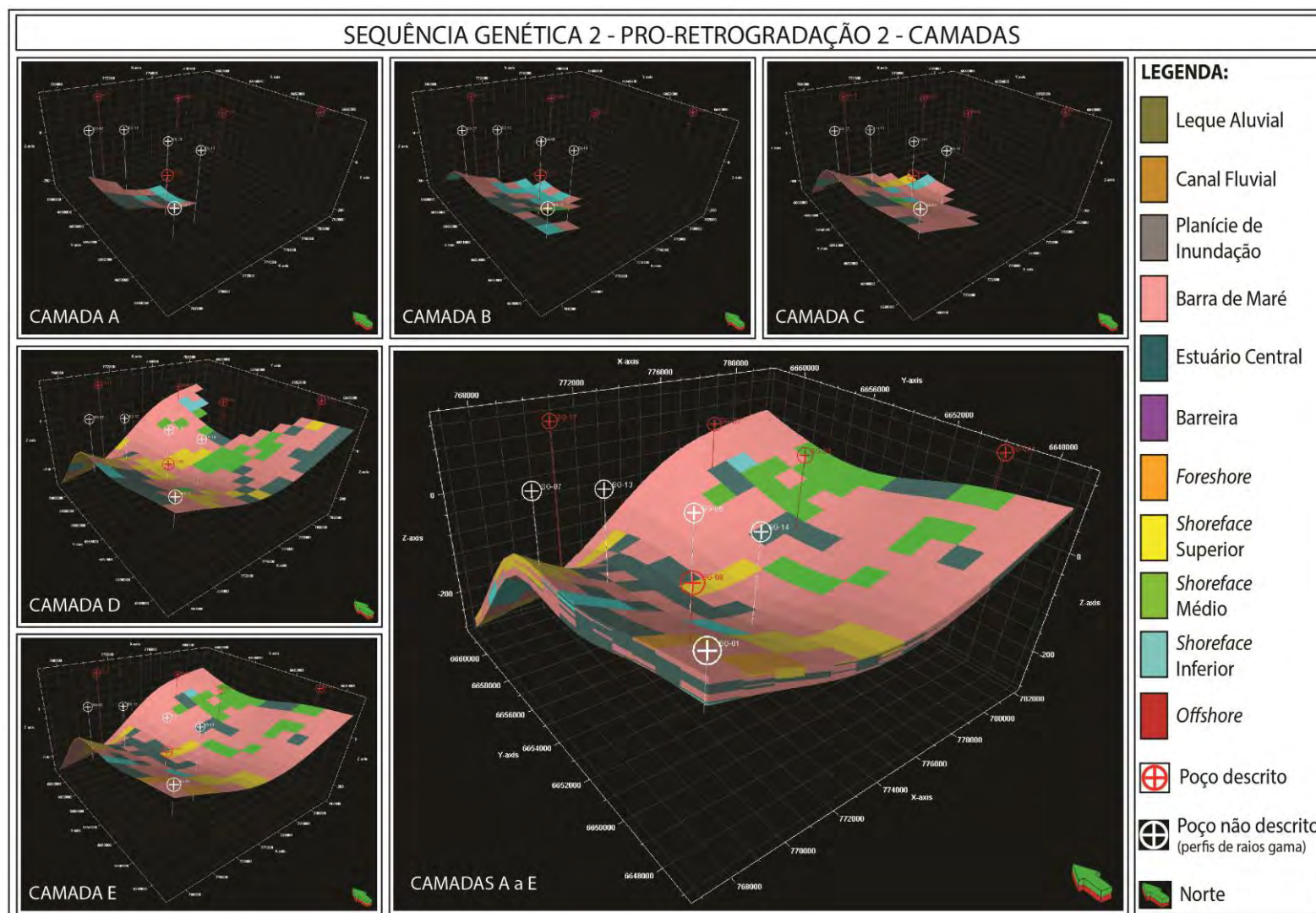
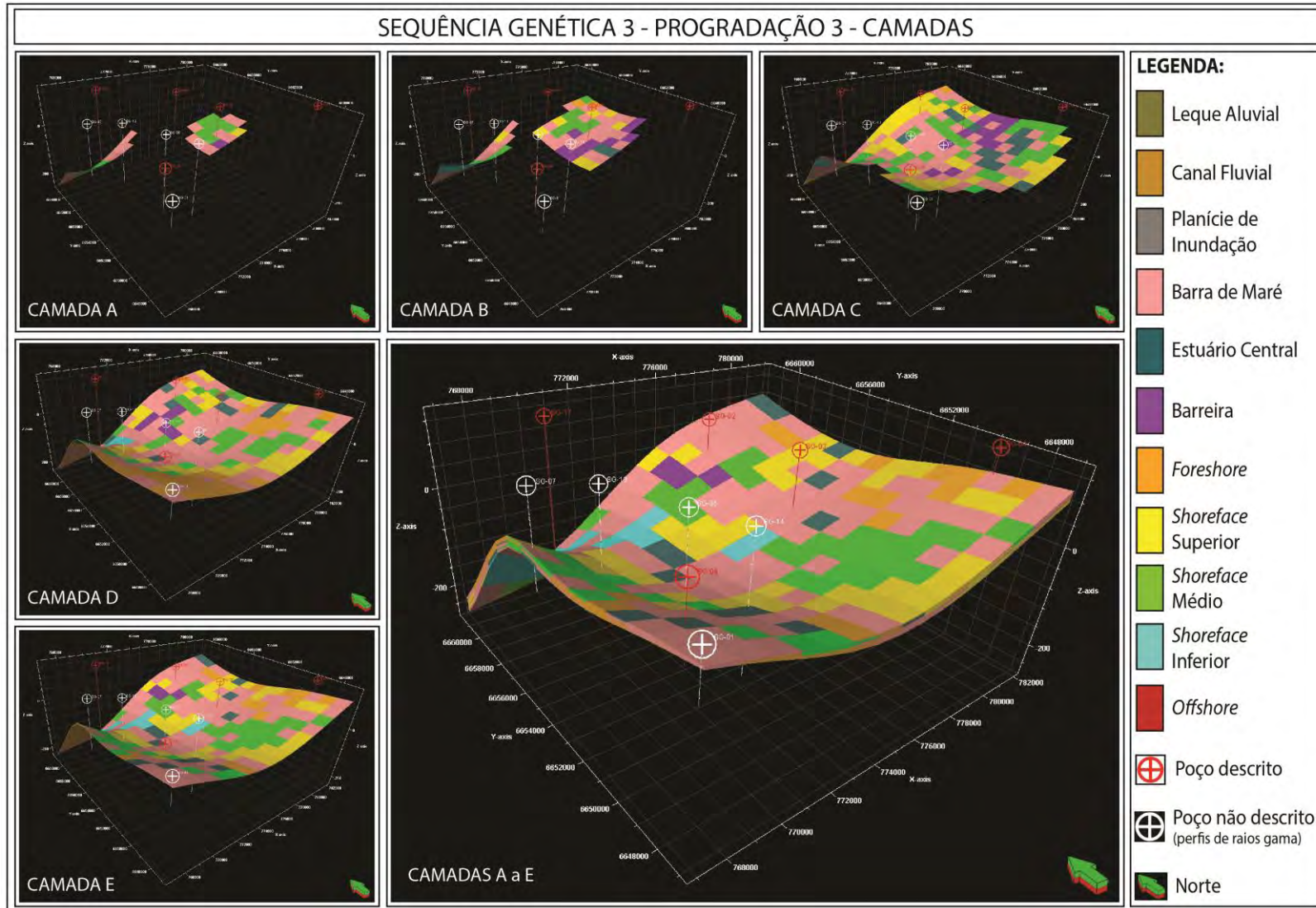


Figura 57: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional das associações de fácies da Sequência Genética 3 – Progradação 3, com a visualização do modelo compartimentado em 5 camadas isoladas (A, B, C, D e E) e completo (camadas A a E), que representam fatiamentos internos ao modelo.

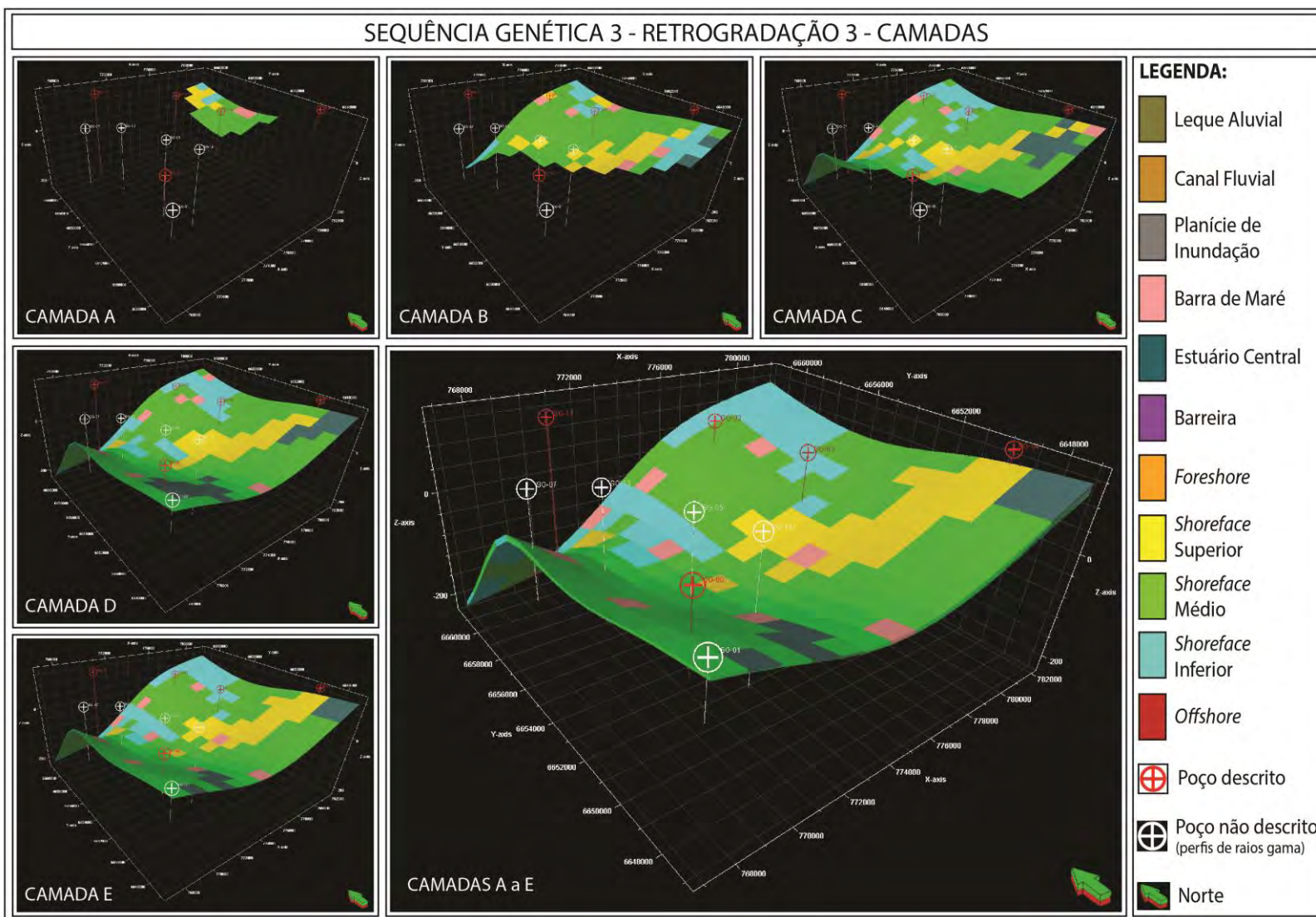


- **Sequência Genética 3 - Retrogradação 3**

Na retrogradação 3, a modelagem tridimensional evidenciou registros dos sistemas deposicionais de plataforma dominada por onda e estuário dominado por maré (Figura 58). Nesta etapa de preenchimento predomina, de modo geral, a associação de fácies de *shoreface* médio. Na camada A, devido ao registro localizado na porção NE, não é possível observar algum padrão das associações de fácies na modelagem. Entretanto, nas camadas posteriores, B, C, D e E é visível uma interação do *shoreface* médio com as demais associações de fácies de *shorefaces*, ocorrendo um alinhamento SE-NW do superior, e uma concentração nas partes N e NE da inferior. As associações de fácies vinculadas ao sistema estuarino dominado por maré são menos abundantes, com os depósitos de estuário central com ocorrência nas porções SE e SW e as barras de maré se mostram pontuais em meio aos depósitos marinhos.

O resultado da modelagem foi satisfatório, uma vez que é muito evidente a passagem do padrão de empilhamento progradacional 3, em que predominam as barras de maré, para o retrogradacional 3, que possui o depósito majoritário de *shoreface* médio. Embora ocorram discordâncias com o modelo deposicional, como o posicionamento a montante de *shoreface* médio em relação ao superior, é possível visualizar concordâncias bastante significativas, entre elas, a concentração do estuário central na porção proximal, o alinhamento do *shoreface* superior na direção *strike*, e um ganho de espaço do *shoreface* inferior no topo do pacote, indicando a mudança lateral da linha de costa em direção ao continente.

Figura 58: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional das associações de fácies da Sequência Genética 3 – Retrogradação 3, com a visualização do modelo compartmentado em 5 camadas isoladas (A, B, C, D e E) e completo (camadas A a E), que representam fatiamentos internos ao modelo

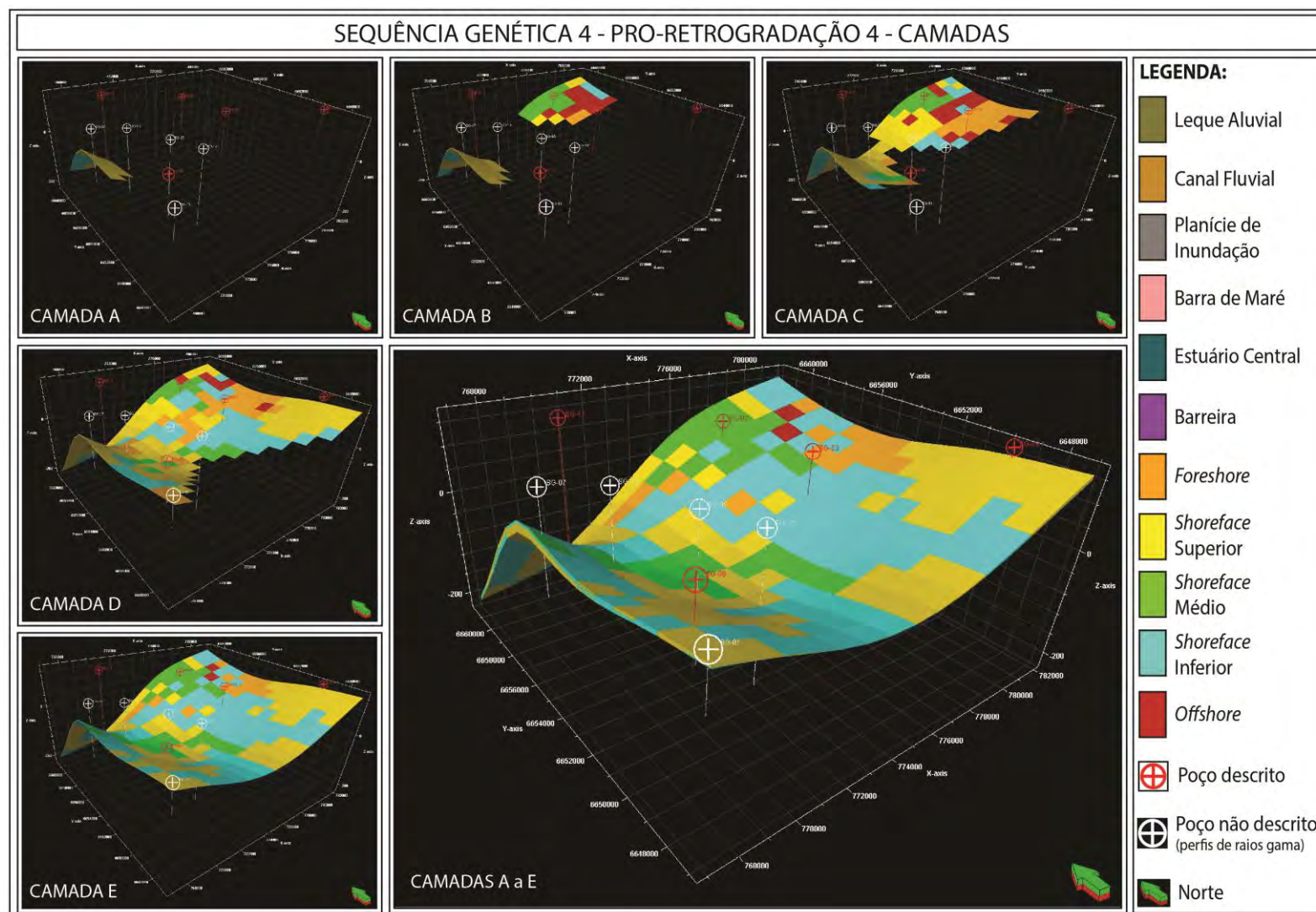


- **Sequência Genética 4 - Pro-retrogradação 4**

Na sequência genética 4, através da modelagem tridimensional, foi possível observar que, ao contrário das anteriores, nesta sequência não se desenvolvem associações de fácies relacionadas com os sistemas deposicionais alúvio-fluvial e/ou de estuário dominado por maré, ocorrendo apenas o sistema deposicional de plataforma dominada por onda (Figura 59). Na camada A é possível observar a interação de depósitos de *shorefaces* superior e inferior na porção NW, já na camada B e C se verificam as associações de fácies de *foreshore* na região E, e de *shoreface* médio e *offshore* na porção NE. Nestas mesmas camadas, o *shoreface* superior predomina no N e no W, já o *shoreface* inferior se verifica mais disperso na área de estudo. Nas camadas D e E o *shoreface* inferior predomina, ocorrendo, assim como o superior, em todas as porções da área de estudo. O *foreshore* possui uma pequena concentração a E, e o *offshore*, embora permaneça na região NE, diminui bastante a sua área de abrangência quando comparado com as camadas B e C

Neste padrão de empilhamento, a modelagem pode ser considerada regular, dado que não há uma distribuição condizente com o modelo deposicional, principalmente em relação às associações de fácies de *shorefaces* e *foreshore*, além de que não foi constatado registros da etapa de progradação. Entretanto alguns aspectos positivos também podem ser observados, como a ocorrência de *offshore* na porção distal, e um pequeno ganho de espaço do *shoreface* inferior no topo do pacote, marcando, mesmo que de maneira sutil, o registro deste intervalo.

Figura 59: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional das associações de fácies da Sequência Genética 4 – Pro-retrogradação 4, com a visualização do modelo compartimentado em 5 camadas isoladas (A, B, C, D e E) e completo (camadas A a E), que representam fatiamentos internos ao modelo.



- **Sequência Genética 5 - Pro-retrogradação 5**

No intervalo correspondente à sequência genética 5, a modelagem tridimensional indicou que ocorrem apenas as associações de fácies de sistemas deposicionais de plataforma dominada por onda (Figura 60). No início deste intervalo, correspondente as camadas A, B e C, é possível observar concentrações das associações de fácies de *shoreface* superior na porção SW e de *shorefaces* médio e inferior na porção NE. Já nas camadas D e E, ocorre um registro mais espalhado de *shoreface* superior, ocupando áreas tanto na porção SW, quanto NE, bem como um sucinto afogamento marcado pelo avanço do *shoreface* médio sobre o superior na região SW, e pelo ganho de espaço do *shoreface* inferior na porção W.

O resultado da modelagem foi pouco satisfatório, provavelmente relacionada pelo baixo volume de dados de descrição de testemunho deste intervalo (apenas os poços SG-03 e SG-08). Desta maneira, ocorre pouca variação lateral das associações de fácies.

- **Sequência Genética 6 - Pro-retrogradação 6**

Assim como nas sequências 4 e 5, a sequência genética 6, ocorrem somente as associações de fácies de sistemas deposicionais de plataforma dominada por onda (Figura 61). Neste intervalo, conforme visto nas camadas B, C, D e E, os depósitos mudam pouco de posição ao longo da sequência. A associação de fácies de *shoreface* superior predomina na área, já os depósitos de *shoreface* inferior se concentram na região centro e SE. Ademais, minoritariamente, os depósitos de *foreshore* ocorrem na porção E, e mais pontualmente SW.

Seguindo a avaliação da modelagem da sequência genética 5, o baixo volume de dados da sequência genética 6 prejudicou o resultado da modelagem, sendo esta pouco satisfatória.

Figura 60: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional das associações de fácies da Sequência Genética 5 – Pro-retrogradação 5, com a visualização do modelo compartmentado em 5 camadas isoladas (A, B, C, D e E) e completo (camadas A a E), que representam fatiamentos internos ao modelo.

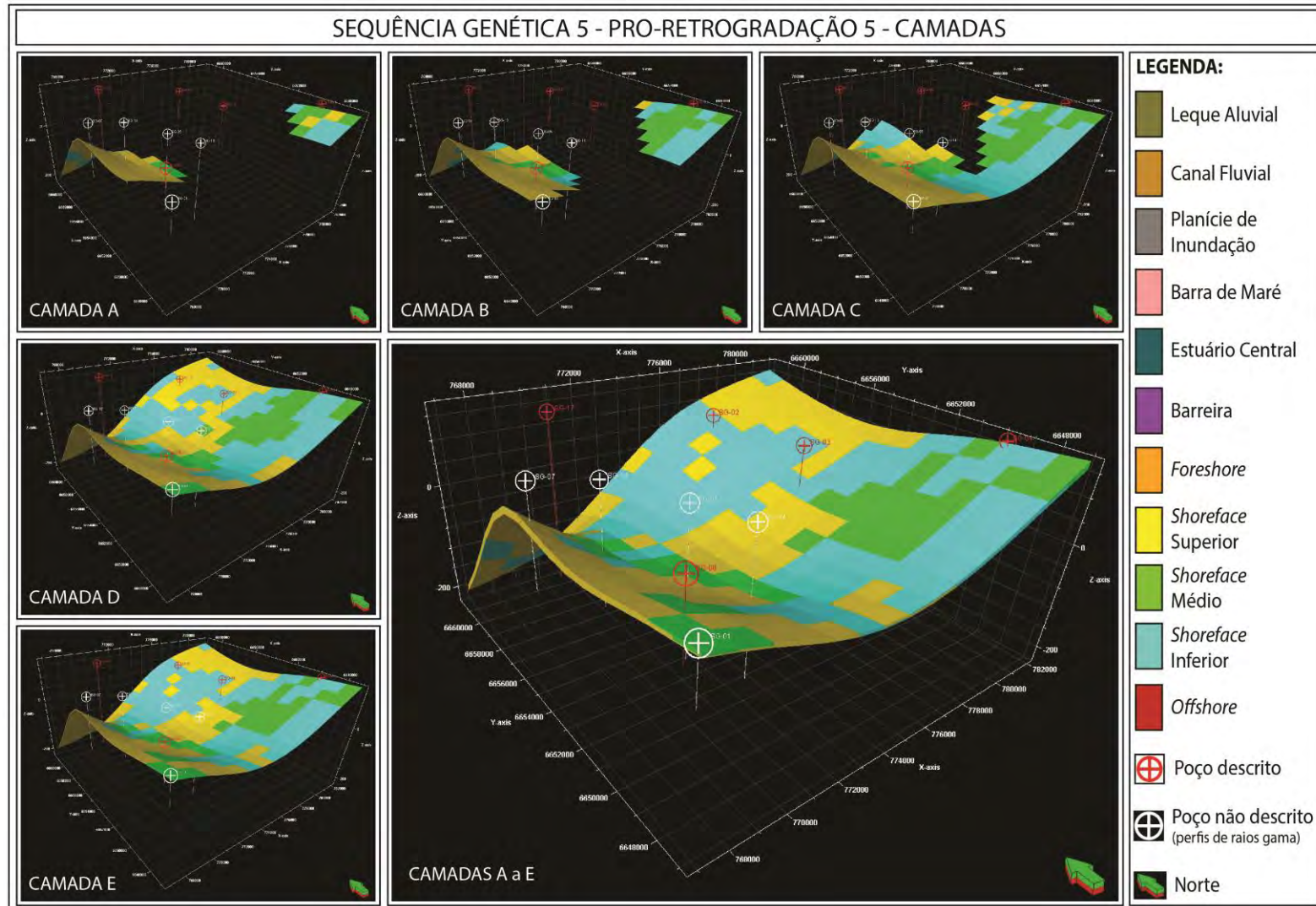
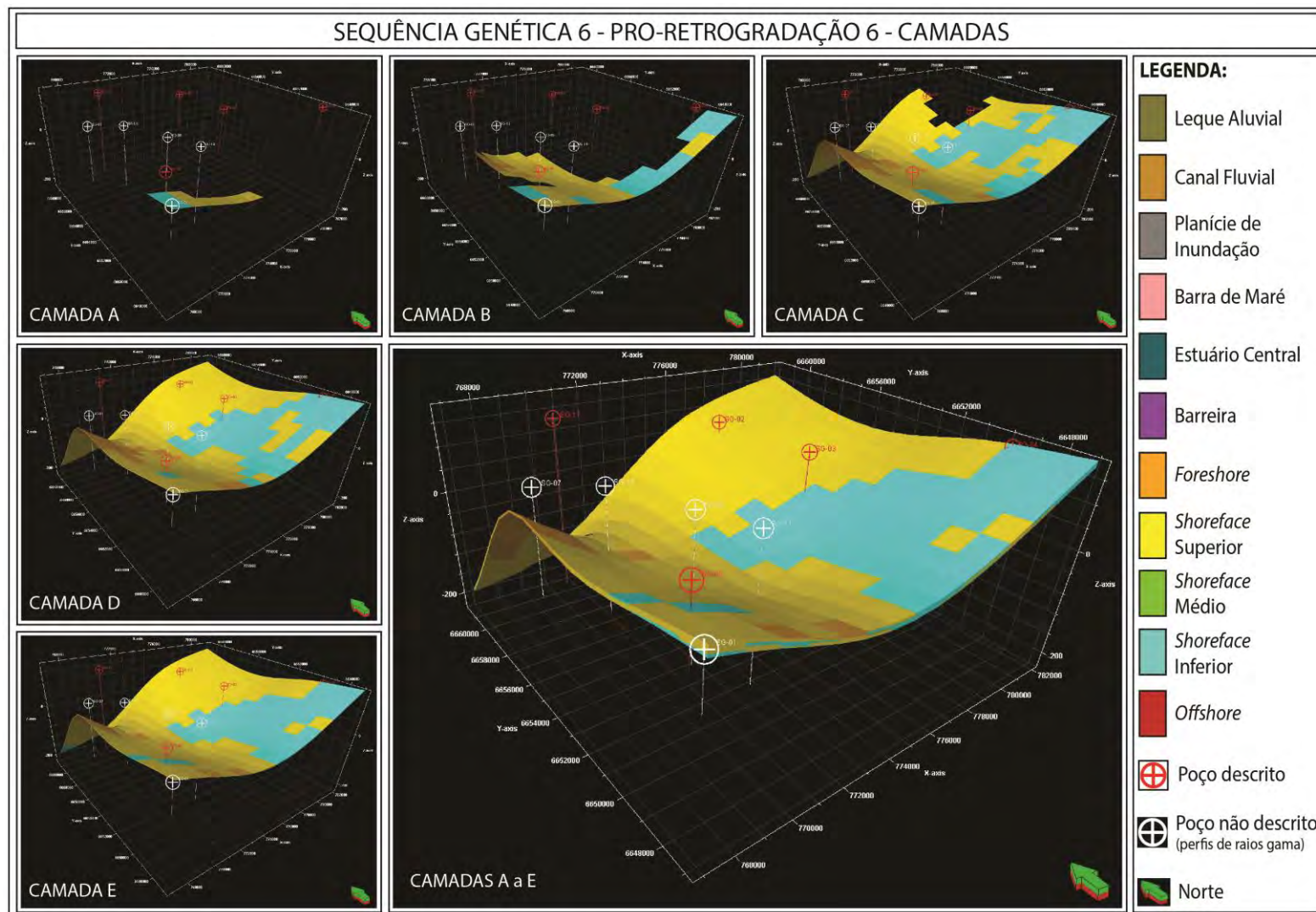


Figura 61: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional das associações de fácies da Sequência Genética 6 – Pro-retrogradação 6, com a visualização do modelo compartimentado em 5 camadas isoladas (A, B, C, D e E) e completo (camadas A a E), que representam fatiamentos internos ao modelo.



Um dos aspectos mais evidentes do modelo 3D gerado é a variação de profundidade acentuada que o pacote de rocha sofre na porção SW da área de estudo, pois assim como pode ser visto nas superfícies limítrofes modeladas (Figura 62), enquanto na maior parte da área de estudo, as profundidades variam de maneira relativamente gradual, nesta região foi interpretada a ocorrência de uma falha (Figura 63 e Figura 64), pois ocorre uma variação abrupta de profundidade. Conforme o banco de dados dos poços da região de São Gabriel-RS (Figura 16), o testemunho SG-17, que está situado, dentre os estudados, mais a NW, por exemplo, corresponde ao intervalo de profundidade de 243,2 a 336,6 m. Esses valores são muito distoantes quando comparados com os poços adjacentes como o SG-02 (0,0 a 134,1 m), SG-07 (0,0 a 178,75 m) e SG-13 (0,0 a 223,79 m). Desta maneira, essa falha foi inferida com direção SW-NE, pois além de coincidir com o posicionamento dos poços citados, também segue a mesma direção do sentido *dip* do modelo deposicional proposto (Figura 33), em que o sistema de estuário dominado por maré pode ter se formado ao longo de uma falha com essa mesma direção. Além disso, segundo Zalán et al (1990), SW-NE é, caracteristicamente, uma das direções preferenciais dos lineamentos da Bacia do Paraná (Figura 7), o que contribui para fortificar essa interpretação. Entretanto, com a visualização do mapa de isópacas do intervalo completo estudado é possível observar que, na região NW da área de estudo, não há uma variação significativa de espessura dos pacotes que pudesse indicar uma movimentação da falha simultânea à sedimentação das unidades. Portanto, essa falha provavelmente deve estar relacionada com uma movimentação de blocos posterior à deposição do intervalo de estudo.

Figura 62: Janela de visualização 3D do *software* Petrel com as 8 superfícies limítrofes modeladas.

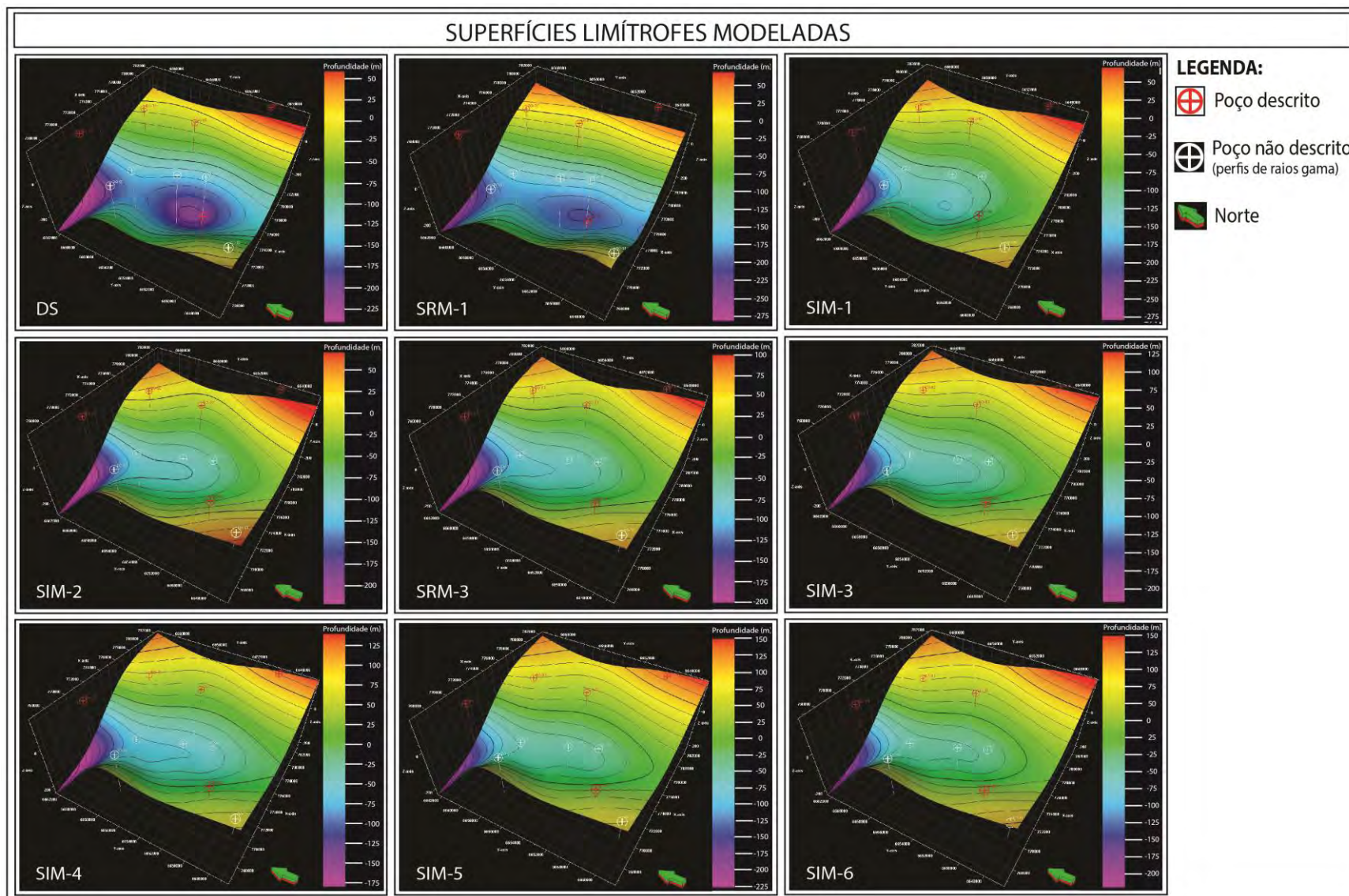


Figura 63: Grade da área de estudo com a indicação do traço da falha inferida na direção SW-NE.

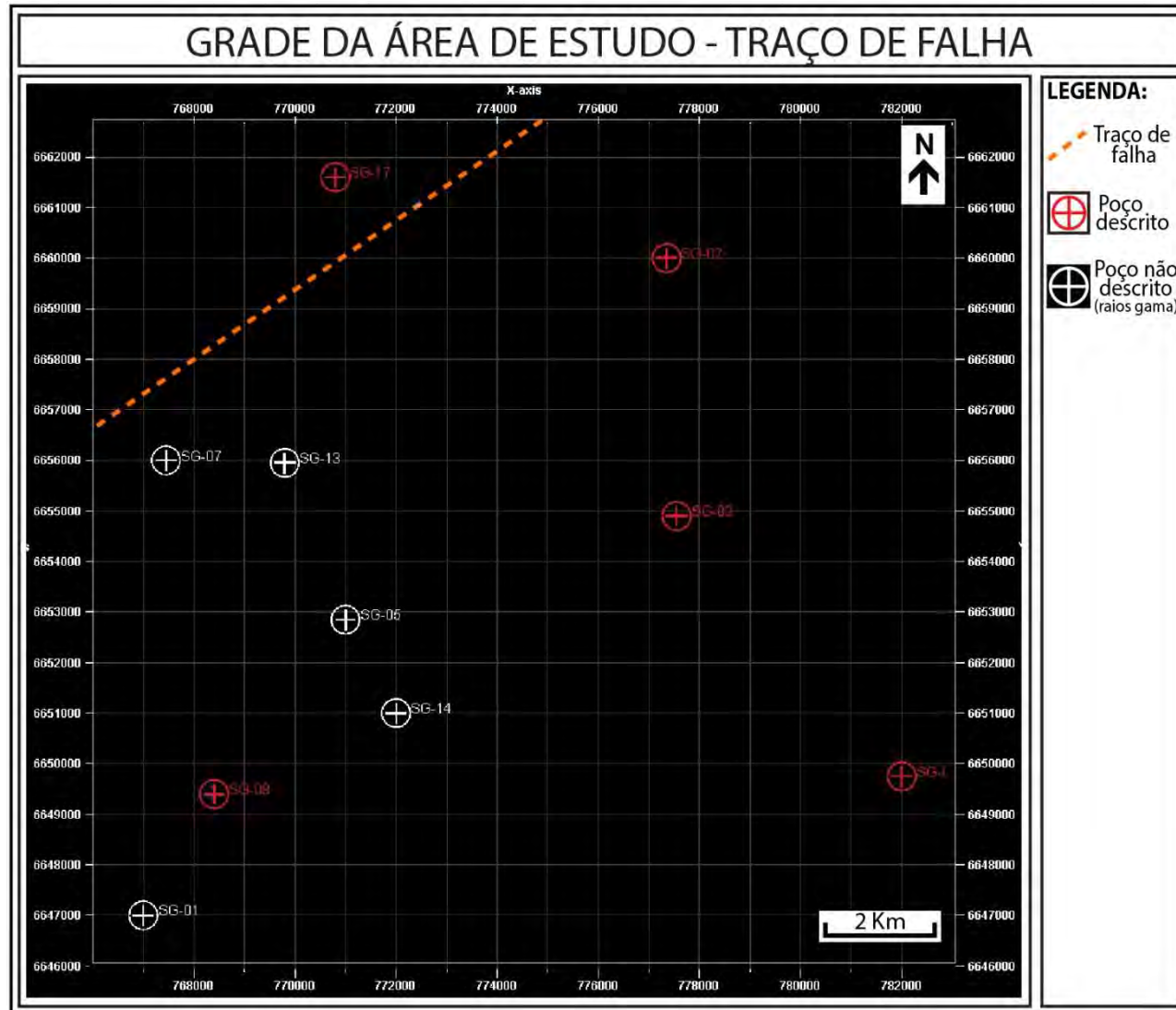
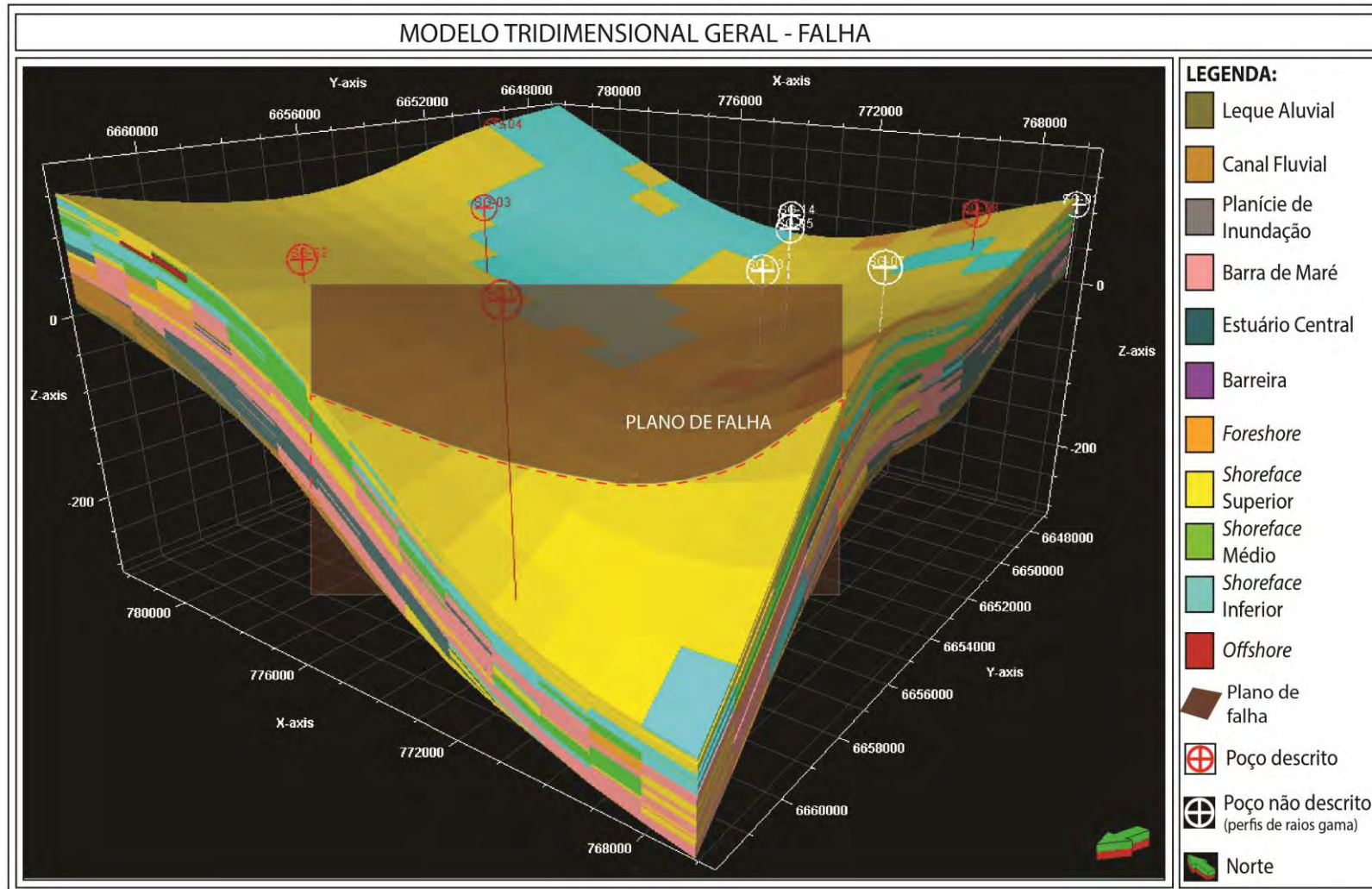


Figura 64: Janela de visualização 3D do *software* Petrel (exagero vertical de 20x). Modelo tridimensional geral de associações de fácies, com a indicação do plano de falha inferido de direção SW-NE.



4.4. Análise de Reservatórios

Em ordem de importância, foram considerados os 4 melhores reservatórios:

- Barra de maré
- *Shoreface* superior
- *Foreshore*
- Barreira

- **Barra de Maré**

A associação de fácies barra de maré foi classificada como o principal reservatório deste trabalho. As fácies mais abundantes que compõem essa associação são arenito com estratificação cruzada com drapes de lama (Sx(d)) e arenito com estratificação cruzada (Sx), sendo que essas fácies possuem boa porosidade e relativa permeabilidade (Figura 65). Essas fácies possuem granulometria que variam de arenito fino a muito grosso, característica de reservatórios. Entretanto, as estruturas tais como a estratificação cruzada e, principalmente, os drapes de lama dificultam a transmissão de fluídos dentro dos corpos, diminuindo a capacidade de transmissão dos fluídos. Estruturas como a estratificação cruzada indicam a orientação de grãos em algumas porções da camada, o que tende a diminuir a porosidade e tornar a permeabilidade anisotrópica. Os drapes de lama também atuam como barreiras internas que dificultam o movimento de fluídos. Contudo, os drapes de lama não são estruturas puramente contínuas, e desta forma, embora diminuam a capacidade, não impedem a percolação de hidrocarbonetos no meio poroso.

Com a modelagem tridimensional, foi possível observar que as barras de maré estão representadas por 8155 células, equivalente a 22,1% do total, sendo esse grande montante o ponto positivo deste reservatório (Figura 66). Os corpos se dispõem como um lençol drapeado de espessura que varia de 30 a 160 m e que cobre toda a área de estudo (252 km²), formado por diversas lentes achatadas e alongadas (6 x 2 km) de direção SW-NE e a conectividade dos corpos é bastante complexa. É possível observar que o reservatório é estruturado por uma trama de conexões, e embora não haja uma continuidade evidente, ocorrem contatos pontuais e paralelos entre os corpos, de modo que muito poucos pacotes estejam completamente isolados.

O reservatório barra de maré está relacionado com os intervalos desde a retrogradação 1, até a retrogradação 3. Na retrogradação 1 as maiores concentrações e espessuras ocorrem na porção central e S, que estão conectadas, e na região norte. Na pro-retrogradação 2 e na progradação 3 os corpos se dispõem bem conectados, sendo que aquele possui as maiores espessuras na porção SW, e este na NE. Na retrogradação 3 os depósitos são pontuais e desconectados.

Figura 65: Foto do testemunho SG-02 na profundidade de 78,75 a 61,3 m com a delimitação do reservatório de barra de maré entre 130,4 e 127,4 m.

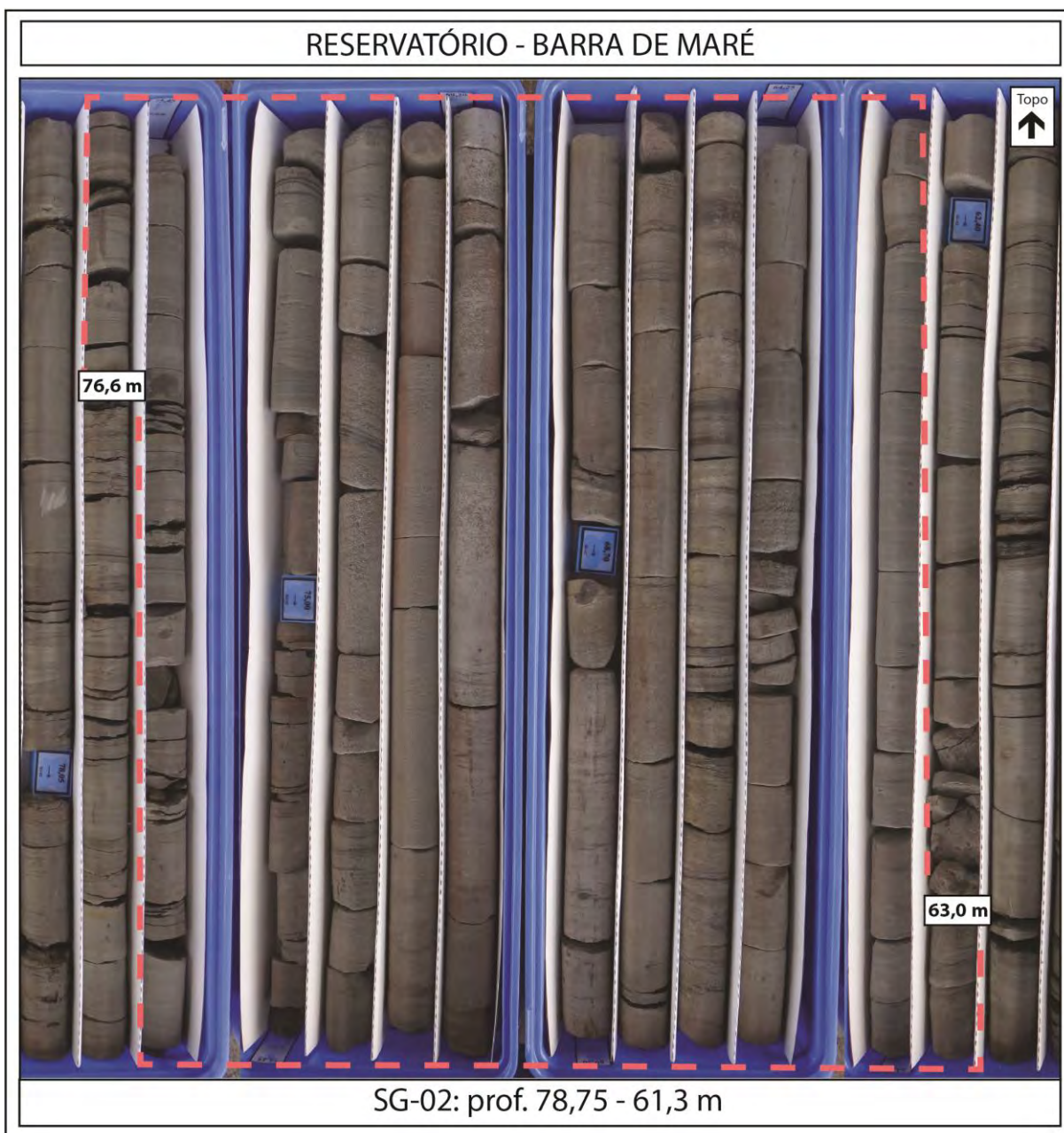
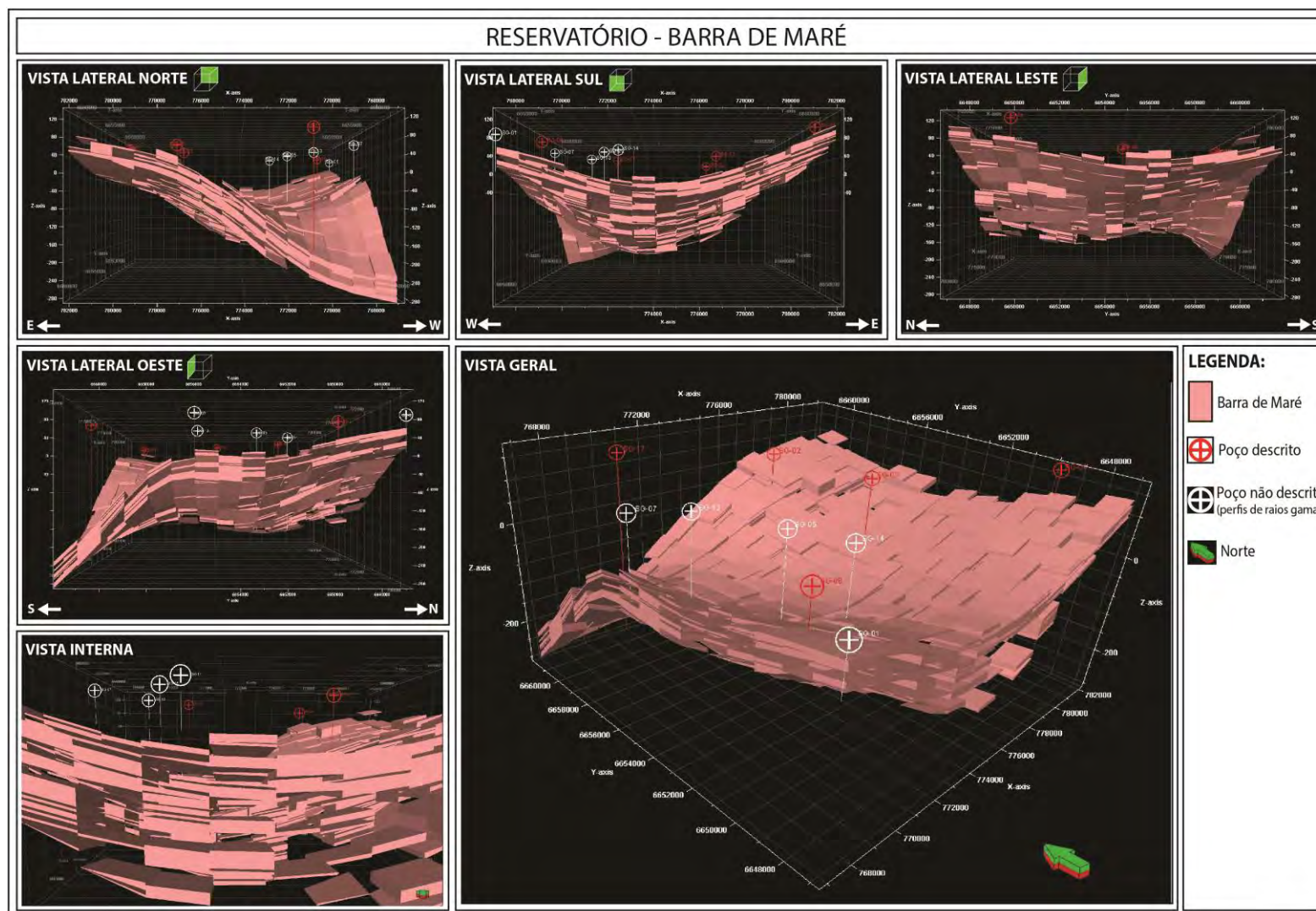


Figura 66: Janela de visualização 3D do *software* Petrel mostrando a modelagem tridimensional dos depósitos de barra de maré, apontados como corpos reservatórios. Além da vista geral, é possível observar a disposição, geometria e conexões dos corpos nas vistas laterais (norte, sul, leste e oeste) e interna



- ***Shoreface Superior***

A associação de fácies *shoreface* superior foi indicada como um dos reservatórios principalmente pelas características das fácies que predominam nesta associação, a de arenitos com estratificação cruzada *swaley* (Ssw) e a de arenito com *wavy ripples* (Sw). Essas fácies possuem boa porosidade e permeabilidade oriundas da textura fina a média e a boa seleção dos grãos. Por outro lado, as estruturas dessas fácies, a estratificação cruzada *swaley* e as laminações do tipo *wavy ripples*, oferecem certa resistência ao fluxo de fluidos (permeabilidade anisotrópica), quando comparados a um arenito maciço (permeabilidade isotrópica), porém essa resistência é considerada pequena (Figura 67).

A partir da modelagem tridimensional, foi possível calcular que os corpos de *shoreface* superior são representados por aproximadamente 6679 células (18,1% do total). Os corpos se dispõem como um lençol drapeado de espessura que pode variar de 25 a 100 m e que cobre praticamente toda a área de estudo (252 km²). Esse grande depósito é formado por corpos de geometria, embora nem sempre definida, em maioria planar irregular ou lenticular alongada, que chegam a 11 x 4 km, de direção geral SW-NE. A conectividade dos corpos que compõem esse reservatório varia de acordo com o padrão de empilhamento em que os corpos estão inseridos (Figura 68).

O reservatório *shoreface* superior está, a exceção da progradação 1, relacionado com todos os intervalos identificados no arcabouço estratigráfico. Essa compartimentação se mostrou muito importante, pois a conectividade dos corpos que compõem esse reservatório varia de acordo com o padrão de empilhamento em que está o corpo está inserido. Na retrogradação 1 e na pro-retrogradação 2 os corpos se apresentam como duas lentes desconectadas que ocorrem nas porções NW e SW. Na progradação 3 o reservatório se configura em três lentes conectadas por corpos planares menores e que abrangem a maior parte da área de estudo. Na retrogradação 3 os depósitos se posicionam na região central e NE, como lentes sem conexões. Nas pro-retrogradações 4 e 5 a associação de fácies de *shoreface* superior é constituída de pacotes planares distribuídos na maior parte da área de estudo e frequentemente concentrados. Já na pro-retrogradação 5 o reservatório ocorre como um grande lençol em praticamente todas as regiões do polígono de estudo.

Figura 67: Foto do testemunho SG-04 na profundidade de 77,75 a 73,2 m com a delimitação do reservatório de *shoreface* superior entre 130,4 e 127,4 m.

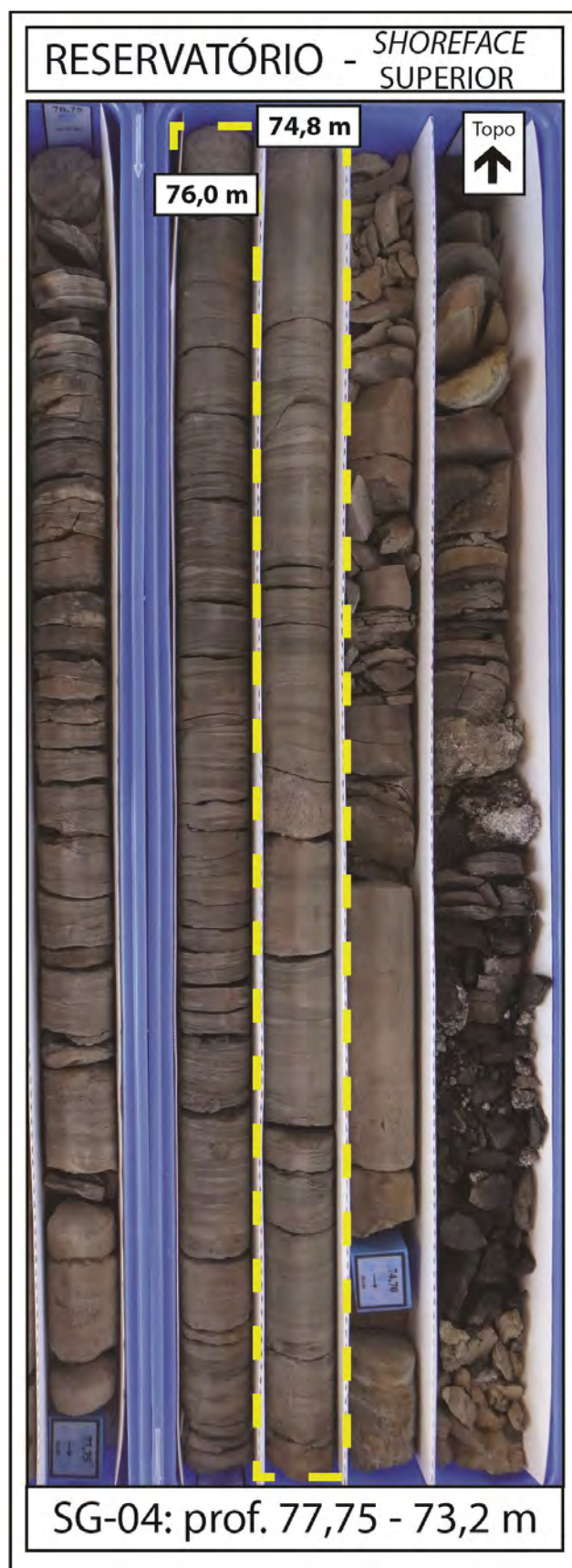
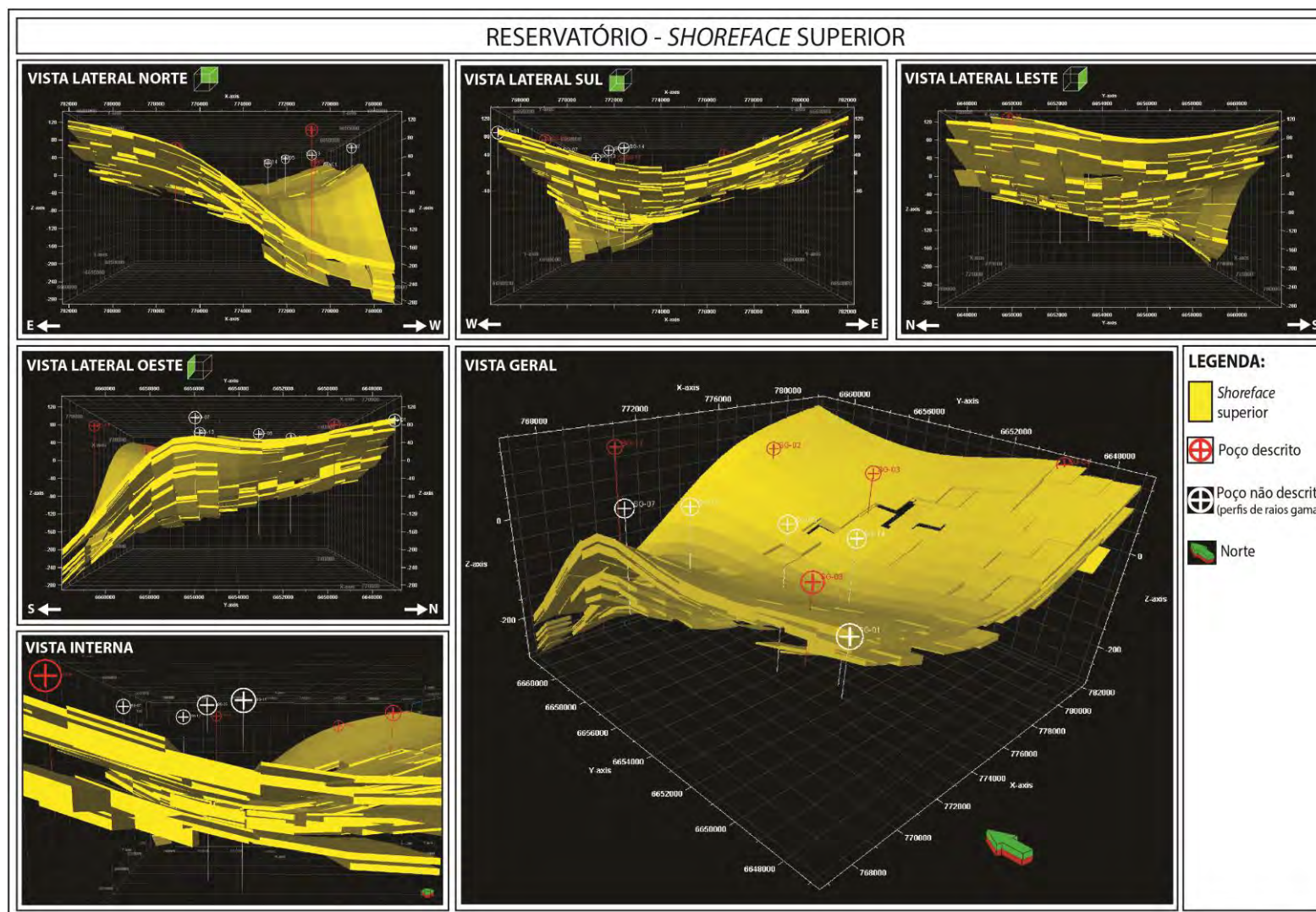


Figura 68: Janela de visualização 3D do *software* Petrel mostrando a modelagem tridimensional dos depósitos de *shoreface* superior, apontados como corpos reservatórios. Além da vista geral, é possível observar a disposição, geometria e conexões dos corpos nas vistas laterais (norte, sul, leste e oeste) e interna.



- ***Foreshore***

A associação de fácies *foreshore* foi julgada como um dos reservatórios porque as suas fácies componentes, arenito com estratificação plano-paralela (Sh) e arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo (Sl), são litologias com boa porosidade e permeabilidade (Figura 69). Essas características estão diretamente relacionadas com a granulometria de arenitos finos a médios bem selecionados. Porém, cabe ressaltar que, assim como comentado para os reservatórios anteriores, as estruturas das fácies, tais como as estratificações plano-paralela e cruzada de baixo ângulo, embora não impessam a transmissão de fluidos, podem causar variações de porosidade dentro dos pacotes, tornando a permeabilidade menos regular (anisotrópica) e eficiente.

A partir da modelagem tridimensional, foi obtido o volume de 1181 células (3,2% do total) que correspondente a associação de fácies de *foreshore*. Os corpos se dispõem como um lençol drapeado descontínuo, ausente na porção central, de espessura que varia de 5 a 70 m e que cobre aproximadamente 166 km², (cerca de 66% da área total). Os corpos menores possuem alinhamento na direção NW-SE, e possuem geometria em maioria planar irregular ou lenticular de alongada, e são em maioria desconectados (Figura 70).

O reservatório foreshore ocorre na pro-retrogradação 2 representado por quatro corpos irregulares nas porções NW, NE, SW e SE. Já na pro-retrogradação 4 os depósitos se mostraram mais espalhados na porção central e NW, e alguns pequenos corpos na região SW.

Figura 69: Foto do testemunho SG-08 na profundidade de 80,8 a 76,92 m com a delimitação do reservatório de *foreshore* entre 81,0 e 78,8 m.

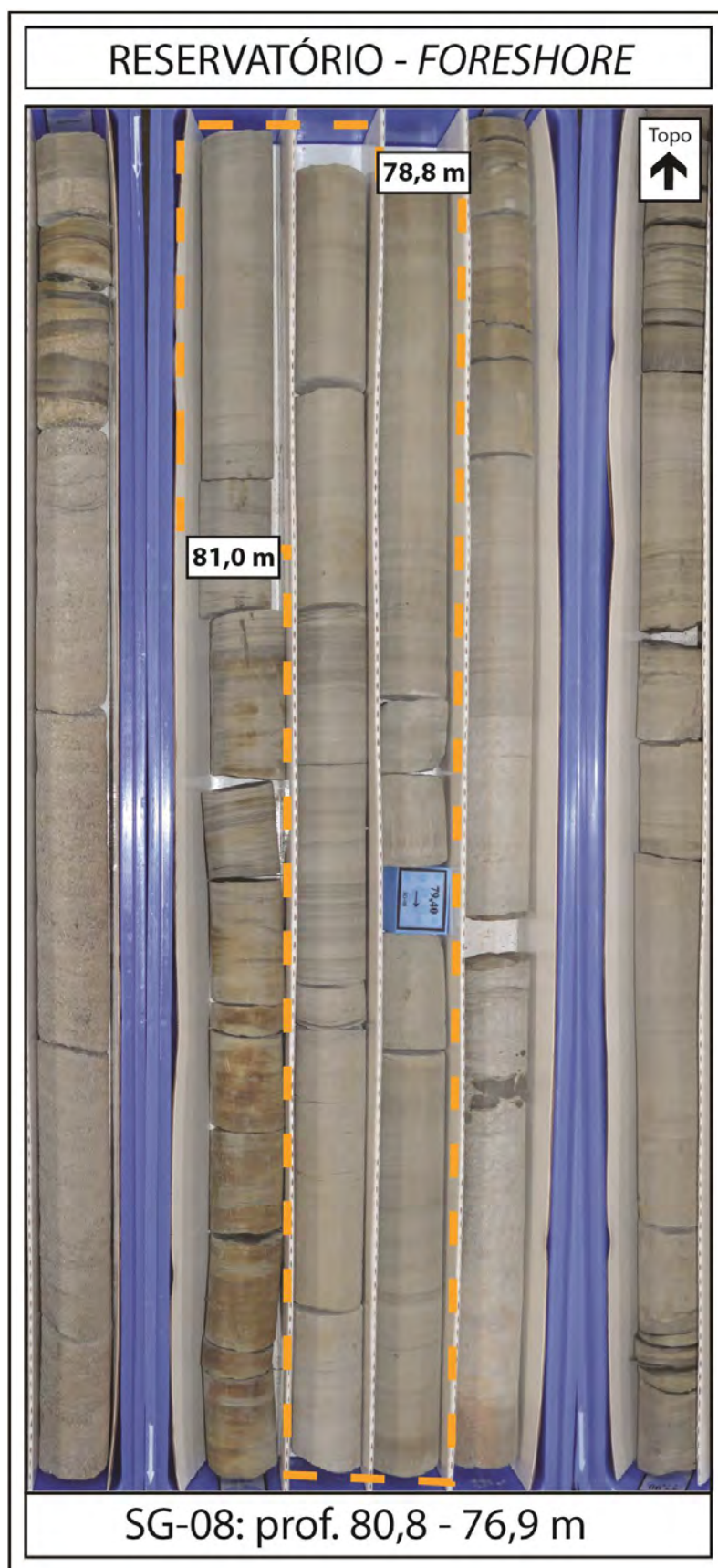
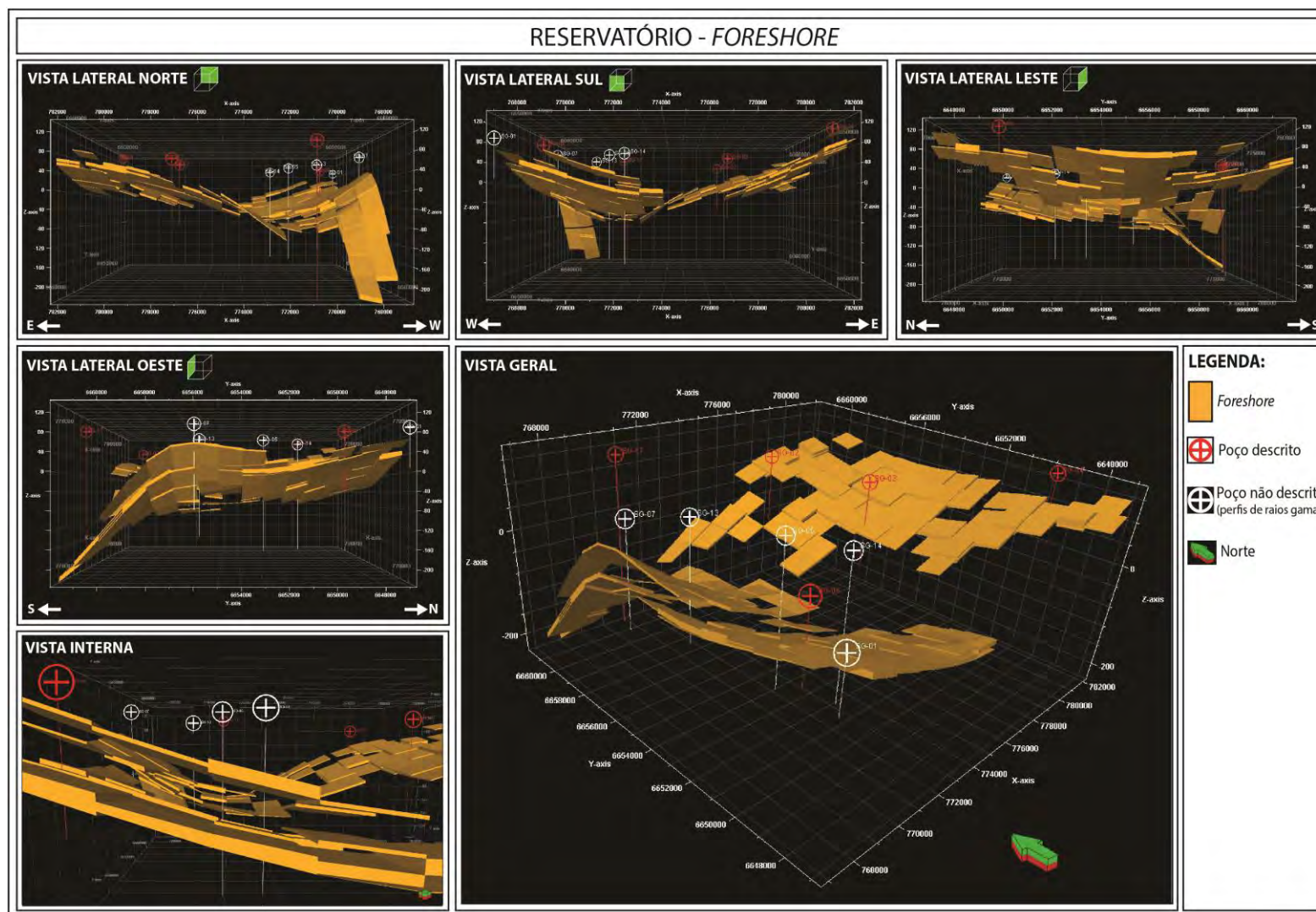


Figura 70: Janela de visualização 3D do *software* Petrel mostrando a modelagem tridimensional dos depósitos de *foreshore*, apontados como corpos reservatórios. Além da vista geral, é possível observar a disposição, geometria e conexões dos corpos nas vistas laterias (norte, sul, leste e oeste) e interna.



- **Barreira**

A associação de fácies barreira foi considerada como um dos reservatórios devido a alta porosidade e permeabilidade provenientes da fácies arenito maciço (Sm) que origina essa associação. Além da estrutura que caracteriza uma permeabilidade isotrópica, a textura fina a grossa e a boa seleção dos grãos contribuem para uma maior capacidade de armazenamento e transmissão de fluídos (Figura 71).

A modelagem tridimensional indicou que o reservatório barreira possui 258 células, o que representa cerca de 0,7% do valor total. Esse reservatório se dispõe como lentes achatadas e alongadas, uma principal (12 x 4 km) e uma secundária (4 x 1,5 km), sendo ambas de direção NW-SE. Esses corpos são desconectados e estão localizados na porção central e E da área de estudo, cobrindo aproximadamente 50,4 km², (cerca de 20% da área total). A espessura máxima é de aproximadamente 10 m (Figura 72). Esse reservatório ocorre apenas no intervalo correspondente a progradação 3.

Figura 71: Foto do testemunho SG-03 na profundidade de 145,35 a 140,7 m com a delimitação do reservatório de barreira entre 143,4 e 142,9 m.

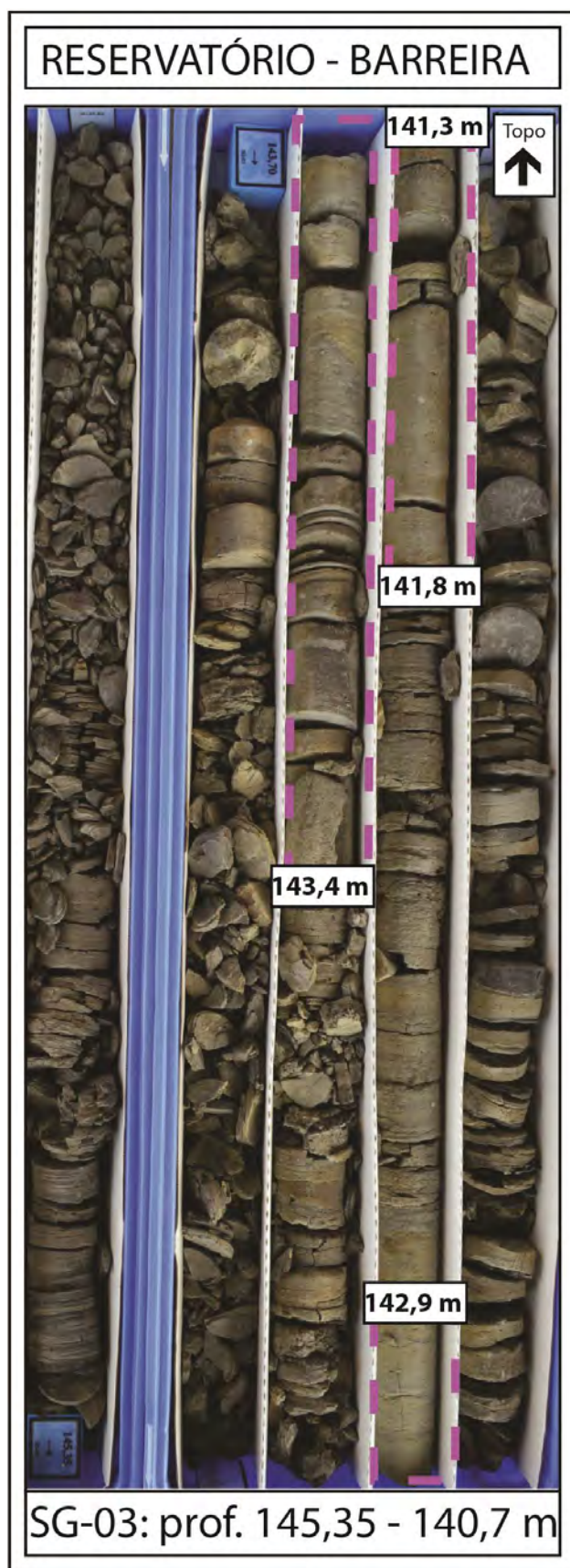
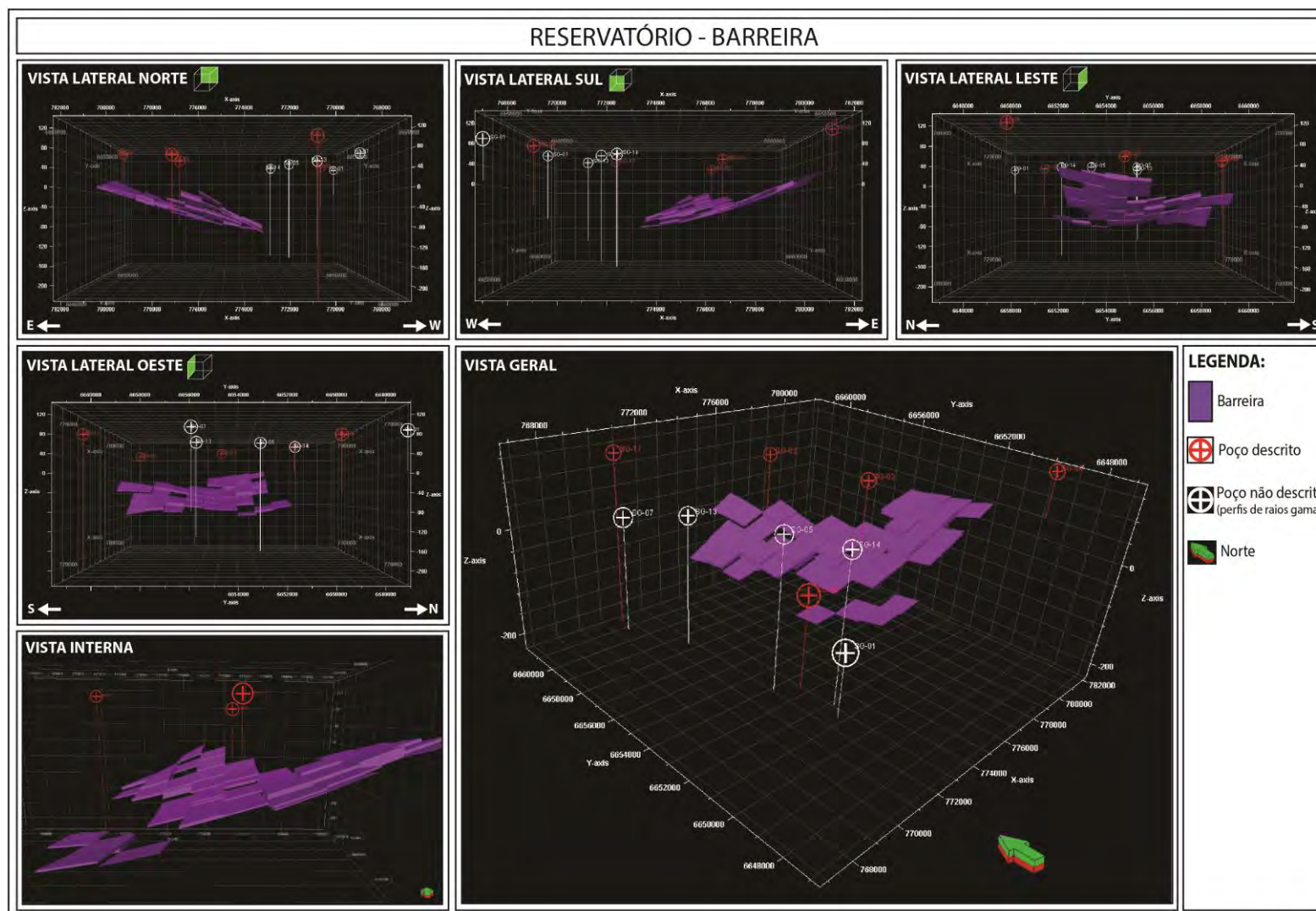


Figura 72: Janela de visualização 3D do *software* Petrel mostrando a modelagem tridimensional dos depósitos de barreira, apontados como corpos reservatórios. Além da vista geral, é possível observar a disposição, geometria e conexões dos corpos nas vistas laterais (norte, sul, leste e oeste) e interna.



5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A Formação Rio Bonito é caracteristicamente conhecida como uma unidade de ambiente costeiro associada à Supersequência Gondwana I da Bacia do Paraná. Na porção NE da região de São Gabriel-RS, foi estudada a partir da análise de 10 poços disponibilizados pela CPRM. Com a descrição de 5 testemunhos (SG-02, SG-03, SG-04, SG-05, SG-08 e SG-17), em escala 1:50, foram identificadas 24 fácies que foram agrupadas em 9 associações de fácies, e essas, em três sistemas deposicionais. Com isso foi elaborado um modelo deposicional, e neste é possível observar que para a área de estudo, o sentido *dip* de deposição é NE. Neste modelo é estabelecido que a porção proximal é composta predominantemente pelo sistema deposicional alúvio-fluvial, a porção central pelo estuário dominado por maré e na porção distal pela plataforma dominada por onda. O sistema estuarino segue a direção NE-SW, coincidindo com uma das principais direções de lineamentos da Bacia do Paraná, sendo, portanto, interpretado que esse sistema se posicionou encaixado ao longo de estruturas tectônicas.

A partir da correlação dos cinco poços descritos e outros cinco apenas com os dados de raios gama (SG-01, SG-07, SG-13 e SG-14), o intervalo de estudo foi analisado com o método da estratigrafia de sequências, delimitando as superfícies limítrofes e os padrões de empilhamento. O pacote foi compartimentado em 6 sequências genéticas. A sequência genética 1 é representada pelo afogamento do sistema alúvio-fluvial pelo sistema de estuário dominado por maré. A sequência genética 2 inicia com uma interação do sistema de estuário dominado por maré e posteriormente pela dominância deste. A sequência genética 3 é definida na base, principalmente, pelo grande pacote de barras de maré amalgamadas, que posteriormente é afogado por depósitos marinhos, inclusive distais. Nas sequências genéticas 4, 5 e 6 os depósitos de plataforma dominada por onda ocupam toda a área de estudo, e os subsistemas interagem entre si culminando em inundações marcadas pelas superfícies de máxima inundação (SIM). Com isso, foi possível confirmar, conforme esperado, a ocorrência de unidades cronocorrelatas de menor ordem, dentro de uma grande tendência retrogradacional com ápice representado pela SIM-6 no topo da sequência genética 1.

Os mapas de isópacas indicaram que os padrões de empilhamento possuem espessuras bastante diversificadas influenciadas pelas oscilações do NRM. Com isso, esses mapas se mostraram bastante úteis para o controle de espessuras de cada um dos intervalos obtidos no

arcabouço estratigráfico.

A modelagem tridimensional foi realizada a partir dos dados dos arcabouços faciológico e estratigráfico, sendo conduzida em escala de associações de fácies, contudo os compartimentos foram limitados pelas superfícies limítrofes de modo que apenas as associações de fácies de um mesmo padrão de empilhamento fossem interpolados. Além disso, o modelo deposicional foi utilizado a fim de ajustar os raios de busca para cada associações de fácies, adaptada a modelagem com o modelo geológico proposto. A modelagem tridimensional mostrou muitos resultados positivos. O modelo 3D conseguiu materializar a evolução da área, pois assim como especificado no arcabouço estratigráfico, foi possível visualizar os eventos de regressão e transgressão. Neste sentido, os melhores resultados desta etapa foram os intervalos correspondentes a progradação 1, retrogradação 1 e retrogradação pois foi possível observar claramente as mudanças laterais da linha de costa. Adicionalmente, a partir do modelo 3D, e com a ajuda dos mapas de isópacas, foi possível inferir uma falha de direção NE-SW na porção NW da área de estudo, indicando que mesmo sem o estabelecimento do arcabouço estrutural, a modelagem com controle estratigráfico pode indicar estruturas pós-deposicionais importantes para o entendimento da unidade.

Com a análise de reservatórios, baseada na integração dos dados faciológicos, estratigráficos e de modelagem, foi possível identificar quatro reservatórios. Para cada um deles foram indicadas as principais características, discutindo quais contribuem e quais atrapalham quanto a qualidade de reservatório. O reservatório barra de maré foi considerado o principal reservatório, sendo o ponto positivo o grande volume de células e os negativos o sistema de conexões complexas e as estruturas internas que diminuem a permeabilidade. O reservatório *shoreface* superior também possui grande volume, porém os corpos nem sempre estão conectados. O reservatório de *foreshore* possui volume bastante reduzido de células em relação aos anteriores, e os corpos são desconectados. Já o reservatório barreira é o de menor volume de células, porém com os corpos conectados.

Diante da proposta deste estudo, o trabalho contribuiu para o conhecimento da Formação Rio Bonito e para o desenvolvimento de uma metodologia aplicável nos estudos de reservatórios de hidrocarbonetos. A fim de melhorar o grau de certeza, as próximas etapas sugeridas para este estudo consistem na descrição dos testemunhos dos cinco poços (SG-01, SG-05, SG-07, SG-13 e SG-14), que neste trabalho foram usados apenas para correlação estratigráfica, e mapear as principais falhas da área de estudo para estabelecer o arcabouço estrutural. Por fim, com os arcabouços faciológico, estratigráfico e estrutural, é possível conseguir um modelo 3D ainda mais confiável.

6. REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R. S. **Arquitetura Estratigráfica, Geometria e Modelagem Tridimensional dos Depósitos Fluviais da Formação São Mateus, Albiano da Bacia do Espírito Santo – Brasil**. 2007. 132 f. Monografia (Graduação) - Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ANP Agência Nacional do Petróleo: banco de dados de mapas das bacias sedimentares brasileiras mantido pela ANP. Disponível em: < <http://webmaps.anp.gov.br>>. Acesso em 30 abr. 2017.

BARWIS, J. H. Flood-tidal Delta Reservoirs, Medora-dickinson Trend, North Dakota. In: **Sandstone Petroleum Reservoirs**. Springer New York, p. 389-412, 1990.

BOSE, P. K.; SARKAR, S.; MUKHOPADHYAYA, S.; SAHA, B.; ERIKSSON, P. Precambrian basin-margin fan deposits: Mesoproterozoic Bagalkot Group, India. **Precambrian Research**, v. 162, p. 264-283, 2008.

CAGLIARI, J.; LAVINA, E. L. C.; PHILIPP, R. P.; TOGNOLI, F. M. W.; BASEI, M. A. S.; FACCINI, U. F. New Sakmarian ages for the Rio Bonito formation (Paraná Basin, southern Brazil) based on LA-ICP-MS U–Pb radiometric dating of zircons crystals. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 56, p. 265-277, 2014.

CARLUCCI, R. B. **Análise estratigráfica do intervalo eo-permiano da Bacia do Paraná na região de Cachoeira do Sul, RS, Brasil**. 1998. 171 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

CASAGRANDE, J.; KÜCHLE, J.; HOLZ, M. Análise Tectono-Estratigráfica da Sucessão Eo-Permiana da Bacia do Paraná Aplicada ao Mapeamento de Potenciais Corpos Reservatórios. In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, 4., 2007. Campinas, **Anais...** Campinas: Associação Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, 2007. p.1. Disponível em: <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_ABS_1_1_0100-4.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2017).

CATUNEANU, O. **Principles of sequence stratigraphy**. Amsterdam: Elsevier, 2006. p. 375.

_____; ABREU, V.; BHATTACHARY, J. P.; BLUM, M. D.; DALRYMPLE, R. W.; ERIKSSON, P. G.; GILES, K. A.; HOLBROOK, J. M.; JORDAN, R.; KENDALL, C. G. St.

C.; MACURDA, B.; MARTINSEN, O. J.; MIAL, A. D.; NEAL, J. E.; NUMMEDAL, D.; POMAR, L.; POSAMENTIER, H. W.; PRATT, B. R., SARG, J. F.; SHANLEY, K. W.; STELL, R. J.; STRASSER, A; TUCKER, M. E.; WINKER, C. Towards the standardization of sequence stratigraphy. **Earth-Science Reviews**, Amsterdam, v. 92, n. 1, p. 1-33, 2009.

_____; BHATTACHARY, J. P.; BLUM, M. D.; DALRYMPLE, R. W; ERIKSSON, P. G.; FIELDING, C. R.; FISHER, W. L.; GALLOWAY, W. E.; GIANOLLA, P.; GIBLING, M. R.; GILES, K. A.; HOLBROOK, J. M.; JORDAN, R.; KENDALL, C. G. St. C.; MACURDA, B.; MARTINSEN, O. J.; MIAL, A. D.; NEAL, J. E.; NUMMEDAL, D.; POMAR, L.; POSAMENTIER, H. W.; PRATT, B. R., SARG, J. F.; SHANLEY, K. W.; STELL, R. J.; STRASSER, A; TUCKER, M. E. Sequence stratigraphy: common ground after three decades of development. **First Break**, v. 28, n. 1, p. 41-54, 2010.

_____; GALLOWAY, W. E.; KENDALL, C. G. S. C.; MIAL, A. D.; POSAMENTIER, H. W.; STRASSER, A; TUCKER, M. E. Sequence stratigraphy: methodology and nomenclature. **Newsletters on stratigraphy**, v. 44, n. 3, p. 173-245, 2011.

CLARK, J. E.; REINSON, G. E. Continuity and Performance of an Estuarine Reservoir, Crystal Field, Alberta, Canada. In: BARWIS, J. H., MCPHERSON, J. G., STUDLICK, J. R. J. (Ed.). **Sandstone Petroleum Reservoirs**. New York: Springer-Verlag New York, 2012. p. 343-361.

COLLINSON, J. D.; THOMPSON, D. B. **Sedimentary Structures**. London: Unwin Hyman, 1989. 207 p.

DAEMON, R. F.; QUADROS, L. P. Bioestratigrafia do Neopaleozóico da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 24., 1970, Brasília. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1970. p. 359-412.

DALRYMPLE, R. W. Interpreting Sedimentary Successions: Facies, facies Analysis and Facies Models, Canada. In: DALRYMPLE, R. W.; JAMES, N. P. (Ed.). **Facies Models 4**. Geological Association of Canada, 2010a. p. 3-18.

_____. Tidal Depositional Systems, Canada. In: DALRYMPLE, R. W.; JAMES, N. P. (Ed.). **Facies Models 4**. Geological Association of Canada, 2010b. p. 201-233.

EMBRY, A. F.; JOHANNESSEN, E. P. T–R sequence stratigraphy, facies analysis and reservoir distribution in the uppermost Triassic–Lower Jurassic succession, Western Sverdrup Basin, Arctic Canada. In: VORRENT, T. O.; BERGSAGER, E.; Ø. A.; DAHL-STAMNEMES, HOLTER, E.; JOHANSEN, B.; LIE, E.; LUND, T. B. (Ed.). **Arctic Geology and Petroleum Potential**, 1992. v. 2, p. 121-146. (Norwegian Petroleum Society Special Publication).

FÚLFARO, V. J.; SAAD, A. R.; SANTOS, M. V.; VIANNA, R. B. Compartimentação e evolução tectônica da bacia do Paraná. In: **Geologia da bacia do Paraná: reavaliação da potencialidade e prospectividade em hidrocarbonetos**. São Paulo: Consórcio PAULIPETRO/CESP/ IPT, 1982. p. 75-115.

GALLOWAY, W. E. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, v. 73, n. 2, p. 125-142, 1989.

GOMES, J.S.; ALVES, F.B. **O Universo da Indústria Petrolífera: da pesquisa à refinação**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2. ed. 2007. p. 674.

GORDON Jr. M. **Classificação das formações gonduânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: Notas Preliminares e Estudos. Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineração, n. 38, 1947, p. 1-20.

HOLZ, M. **O intervalo Gonduânico basal (Eo-Permiano) da Bacia do Paraná na Região Nordeste do Rio Grande do Sul - Um Exercício de Estratigrafia**. 1995. 255 f. Tese (Doutorado) –Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

_____. Early Permian sequence stratigraphy and the palaeophysiographic evolution of the Paraná Basin in southernmost Brazil. **Journal of African Earth Sciences**, v. 29, n. 1, p. 51-61, 1999.

_____; CARLUCCI, R. Litoestratigrafia, Estratigrafia de Sequências e Evolução Paleofisiográfica da zona de borda da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul durante o Eo-Permiano. In: HOLZ, M., De ROS, L. F. (Ed.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, 2000. p. 303-322, 2000. (Edição CICO/UFRGS).

_____. Sequence stratigraphy of a lagoonal estuarine system—an example from the lower Permian Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 162, n. 3, p. 305-331, 2003.

_____; KÜCHLE, J.; PHILIPP, R. P.; BISCHOFF, A. P.; ARIMA, N. Hierarchy of tectonic control on stratigraphic signatures: base-level changes during the early Permian in the Paraná Basin, southernmost Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 22, n.3, p. 185-204, 2006.

_____; FRANÇA, A. B.; SOUZA, P. A.; IANNUZZI, R.; ROHN, R. A stratigraphic chart of the Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil, South America. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 29, n. 2, p. 381-399, 2010.

_____. **Estratigrafia de Sequências - Histórico, Princípios e Aplicações**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012. 258 p.

HOWARD, R. H.; WHITAKER, S. T. Fluvial-Estuarine Valley Fill at the Mississippian-Pennsylvanian Unconformity, Main Consolidated Field, Illinois. In: BARWIS, J. H., MCPHERSON, J. G., STUDLICK, J. R. J. (Ed.). **Sandstone Petroleum Reservoirs**. New York: Springer-Verlag New York, 2012. p. 319-342.

HUNT, D.; TUCKER, M.E. Stranded Parasequences and the Forced Regressive Wedge Systems Tract: deposition during base-level fall. **Sedimentary Geology**, v. 81, p.1-9, 1992.

KREBS, A. S. J.; MENEZES FILHO, N. R. (Org.). **Projeto Mapeamento Geológico para Carvão: Área de Taió, SC (Relatório Final)**. Porto Alegre: CPRM, 195 p. 1984.

KÜCHLE, J.; HOLZ, M. Aplicação da estratigrafia de sequências para caracterização em multiescala de reservatórios no Grupo Guatá (Eopermiano da Bacia do Paraná) na Região São Gabriel-RS, Brasil. **Pesquisas em Geociências - UFRGS**. Porto Alegre, RS. v. 29, n. 2, p. 3-20, 2002.

KUHN, M. R. **A estratigrafia de seqüências aplicada aos depósitos eo-permianos da Bacia do Paraná na região entre Minas do Leão e Pântano Grande, RS**. 1999. 176 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

LAVINA, E. L.; LOPES, R. C. A transgressão marinha do Permiano Inferior e a evolução paleogeográfica do Supergrupo Tubarão no Estado do Rio Grande do Sul. **Paula-Coutiana**, v. 1, p. 51-103, 1987.

LOPES, R. C. **Arcabouço aloestratigráfico para o intervalo Rio Bonito-Palermo (Eopermiano da bacia do Paraná), entre Butiá e São Sepé, Rio Grande do Sul**. 1995. 254 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Escola Politécnica, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 1995.

MIALL, A. D. *The Geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. Heidelberg: Springer-Verlag, 1996. 582 p.

_____. Alluvial Deposits, Canada. In: DALRYMPLE, R. W.; JAMES, N. P. (Ed.). **Facies Models 4**. Geological Association of Canada, 2010. p. 105-138.

MILANI, E. J. **Evolução tectôno-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do gondwana sul-ocidental**. 1997. 225 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

_____. Geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental e a evolução geológica da Bacia do Paraná. In: HOLZ, M., De ROS, L. F. (Ed.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, 2000. p. 275-302, 2000. (Edição CICO/UFRGS).

_____; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v.15, n. 2, p. 265-287, 2007.

MITCHUM Jr., R. M.; VAIL, P. R.; SANGREE, J. B. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 2: The Depositional Sequence as a Basic Unit for Stratigraphic Analysis. In: PAYTON, C. E. (Ed.). **Seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration**. 1977. p. 53-62. (American Association of Petroleum Geologists Memoir, n. 16).

NEAL, J.; ABREU, V. Sequence stratigraphy hierarchy and the accommodation succession method. **Geology**, v. 37, n. 9, p. 779-782, 2009.

PLINT, A. G. Sharp-based shoreface sequences and “offshore bars” in the Cardium Formation of Alberta; their relationship to relative changes in sea level. In: WILGUS, C. K., HASTINGS, B. C., ROSS, C. A., POSAMENTIER, H. W., WAGONER, J. VAN., KENDALL, C. G. ST. C. (Ed.). **Sea Level Changes: an integrated approach**. 1988. p. 357-370. (Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 42).

_____. Wave- and Storm-Dominated Shoreline and Shallow-Marine Systems, Canada. In: DALRYMPLE, R. W.; JAMES, N. P. (Ed.). **Facies Models 4**. Geological Association of Canada, 2010. p. 167-200.

POSAMENTIER, H. W.; JERVEY, M. T.; VAIL, P. R. Eustatic Control on Clastic Sedimentation I- conceptual framework. In: WILGUS, C. K., HASTINGS, B. C., ROSS, C. A., POSAMENTIER, H. W., WAGONER, J. VAN., KENDALL, C. G. ST. C. (Ed.). **Sea Level Changes: an integrated approach**. 1988. p. 110-124. (Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 42).

_____; VAIL, P. R. Eustatic Control on Clastic Sedimentation II- sequence and systems tract models. In: WILGUS, C. K., HASTINGS, B. C., ROSS, C. A., POSAMENTIER, H. W., WAGONER, J. VAN., KENDALL, C. G. ST. C. (Ed.). **Sea Level Changes: an integrated**

approach. 1988. p. 125-154. (Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 42).

PRITCHARD, D. W.. What is an estuary: physical viewpoint. In: LAUFF, G. H. (Ed.). **Estuaries**. Washington, DC, 1967. v. 83, p. 3-5. (American Association for the Advancement of Science Publication).

RAAF, J. F. M.; BOERSMA, J. R.; GELDER, A. V. Wave-generated Structures and Sequences from a Shallow Marine Succession, Lower Carboniferous, County Cork, Ireland. **Sedimentology**, v. 24, n. 4, p. 451-483, 1977.

REIS, P. D. **Caracterização, Análise e Modelagem Tridimensional de Corpos Reservatórios em Ambientes Parálisos no Intervalo Eo-permiano da Bacia do Paraná – Região de São Gabriel, RS**. 2007. 178 f. Monografia (Graduação) - Instituto de Geociências, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

ROCHA-CAMPOS, A. C.; BASEI, M. A.; NUTMAN, A. P.; SANTOS, P. D. ROCHA-CAMPOS, A. C. et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronological calibration of the Late Paleozoic supersequence, Paraná Basin, Brazil. *Anais do... South American Symposium on Isotope Geology*, n. 5, p. 298-301, 2006.

SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais do...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974. V.1, p. 41-65.

SHERER, C. M. S. (Coord.). **Relatório Final do Projeto de Pesquisa Arquitetura Estratigráfica, Geometria e Heterogeneidades de Arenitos Reservatórios da Formação Maracangalha, Bacia do Recôncavo, Bahia**. Porto Alegre: Relatório Interno de Projeto de Pesquisa CTPETRO/FINEP, 2007, p. 248.

SLOSS, L. L.; KRUMBEIN, W. C.; DAPPLES, E. C. Integrated facies analysis. In: LONGWELL, C. R. (Ed.). *Sedimentary Facies in Geologic History*. **Geological Society of America Memoir**, 1949. p. 91-124.

. Sequences in the cratonic interior of North America. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, 1963. p. 93-114.

SOUZA, P. A.; MARQUES-TOIGO, M. Progress on the palynostratigraphy of the Permian strata in Rio Grande do Sul State, Paraná Basin, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 77, n. 2, p. 353-365, 2005.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. Edgard Blücher, 2007. 400 p.

VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A. Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul. **Porto Alegre: CPRM**, 2010. 212 p.

WALKER, R. G. General introduction: facies, facies sequences and facies models. In: WALKER, R. G (Ed). **Facies Models**, Geological Association of Canada , n. 2, 1984. p. 1-9.

WALKER, R. G. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: Walker, R. G. e JAMES, N. P. (Ed). **Facies Models – Response to Sea-level Change**, Geological Association of Canada, 1992. p. 1-14.

WHITE, I. C. **Relatório sobre as coal measures e rochas associadas, do sul do Brasil**. Rio de Janeiro: Comissão das Minas de Carvão de Pedra do Brasil, 1908, 300 p.

WILDNER, W.; RAMGRAB, G. E.; LOPES, R. D.; IGLESIAS, C. D. F. Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Sul: escala 1:750.000. Porto Alegre: CPRM, 2008, 1 mapa, col. Escala 1:750.000. 1 CD-ROM.

ZAITLIN, B. A.; SCHULTZ, B. C. Wave-Influenced Estuarine Sand Body, Senlac Heavy Oil Pool, Saskatchewan, Canada. In: BARWIS, J. H., MCPHERSON, J. G., STUDLICK, J. R. J. (Ed.). **Sandstone Petroleum Reservoirs**. New York: Springer-Verlag New York, 2012. p. 363-387.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. D. J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M. A. M.; VIERA, I. S.; ZANOTTO, O. A. Bacia do Paraná. In: RAJA, GABAGLIA, G. P.; MILANI, E. J. (Coord.). **Origem e Evolução das Bacias Sedimentares**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 1990. p. 135-168.

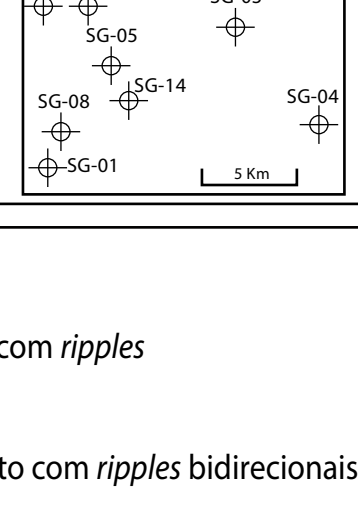
Apêndice 1

PERIL DESCRITO DE TESTEMUNHO DE SONDAGEM

SG-02-RS



Posição do Testemunho:



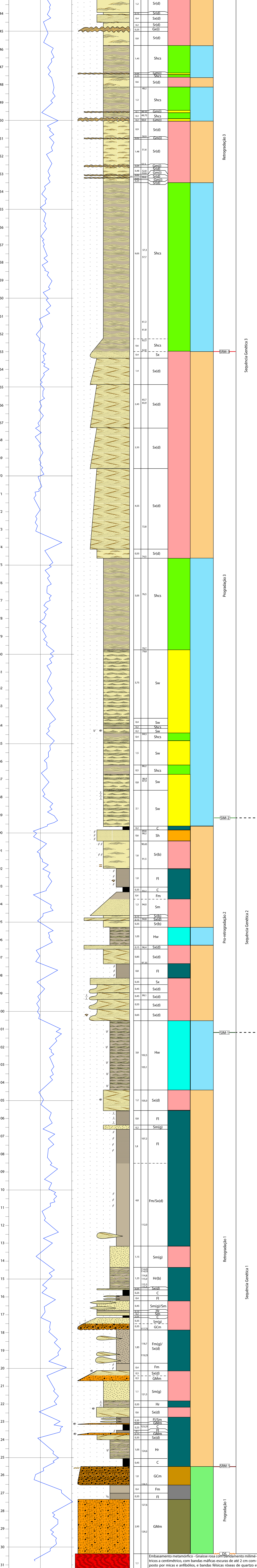
Coordenadas: Faixa UTM 21 E: 777350 N: 6660000	Intervalo Estudado: 40,3 - 131,5 m	Cota da Boca: 75 m	Escala de Estudo: 1:50	Data da Descrição: 20/02/2017	Autor: Ricardo Maahs
--	--	------------------------------	----------------------------------	---	--------------------------------

Fácies:		
Emb(m) - Embasamento metamórfico	Ax(d) - Arenito com estratificação cruzada com drapes de lama	Hr - Heterolito com ripples
CcM - Conglomerado clasto suportado maciço	Sr - Arenito com ripples	Hr(b) - Heterolito com ripples bidirecionais
GMm - Conglomerado matriz suportado maciço	Sr(d) - Arenito com ripples com drapes de lama	Hw - Heterolito com wavy ripples
Gm(i) - Arenito grosso a conglomerado maciço imaturo	Sr(b) - Arenito com ripples bidirecionais	Fm - Fino maciço
Gx(i) - Arenito grosso a conglomerado com estratificação cruzada imaturo	Sh - Arenito com laminação horizontal	Fm(g) - Fino maciço com clastos dispersos
Sm - Arenito maciço	Sw - Arenito com wavy ripples	Fl - Fino laminado
Sm(g) - Arenito maciço com clastos dispersos	Shcs - Arenito com estratificação cruzada hummocky	C - Carvão
Sx - Arenito com estratificação cruzada		

Símbolos:		
Bioturbação	Fluidização	Restos de plantas
Nível de lama	Intraclastos lamosos	Grânulos embricados
Nódulos diagenéticos	Estruturas de cisalhamento	Marcas de raízes

Associações de Fácies:				
Leque Aluvial	Canal Fluvial	Planície de Inundação	Barra de Maré	Estuário Central
Foreshore	Shoreface Superior	Shoreface Médio	Shoreface Inferior	

Sistemas Depositionais:		
Alúvio-fluvial	Estuário Dominado por Maré	Plataforma Dominada por Onda



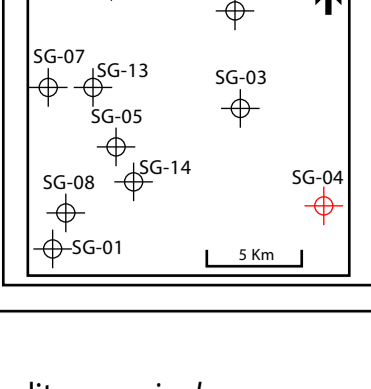
Apêndice 3

PERIL DESCRITO DE TESTEMUNHO DE SONDAGEM

SG-04-RS



Posição do Testemunho:

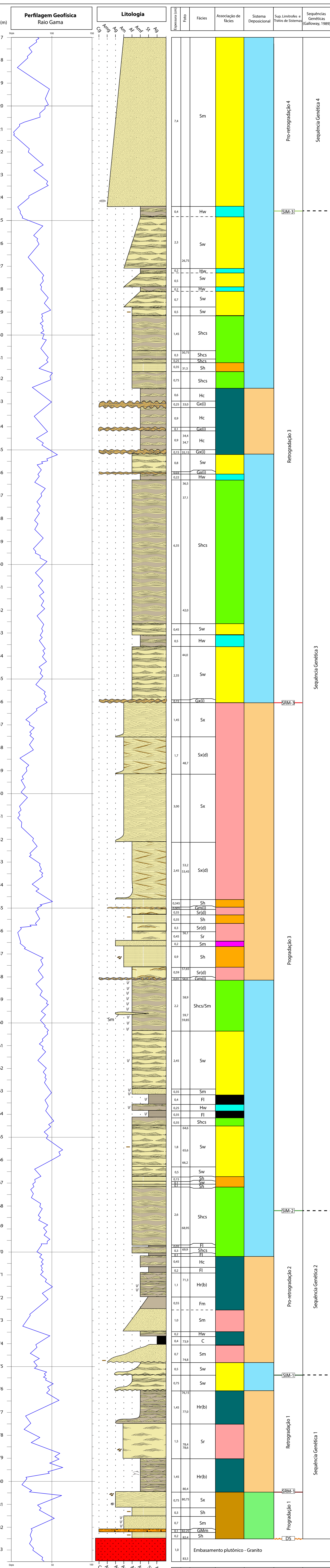


Coordenadas: Faixa UTM 21 E: 782000 N: 6649750	Intervalo Estudado: 17,0 - 86,8 m	Cota da Boca: 130 m	Escala de Estudo: 1:50	Data da Descrição: 22/02/2017	Autor: Ricardo Maahs
--	---	-------------------------------	----------------------------------	---	--------------------------------

Fácies:	Símbolos:
<ul style="list-style-type: none"> Emb(i) - Embasamento ígneo GMm - Conglomerado matriz suportado maciço Gm(i) - Arenito grosso a conglomerado maciço imaturo Gx(i) - Arenito grosso a conglomerado com estratificação cruzada imaturo Sm - Arenito maciço Sx - Arenito com estratificação cruzada Sx(d) - Arenito com estratificação cruzada com drapes de lama Sr - Arenito com ripples Sr(d) - Arenito com ripples com drapes de lama Sh - Arenito com laminação horizontal Sw - Arenito com wavy ripples Shcs - Arenito com estratificação cruzada hummocky Hr(b) - Heterolito com ripples bidirecionais Hw - Heterolito com wavy ripple Hc - Heterolito com ripples de fluxo combinado Fm - Fino maciço Fl - Fino laminado C - Carvão 	<ul style="list-style-type: none"> Bioturbação Intraclastos lamosos Nódulos diagenéticos Nível de lama Laminação ondulada truncada Ripples bidirecionais assimétricas (10/1)

Associações de fácies:
<ul style="list-style-type: none"> Canal Fluvial Planície de Inundação Barra de Maré Estuário Central Barreira Foreshore Shoreface Superior Shoreface Médio Shoreface Inferior Offshore

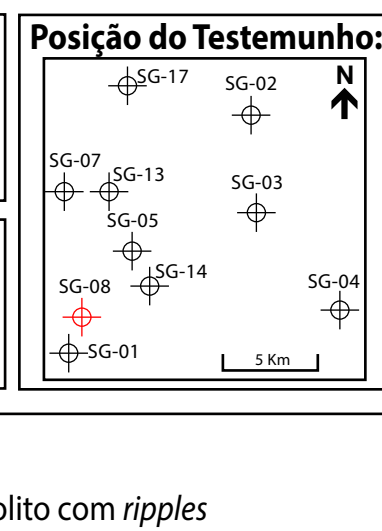
Sistemas Depositionais:
<ul style="list-style-type: none"> Alúvio-fluvial Estuário Dominado por Maré Plataforma Dominada por Onda



Apêndice 4

PERIL DESCRITO DE TESTEMUNHO DE SONDAGEM

SG-08-RS



Coordenadas: Faixa UTM 21 E: 768400 N: 6649400	Intervalo Estudado: 42,6 - 124,25 m	Cota da Boca: 90 m	Escala de Estudo: 1:50	Data da Descrição: 26/09/2017	Autor: Ricardo Maahs
--	---	------------------------------	----------------------------------	---	--------------------------------

Fácies:

Gcm - Conglomerado clasto suportado maciço	Sw - Arenito com wavy ripples	Hr - Heterolito com ripples
Gm(i) - Arenito grosso a conglomerado maciço imaturo	Sh - Arenito com laminação horizontal	Hc - Heterolito com ripples de fluxo combinado
Sm - Arenito maciço	Sl - Arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo.	Fm - Fino maciço
Sx - Arenito com estratificação cruzada	Ssy - Arenito com estratificação cruzada swaley	Fl - Fino laminado
Sx(d) - Arenito com estratificação cruzada com drapes de lama	Shcs - Arenito com estratificação cruzada hummocky	C - Carvão
Sr(d) - Arenito com ripples com drapes de lama		

Símbolos:

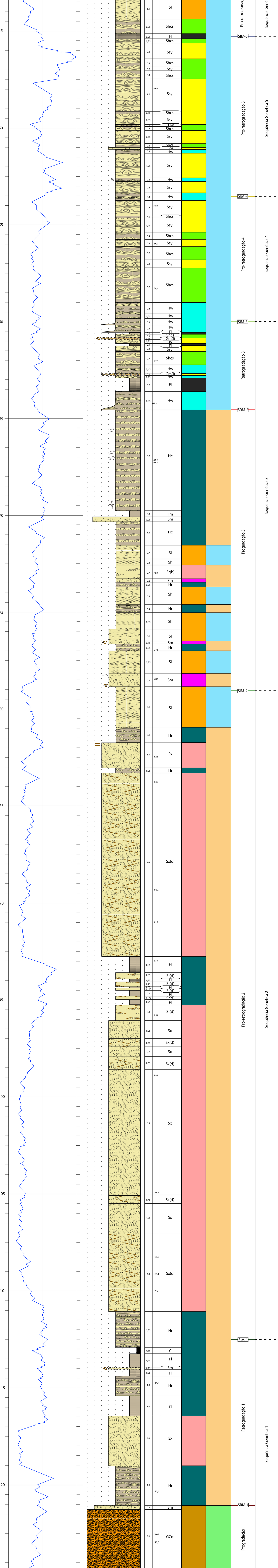
Intraclastos lamosos	Nível de lama	Fluidização	Estruturas de cisalhamento
Ripples unidirecionais assimétricas		Ripples bidirecionais assimétricas (10/1)	

Associações de fácies:

Canal Fluvial	Planície de Inundação	Barra de Maré	Estuário Central	Barreira
Foreshore	Shoreface Superior	Shoreface Médio	Shoreface Inferior	Offshore

Sistemas Depositionais:

Alúvio-fluvial	Estuário Dominado por Maré	Plataforma Dominada por Onda
----------------	----------------------------	------------------------------



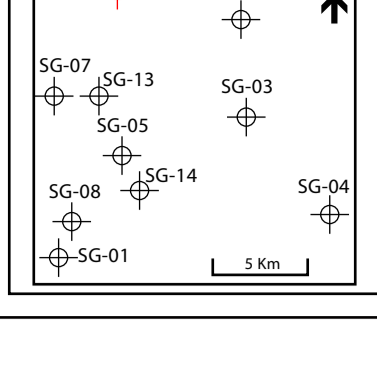
Apêndice 5

PERIL DESCRITO DE TESTEMUNHO DE SONDAGEM

SG-17-RS



Posição do Testemunho:



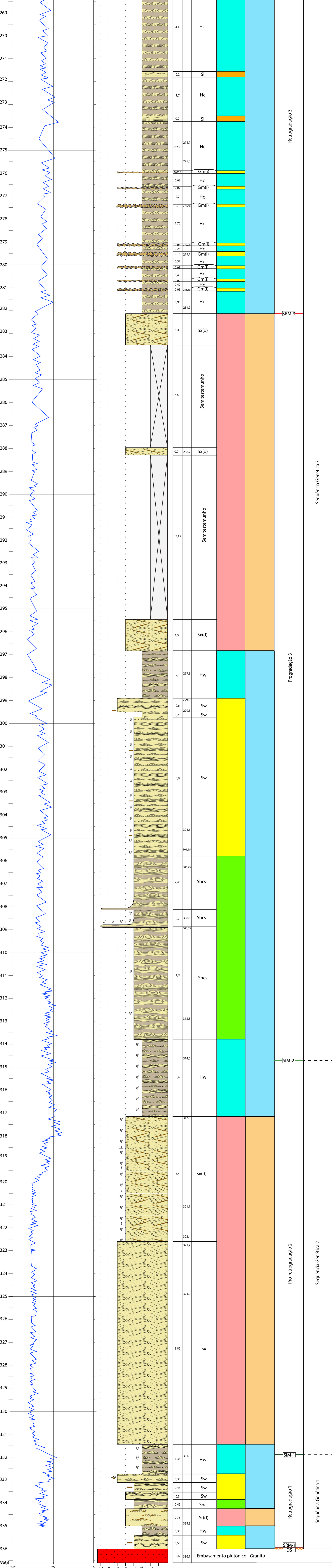
Coordenadas: Faixa UTM 21 E: 770800 N: 6661600	Intervalo Estudado: 267,5 - 336,6 m	Cota da Boca: 105 m	Escala de Estudo: 1:50	Data da Descrição: 23/02/2017	Autor: Ricardo Maahs
--	---	-------------------------------	----------------------------------	---	--------------------------------

Fácies: Emb(m) - Embasamento plutônico GMm - Conglomerado matriz suportado maciço Gm(l) - Arenito grosso a conglomerado maciço imaturo Sx - Arenito com estratificação cruzada	Sx(d) - Arenito com estratificação cruzada com drapes de lama Sl - Arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo Sr(d) - Arenito com ripples com drapes de lama	Sw - Arenito com wavy ripples Shcs - Arenito com estratificação cruzada hummocky Hw - Heterolito com wavy ripples	
---	--	---	--

Símbolos: Bioturbação Fluidização	Intraclastos lamosos Nivel de lama	
--	---------------------------------------	--

Associações de fácies: Barra de Maré Shoreface Superior	Estuário Central Shoreface Médio	Foreshore Shoreface Inferior
--	-------------------------------------	---------------------------------

Sistemas Depositionais: Estuário Dominado por Maré	Plataforma Dominada por Onda
--	------------------------------



Perfilagem Geofísica Raio Gama	Litologia	Espessura (cm) FOTO	Fácies	Associação de fácies	Sistema Depositional	Sup. Limitrofes e Tratos de Sistemas	Sequências Genéticas (Galloway, 1989)
--	------------------	------------------------	--------	----------------------	----------------------	--------------------------------------	---------------------------------------

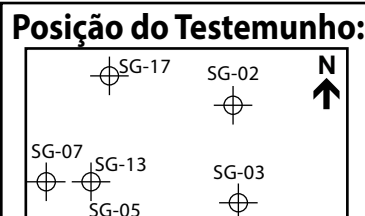
Apêndice 6

PERFIS LITOLÓGICOS e PERFILAGEM GEOFÍSICA

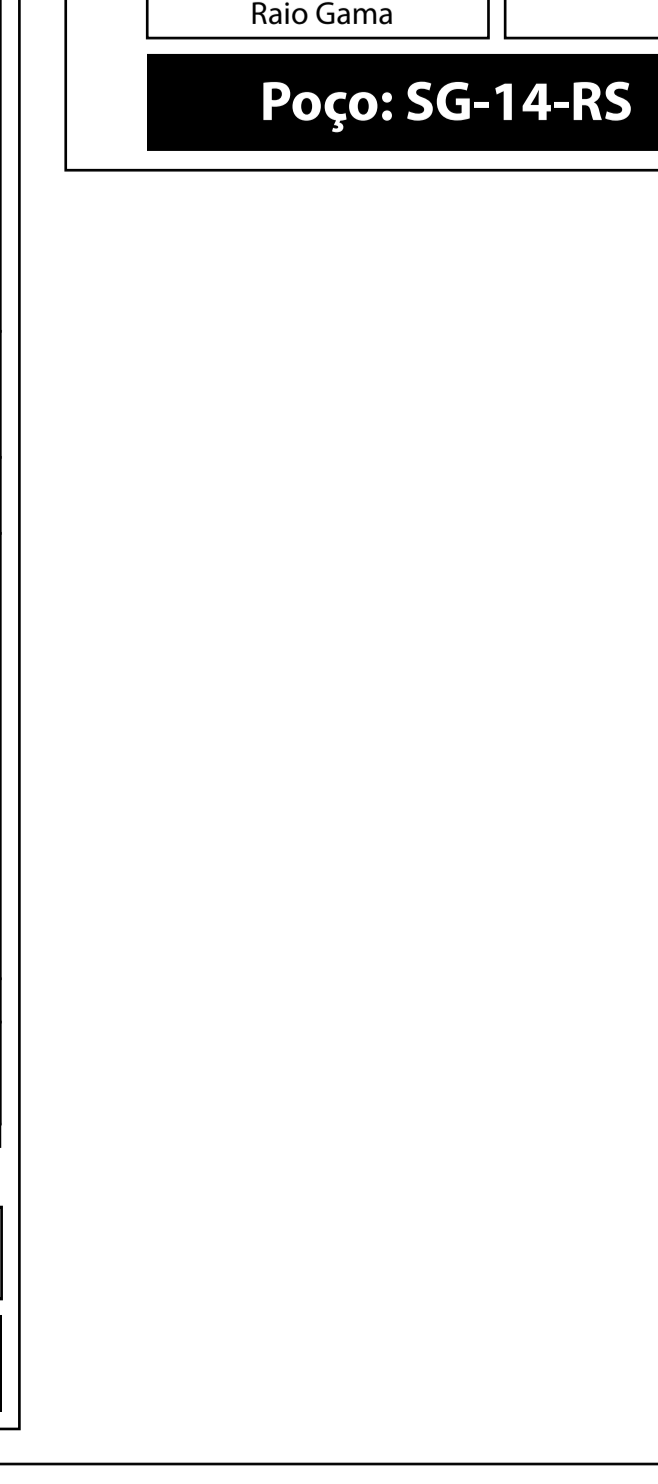
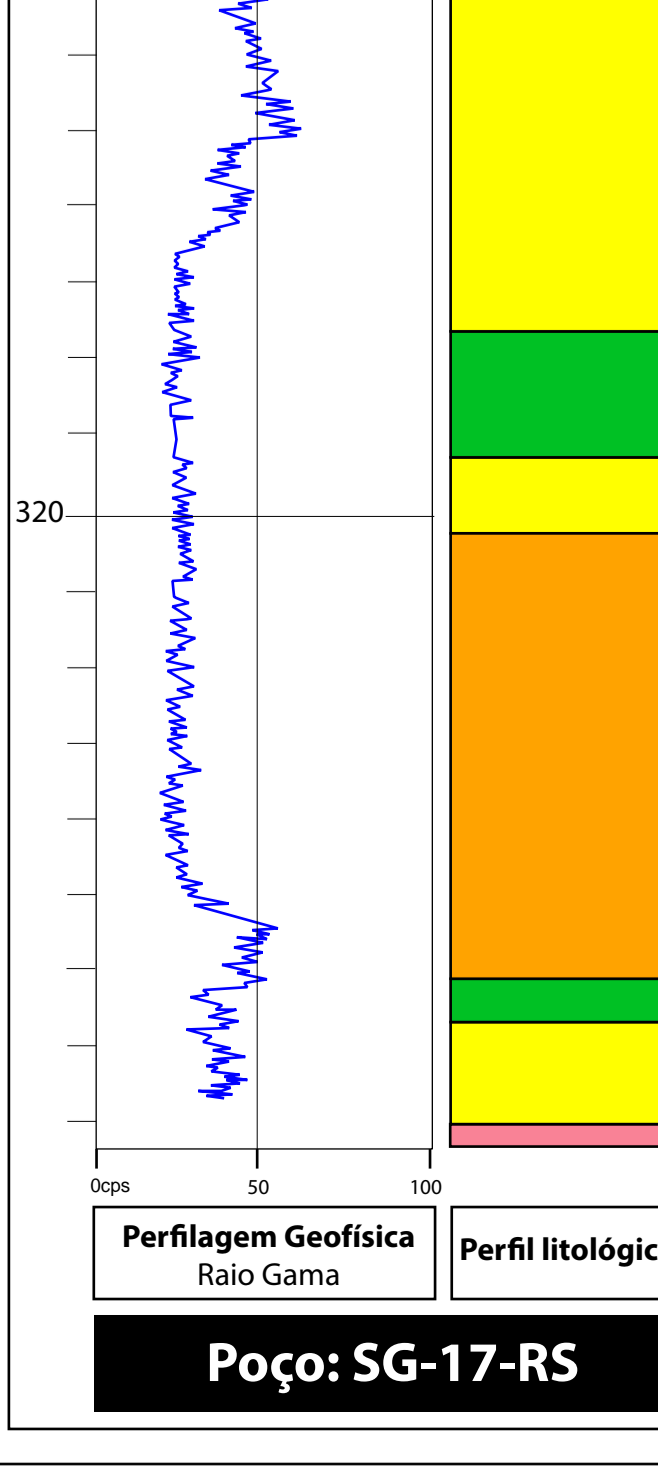
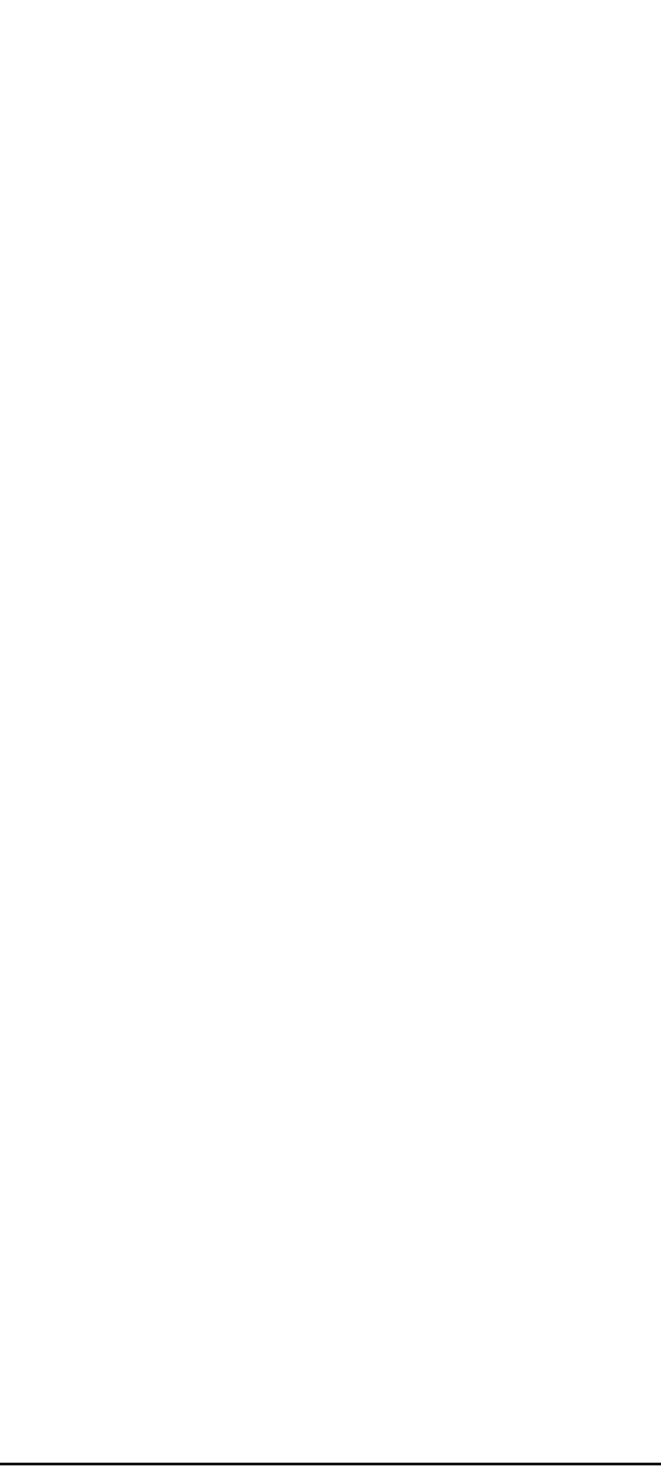
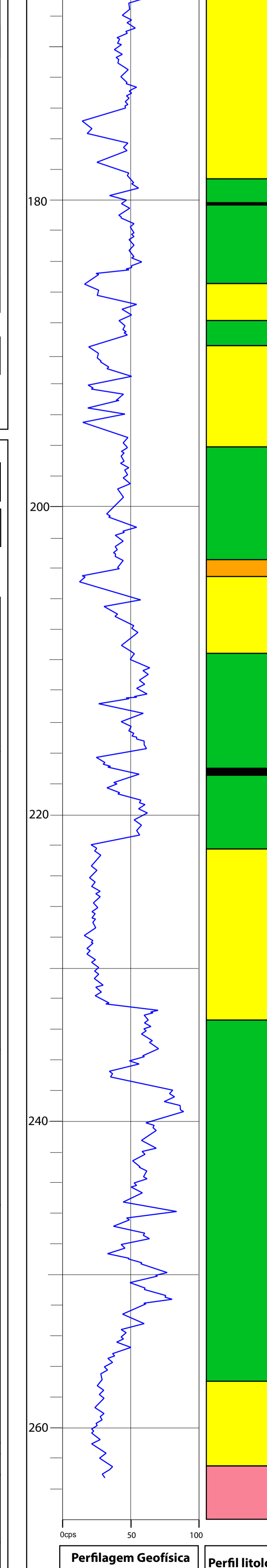
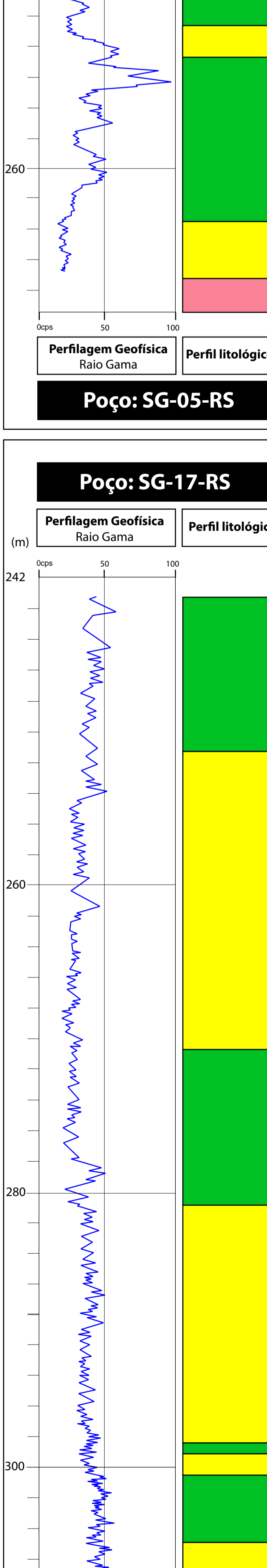
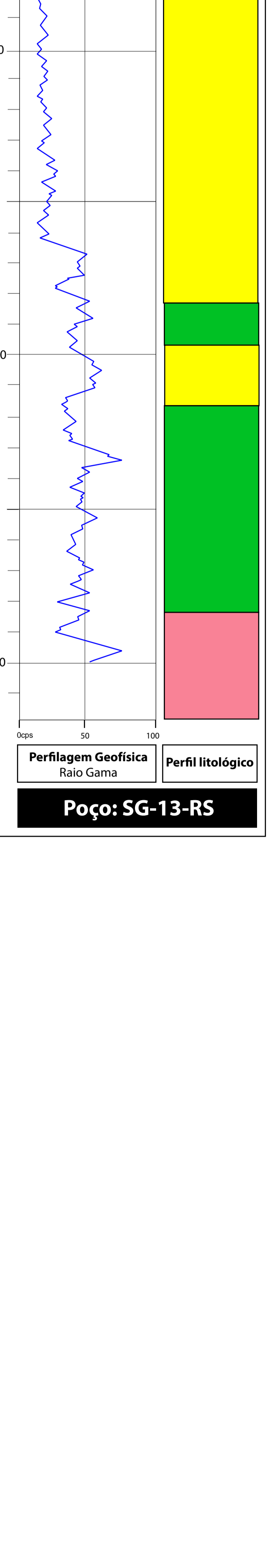
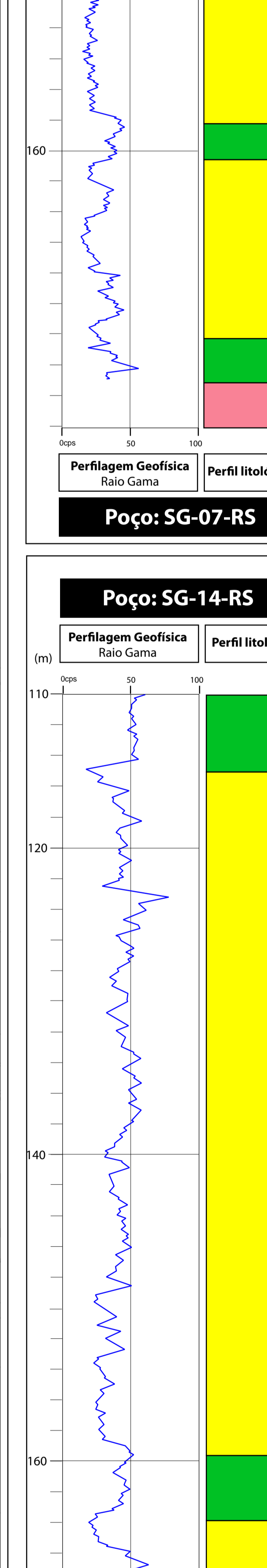
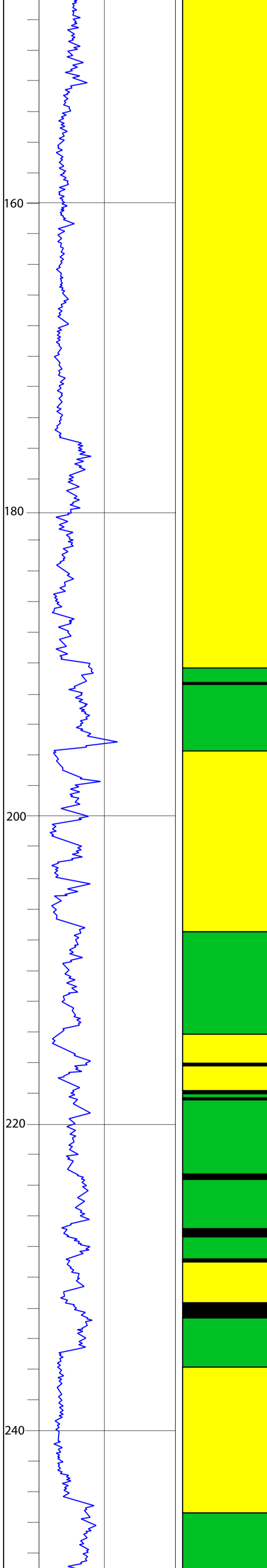
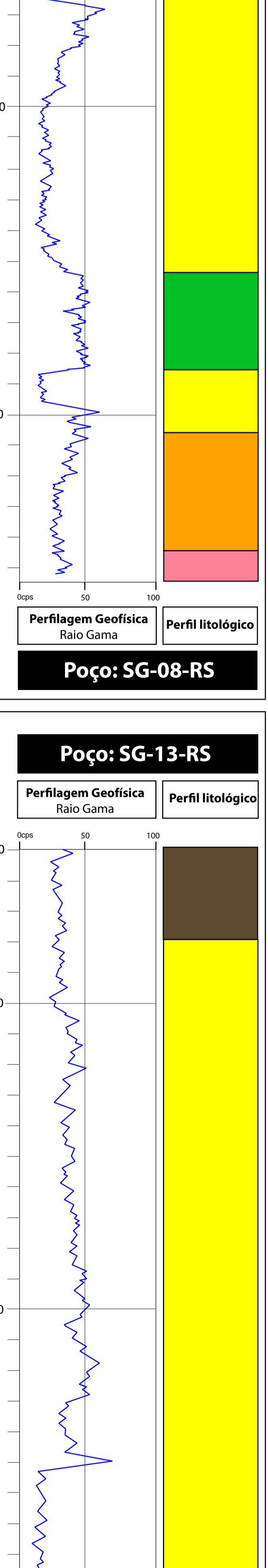
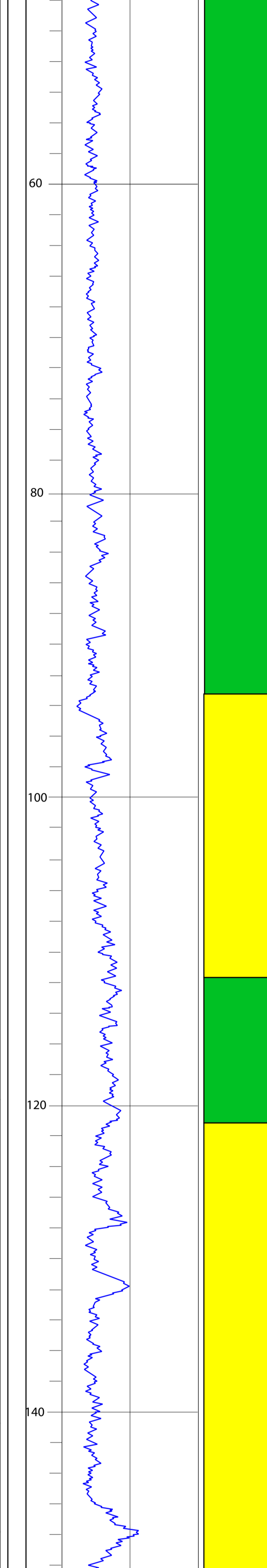
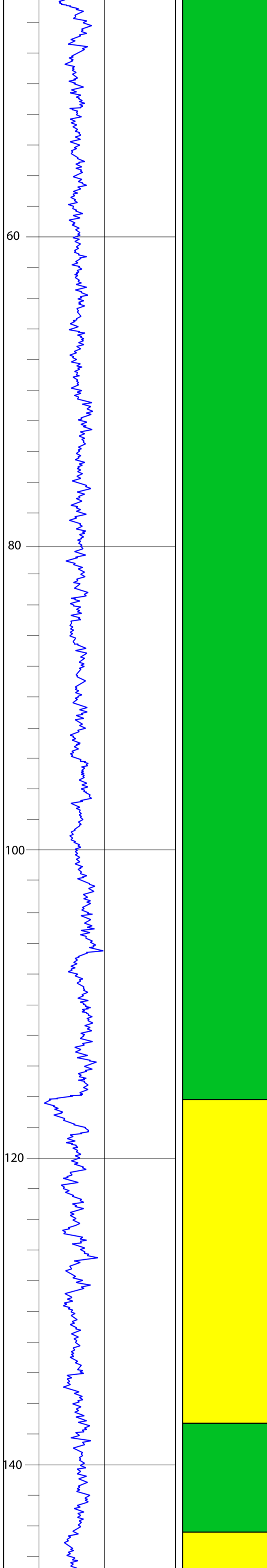
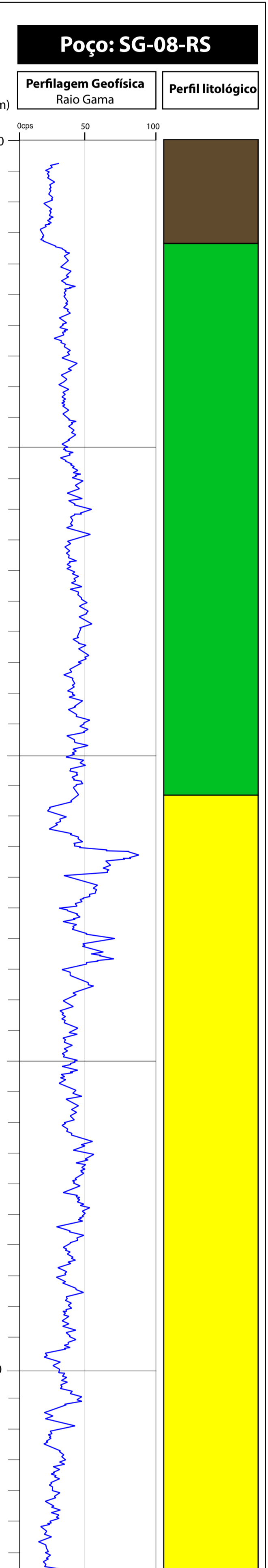
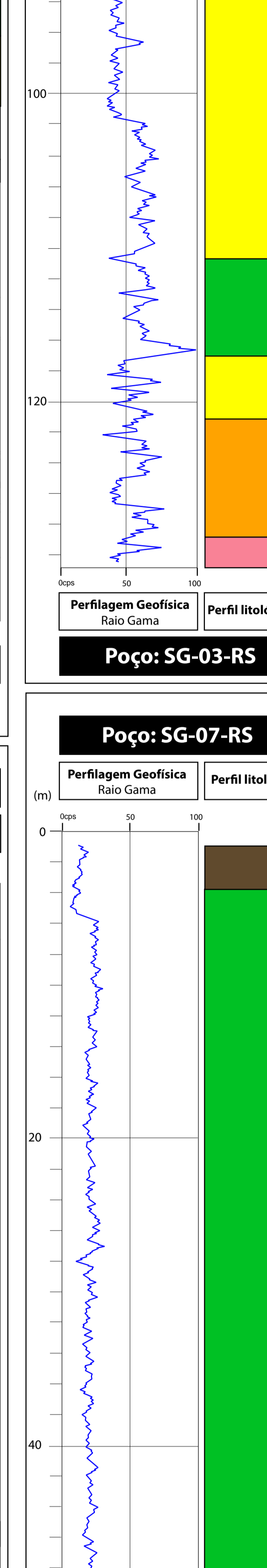
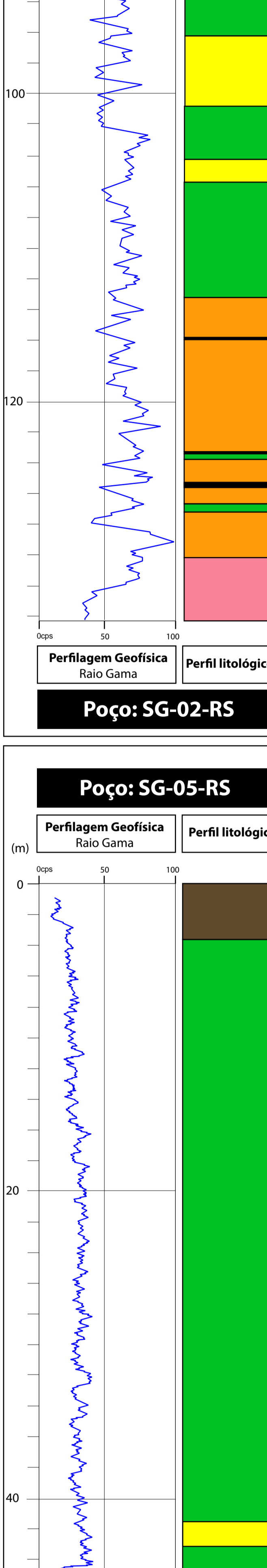
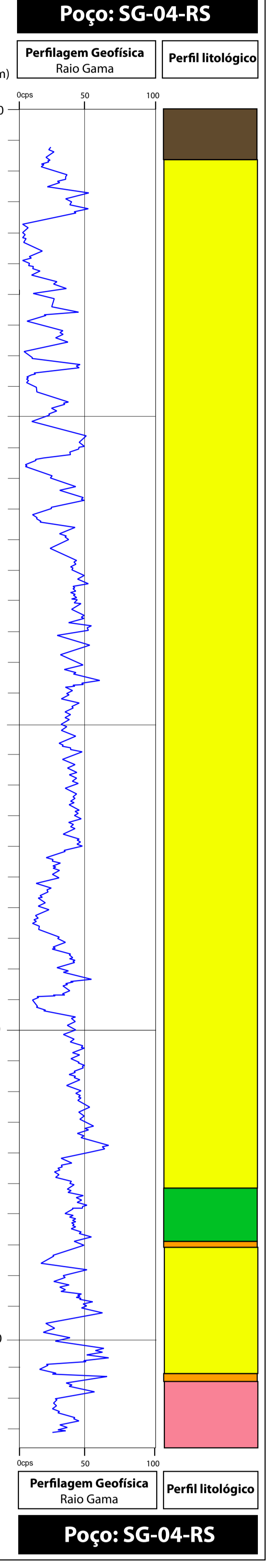
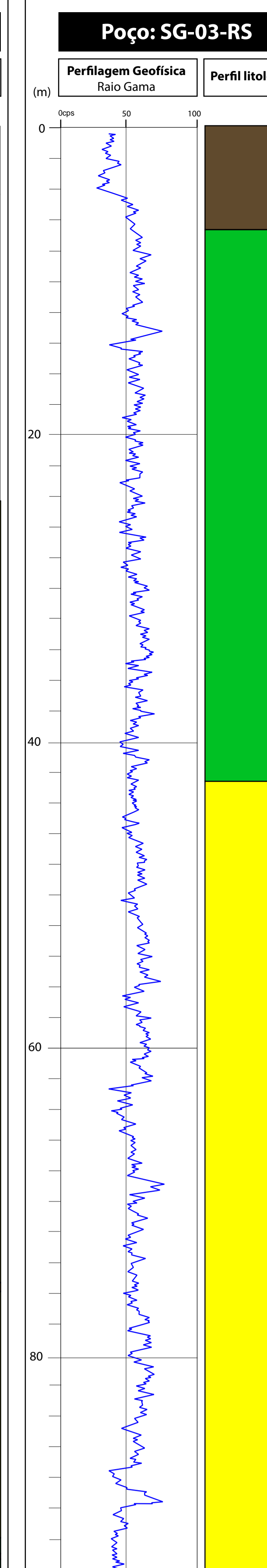
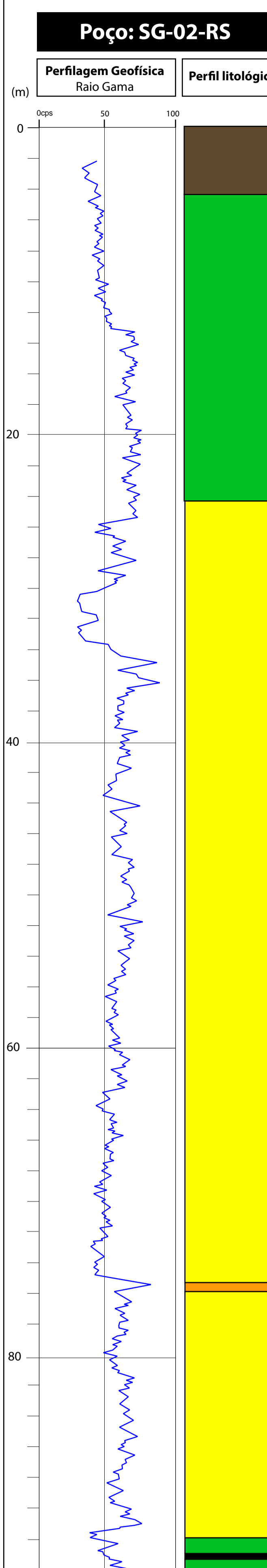
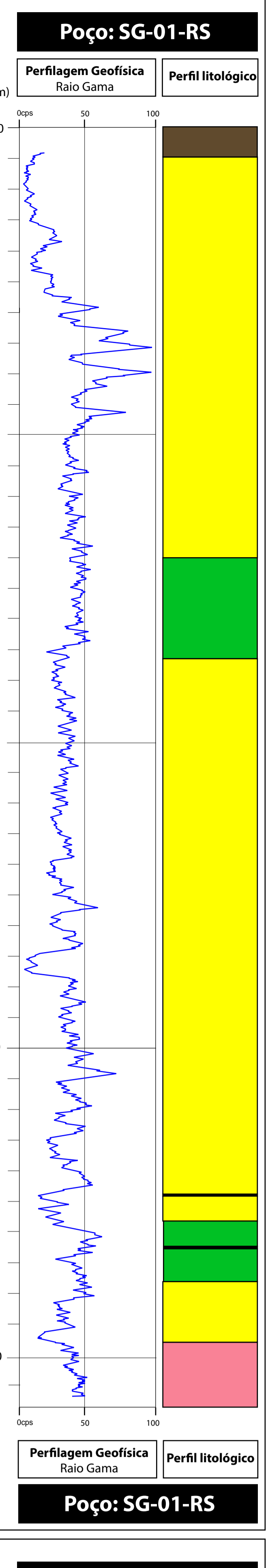


Escala de Estudo:
1:200

Autor:
Ricardo Maahs



LITOLOGIAS



7 APÊNDICES

Apêndice 1 – Perfil descritivo de testemunhos de sondagem SG-02 - Descrição do testemunho SG-02, em escala 1: 50, entre as profundidades 40,3 a 131,5 m.

Apêndice 2 – Perfil descritivo de testemunhos de sondagem SG-03 - Descrição do testemunho SG-03, em escala 1: 50, entre as profundidades 61,75 a 168,0 m.

Apêndice 3 – Perfil descritivo de testemunhos de sondagem SG-04 - Descrição do testemunho SG-04, em escala 1: 50, entre as profundidades 17,0 a 86,8 m.

Apêndice 4 – Perfil descritivo de testemunhos de sondagem SG-08 - Descrição do testemunho SG-08, em escala 1: 50, entre as profundidades 42,6 a 124,25 m.

Apêndice 5 – Perfil descritivo de testemunhos de sondagem SG-17 - Descrição do testemunho SG-17, em escala 1: 50, entre as profundidades 267,5 a 336,6 m.

Apêndice 6 – Perfis litológicos e perfilagem geofísica dos poços SG-01, SG-02, SG-03, SG-04, SG-05, SG-07, SG-08, SG-13, SG-14 e SG-17, em escala 1: 50.

GEO 03015 – PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

Título da Monografia: <i>Análise estratigráfica da formação Rio Bonito (Espermião da Bacia do Paraná)...</i>
Autor: <i>Ricardo Maahs</i>
Orientador(es): <i>Juliano Kuchle</i>
Nota final (1 até 10): <i>9.5</i>
Examinador: <i>Paulo Alves de Souza</i> Data: <i>21/12/17</i>

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

Página	Correções obrigatórias
Resumo	Retirar o termo "projeto"
27, 28	Utilizar conceituação de Holz et al (2010) para as figuras e textos.
35, 85	Rever e readaptar figuras.
47	não repetir figuras.

30,

ou outro mais abrangente

GEO 03015 – PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

Título da Monografia: ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA DA FORMAÇÃO RIO BONITO (EOPERMIANO DA BACIA DO PARANÁ)
Autor: RICARDO MAAS
Orientador(es): JULIANO KÜCHLE
Nota final (1 até 10): 10
Examinador: CESAR L. SCHULTZ Data: 19/12/17

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

Página	Correções obrigatórias
19	Trocar "na porção nordeste da região de São Gabriel" por "a NE da cidade de São Gabriel," entre as coordenadas "X" e "Y". Depois, ao longo do texto, usar apenas "na área de estudo" (Pág. 21, 22)
27	Corrigir a Fig. 5.
46	Explicar os critérios usados para delimitar o topo e a base da Fm. Rio Bonito nos furos.
viii e 146	"Modelo com sentido dip para NE". Não é o MODELO que tem essa orientação, é o pacote REAL.